



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ADRIANA DE SOUZA TRAJANO

**PRIMEIROS REGISTROS DE ESTRUTURAS REPRODUTIVAS VEGETAIS E
SEMENTES DA FORMAÇÃO SERRA DO TUCANO (CRETÁCEO INFERIOR),
BACIA DO TACUTU, RORAIMA**

FORTALEZA

2022

ADRIANA DE SOUZA TRAJANO

PRIMEIROS REGISTROS DE ESTRUTURAS REPRODUTIVAS VEGETAIS E
SEMENTES DA FORMAÇÃO SERRA DO TUCANO (CRETÁCEO INFERIOR),
BACIA DO TACUTU, RORAIMA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geologia Sedimentar e Paleontologia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi
Coorientadora: Prof. Dr^a Juliane Marques de Souza

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T688p Trajano, Adriana de Souza.

Primeiros registros de estruturas reprodutivas vegetais e sementes da formação serra do tucano (cretáceo inferior), bacia do tacutu, roraima / Adriana de Souza Trajano. – 2022.
96 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Roberto Iannuzzi.

Coorientação: Profa. Dra. Juliane Marques de Souza.

1. Sementes. 2. Estruturas reprodutivas. 3. Ephedraceae. 4. Bacia do Tacutu. 5. Cretáceo Inferior. I. Título.

CDD 551

ADRIANA DE SOUZA TRAJANO

PRIMEIROS REGISTROS DE ESTRUTURAS REPRODUTIVAS VEGETAIS E
SEMENTES DA FORMAÇÃO SERRA DO TUCANO (CRETÁCEO INFERIOR),
BACIA DO TACUTU, RORAIMA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geologia Sedimentar e Paleontologia.

Aprovado em: 28/11/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Iannuzzi (Orientador)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Profa. Dra. Elizete Celestino Holanda
Universidade Federal de Roraima (UFRR)

Prof. Dr. Fábio Luiz Wankler
Universidade Federal de Roraima (UFRR)

Profa. Dra. Paula Andrea Sucerquia Rendon
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Profa. Dra. Juliane Marques de Souza (Coorientadora)
Universidade Estadual de Roraima (UERR)

Dedico este trabalho a todas as pessoas incríveis que fizeram parte deste processo e que me inspiraram a prosseguir nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, por meio do Programa de Pós-Graduação em Geologia, pela oportunidade de cursar o mestrado e desenvolver o meu projeto de pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa, que me possibilitou sustento durante o período que residi em Fortaleza.

Ao Laboratório de Processamento de amostras e Coleção de rochas e fósseis da Universidade Estadual de Roraima, pela infraestrutura para o desenvolvimento do trabalho e todo apoio logístico prestado.

Ao Laboratório de Paleontologia da Amazônia – LAPA da Universidade Federal de Roraima, em nome da Prof^a.Dr. Elizete Celestino Holanda, que nos concedeu as amostras para realização deste estudo.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Roberto Iannuzzi, por aceitar a missão de me orientar mesmo que forma remota, mas sempre que necessário se fazia presente.

À Juliane Marques de Souza, que se tornou uma amiga ao longo dos anos, desde a graduação aceitou o desafio de me orientar e no mestrado novamente disse sim! (Risos). Obrigada por me inspirar no ingresso e permanência no fantástico mundo da ciência.

Aos Professores: Paula Andrea Sucerquia Rendon, Elizete Celestino Holanda e Fábio Luiz Wankler, membros da minha banca de qualificação e defesa, por todas as considerações feitas que contribuíram grandemente para o resultado final desta pesquisa.

À Daisy, minha amiga e companheira de laboratório e como ela diz...sem ela o que seria de mim? (Risos). Sua amizade e companheirismo tornaram a caminhada mais leve.

As amigas que cultivei no PPGeo-UFC, elas tornaram os dias na pós mais leves, sou grata a cada uma de vocês, Camila, Janiele, Kátia, Lucieny, Samara e Raiany.

As amigas pela força e todo incentivo durante o mestrado: Katharine, Ângela, Gabriella, Thaís e Jayne.

E por fim, mas não menos importante, a Fernanda, Ana e Paloma, foram pessoas incríveis durante essa reta final que me ajudaram bastante, só tenho a externalizar a minha gratidão.

RESUMO

A Bacia do Tacutu está situada numa região de fronteira entre o Brasil (Nordeste do estado de Roraima) e a Guiana. Sua origem está relacionada com a abertura do Atlântico Central e apresenta em sua composição depósitos meso-cenozoicos. Os microfósseis vegetais coletados (sementes e estruturas reprodutivas) são compressões/impressões, preservadas em arenitos com laminação plano paralela provenientes do afloramento Murici II, pertencente a Formação Serra do Tucano (Barremiano-Aptiano). Com a finalidade de contribuir para o estudo fóssil da macroflora do extremo Norte do Brasil, a presente pesquisa teve como objetivos: (i) descrever sementes e estruturas reprodutivas comparando-as com os táxons fósseis já descritos na literatura; (ii) avaliar o tamanho dos diásporos em relação às estratégias de dispersão; (iii) fazer inferências paleoecológicas a partir dos registros estudados. Inicialmente foi realizado a triagem dos microfósseis vegetais, posteriormente os espécimes selecionados foram analisados e fotografados. As análises e interpretações das amostras resultaram na descrição das feições morfológicas das estruturas reprodutivas (n=5), para fins de estudo taxonômicos, e análises do tamanho das sementes (n=48), para inferências paleoecológicas. Os resultados aqui obtidos sugerem que as estruturas reprodutivas pertencem ao grupo das Ephedraceae e compõem uma vegetação de plantas xerofíticas típicas do clima seco e quente do intervalo Barremiano-Aptiano. Já a análise do tamanho médio das sementes mostrou uma predominância no tamanho inferior ou igual a 10 mm³, que corrobora com dados já relatados para o Eocretáceo, onde as sementes eram pequenas e indicativas de uma vegetação mais aberta e condições de um clima seco.

Palavras-chave: sementes; estruturas reprodutivas; Ephedraceae; Bacia do Tacutu; Roraima; Cretáceo Inferior.

ABSTRACT

The Tacutu Basin is located in a border region between Brazil (northeast of the state of Roraima) and Guyana. Its origin is related to the Central Atlantic opening and presents in its composition Mesocenozoic sediments. The plant macrofossils (seeds and reproductive structures) are compressions/impressions, preserved in sandstones with parallel plane lamination from the Murici II outcrop, belonging to the Serra do Tucano Formation (Barremian-Aptian). The research aimed to: (i) describe seeds and reproductive structures comparing them with species already described in the literature, (ii) carry out studies on diaspore size and dispersal strategies, (iii) make paleoecological inferences from the records studied. Initially, the screening of plant macrofossils was carried out, later the selected specimens were analyzed and photographed. The analyzes and interpretations of the samples resulted in the focus of the morphological features of the reproductive structures (n=5), for taxonomic study purposes and seed size analyzes (n=48), for paleoecological inferences. The results obtained here suggest that the reproductive structures belong to the Ephedraceae group and comprise a vegetation of xerophytic plants typical of the dry and hot climate of the Barremian-Aptian interval. While the analysis of the average size of the seeds showed a predominance of sizes less than or equal to 10mm³, which corroborates data already reported for the Early Cretaceous, where the seeds were small and indicative of more open vegetation and dry climatic conditions.

Keywords: seeds; reproductive structures; Ephedraceae; Tacutu Basin; Roraima; Early Cretaceous.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Ilustração do mapa do Cráton Escudo das Guianas com o Gráben do Tacutu. (Fonte: Silva e Porsani, 2006) 17
- Figura 2 – Mapa de localização e mapa geológico da Bacia do Tacutu. (Fonte: Oliva, 2022) 18
- Figura 3 – Seção esquemática da estratigráfica da Bacia do Tacutu. (Fonte: Santos, 2015. Retirado de Reis, Nunes e Pinheiro, 1994) 20
- Figura 4 – Zoneamento das províncias paleoflorísticas do Eocretáceo (Fonte: Sucerquia, 2013, segundo Vakhrameev, 1991) 34
- Figura 5 – Afloramento Murici II. Perfil mostrando as disposições das camadas e a ocorrência de fósseis nelas. Fonte: Cruz (2019), modificado. 38
- Figura 6 – Esquema ilustrando as principais estruturas que foram tomadas as dimensões de largura x comprimento, para estimar o tamanho da semente. 40
- Figura 7 – Esquema ilustrando as estruturas diagnósticas de uma impressão de semente fóssil. (Fonte: Marques-de-Souza, 2013, modificado Marques-de-Souza e Iannuzzi, 2007) 40
- Figura 8 – Esquema ilustrando as principais feições diagnósticas de uma estrutura reprodutiva de Ephedraceae, mostrando o cone terminal e o pedicelo estriado com folhas. Inspirado nos trabalhos de: Sharma e Hammer (2010); Puebla et al. (2017); Carretero (2018) 41
- Figura 9 – Sementes preservadas na forma de impressão do afloramento Murici II, da Bacia do Tacutu. A e B apresentam formas que variam de elíptica, por vezes largo-elíptica, com a superfície levemente estriada 45
- Figura 10 – Sementes do afloramento Murici II. A e B espécimes com preservação tridimensional, cujas formas são elípticas, observa-

se em sua superfície algumas protuberâncias longitudinais em A-B.	46
Figura 11 – Espécimes provenientes do Afloramento Murici II. A; B; C - apresentam a base e ápice arredondados, forma geral varia de elíptica a estreito elíptica e a superfície da semente por vezes levemente estriada (A).	47
Figura 12 – Detalhes morfoestruturais dos espécimes A e B, cujas formas são elípticas. Outras feições distintas foram observadas no espécime “B”, tais como superfície estriada e a presença de pedúnculo.	48
Figura 13 – Espécime de forma geral obovada, levemente estriado em sua superfície e com a presença de testa estreita e indiferenciada.	49
Figura 14 – Detalhes da simplicidade morfoestrutural das sementes do afloramento Murici II, da Bacia do Tacutu. A; B e C - espécimes sem muitas feições diagnósticas preservadas.	51
Figura 15 – Espécimes do Afloramento Murici II, preservados na forma de compressão/impressão. A; B e C – observa-se que forma do ápice a base são arredondados, e apresentam superfície levemente estriada. Contorno da forma largo-elíptica (A e C) a elíptica (B).	52
Figura 16 – Diagrama demonstrativo do intervalo de volume das sementes enquadradas nas cinco categorias de Harper, Lovell e Moore (1970) e convertidas para volume por Tiffney (1984). Modificado por Marques-de-Souza (2013). Em azul, dados obtidos neste trabalho.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução tecno-sedimentar da Bacia do Tacutu. Elaborados a partir dos trabalhos de Eiras e Kinoshita (1988, 1990), Eiras, Kinoshita e Feijó (1994), Silva e Porsani (2006), Vaz, Filho e Bueno (2007)	20
Quadro 2 – Quadro síntese dos principais registros paleobotânicos das bacias cretácicas brasileiras	30

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Quadro síntese das unidades estratigráficas da Bacia do Tacutu, e os estudos realizados em cada unidade estratigráfica, que corroboram para compreensão da evolução da bacia. (Fonte: Cruz, 2019), modificado 21
- Tabela 2 – Lista dos espécimes recuperados do Afloramento Murici II, mostrando as medidas utilizadas no cálculo do volume da semente 53
- Tabela 3 – Síntese da análise das sementes que considera o volume da semente e volume do nucelo em mm³ 54
- Tabela 4 – Classes que representam intervalos de volume, seguindo-se do número de semente encontrada a partir dos 48 espécimes analisados 55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCU	Coleção Científica da UERR
CGC	Cinturão Guiana Central
IGEO	Instituto de Geociências
LAPA	Laboratório de Paleontologia da Amazônia
LOE	Luminescência opticamente estimulada
UERR	Universidade Estadual de Roraima
UFRR	Universidade Federal de Roraima

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	GEOLOGIA DA BACIA DO TACUTU	17
3.1	Formação Apoteri	22
3.2	Formação Manari	22
3.3	Formação Pirara	23
3.4	Formação Tacutu	24
3.5	Formação Serra do Tucano	25
3.6	Formação Boa Vista	26
3.7	Formação Areias Brancas	28
4	REGISTROS PALEOBOTÂNICOS DO CRETÁCEO BRASILEIRO	30
5	MATERIAL E MÉTODOS	36
5.1	Marco Geológico	36
5.2	Material	38
5.3	Métodos	39
5.3.1	<i>Análise Morfológica</i>	39
5.3.2	<i>Tamanho das sementes</i>	42
5.3.3	<i>Dispersão de sementes</i>	42
6	RESULTADOS	44
6.1	Sistemática	44
6.2	Análises paleoecológicas das sementes	52
6.2.1	<i>Análise do tamanho</i>	52
6.3	Artigo	59
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

Na Bacia do Tacutu, em Roraima, têm sido recuperadas, na última década, dezenas de fragmentos de macrofósseis vegetais os quais fornecem as primeiras informações sobre a flora fóssil da região. Em virtude do estado fragmentado do material paleobotânico, os estudos taxonômicos ainda se encontram incipientes, com poucos táxons efetivamente reconhecidos. Parte deste material provém de rochas sedimentares da Formação Boa Vista, datadas do intervalo Pleistoceno tardio-Holoceno (OLIVEIRA, 2020; OLIVA, 2022). Outra parte provém de rochas sedimentares mesozoicas da Formação Serra do Tucano, de idade Eocretácea (LOPES; SOUZA; HOLANDA, 2011; SANTOS, 2015; SANTOS et al., 2016; CRUZ, 2019). Nesta última, os registros fossilíferos são constituídos principalmente por fragmentos de lenhos silicificados, compressões carbonosas (LOPEZ; SOUZA; HOLANDA, 2011, SANTOS, 2015) e, impressões foliares (WANKLER et al. 2017), além de caules, sementes e outras estruturas reprodutivas (CRUZ, 2019).

Ao considerar o fato de que, no Eocretáceo da Bacia do Tacutu, não é comum o registro fossilífero de macrofósseis vegetais (SOUZA; SAMPAIO, 2007), reforça-se a importância do reconhecimento do conteúdo paleontológico da área de estudo. Em específico, destaca-se estudos com as estruturas reprodutivas, visto que o conhecimento desta diversidade, por meio de análises morfológicas para a determinação da afinidade botânica dessas plantas, pode contribuir para a compreensão e evolução da flora e da paisagem da região.

Ademais, destaca-se que esta Dissertação de mestrado no item **6 RESULTADOS**, tem parte das discussões dos resultados obtidos estruturada em torno do artigo intitulado: Estruturas Reprodutivas de Gnetales da Formação Serra do Tucano (Cretáceo Inferior), Bacia do Tacutu, Roraima, submetido na Revista Brasileira de Paleontologia, conforme descrito no tópico **6.3**. E com base nos objetivos dessa pesquisa, essa dissertação encerra-se com as Considerações Finais, que apresenta de maneira sucinta os resultados e contribuições a partir dos dados obtidos no que tange o conhecimento acerca da paleoflora do Eocretáceo para o extremo Norte do país.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Realizar o estudo taxonômico baseado em morfologia de estruturas reprodutivas de vegetais da Formação Serra do Tucano, Cretáceo Inferior da Bacia do Tacutu, Estado de Roraima.

2.2 Objetivos Específicos:

- Descrever estruturas reprodutivas comparando-as com táxons fósseis já descritos na literatura;
- Avaliar o tamanho dos diásporos em relação às estratégias de dispersão;
- Fazer inferências paleoecológicas a partir dos registros estudados.

3 GEOLOGIA DA BACIA DO TACUTU

A Bacia do Tacutu, segundo Silva et al. (2003), é um aulacógeno formado pela abertura do Oceano Atlântico Central, sendo uma extensão sudoeste do *rift* Norte Atlântico que foi implantado em uma zona de reativação do Cinturão da Guiana Central (CGC). Geograficamente (Figura 1) está localizada na fronteira entre o Brasil (nordeste do estado de Roraima) e o distrito guianense de Rupununi (EIRAS; KINOSHITA, 1988, 1990; VAZ; FILHO; BUENO, 2007). A bacia é formada por sistemas de grábens, com direção NE-SW, possui 300 km de comprimento e 30 a 50 km de largura (EIRAS; KINOSHITA, 1988; 1990; EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994) (Figura 2).

Figura 1: Ilustração do mapa do Cráton Escudo das Guianas com o Gráben do Tacutu. (Fonte: Silva e Porsani, 2006).

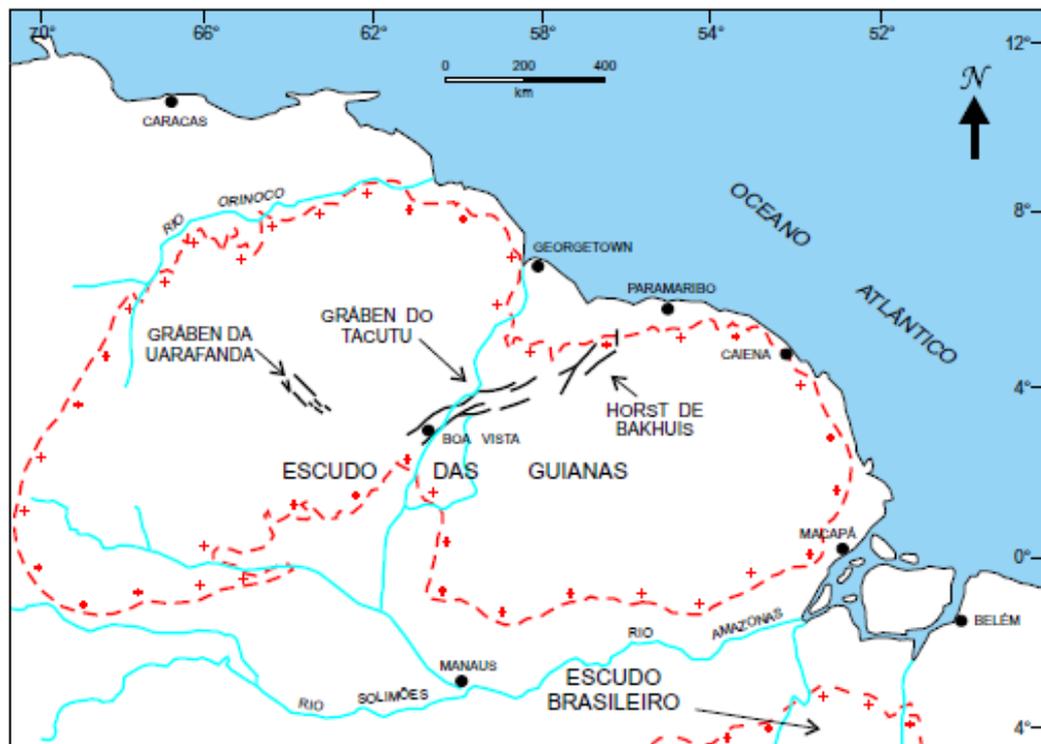
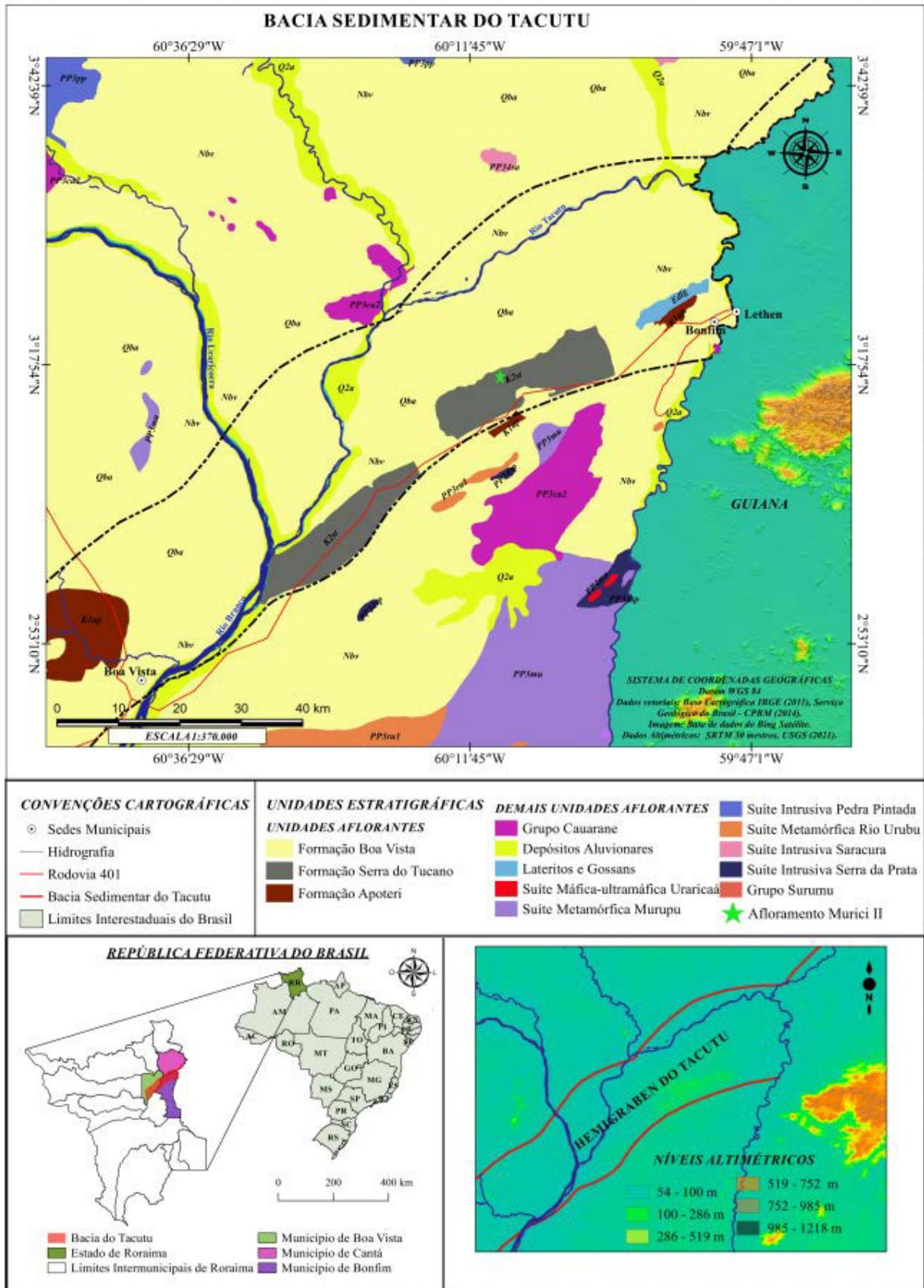


Figura 2: Mapa de localização e mapa geológico da Bacia do Tacutu. (Fonte: Oliva, 2022).



Em relação à origem da bacia, McConnell (1969) sugere que esteja relacionada com o sistema de *rifts* na atual região do Caribe. Estudos indicam que a bacia pode ser considerada um *rift* abortado, ligado ao processo de ruptura do Gondwana e sua formação corresponde à abertura do Atlântico Central (SZATMARI; 1983; VAZ; FILHO; BUENO, 2007; WANKLER, 2016). No Brasil, além do Tacutu, pode-se citar os aulacógenos Marajó e Recôncavo, bem como Benue, na África, como relacionados ao processo que originou o oceano Atlântico Central (SILVA et al., 2003).

Esta bacia, de acordo com Silva et al. (2003), tem preenchimento mesozoico. Seu arcabouço sedimentar é composto por rochas sedimentares e vulcano-sedimentares que ultrapassam localmente os 7.000 m de espessura (EIRAS; KINOSHITA, 1990), além de apresentar um intervalo temporal Neojurássico-Eocretáceo (MILANI et al., 2007), cuja sedimentação iniciou-se com uma sequência de rochas vulcânicas de idade jurássica representada pela Formação Apoteri (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994).

A sucessão tectono-sedimentar da bacia iniciada no Jurássico (EIRAS; KINOSHITA, 1988, 1990; EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994; SILVA; PORSANI, 2006; VAZ; FILHO; BUENO, 2007), resultou no modelo evolutivo que compreende seis sequências referentes as fases: *Pré-rifte*, *rifte ativo* e *passivo* e *Pós-rifte*, como podem ser observadas no Quadro 1.

Na literatura, poucos são os estudos paleontológicos existentes sobre a Bacia do Tacutu e a ausência de fósseis diagnósticos se torna um fator limitante para a definição de um esquema cronobiostratigráfico (EIRAS; KINOSHITA, 1988; SOUZA et al., 2009). No Brasil, e principalmente em Roraima, estudos referentes à bacia foram normalmente de caráter investigatório acerca do seu potencial petrolífero (FALCÃO, 2007). No âmbito da paleontologia, a Bacia do Tacutu, quando comparada às demais bacias cretáceas brasileiras, apresenta poucos fósseis continentais já documentados (SOUZA et al., 2009).

Quadro 1: Evolução tecno-sedimentar da Bacia do Tacutu. Elaborado a partir dos trabalhos de Eiras e Kinoshita (1988, 1990), Eiras, Kinoshita e Feijó (1994), Silva e Porsani (2006), Vaz, Filho e Bueno (2007). (Fonte: Autora).

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA BACIA DO TACUTU		
Tectônica e magmatismo		Sequências deposicionais
Pós-rifte	Eventos transcorrentes “colisões entre a placa continental da América do Sul e as placas de Nazca e do Caribe”.	Deposição da sedimentação clásticos neógenos da Formação Boa Vista e os depósitos recentes denominados de Formação Savanas do Norte na Guiana, após erosão do cráton no Plioceno.
Rifte	Rifte passivo – Diminuição gradativa do estiramento crustal, posterior assoreamento e formação do rifte	Clásticos alúvio-deltaico-lacustres das formações Tacutu e Tucano.
	Rifte ativo – Ocorre intenso estiramento da crosta	Rochas clásticas e evaporitos da Formação Pirara.
Pré-rifte		Basaltos jurássicos da Formação Apoteri e siltitos lacustres da Formação Manari.

A Bacia do Tacutu, de acordo com Vaz, Filho e Bueno (2007), possui sete formações litoestratigráficas, sendo elas: (1) Apoteri, (2) Manari, (3) Pirara; (4) Tacutu; (5) Serra do Tucano, (6) Boa Vista e (7) Areias Brancas (Figura 3). Dentre estas formações destacam-se as formações Serra do Tucano, de idade Mesozoica, e a Formação Boa Vista, de idade Cenozoica, que apresentam registro de microfósseis vegetais na porção brasileira da bacia, como pode ser observado na Tabela 1.

Figura 3: Seção esquemática da estratigráfica da Bacia do Tacutu. (Fonte: Santos, 2015. Retirado de Reis, Nunes e Pinheiro, 1994).

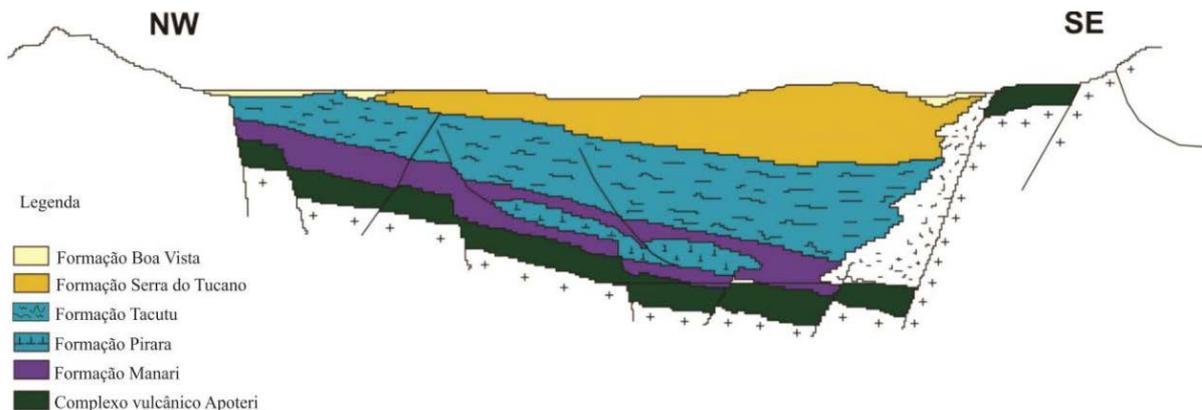


Tabela 1: Quadro síntese das unidades estratigráficas da Bacia do Tacutu, e os estudos realizados em cada unidade estratigráfica, que corroboram para compreensão da evolução da bacia. (Fonte: Cruz, 2019), modificado.

Formação	Litologia	Registro Fóssil	Ambiente	Idade	Referências
Areias Brancas	Campos de dunas e areias	Sem registro	Eólico	Holoceno	Latrubesse e Nelson (2001); Teeuw e Rhodes (2004)
Boa Vista	Arenitos, lateritos, argilitos e níveis conglomeráticos	Fragmento de lenhos, <i>Charcoal</i> , folhas e cutículas de angiospermas.	Flúvio-lacustre	Pleistoceno	Vaz, Wanderley Filho e Bueno (2007); Reis, Faria e Maia (2001); Santos (2015); Oliveira (2020); Oliva (2022)
Serra do Tucano	Arenitos, Siltitos, pelito e conglomeráticos	Ícnofósseis de moluscos bivalves, gastrópodes, insetos holometábolos, lenhos silificados, impressões foliares, caules, sementes e outras estruturas reprodutivas e <i>Charcoal</i> .	Fluvial	Eocretáceo	Reis, Nunes e Pinheiro (1994); Lopes, Souza e Holanda (2011); Abreu-loris (2015); Santos (2015), Santos et al. (2016); Wankler et al. (2017), Cruz (2019)
Tacutu	Folhelhos, siltitos e arenitos finos	Palinórfos, ostracodes de água doce, diatomácea, tocas, megasporos piritizados.	Lacustre raso	Eocretáceo	Crawford, Szelewski e Alvery (1985); Gibbis e Barron (1993)
Pirara	Folhelhos, siltitos, carbonatos e hialita lacustre	Palinórfos e diatomáceas	Leques deltaicos integrados à depósitos lacustres	Neojurássico	Eiras e Kinoshita (1988); Crawford, Szelewski e Alvery (1985); Castro et al. (2021)
Manari	Siltitos, folhelhos e localmente, calcissititos e dolomitos	Palinórfos	Lacustre	Neojurássico	Eiras, Kinoshita e Feijó (1994); Crawford, Szelewski e Alvery (1985)
Apoteri	Basalto intercalado com sedimentação clástica	Sem registro	Magnetismo fissural associado a lagos rasos	Eojurássico-Mesojurássico	Dietz e Holden (1970); Eiras e Kinoshita (1990); Reis et al. (2006)
Embasamento	Grupo Surumuto			Pré-Cambriano (1960-1980 ma)	Bispo-Santos et al. (2014)

3.1 Formação Apoteri

A Formação Apoteri é a unidade basal da Bacia do Tacutu, aflora na porção guianense e brasileira. “No Brasil, esta unidade ocorre em superfície, na Serra de Nova Olinda (ao norte de Boa Vista), no Morro Redondo (Margem da BR-174) e nos leitos do Rio Arraia e Tacutu (próximos a Bonfim)” (EIRAS; KINOSHITA, 1990, p. 203). A utilização da denominação “Formação Apoteri”, foi um termo inicialmente definido por McConnell et al. (1969).

Dados litológicos e geocronológicos para esta unidade foram obtidos em 1970, através de um estudo mais detalhado realizado por Berrangé e Dearley (1975) que descreveram a formação como uma unidade composta por basalto toleítico cinza escuro a esverdeado, muito fino a afanítico, amigdaloidal e com fratura conchoidal. Além destas descrições mencionadas, foram observados em alguns afloramentos intercalações de basalto e rochas sedimentares (siltitos, arenitos e conglomerados), característicos de magnetismo pulsátil intercalado ao processo de sedimentação clástica em ambientes de lagos rasos (VAZ; FILHO; BUENO, 2007).

Em Nova Olinda e Morro Redondo os fluxos basálticos apresentam dois grupos químicos distintos, e todas as análises das rochas estudadas indicam que elas apresentam características químicas consistentes semelhantes a outros fluxos toleíticos da grande Província Magmática do Atlântico Central (CAMP), principalmente do leste dos EUA (PINTO et al., 2017).

A partir de métodos geocronológicos, K-Ar Berrangé e Dearley (1975) inferiram idades em 178 e 114 Ma. Posteriormente, Reis et al. (2006), utilizando-se do método Ar/Ar, dataram um andesito de $149,5 \pm 0,3$ Ma.

3.2 Formação Manari

A Formação Manari foi um termo informalmente usado por Crawford, Szelewski e Alvey (1985), para se referir a porção guianense da Bacia e designar siltito castanho escuro, estratificado, bem compactado e distinto dos siltitos vermelhos da Formação Tacutu. No Brasil, o mesmo termo foi utilizado por Eiras e Kinoshita (1988).

Esta unidade distribui-se de forma uniforme por quase toda extensão do gráben e assenta-se discordantemente sobre os derrames basálticos da Formação Apoteri

(EIRAS; KINOSHITA, 1990), e a sua espessura está estimada em 300 m, a partir de dados sísmicos. Interpreta-se para este pacote um ambiente deposicional lacustre (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994).

A Formação Manari tem uma idade jurássica tardia inferida com base nos palinomorfos extraídos a partir de perfurações de poços (HAMMEN; BURGER, 1966; CRAWFORD; SZELEWSKI; ALVEY, 1985). Alguns estudos indicavam que a Formação Manari não era aflorante em superfície, porém, Eiras e Kinoshita (1990) concluíram que a unidade aflora na porção brasileira do rio Tacutu, próximo ao município de Bonfim/RR, estando preservada em superfície em degraus de falhas escalonadas, na borda sudoeste, e exposta, por cerca de 20 Km, a montante de Lethem, ao longo do rio Tacutu.

3.3 Formação Pirara

A Formação Pirara, assim como a Formação Manari, foi denominada informalmente por Crawford, Szelewski e Alvey (1985) para designar rochas clástico-evaporíticas que ocorrem discordantemente sobre a Formação Manari e podem chegar a 950 m de espessura (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994).

A Formação Pirara, por não ser aflorante, possui uma escassez de estudos que a caracterizam. No entanto, Castro et al. (2021), a partir de investigações realizadas em testemunhos desta unidade, forneceram informações mais robustas sobre dados litológicos e sedimentológicos, que possibilitaram uma melhor compreensão da Formação Pirara.

Esta unidade consiste em halita hialina acinzentada e acastanhada, grosseira, argilosa, e folhelho acinzentado a acastanhado, margoso, piritoso, com frequentes pseudomorfos de gipsita substituídos por andrita (COSTA; LIMA, 1981 *apud* EIRAS; KINOSHITA, 1990, EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994). A deposição da Formação Pirara, de acordo com Crawford, Szelewski e Alvey (1985), se deu sob condições de clima árido, sugerido a partir de evidências litológicas e micropaleontológicas. Contudo, a respeito do ambiente sedimentar da formação, recentemente novas considerações puderam ser realizadas a partir do trabalho de Castro et al. (2021), no qual inferiu-se, a partir da presença de pseudomorfos de evaporitos, que o ambiente

deposicional tem origem lacustre com características hipersalinas típicas de *playa lake*.

Na Bacia do Tacutu, os evaporitos da Formação Pirara são contemporâneos aos sais depositados no mar do Caribe e no Atlântico Central, o que sugere que o gráben poderia estar temporariamente em conexão ao mar jurássico situado a nordeste (VAZ; FILHO; BUENO, 2007). Ao considerar o ambiente sedimentar desta unidade, o rifteamento da Bacia do Tacutu ocorreu em baixa latitude, sob condições climáticas quentes e secas que permitiram a formação desses lagos de *playa lake* (CASTRO et al., 2021).

Na Formação Pirara, na porção guianense, encontra-se uma associação de palinófitos predominantemente composta por *Classopollis ssp.* e *Protoconiferus funurius*, além de algumas diatomáceas (CRAWFORD; SZELEWSKI; ALVEY, 1985). Castro et al. (2021), no estudo das associações palinológicas dos testemunhos rochosos recentes provenientes da porção brasileira da unidade, observou o predomínio de grãos de pólen relacionados às gimnospermas, tendo uma representatividade significativa do gênero *Classopollis*, em conjunto as espécies *Exesipollentia tumulus*, *Spheripollenites scabratus*, *Cycadopites spp.* e *Callialasporites spp.* Todas essas espécies contribuem para a indicação destes estratos à idade jurássica, estando de acordo à idade previamente atribuída aos depósitos descritos por Crawford, Szelewski e Alvey (1985).

3.4 Formação Tacutu

A Formação Tacutu ocorre em superfície e aflora nos leitos de alguns rios do Brasil e da Guiana. No Brasil, ocorre no leito do rio Arraia, do Igarapé do Mel e do Garrafa, ambos próximos à desembocadura do rio Tacutu. Na porção Guianense, ocorre no leito dos rios Rupunini, Rewa e Essequibo (EIRAS; KINOSHITA, 1990). Esta unidade assenta-se discordantemente sobre a Formação Pirara e interdigita-se lateralmente com os leques da borda sudoeste (EIRAS; KINOSHITA, 1990, EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994).

Os dados sísmicos disponíveis sugerem que a Formação Tacutu se distribui ao longo de toda a área sedimentar do gráben e sua espessura máxima pode atingir cerca de 2.700m (EIRAS; KINOSHITA, 1990, EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994). De

acordo com Silva et al. (2003), a Formação Tacutu é composta predominantemente por siltitos lacustres e arenitos.

Quanto aos litotipos, Vaz, Filho e Bueno (p. 292, 2007) mencionam que suas composições “consistem basicamente de siltitos castanhos-escuros a vermelhos, calcíferos, argilosos, com laminação plano paralela ou de baixo ângulo. Subordinadamente ocorrem arenitos, carbonatos e folhelhos”. O ambiente deposicional é caracterizado como lacustre e a partir estudos palinológicos realizados em amostras de poços rasos foi possível inferir a idade desta formação ao intervalo Neojurássico-Eocretáceo (HAMMEN; BURGER, 1966).

3.5 Formação Serra do Tucano

A Formação Serra do Tucano, unidade de estudo desta pesquisa, foi denominada por Reis, Nunes e Pinheiro (1994). Esta formação é aflorante somente na porção brasileira da bacia. Em superfície, encontra-se exposta na forma de morros suaves que atingem até 200 m de altura, que compõem a “Serra do Tucano”. Esta feição fisiográfica observada é o oposto do que se encontra predominantemente no interior do gráben, composto por extensões planas (EIRAS; KINOSHITA, 1990). Segundo Vaz, Filho e Bueno (2007), a Formação Serra do Tucano é caracterizada por apresentar, na base da serra, arenitos castanhos, médio a grossos, com seixos gradando para o topo a caulínicos e friáveis, com estratificação cruzada e raras intercalações de siltitos.

Em síntese, de acordo com Eiras e Kinoshita (1990) e Eiras, Kinoshita e Feijó (1994), a litologia desta unidade caracteriza-se por uma sequência sedimentar composta essencialmente por arenitos, no qual a partir de interpretações sísmicas estima-se que, em subsuperfície, esta seção sedimentar pode chegar a 2.200 m de espessura. Situada na porção estratigráfica superior da bacia, a Formação Serra do Tucano recobre um pacote de siltitos oxidados (*redbeds*) da Formação Tacutu (SOUZA; SAMPAIO, 2007) e encontra-se recoberta, de norte a sul, pela extensa sedimentação cenozoica da Formação Boa Vista (REIS; NUNES; PINHEIRO, 1994).

As condições climáticas atuantes durante o processo de deposição desta unidade foram interpretadas por Reis, Nunes e Pinheiro (1994) como áridas, ocorridas

em ambiente francamente continental, relacionado a um sistema fluvial meandrante, agregado a depósitos de planície de inundação em águas rasas e esporádicas.

A idade da Formação Serra do Tucano é inferida a partir de sua posição estratigráfica como pertencente ao Eocretáceo (Barremiano-Albiano). A escassez de determinações bioestratigráficas que possibilitem inferir mais precisamente sua idade torna-se um fator limitante, sendo, desta forma, possível apenas datar relativamente com base em dados estratigráficos (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994; VAZ; FILHO; BUENO, 2007). No entanto, recentemente, Cruz (2019) sugere uma abrangência menor da idade, a partir dos resultados obtidos em sua pesquisa com os fósseis vegetais dessa região, no qual identificou o gênero *Cupressinocladus* que apresenta o limite de distribuição até o Aptiano. Sendo assim, com base no registro fossilífero, a idade da Formação Tucano corresponderia ao limite Barremiano-Aptiano.

Na última década, a descoberta de afloramentos fossilíferos nesta formação tem impulsionado os estudos paleontológicos na bacia. Dentre estes, estão estudos conduzidos por Souza e Sampaio (2007) e Abreu-loris (2015), em que os autores apresentaram registros de icnofósseis de invertebrados; Santos (2015), que deu a conhecer a presença de lenhos silificados; Cruz (2019) que descreveu fragmentos de macrofósseis vegetais tais como: frondes de samambaia dos gêneros *Cladophlebis* e *Sphenopteris*; impressões e compressões de folhas do gênero *Desmiophyllum*; impressões de pinas destacadas da divisão Cycadophyta; impressões de folhas do gênero *Brachyphyllum* e *Cupressinocladus*. Além disso, Santos et al. (2016) registraram a ocorrência de *Charcoal* para esta unidade.

3.6 Formação Boa Vista

As rochas sedimentares Neógenas da Bacia do Tacutu são divididas em duas unidades compostas pelas formações Boa Vista (intervalo inferior) e Areias Brancas (intervalo superior) (REIS; FARIA; MAIA, 2001). A Formação Boa Vista, teve sua deposição em bacia aparentemente rasa, ovalada e alongada na direção NE-SW (REIS; FARIA; MAIA, 2001) e que provavelmente, segundo Reis e Fraga (1998), era uma bacia controlada predominantemente por mecanismos de subsidência termal. As principais litologias presentes na constituição dos depósitos são arenitos

(predominantes), lateritos, argilitos e níveis conglomeráticos (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994; REIS; FARIA; MAIA, 2001; VAZ; FILHO; BUENO, 2007).

Em função da conformação de seu embasamento, as profundidades desta unidade estratigráfica são variáveis, na ordem de 15 a 120 m, onde dados sísmicos indicam que as maiores espessuras são encontradas nos blocos rebaixados das grandes falhas das bordas (EIRAS; KINOSHITA; FEIJÓ, 1994; REIS; FARIA; MAIA, 2001). A sedimentação ocorrida na Formação Boa Vista, segundo Reis, Faria e Maia (2001), é caracterizada por duas distintas sucessões sedimentares, separadas supostamente por uma discordância angular ao longo da estruturação da borda norte do gráben.

Menezes et al. (2020) discutem o modelo evolutivo da sedimentação das duas sucessões sedimentares que compõem a Formação Boa Vista. Estes autores sugerem que a sedimentação ocorreu em duas etapas distintas, sendo denominadas de “Sucessão Inferior” e “Sucessão Superior”, apresentando entre as duas sucessões um contato discordante.

A Sucessão Inferior foi estabelecida como resultado da última fase tectonicamente ativa do gráben Tacutu, que confere a atividade transpressiva que afetou a Bacia do Tacutu e, conseqüentemente, modificou sua natureza tectônica. Por sua vez, a Sucessão Superior se iniciou após o término da fase transpressiva, tendo se estabelecido por meio de uma planície aluvial de baixo gradiente, formada a partir do *front* sul das montanhas Marari-Memória (MENEZES, et al., 2020).

A idade para os depósitos sedimentares da Formação Boa Vista foram obtidas a partir do método LOE (Luminescência opticamente estimulada), que contribuiu, do ponto de vista estratigráfico, com dados coerentes e de confiabilidade para o registro cronológico, indicando a sedimentação correspondente ao intervalo Pleistoceno Superior – Holoceno Superior (OLIVEIRA, 2020). Concomitante ao trabalho de Oliveira (2020), Stern (2019) fez uma subdivisão informal dos depósitos da Formação Boa Vista, no qual as camadas lateríticas foram denominadas de “Inferior” e as camadas silto-arenosas de “Superior”. Dessa forma, atribuiu-se uma idade plio-pleistocênica para Formação Boa Vista, na sua porção “Inferior”, a partir das lateritas e considerando suas características e posicionamento topográfico; para a porção

“Superior”, com base nas análises LOE, os depósitos correspondentes foram situados no intervalo Pleistoceno-Holoceno tardio.

3.7 Formação Areias Brancas

A Formação mais recente da bacia é conhecida como “Areias Brancas” e é formada por campos de dunas e de areias, expostos em várias porções do domínio da sedimentação Boa Vista (LABRUBESSE; NELSON, 2001; REIS; FARIA; MAIA, 2001). Segundo Labrubesse e Nelson (2001) e Reis, Faria e Maia (2001), esta unidade é representada por sedimentos depositados em ambiente eólico durante a última glaciação no Pleistoceno Superior-Holoceno, sendo que estes constituem depósitos identificados no gráben Tacutu que apresentam em sua composição areias finas de coloração esbranquiçada (FIGUEIREDO; WANKLER, 2011). Por conseguinte, os sedimentos desta unidade estratigráfica seriam oriundos do retrabalhamento da Formação Boa Vista, provenientes da atividade eólica atuante naquela época (REIS; FARIA; MAIA, 2001, VAZ; FILHO; BUENO, 2007). Ao considerar que os estudos na Formação Areias Brancas ainda são incipientes, percebe-se a importância de novos estudos mais aprofundados que busquem evidências sedimentológicas, a fim de revogar ou corroborar com as hipóteses do ambiente de sedimentação já descrita na literatura.

Diante do exposto, vale a pena destacar o estudo inicial da análise sedimentológica da Formação Areias Brancas realizado por Figueiredo e Wankler (2011), no qual a partir dos aspectos texturais da formação evidenciaram que o ambiente de sedimentação é compatível com as descrições encontradas nas literaturas (depósitos eólicos), e o grau de arredondamento dos sedimentos reforça a hipótese dos sedimentos retrabalhados sejam provenientes da Formação Boa Vista.

A respeito da datação dessa unidade, Teeuw e Rhods (2004) examinaram as paleodunas na margem leste da savana Rio Branco-Rupununi, nordeste da Amazônia e, por meio da datação LOE, sugeriram que o início da atividade eólica ocorreu entre 17.000 e 15.000 anos atrás, logo após o último máximo glacial (LGM), durante um período de provável aumento da aridez e/ou sazonalidade que ocorreu no Pleistoceno Superior ao Holoceno. As paleodunas amazônicas, até certo período, não haviam sido datadas, apenas descritas por diversos autores (FILHO; TATUMI; YEE, 2003). Em

2003, Filho, Tatumi e Yee, identificaram diversas fases de construção dessas paleodunas ocorridas entre 32,6 mil e 7,8 mil, obtidas por datações pelo método da termoluminescência a partir de isótopos radioativos U238, Th212 e K40.

Zular et al. (2019), por sua vez, sugerem que as atividades das dunas eólicas começaram por volta de 23.000 anos. Esta idade foi estimada usando o método LOE e idades de radiocarbono juntamente com tamanho de grão, suscetibilidade magnética e análises de refletância (ZULAR, et al., 2019).

4 REGISTROS PALEOBOTÂNICOS DO CRETÁCEO BRASILEIRO

Durante o Cretáceo, com a ruptura do Gondwana, desencadeou-se, no Brasil, o desenvolvimento de bacias do tipo *rift* (WARREN et al., 2017). Dentre as bacias brasileiras que apresentam em seu preenchimento por sedimentos correspondentes ao período Cretáceo, têm-se as bacias: do Parnaíba, do Paraná, de Pernambuco, de Sergipe-Alagoas, do Amazonas, do Acre, do Solimões, Pará-Maranhão, Potiguar, do Marajó, do Recôncavo, Tucano Norte-Jatobá e do Tacutu (MILANI, et al., 2007).

Nestas bacias, excluindo-se os registros de palinórfos referentes ao Cretáceo Inferior, poucos são os estudos que apresentam a ocorrência de macrofósseis vegetais nestas bacias. O Quadro 2 traz uma síntese dos registros encontrados na literatura que remete à macroflora cretácea no Brasil.

Quadro 2: Quadro síntese dos principais registros paleobotânicos das bacias cretácicas brasileiras. (Fonte: Autora).

BACIA SEDIMENTAR	CRETÁCEO SUPERIOR/ INFERIOR	UNIDADE ESTATIGRÁFICA	TÁXON	PARTE PRESERVADA	REFERÊNCIAS
Bacia do Amazonas	Cretáceo Inferior	Formação Alter do Chão	Araucariaceae	Âmbar	Pereira, Carvalho e Azevedo, 2006
Bacia do Araripe	Cretáceo Inferior	Formação Crato	<i>Santaniella lobata</i>	Eixo vegetativo frondoso com fruto terminal	Gobo et al., 2022
			<i>Santaniella acuta</i>	Eixo vegetativo frondoso com um fruto	
			<i>Brachyphyllum sattlerae</i>	Ramos de coníferas com folhas dispostas	Batista et al., 2020
			<i>Welwitschiophyllum brasiliense</i>	Folhas isoladas	Roberts et al., 2020
			<i>Araripetrobus resinusus</i>	Cones	Seyfullah et al., 2020
			<i>Pseudofrenelopsis</i>	Caules	Batista et al., 2017
			<i>Brachyphyllum obesum</i>	Folhas	
			<i>Ruffordia goeppertii</i>	Samambaia	Mohr et al., 2015

Bacia do Araripe	Cretáceo Inferior	Formação Crato	<i>Pseudofrenelopsis capillata</i>	Brotos articulados	Sucerquia, Bernardes-de-Oliveira e Mohr, 2015
			<i>Hexagyne philippiana</i>	Toda Planta	Coiffard et al., 2014
			<i>Itajuba yansanae</i>	Estrutura reprodutiva	Ricardi-Branco et al., 2013
			<i>Cariria orbiculiconiformis</i>	Toda Planta	Kunzmann et al., 2011
			<i>Cearania heterophylla</i>	Estrutura reprodutiva	Kunzmann, Mohr e Bernardes-de-Oliveira, 2009
			<i>Pluricarpellatia peltata</i>	Planta herbácea	Mohr, Bernardes-de-Oliveira e Taylor, 2008
			<i>Ephedra paleoamericana</i>	Estrutura reprodutiva	Kerkhoff e Dutra, 2007
			<i>Novaolindia dubia</i>	Planta com brotos estéreis e férteis	Kunzmann, Mohr e Bernardes-de-Oliveira, 2007
			Araucariaceae	Âmbar	Pereira, Carvalho, Azevedo, 2006
			Welwitschiaceae	Plântula	Dilcher et al., 2005
			<i>Araucaria, Araucariostrobus</i>	Cones e escamas cônicas isoladas	Kunzmann, Mohr e Bernardes-de-Oliveira, 2004
			<i>Brachyphyllum obesum</i>	Brotos estéreis	
			<i>Lindleycladus</i>	Brotos de folhagem	
Bacia de Bauru	Cretáceo Superior	Formação São Carlos	<i>Charcoal</i>	Lenhos de angiospermas	Oliveira et al., 2019
Bacia do Paraná	Cretáceo Inferior	Formação Botucatu	Coníferas	Lenhos	Pires et al., 2011
			<i>Drewria potomacensis;</i> <i>Cupressinocladus,</i> <i>Brachyphyllum</i>	Ramos vegetativos	Lindoso et al., 2018
			Spermatophyta incertae sedis,		

Bacia do Parnaíba	Cretáceo Inferior	Formação Codó	<i>Pluricarpellatia peltata</i> , <i>Araripia florifera</i>	Folhas	Duarte e Santos, 1993
			<i>Nymphaeites choffatii</i>	Folhas e raízes	
Bacia do Recôncavo	Cretáceo Inferior	Formação Maracangalha	Araucariaceae	Âmbar	Pereira, Carvalho e Azevedo, 2006
Bacia de São Luís	Cretáceo Superior	Formação Alcântara	Conífera	Lenhos	Araújo et al., 2011
Bacia do Tacutu	Cretáceo Inferior	Formação Serra do Tucano	<i>Cladophlebis</i> ; <i>Sphenopteris</i>	Frondes de Samambaia	Cruz, 2019
			<i>Desmiophyllum gracile</i>	Impressões de folhas lanceoladas	
			<i>Brachyphyllum</i> ; <i>Cupressinocladus</i>	Ramos foliares escamiformes	
			Divisão Cycadophyta	Pinas destacadas	
	Cretáceo	Não definida	Ordem? Coniferales	Lenho	Santos, 2015
			<i>Brachyoxylon</i>	Lenho	Santos, 2015

Observa-se pelo Quadro 2 que no Brasil, dentre as bacias cretáceas com registro fóssilífero, o registro de macroflora mais representativo, encontra-se na Bacia do Araripe. De acordo com Bernardes-de-Oliveira et al. (2002), esta bacia apresenta um dos níveis litoestratigráficos do Eocretáceo com registros paleontológicos mais importantes do país e do mundo. Dentre as unidades litológicas que compõem a Bacia do Araripe, a Formação Crato (Grupo Santana) apresenta um registro fóssilífero extremamente significativo, abundante e diversificado de fauna e flora (LIMA; SARAIVA; SAYÃO, 2012; FAMBRINI, et al., 2020).

A Formação Crato dentro do contexto de paleofloras eocretáceas no Brasil, tem atualmente uma diversidade distinta de macrofósseis vegetais, sendo dominada por coníferas, além de gnetalianas e vegetais de afinidades desconhecidas, incluindo angiospermas e outros fósseis menos abundantes de licófitas, esfenófitas e fetos (BERNARDES-DE-OLIVEIRA et al., 2002; KUNZMANN; MOHR; BERNARDES-DE-

OLIVEIRA, 2004, 2009; DILCHER et al., 2005; MOHR; BERNARDES-DE-OLIVEIRA; LOVERIDGE, 2007, LIMA et al. 2012).

A Bacia do Araripe esteve situada numa região quente, árida – evaporítica – da zona tropical equatorial (BERNARDES-DE-OLIVEIRA et al., 2014). Dados palinológicos indicam que as condições climáticas áridas e semiáridas para a bacia, o que é concomitante com outras floras e associações palinológicas assinaladas para o Aptiano-Albiano do nordeste do Gondwana (SUCERQUIA, 2006).

A paleoflora do Crato estava situada na Província Florística Equatorial Árida (SUCERQUIA, 2006), apresentando plantas com características de ambientes xeromórficos (BERNARDES-DE-OLIVEIRA et al., 2014). Essas plantas apresentam características adaptativas morfoanatômicas compatíveis as de ambientes com regime climático semiárido a árido, conforme preconizado por modelos paleoclimáticos para a região durante o Cretáceo (BERNARDES-DE-OLIVEIRA et al., 2014). Neste período, as gimnospermas constituíram o grupo mais abundante e diversificado com uma representatividade significativa na região de várias Coníferales, Bennettitales e Gnetales (BERNARDES-DE-OLIVEIRA et al., 2014; MOHR; BERNARDES-DE-OLIVEIRA; LOVERIDGE, 2007, MOHR et al., 2012).

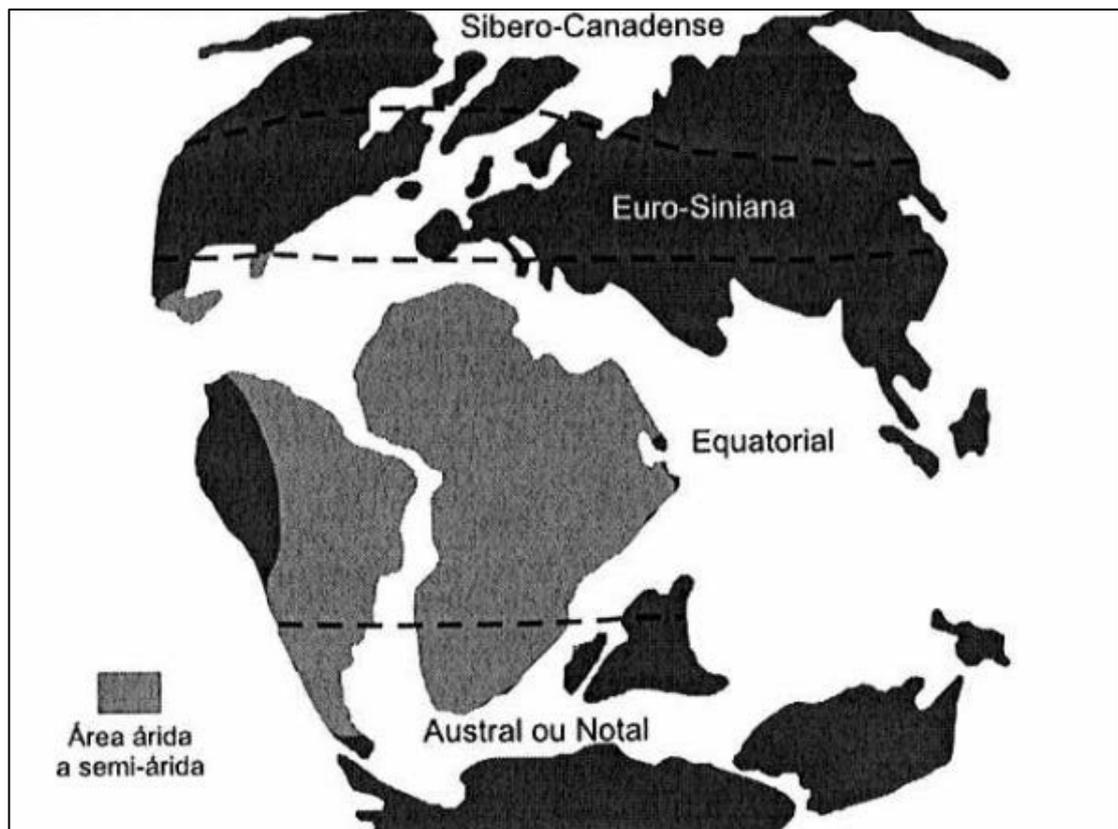
Apesar do registro fóssil revelar a predominância de plantas com caracteres adaptativos a condições áridas e semiáridas, de acordo com Batista (2019), a partir da presença conjunta de fungos, briófitas e anuros, sugere-se que localmente deveria existir umidade suficiente para manter a densa vegetação contida no entorno do paleolago da Formação Crato que possibilitasse a sustentação da densa vegetação apresentada na região. Assim como a Bacia do Araripe, a Bacia do Parnaíba constitui uma das sequências sedimentares mais conhecida do Cretáceo do Nordeste brasileiro, com floras do Eocretáceo provenientes da Formação Codó (Aptiano tardio – ?Albiano), tais como, *Drewria potomacensis*; *Cupressinocladus*, *Brachyphyllum*, *Spermatophyta incertae sedis*, *Pluricarpellatia peltata*, *Araripia florífera*, descritos por Lindoso et al. (2018), e *Nymphaeites choffatii*, por Duarte e Santos (1993).

A Formação Codó é composta principalmente por formas relacionadas a Gnetales, coníferas e angiospermas. O paleoclima da região apresentava variações climáticas entre condições áridas e úmidas, inferidas a partir de palinómorfs, que

caracterizam os mesmos níveis superiores que contêm a macroflora (LINDOSO et al., 2018).

Numa contextualização mais ampla para o Eocretáceo em geral, de acordo com Sucerquia (2013), vale ressaltar que devido a climas mais homogêneos das massas continentais entre as porções equatoriais sul-americana e africana, estas apresentavam suas floras semelhantes. A Região Equatorial, como observado na Figura 4, abrangia quase todo o continente sul-americano (com exceção da Patagônia e sul do Chile), quase toda África (exceto África do Sul), e o Sudoeste Asiático, com poucas áreas emersas (SUCERQUIA, 2013).

Figura 4: Zoneamento das províncias paleoflorísticas do Eocretáceo (Fonte: Sucerquia, 2013, segundo Vakhrameev, 1991).



Desse modo, das paleofloras sul-americanas mais importantes saindo do que hoje delimita-se como território brasileiro e que podem conter flora que sirva de comparação ao que é encontrado na Bacia do Tacutu, tem-se as floras estudadas na Argentina, provenientes da Formação La Cantera (Cretáceo Inferior), Bacia de San Luis, que apresenta abundância em Gnetales (grãos de pólen, estruturas reprodutivas e vegetativas atribuídas a *Ephedra*), no qual foram descritos uma nova espécie de

Ephedra (PUEBLA et al., 2017), nova espécie *Carpolithus volantus* e descrição de outros espécimes atribuídos a *Carpolithus spp.* e *Ephedra canterata* (GÓMEZ et al., 2020).

Na Colômbia, em estudos paleobotânicos em estratos também do Cretáceo Inferior, tem-se a descrição sistemática realizada por Van Waveren et al. (2002) de plantas pertencentes às Pteridophyta, Cycadophyta, Coniferophyta e *incertae sedis* (referida a angiospermas) e descrição de duas novas espécies de Coniferophyta: *Cupressinocladus hoedemaekeri* e *Brachyphyllum winklerprinsii*. Além disso, foram assinalados os gêneros *Frenelopsis* e *Pseudofrenelopsis*, da família Cheirolepidiaceae, por Sánchez, Cruz e Gonzáles (2007), e no trabalho mais recente realizado por Monje-Dussán et al. (2016) foram registrados espécimes de filicopsidas e coníferas, classificados na família Marsileaceae e nos gêneros *Cladophlebis*, *Brachyphyllum* e *Araucarites*.

No Equador, Shoemaker (1982) realizou o estudo com folhas fósseis de gimnospermas do Cretáceo Inferior que são típicas de depósitos desse período em todo mundo. Os espécimes estudados por Shoemaker (1982) incluem membros dos gêneros: *Ctenis*, *Ctenopteris*, *Dioonites*, *Nageiopsis*, *Nilssonia*, *Otozamites*, *Pagiophyllum*, *Podozamites* e *Zamites*, além da atribuição de dois espécimes a *Phyllites* e a descrição de uma nova espécie, i.e. *Carpites ecuatoriensis*. O estudo mais recente para o Equador é o de Cadena et al. (2018) que registraram a ocorrência para o final do Cretáceo de cutículas e pequenas sementes pertencentes potencialmente à Ordem Gnetales, além de âmbar.

O Peru apresenta flora fóssil do Cretáceo Inferior dominada por *Brachyphyllum*, *Cupressinocladus*, *Podozamites*, folhas atribuídas à *Araucarites* e/ou Araucariaceae. Também foram registrados outros gêneros de folhas fósseis, tais como: *Weichselia*, *Sagenopteris*, *Sphenopteris* e *Pachypteris* (MARTÍNEZ et al., 2020).

Diante do exposto, evidencia-se que os registros paleobotânicos de depósitos sedimentares correlatos à Formação Serra do Tucano têm fundamental importância para os estudos taxonômicos da paleoflora da Bacia do Tacutu, visto que oferecem subsídios para análises comparativas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Marco Geológico

A área de estudo (Figura 2) localiza-se no município de Bonfim, RR, e seu acesso é feito da capital Boa Vista, pela BR-401, prosseguindo até o Km 82. Neste quilômetro, a partir da margem esquerda da rodovia, encontra-se a vicinal Tucano Bom 170 que dá acesso ao afloramento Murici II, o qual ocorre em forma de corte de estrada, em meio a uma vegetação do tipo savana (CRUZ, 2019).

A descrição das características sedimentológicas para elaboração de um perfil estratigráfico da área de estudo foi realizada por Cruz (2019), a partir da composição textural (tamanho e morfologia dos grãos, grau de seleção, maturidade textural, cor da rocha), além da composição mineralógica, estruturas sedimentares e evidências de alterações das rochas. Desta forma, conforme pode ser observado na Figura 5, aquela autora estabeleceu o seguinte perfil estratigráfico:

O afloramento Murici II apresenta um total de 4,5 m de espessura e é constituído por oito sequências litológicas (Figura 5). A base possui 1,30 m de espessura, composta de arenito de fino a médio, com grãos angulosos a subangulosos, de baixa esfericidade e pobremente selecionados, coloração amarela clara e porções vermelhas esbranquiçadas, as quais são inferidas como produto do intemperismo. Seu contato superior é gradual com granodecrescência para o topo (CRUZ, 2019).

É seguida por um arenito muito fino, centimétrico, de coloração marrom acobreada. Esta camada tem aspecto tabular (Figura 5). De acordo com Wankler, Chaves e Menezes (2019), esta litofácies apresenta marcas de onda de pequeno porte e laminações plano paralelas, e contém, por vezes, fósseis fragmentados de folhas, caules, sementes e outras estruturas reprodutivas (CRUZ, 2019), formando níveis milimétricos de acumulação. Wankler, Chaves e Menezes (2019) interpretam a deposição desta camada sob regime de fluxo inferior, em sistema de baixa energia.

Sobreposta à camada fossilífera, segue uma sequência de arenitos de matriz de areia muito fina e siltosa à areia média, constituída por grãos de quartzo e feldspato alcalinos alterados, angulosos a subangulosos e seleção moderada, e coloração

marrom amarelada (Figura 5). Esta camada possui forma tabular e laminações plano-paralelas (Figura 5), além de indicativo de fraturas ocasionadas pelo soerguimento do pacote sedimentar que resultou no padrão em blocos da camada e contribuiu no processo de alteração da rocha em argilominerais. Seu contato superior é gradual com granocrescência para o topo (CRUZ, 2019). O topo desta sequência apresenta uma camada inconsolidada de cerca de 1,0 metro de espessura de coloração vermelha esbranquiçada apresentando intenso processo de alteração intempérica. Esta camada tem aspecto textural semelhante a base (Figura 5). O contato superior é abrupto.

Sobrepostos aos arenitos, encontra-se uma sequência pelítica, com camadas de siltitos e arenitos finos de coloração vermelha escura (Figura 5), apresentando estrutura de laminações plano-paralelas deformadas pela sobrecarga da camada subjacente com contato superior erosivo. O arenito fino contém intraclastos da camada subjacente e coloração cinza (Figura 5). Apresenta-se composta predominantemente por grãos de quartzo, angulosos a subangulosos, com seleção moderada, estrutura maciça e contato superior erosivo (CRUZ, 2019).

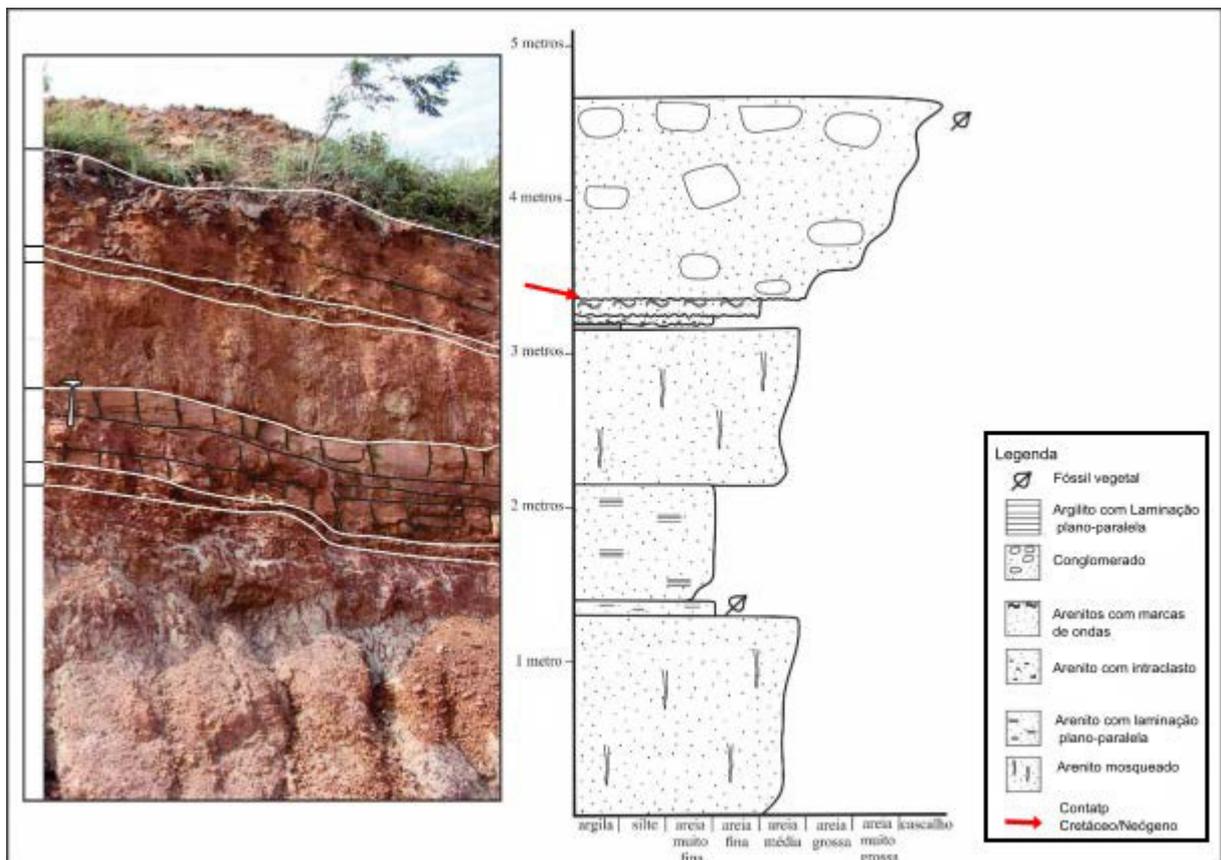
O topo desta sequência é composto de arenito fino, com grãos de quartzo, feldspato alcalino alterado e goethita, apresentam aspectos angulosos a subangulosos, e moderadamente selecionados. Esta camada possui coloração amarela clara e apresenta laminação de marcas onduladas (Figura 5). Possui contato superior erosivo. Por fim, no topo do afloramento, apresenta um nível conglomerático, inconsolidado, com gradação inversa e fragmentos de rochas retrabalhadas, inclusive do nível fossilífero (Figura 5).

O ambiente sedimentar da Formação Serra do Tucano foi interpretado por Reis, Nunes e Pinheiro (1994) como francamente continental, relacionado a um sistema fluvial meandrante, agregado a depósitos de planície de inundação gerados por águas rasas e eventos esporádicos, que foi depositado sob condições climáticas áridas. Para Wankler, Chaves e Menezes (2019), os depósitos do Afloramento Murici são correspondentes a um sistema fluvial formado por um canal principal composto por barras acrecionárias, associadas a formas de leito arenosas, sendo este canal interligado à depósitos de *overbank* que ocorrem em contextos próximos e distais ao canal principal. Dessa forma, as informações obtidas pelos autores a partir das

características faciológicas e arquiteturas neste afloramento mostram ser plausíveis ao que sugere Reis, Nunes e Pinheiro (1994) para os depósitos da Formação Serra do Tucano, os teriam se formado em um sistema fluvial meandrante arenoso.

Os fósseis aqui estudados são provenientes do nível fossilífero do Perfil de Cruz (2019), o qual está inserido no contexto de uma planície de inundação que possibilitou a formação de laminações plano-paralelas que contém vários níveis fossilíferos. A partir da macroflora presente foi possível atribuir condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de uma vegetação ripariana, sendo os espécimes classificados em plantas do tipo mesófilas e xerófitas (CRUZ, 2019).

Figura 5: Afloramento Murici II. Perfil mostrando as disposições das camadas e a ocorrência de fósseis nelas. Fonte: Cruz (2019), modificado.



5.2 Material

As amostras estudadas correspondem a espécimes preservados na forma de compressões/impressões de sementes e outras estruturas reprodutivas contidas em arenitos finos, com laminação plano paralela, provenientes do afloramento Murici II (Perfil, Figura 5), localizado na Formação Serra do Tucano (Barremiano-Aptiano).

Estas amostras foram descobertas e coletadas durante expedições de caráter geológico realizadas pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Paleontologia da Amazônia (LaPA), depositadas na Coleção Paleobotânica do LaPA, no Instituto de Geociências da Universidade Federal de Roraima (IGEO/UFRR), sendo identificadas com a sigla IGEO-PB. As amostras selecionadas para este estudo foram cedidas para o Laboratório de Processamento de Amostras e Coleção de Rochas e Fósseis (LPA-CRF), da Universidade Estadual de Roraima (UERR). Tendo em vista os objetivos a serem alcançados, foram realizadas, entre fevereiro e março de 2020, outras atividades de campo para ampliar a coleta de novos materiais. Essa etapa contou com o apoio logístico da (UERR) e as amostras coletadas estão depositadas na Coleção Científica dessa universidade, sob a sigla CCU.

5.3 Métodos

Inicialmente, realizou-se uma seleção inicial das amostras depositadas no LaPA/UFRR e no LPA-C/UERR. Concomitantemente, foram realizadas análises macroscópicas dos vegetais, com o auxílio do estereomicroscópio *Leica ES2*, com o intuito de triar as amostras para realização desta pesquisa.

A segunda etapa consistiu na preparação dos fósseis, quando as amostras foram submetidas à preparação mecânica para expor as partes que estavam envolvidas pela matriz sedimentar. Neste processo, utilizou-se ferramentas, tais como: talhadeiras, martelinho, agulha histológica, lâmina e pincel.

Por fim, os espécimes selecionados foram fotografados com câmera *Canon Rebel reflex 60D*, acopladas com lentes *close-up*, e as análises e interpretações das amostras foram realizadas a partir das feições morfológicas preservadas.

5.3.1 Análise Morfológica

Para análise e descrição dos espécimes de sementes foi usado estereomicroscópio *Leica ES2*, e para realização de medidas lineares, todas feitas em milímetros, um paquímetro Marberg digital 300 mm-12" (Figura 6). Foram elaboradas fichas de descrição para registrar as principais feições diagnósticas observadas nos diásporos, tais como, forma da região apical e basal, forma da semente, forma e superfície do nucelo (liso ou estriado), presença de testa (Figura 7).

Figura 6: Esquema ilustrando as principais estruturas que foram tomadas as dimensões de largura x comprimento, para estimar o tamanho da semente.

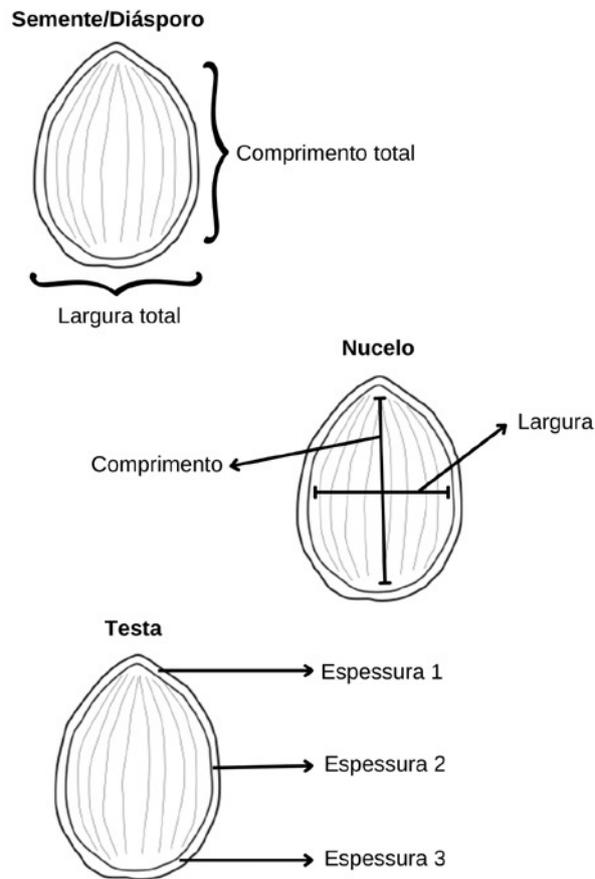
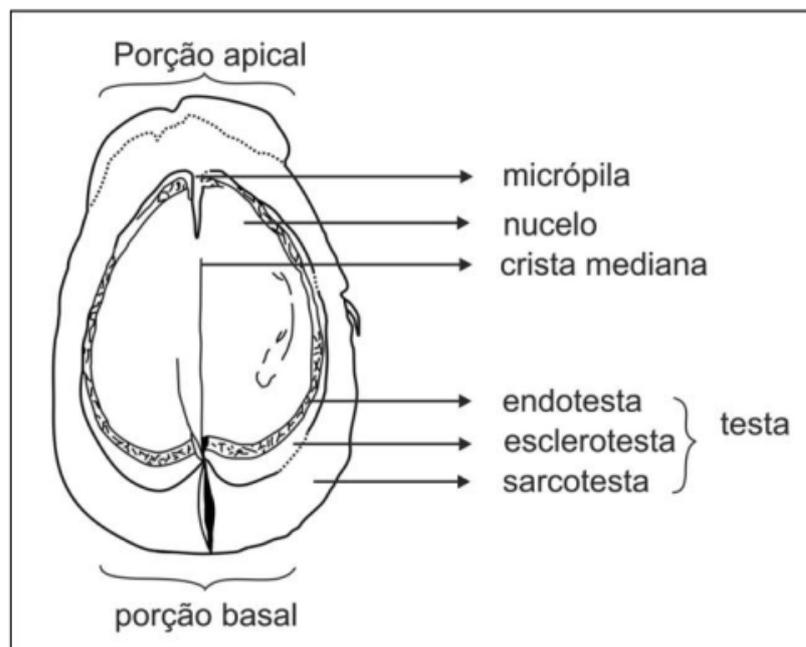
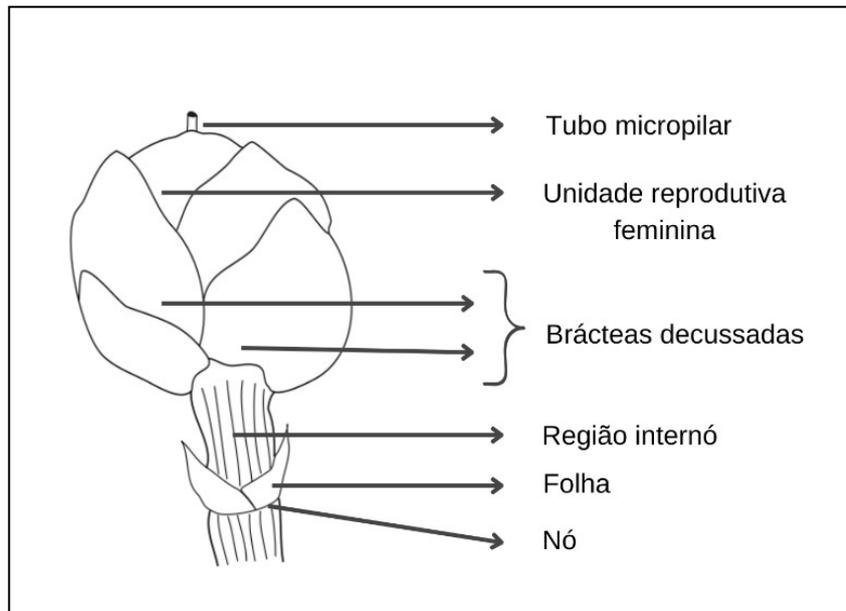


Figura 7: Esquema ilustrando as estruturas diagnósticas de uma impressão de semente fóssil. (Fonte: Marques-de-Souza, 2013, modificado Marques-de-Souza e Iannuzzi, 2007).



Foram elaboradas fichas de descrição para registrar as principais feições diagnósticas observadas (Figura 8) e para aferição morfométrica das estruturas reprodutivas. Considerando-se o trabalho desenvolvido por Yang, Lin e Wang (2013), os seguintes caracteres diagnósticos foram utilizados na caracterização das estruturas reprodutivas genotófitas pra fins de classificação taxonômica: (i) arranjo das brácteas (decussado ou em espiral de três); (ii) número de óvulos das brácteas distais (de um a três óvulos envoltos por um tegumento); (iii) o número de brácteas no cone (é variável em nível intra e inter-específico); (iv) grau de fusão das brácteas do cone (livres ou fundidas proximalmente em diferentes graus).

Figura 08: Esquema ilustrando as principais feições diagnósticas de uma estrutura reprodutiva de Ephedraceae, mostrando o cone terminal e o pedicelo estriado com folhas. Inspirado nos trabalhos de: Sharma e Hammer (2010), Puebla et al. (2017) e Carretero (2018).



Para a identificação taxonômica dos espécimes de estruturas reprodutivas, esta pesquisa sustentou-se nas descrições e/ou diagnoses disponíveis na literatura pertinente (YANG et al., 2005; KERKHOFF; DUTRA, 2007; KUNZMANN; MOHR; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, 2009; KUNZMANN et al., 2011; RICARDI-BRANCO et al., 2013; YANG; LIN; WANG, 2013). Os espécimes foram comparados com descrições, fotos e desenhos disponibilizados na literatura que abordam a paleoflora de outras bacias do Cretáceo Inferior. As sementes, por sua vez, foram analisadas quanto a suas feições morfológicas e as interpretações dessas feições para estudos paleoecológicos. O significado ecológico dos parâmetros analisados é apresentado no tópico a seguir.

5.3.2 Tamanho das sementes

O tamanho da semente é sugerido como um fator ecológico de relevância para o entendimento da evolução das síndromes de dispersão (FRIIS; RICE; WESTOBY, 1990). Dessa forma, a relação entre a análise do tamanho da semente e sua abundância nos registros, podem trazer informações importantes referentes ao provável grupo ecológico da planta-mãe e a distribuição espacial das espécies (MARQUES-DE-SOUZA; IANNUZZI, 2012), além de contribuir para uma melhor compreensão dos fatores evolutivos que conduziram ao aparecimento de sementes grandes e das diversificadas estratégias de dispersão.

Para este estudo, nas análises relacionadas ao tamanho da semente, adotou-se o método proposto por Tiffney (1984) que considerou os volumes das sementes, medidos em mm³. Para obter esses valores utilizou-se a mesma fórmula utilizada por Eriksson, Friis e Löfgren (2000) e Sims (2012) para cálculo de volume de estruturas elipsoides definida por $V = 4/3\pi ab^2$ onde: $a = C/2$; $b = (L + E)/4$; sendo “C” a medida do comprimento da semente, “L” a medida da largura da semente e “E” a medida da espessura da semente. Considerando que o modo de preservação dos espécimes fósseis nem sempre possibilitará a obtenção das medidas das espessuras das sementes, uma vez que os diásporos aqui estudados são na sua grande maioria preservados na forma de impressão/compressão, utilizou-se do método elaborado por Tiffney (1984) em que se estima a espessura usando a relação $E = 0,66L$.

Das sementes fósseis aqui estudadas, ao todo foram analisados 48 espécimes dos quais foram tomadas as dimensões em milímetros do comprimento total e largura total da semente. Quando possível diferenciar a testa do corpo central da semente (nucelo), foram tomadas também as medidas de comprimento e largura total do nucelo, bem como a espessura basal, medial e apical da testa. Os dados obtidos foram compilados em uma planilha para gerar a média da espessura da semente e do nucelo, espessura média da testa e volume da semente e do nucelo, de cada espécime analisado.

5.3.3 Dispersão de sementes

Para compreender a abundância e diversidade morfológica das sementes fósseis, tem-se como base a ecologia das plantas modernas, que fornece subsídios para interpretações das relações existentes entre o tamanho, a forma, a abundância

e a síndrome de dispersão adotada pelas sementes (TIFFNEY, 1984; MARQUES-DE-SOUZA, 2013).

Para a análise da dispersão de sementes, optou-se pela interpretação morfológica das estruturas dispersoras, a partir de critérios difundidos na ecologia moderna (MARQUES-DE-SOUZA, 2009, 2013). São eles:

- I. Tamanho da semente, que permite definir o habitat e o estrato da planta geradora;
- II. Presença ou ausência de estruturas morfológicas dispersoras, estruturas estas que denunciam a síndrome utilizada como estratégia de dispersão da planta-mãe, por meio da ação de agentes dispersores específicos;
- III. Relação entre o tamanho da semente e a síndrome de dispersão, que contribui para informações adicionais a respeito dos possíveis agentes dispersores, limitando ou favorecendo sua ação, sem depender necessariamente da morfologia apresentada pelo diásporo.

A fim de estabelecer a síndrome de dispersão encontrada nas diferentes morfologias das sementes estudadas ou predominante na flora eocretécea da Bacia do Tacutu, o método de classificação utilizado foi aquele proposto por Van der Pijl (1982). Nesta classificação as principais síndromes descritas são: i) dispersão pelo vento (*Anemocoria*); ii) dispersão pela água (*Hidrocoria*); iii) dispersão pela própria planta (*Autocoria*); iv) dispersão pela aderência à superfície de animais (*Epizoocoria*); v) Dispersão por peixes; vi) dispersão por répteis (*Saurocoria*); vii) dispersão por aves (*Ornitocoria*); viii) Dispersão por mamíferos; ix) Barocoria: que representa a ausência de síndrome de dispersão, onde há apenas a ação da força da gravidade.

6 RESULTADOS

A simplicidade morfoestrutural das sementes coletadas dificulta a sua determinação taxonômica, visto que não existem ou não estão preservadas as feições diagnósticas que permitiriam diferenciar os táxons. Portanto devido ao fato de muitos dos espécimes analisados não possibilitarem comparações com os caracteres diagnósticos de outras espécies já descritas, optou-se por não realizar inferências sobre a determinação taxonômica dos espécimes aqui estudados, mas que posteriormente a partir da ampliação de coleta de novos fósseis de macrofósseis vegetais, espera-se encontrar espécimes mais completos que nos permitam elucidar essa questão.

6.1 Sistemática

Semente Tipo 1

Fig. 9

Material: IGEO-PB 390-2 (1), IGEO-PB 563 (5), IGEO-PB 569a-b.

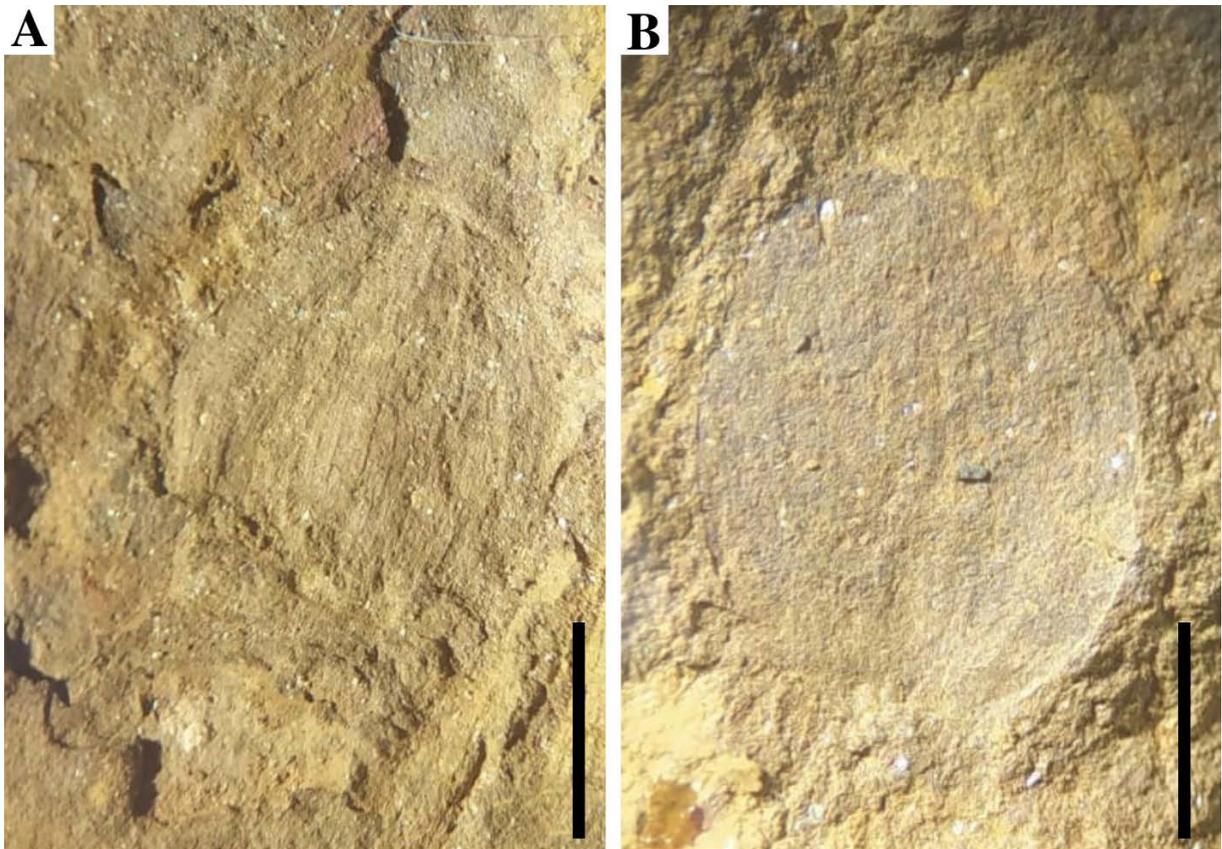
Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Sementes levemente estriadas, preservadas como impressões, forma geral variando de elíptica a largo-elíptica, forma do ápice arredondada por vezes obtusa e a base truncada a arredondada. Apresentam comprimento em torno de 4,88 a 6,3 mm (n=3), largura de 3 a 4,6 mm (n=3). Um dos espécimes permite a diferenciação do corpo central da semente (nucelo) e da testa. O nucelo apresenta ápice indeterminado e a base obtusa, com comprimento > 3,64 mm e 3,56 mm de largura. A estrutura considerada como sendo a testa, mede 0,14 mm de espessura na região basal e 0,10 mm de espessura na região mediana, sendo interrompida na região apical. Este espécime aparenta estar conectado ao pedúnculo. Nos espécimes não se observa outras feições distintas como a micrópila.

Figura 9: Sementes preservadas na forma de impressão do afloramento Murici II, da Bacia do Tacutu. A e B apresentam formas que variam de elíptica, por vezes largo-elíptica, com a superfície levemente estriada. Escala: 5mm.



Semente Tipo 2

Fig. 10

Material: IGEO PB 454, IGEO PB 523C (1)

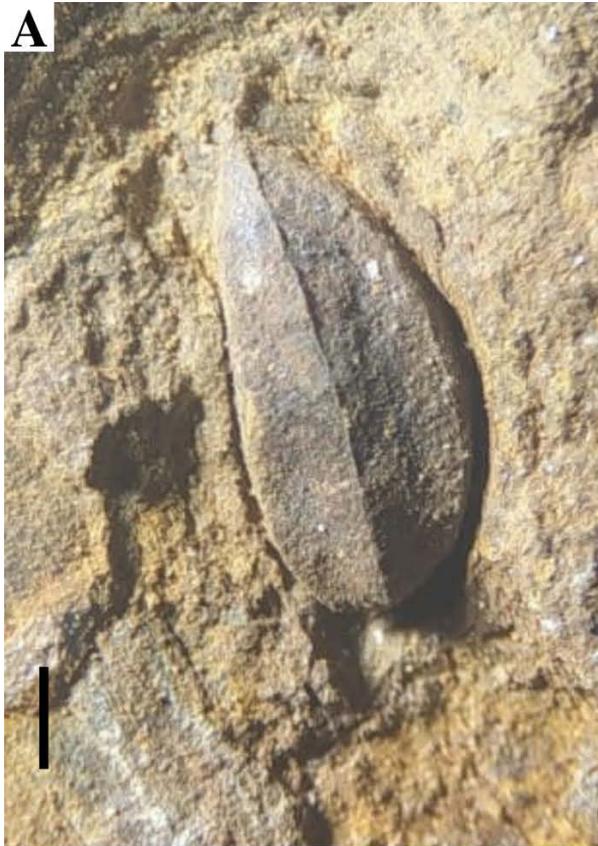
Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

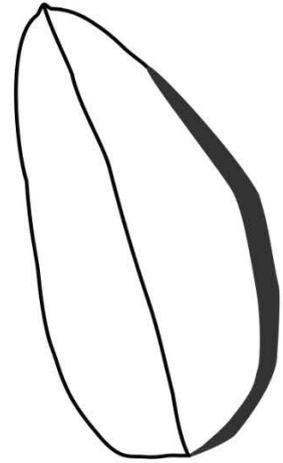
Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Sementes preservadas na forma de moldes, mostram de 1 a 3 costelas proeminentes, forma geral elíptica, com ápice obtuso e base obtusa a arredondada. O comprimento total das sementes varia entre 3,78 a 4,09 mm (n=2) e largura de 1,93 a 1,66 mm (n=2). Não foram observados nos espécimes outras feições distintas.

Figura 10: Sementes do afloramento Murici II. A e B espécimes com preservação tridimensional, cujas formas são elípticas, observa-se em sua superfície algumas protuberâncias longitudinais em A-B. Escala: 5mm.



B



D



Semente Tipo 3

Fig. 11

Material: CCU 039 (1), CCU 041, IGEO PB 438-1 (1), IGEO PB 517m (5), IGEO PB 518b (3).

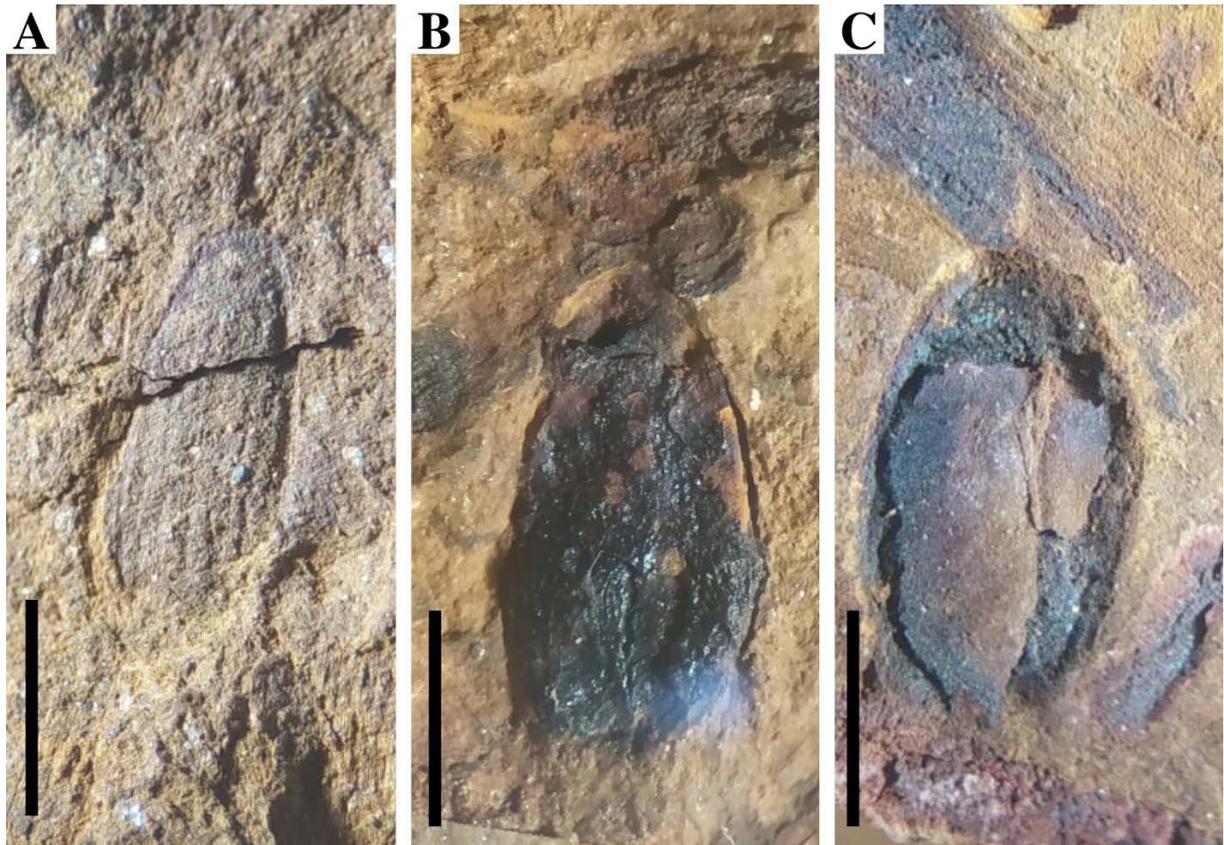
Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Sementes de superfície lisa, por vezes levemente estriadas, apresentam forma que varia de elíptica a estreito-elíptica, ápice e base arredondados, comprimento total em torno de 2,27 a 6,96 mm (n=5) e largura de 1,2 a 4 mm (n=5).

Figura 11: Espécimes provenientes do Afloramento Murici II. A; B; C - apresentam a base e ápice arredondados, forma geral varia de elíptica a estreito elíptica e a superfície da semente por vezes levemente estriada (A). Escala: 5mm.



Semente Tipo 4

Fig. 12

Material: CCU 060 (1), IGEO PB 512b (1), IGEO PB 512b (2), IGEO PB 563 (7).

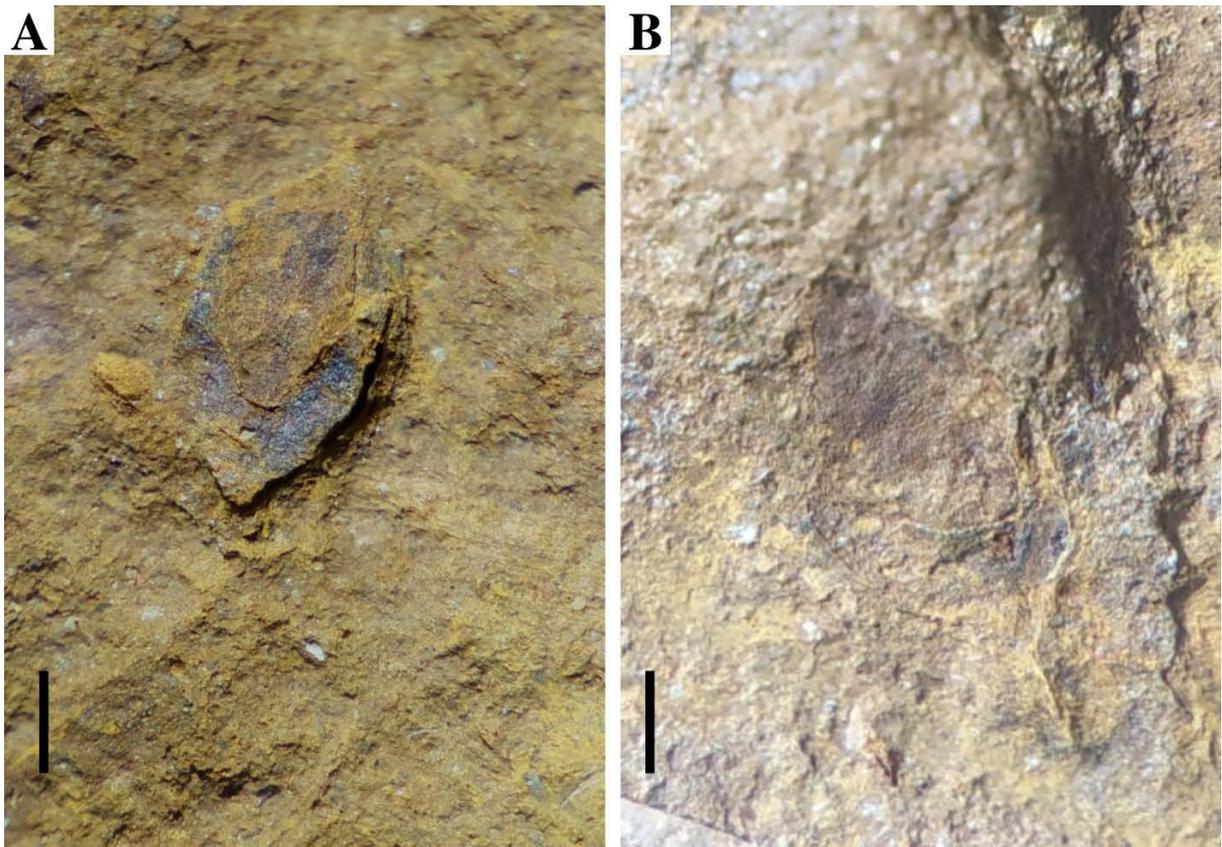
Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Sementes preservadas como impressões, por vezes estriada, forma geral elíptica a ovada, com ápice obtuso/agudo e base arredondada, apresentam feições tais como nucelo e testa, embora o estado de preservação não permita uma descrição completa. O comprimento total varia de 1,36 a 2,63 mm (n=4) e a largura entre 1,33 a 1,91 mm (n=4). O nucelo apresenta ápice e base arredondados e comprimento de 1,68 mm (n=1) e largura de 1,15 mm (n=1) e a testa apresenta espessura de 0,43 mm na região basal e 0,54 mm na região apical. Apresenta pedúnculo medindo 0,6 mm de comprimento.

Figura 12: Detalhes morfoestruturais dos espécimes A e B, cujas formas são elípticas. Outras feições distintas foram observadas no espécime "B", tais como superfície estriada e a presença de pedúnculo. Escala: 3mm.



Semente Tipo 5

Fig. 13

Material: IGEO PB 511a, IGEO PB 547b (2).

Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Semente com superfície levemente estriada. A forma geral é obovada, com ápice arredondado e base obtusa, apresentando comprimento total em torno de 4,54 a 6,07 mm (n=2) e largura 4,07 a 5,59 mm (n=2). O nucelo tem em torno de 5,57 mm de comprimento (n=1) e largura de 4,24 mm (n=1). Testa apresenta-se crescente em direção ao ápice com 0,57 mm de espessura e a base possui espessura de 0,20 mm.

Figura 13: Espécime de forma geral obovada, levemente estriado em sua superfície e com a presença de testa estreita e indiferenciada. Escala: 5mm.



Semente Tipo 6

Fig. 14

Material: CCU 046a (1), CCU 049 (1), CCU 060 (2), IGEO PB 385 (4), IGEO PB 385 (8), IGEO PB 438 (3), IGEO PB 438-2 (2), IGEO PB 438-2 (3), IGEO PB 458 (3), IGEO PB 512a (2), IGEO PB 514g, IGEO PB 517m (4), IGEO PB 532 (3), IGEO PB 552a (1), IGEO PB 563 (6), IGEO PB 569b (3), IGEO PB 569a (3), IGEO PB 572b.

Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Sementes preservadas como compressão/impressão, por vezes levemente estriadas, o comprimento total das sementes varia em torno de 1 a 3,8 mm (n=18) e 0,57 a 3 mm de largura. A região apical geralmente é obtusa/aguda a arredondada, a região basal apresenta contorno que varia de arredondado a obtuso. A forma geral é elíptica e alguns espécimes preservados na forma de moldes foi possível tirar a espessura que ficou em torno de 0,4 a 1,2 mm.

Semente Tipo 7

Fig. 15

Material: CCU 049 (2), IGEO PB 512a (1), IGEO PB 515 (1), IGEO PB 517f (6), IGEO PB 563 (10), IGEO PB 566a (3), IGEO PB 569b (1), IGEO PB 619c/a.

Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Sementes de superfície lisas, ou levemente estriadas, forma geral elíptica a largo-elíptica. A região apical varia de obtusa a arredondada, e a base é arredondada a levemente obtusa. O comprimento total é variável entre 4,03 a 9,8 mm (n=8) e 2,6 a 5,7 mm de largura (n=8). O nucelo possui comprimento de 3,66 mm e de largura 3,20 mm. A espessura da testa só foi possível tirar da região do ápice que apresentou 0,44 mm e da região medial que ficou em torno de 0,38 mm.

Figura 14: Detalhes da simplicidade morfoestrutural das sementes do afloramento Murici II, da Bacia do Tacutu. A; B e C - espécimes sem muitas feições diagnósticas preservadas. Escala: 3mm.

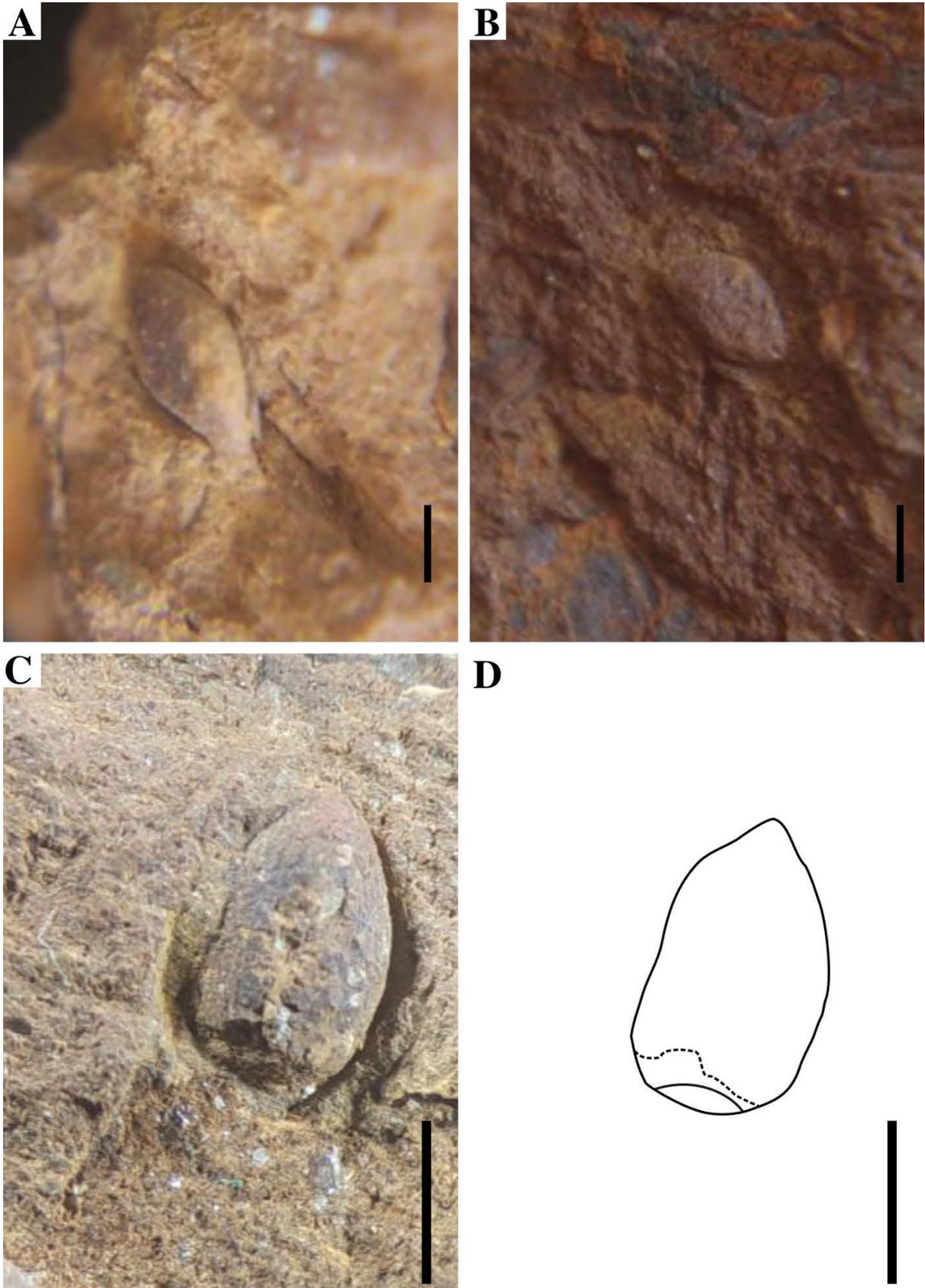
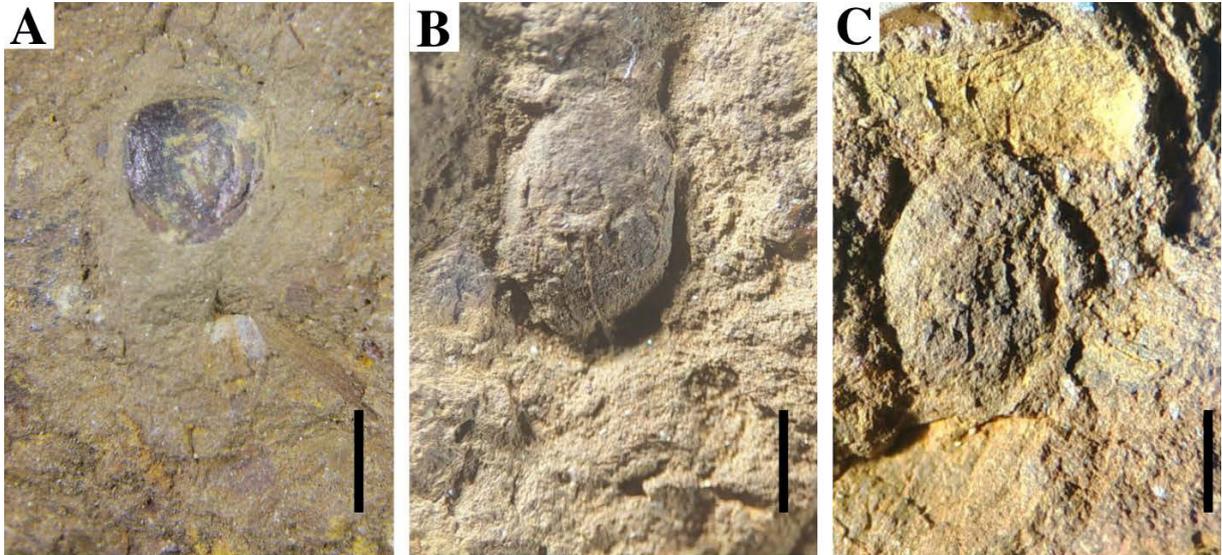


Figura 15: Espécimes do Afloramento Murici II, preservados na forma de compressão/impressão. A; B e C – observa-se que forma do ápice a base são arredondados, e apresentam superfície levemente estriada. Contorno da forma largo-elíptica (A e C) a elíptica (B). Escala: 5mm



6.2 Análises paleoecológicas das sementes

Diante desta dificuldade de classificar o material correspondente às sementes, optou-se por realizar a análise paleoecológica deste material, buscando compreender as relações entre o tamanho das sementes presentes neste registro e os dados já relatados na literatura. Por fim, procurar-se-á realizar as primeiras inferências acerca das possíveis síndromes de dispersão associadas a essas sementes.

6.2.1 Análise do tamanho

A análise do tamanho das sementes baseou-se no método proposto por Tiffney (1984), utilizando-se a fórmula de Eriksson, Friis e Löfgren (2000) e Sims (2012), conforme descrito no Item 5.3.2, em 5.3 Métodos. A síntese dos resultados obtidos é vista nas tabelas 2 e 3 e se refere, respectivamente, ao volume da semente em mm^3 , que considera a estrutura total da semente (inclui a testa e o corpo central da semente), e volume do nucelo em mm^3 , que considera apenas a reserva nutritiva da semente.

Tabela 2: Lista dos espécimes recuperados do Afloramento Murici II, mostrando as medidas utilizadas no cálculo do volume da semente.

Amostra	SEMENTE				NUCELO				TESTA			
	CT	LT	Espessura	Volume mm ³	CN	LN	Espessura	Volume mm ³	Espessura basal	Espessura medial	Espessura apical	Espessura média
CCU 060 (1)	2,17	1,21	0,7986	1,145	1,1	0,65	0,429	0,168		0,32	0,26	0,29
CCU 060 (2)	2	1,14	0,7524	0,937	2	1,14	0,7524	0,937				0
IGEO PB 569 (3)	2,5	1,55	0,4	1,244	2,5	1,55	1,023	2,165				0
IGEO PB 385 (4)	2,1	1,63	1,0758	2,012	2,1	1,63	1,0758	2,012				0
IGEO PB 517M (4)	2	1,1	0,726	0,872	2	1,1	0,726	0,872				0
IGEO PB 563 (5)	6,3	4,6	3,036	48,061	3,64	3,56	2,3496	16,632		0,14	0,1	0,12
IGEO PB 563 (6)	3,34	2,27	1,4982	6,205	3,34	2,27	1,4982	6,205				0
IGEO PB 563 (10)	9,8	5,7	3,762	114,792	9,8	5,7	3,762	114,792				0
IGEO PB 438 (1)	3,73	2,68	1,7688	9,659	3,24	1,92	1,2672	4,306	0,52	0,3	0,26	0,36
IGEOPB 511a	4,54	4,07	2,6862	27,113	4,54	4,07	2,6862	27,113				0
IGEO PB 517M (3)	6,55	5,95	3,927	83,601	6,55	5,95	3,927	83,601				0
CCU 049 (1)	2,2	1,28	0,8448	1,300	2,2	1,28	0,8448	1,300				0
CCU 049 (2)	7,2	4,92	3,2472	62,834	7,2	4,92	3,2472	62,834				0
IGEO PB 438-2 (3)	1,9	1,33	0,8778	1,212	1,37	0,9	0,594	0,400	0,26	0,24	0,28	0,26
IGEO PB 458 (3)	3,7	2,5	1,65	8,337	3,7	2,5	1,65	8,337				0
IGEO PB 512A (1)	4,03	2,6	1,716	9,822	4,03	2,6	1,716	9,822				0
IGEO PB 512A (2)	3,63	2,03	1,3398	5,393	3,63	2,03	1,3398	5,393				0
IGEO PB 512B (1)	2,2	1,53	1,0098	1,857	2,2	1,53	1,0098	1,857				0
IGEO PB 514G	3,8	3	1,2	8,770	3,8	3	1,98	12,330				0
IGEO PB 523C (1)	3,78	1,66	1,0956	3,755	3,78	1,66	1,0956	3,755				0
IGEO PB 532 (3)	2,8	1,48	0,9768	2,211	2,8	1,48	0,9768	2,211				0
IGEO PB 552A (1)	1	0,57	0,3762	0,117	1	0,57	0,3762	0,117				0
IGEO PB 563 (7)	2,63	1,91	1,2606	3,459	1,68	1,15	0,759	0,801	0,43	0,47	0,54	0,48
IGEO PB 569B (3)	2,37	1,32	0,8712	1,489	2,37	1,32	0,8712	1,489				0
IGEO PB 563 (3)	2,98	2,5	1,65	6,715	2,98	2,5	1,65	6,715				0
IGEO PB 547B (2)	6,07	5,59	3,6894	68,383	5,57	4,24	2,7984	36,101	0,2	0,45	0,57	0,406667
IGEO PB 572B	2,75	2,71	1,7886	7,281	2,75	2,71	1,7886	7,281				0
IGEO PB 385 (8)	1,9	1,72	1,1352	2,026	1,9	1,72	1,1352	2,026				0
CCU 065	2,12	1,64	1,0824	2,056	1	0,74	0,4884	0,197	0,48	0,47	0,46	0,47
IGEO PB 569A-B	4,88	4,35	2,871	33,291	4,88	4,35	2,871	33,291				0
IGEO PB 512B (2)	1,36	1,33	0,8778	0,867	1,36	1,33	0,8778	0,867				0
IGEO PB 553A (3)	5,8	6,92	4,5672	100,132	4,97	5,66	3,7356	57,402		0,38	0,4	0,39

CCU 039 (1)	2,27	1,2	0,792	1,178	2,27	1,2	0,792	1,178					0
IGEO PB 569B (1)	4,1	2,77	1,8282	11,342	4,1	2,77	1,8282	11,342					0
IGEO PB 518B (3)	4,8	1,95	1,287	6,580	4,8	1,95	1,287	6,580					0
IGEO PB 517F (6)	6,9	5	3,3	62,190	6,9	5	3,3	62,190					0
IGEO PB 515 (1)	4,24	4,18	2,7588	26,709	3,66	3,2	2,112	13,512		0,38	0,44		0,41
IGEO PB 438-2 (2)	1,37	0,97	0,6402	0,465	1,37	0,97	0,6402	0,465					0
IGEO PB 438-1 (1)	3,63	1,88	1,2408	4,625	3,63	1,88	1,2408	4,625					0
IGEO PB 438 (3)	2,86	2,18	1,4388	4,900	2,86	2,18	1,4388	4,900					0
IGEO PB 390-2 (1)	5	3	1,98	16,224	5	3	1,98	16,224					0
CCU 041	6,96	4	2,64	40,148	6,96	4	2,64	40,148					0
IGEO PB 566A (3)	6,4	4,8	3,168	53,161	6,4	4,8	3,168	53,161					0
IGEO PB 596A	15,75	7,1	4,686	286,241	14,94	5,7	3,762	174,999		1,56	0,96	1,76	1,36
IGEO PB 517M (5)	3,38	1,76	1,1616	3,775	3,38	1,76	1,1616	3,775					0
CCU 046a (1)	2,54	2,29	1,5114	4,802	2,54	2,29	1,5114	4,802					0
IGEO PB 454	4,09	1,93	1,2738	5,493	4,09	1,93	1,2738	5,493					0
IGEO PB 619	6,6	3,09	2,0394	22,719	6,6	3,09	2,0394	22,719					0

Tendo em vista a baixa frequência de sementes com testa diferenciável ($n=10$), observou-se que as medidas gerais das sementes pouco ou nada diferem do tamanho do nucelo na maioria das sementes descritas. O teste não-paramétrico Wilcoxon pareado demonstrou não haver diferença entre as medianas das medidas “tamanho total da semente” e “tamanho do nucelo”. Este resultado sugere que a testa não influencia no tamanho das sementes examinadas já que se apresenta estreita e indiferenciada. Por isso, a análise que se segue irá considerar somente o tamanho total da semente.

Tabela 3: Síntese da análise das sementes que considera o volume da semente e volume do nucelo em mm^3 .

	<i>Volume da semente (mm^3)</i>	<i>Volume do nucelo (mm^3)</i>
Média	24,24	19,28
Erro padrão	6,88	4,85
Desvio padrão	47,66	33,63
Mínimo	0,12	0,12
Máximo	286,24	175,00
Contagem	48	48
Nível de confiança (95,0%)	13,84	9,76

Na Tabela 4, os dados das sementes aqui analisadas estão organizados em classes de tamanho, pois o tamanho da semente, de acordo com Marques-de-Souza e Iannuzzi (2012), é um bom parâmetro para obtenção de informações quanto às estratégias de dispersão adotadas pela espécie, bem como, traz indicativos a respeito da estrutura vegetacional (HUGHES et al., 1994; LEISHMAN et al., 2000; MOLES et al., 2005; SIMS, 2012).

Tabela 4: Classes que representam intervalos de volume, seguindo-se do número de semente encontrada a partir dos 48 espécimes analisados.

Classes	Frequência absoluta
0 - 10 mm ³	32
10 - 100 mm ³	13
100 - 1000 mm ³	03
1000 -	0

Do total de espécimes analisados (n=48), 32 possuem tamanho menor ou igual a 10mm³. De acordo com Hughes et al. (1994), Moles et al. (2005) e Marques-de-Souza (2013), neste intervalo de volume é comum a maior frequência de anemocoria (= dispersão pelo vento) ou a dispersão desassistida (sem síndrome específica). De acordo com Van der Pijl (1969), na síndrome de dispersão dos diásporos por anemocoria, os diásporos podem ser extremamente pequenos e possuir asas e plumas.

Apesar da presença de estruturas adaptadas a dispersão ser um dos fatores importantes na caracterização das síndromes de dispersão, sementes muito pequenas, em geral, não possuem estruturas específicas ao processo de dispersão, mas mesmo sem estruturas, estas sementes não geram resistência ao vento e são efetivamente movidas por ele (HUGHES et al., 1994, MARQUES-DE-SOUZA; IANNUZZI, 2012).

Ademais, dessas síndromes de dispersão, a dispersão desassistida foi a que provavelmente ocorreu com as sementes de angiospermas, pois durante a maior parte do Cretáceo, estas sementes eram pequenas e, geralmente, havia poucos atributos de dispersão especializados, indicando que a dispersão dessas sementes por agentes bióticos era rara (ERIKSSON; FRIIS; LÖFGREN, 2000; ERIKSSON, 2008).

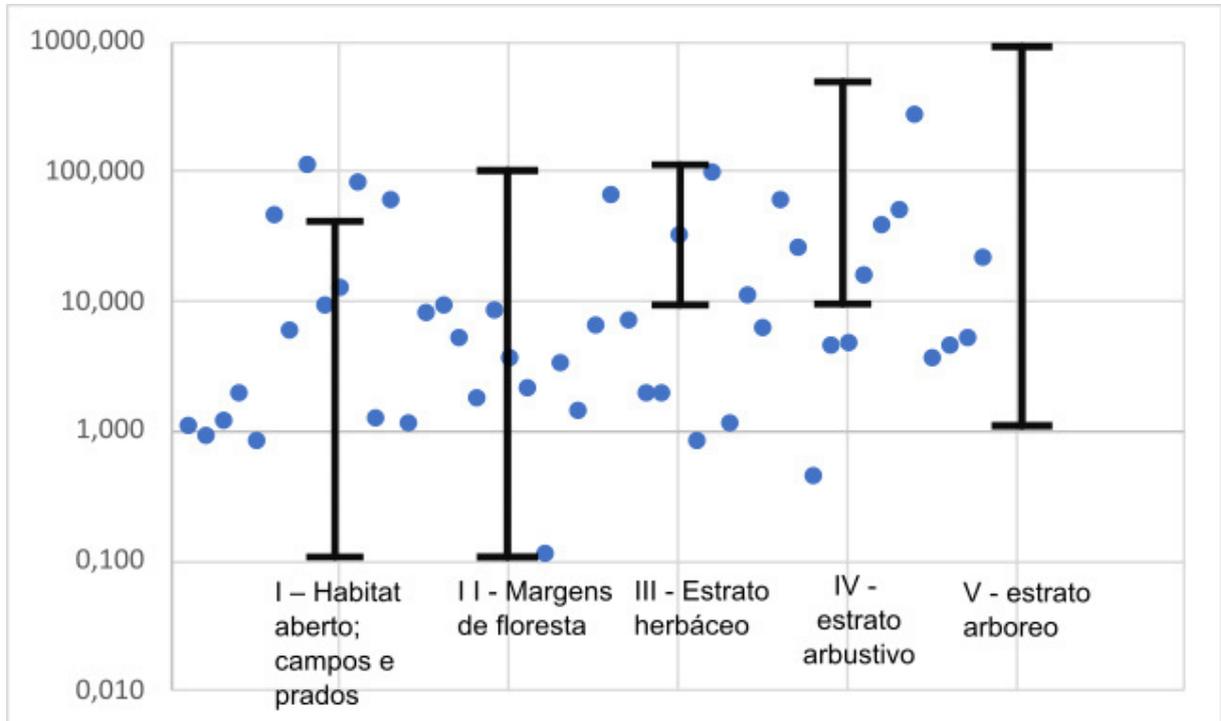
É importante mencionar aqui que em trabalhos nos quais se discutem a relação do tamanho da semente e as estratégias de dispersão, o que se tem observado, de acordo com Eriksson (2008), é que o clima tem sido um dos principais impulsionadores primários na condução da mudança do tamanho médio das sementes e na evolução da dispersão. Isso se deve basicamente ao fato de que as condições climáticas atuantes ocasionam mudança na estrutura da vegetação, p. ex., aberta *versus* fechada.

O Cretáceo foi predominantemente caracterizado por um clima seco e, no Brasil, vários trabalhos na literatura já vêm discutindo o padrão climático proposto em diferentes bacias brasileiras durante este período. De modo geral, no Cretáceo precoce, foram registrados climas quentes, com alternâncias de períodos secos e úmidos, até o Aptiano e, no final desta época, houve uma tendência generalizada à aridez, no qual climas secos perduraram até o Albiano/Cenomiano (ROSSETTI; TRUCKENBRODT; SANTOS JÚNIOR, 2001). Neste contexto, a Bacia do Tacutu situava-se no cinturão de um clima árido (CRUZ, 2019). Desse modo, nestas condições climáticas se espera vegetações do tipo mais aberta, as quais foram dominantes durante o Cretáceo. Isto explica por que o tamanho das sementes permaneceu pequeno durante este período e a dispersão biótica não foi-predominante (ERIKSSON, 2008).

Neste sentido, considerando-se que a estrutura vegetacional está relacionada com o tipo de estratégia de dispersão, o que se tem observado é que existe uma relação direta entre tamanho médio das sementes e as características vegetacionais e, de acordo com o intervalo do volume da semente, ela pode ser enquadrada em determinada categoria vegetacional (HARPER; LOVELL; MOORE, 1970). Como pode ser observado na Figura 16, as sementes pequenas (menores que 10 mm^3) estão associadas a plantas pioneiras ou que vivem em ambientes abertos, rico em luz, ou em margens de florestas. Observa-se que este intervalo de volume de semente também ocorre em estratos arbóreos, sendo, contudo, acompanhadas de uma diversidade de sementes grandes (HARPER; LOVELL; MOORE, 1970; TIFFNEY, 1984). Essas sementes apresentam pouca reserva nutritiva, o que exige que elas sejam rapidamente auto-sustentáveis (HARPER; LOVELL; MOORE, 1970; MARQUES-DE-SOUZA; IANNUZZI, 2012), pois não resistiriam à ambientes

sombreados por muito tempo.

Figura 16: Diagrama demonstrativo do intervalo de volume das sementes enquadradas nas cinco categorias de Harper, Lovell e Moore (1970) e convertidas para volume por Tiffney (1984). Modificado por Marques-de-Souza (2013). Em azul, dados obtidos neste trabalho.



A segunda classe situa-se no intervalo de volume entre 10 e 100 mm³. Devido essas sementes serem relativamente pequenas, todos os modos de dispersão são possíveis. Contudo, dentre os diásporos com este volume, estudos apontam uma redução da ocorrência de dispersão desassistida (MARQUES-DE-SOUZA, 2013). No presente estudo, 13 sementes analisadas encontram-se neste intervalo.

A última classe com ocorrência observada dentre as sementes analisadas aqui está aquela cujo intervalo situa-se de 100 a 1000 mm³. Apenas três sementes descritas enquadram-se neste intervalo. Sementes com volume neste intervalo têm suas primeiras ocorrências no Carbonífero, a partir do Mississipiano, no qual as maiores sementes atingiram um volume de aproximadamente 150 mm³, uma tendência de aumento no volume que se seguiu ao longo do Pennsylvaniano, onde o volume máximo das sementes chegou a, aproximadamente, 870 mm³, o qual se manteve constante para as espermatófitas basais até o final do Fanerozoico (SIMS, 2012; MARQUES-DE-SOUZA, 2013).

Para as sementes que se enquadram nesta última classe (intervalo 100–1000 mm³), a dispersão por água (= hidrocoria) e a dispersão por vertebrados (= zoocoria),

estão dentre as possíveis síndromes que podem ocorrer (HUGHES et al., 1994; MARQUES-DE-SOUZA, 2013; MOLES et al., 2005).

Quanto ao tipo de estrutura vegetacional, essas sementes maiores possuem grande quantidade de reserva nutritiva, fazendo com que a plântula estabeleça uma grande área foliar antes de se tornar auto-sustentável. Desse modo, essas plantas apresentam sementes grandes que caracterizariam plantas que vivem em ambientes mais sombreados e pouco iluminados (HARPER; LOVELL; MOORE, 1970; TIFFNEY, 1984; MARQUES-DE-SOUZA; IANNUZZI, 2012).

Os dados obtidos na Tabela 4 foram comparados com aqueles apresentados no trabalho de Eriksson, Friis e Löfgren (2000), desenvolvido com sementes de angiospermas do Cretáceo Inferior ao Plioceno, que estimou o tamanho de sementes e frutos, bem como a proporção relativa de dois sistemas diferentes de dispersão de sementes.

Eriksson, Friis e Löfgren (2000) ao analisarem o tamanho de sementes e frutos da flora mais antiga (Barremiano-Aptiano), idade esta que coincide com a idade do material aqui estudado, observaram que neste período as sementes geralmente eram muito pequenas (média 0,78 mm³, intervalo 0,02–6,86 mm³), porém, esses tamanhos diferem do que foi obtido em nossas medições morfométricas (Tabela 3). Portanto, apesar das sementes aqui estudadas se apresentarem maiores, as mesmas ainda se enquadram dentro do intervalo que aqueles autores consideraram como o de sementes pequenas, visto que todas elas são bem menores do que aquelas registradas para as floras do Eoceno.

Um aumento drástico tanto do tamanho quanto a variedade de tamanhos de sementes ocorreu no início do Eoceno. Eriksson, Friis e Löfgren (2000) discutiram as possíveis explicações para a radiação do tamanho da semente e modos de dispersão no Paleógeno, para qual consideraram duas hipóteses denominadas de “dispersor” e do “recrutamento”. Da comparação entre essas duas hipóteses, os autores chegaram à conclusão que as mudanças nas condições de recrutamento foram a principal causa por trás da diversificação do tamanho da semente, tamanho do fruto e sistemas de dispersão ao redor do limite Cretáceo-Paleógeno e a indução básica para os padrões observados de mudança nas características de sementes e frutos seriam as mudanças climáticas e de vegetação.

A partir dos estudos realizados por Cruz (2019) e dos dados obtidos nas análises aqui desenvolvidas observa-se uma convergência com os dados apresentados por Eriksson, Friis e Löfgren (2000) Os resultados obtidos sustentam as inferências que são feitas a partir do diagrama da figura 16 quanto ao intervalo de volume das sementes e o tipo de vegetação, pois os fósseis conhecidos como provenientes do Afloramento Murici II são fragmentos de plantas mesófitas e xerófitas (CRUZ, 2019). Cabe ressaltar que os espécimes das diferentes partes das plantas já descritas indicam que se tratava de indivíduos muito pequenos.

Ocorre uma predominância de fragmentos foliares de plantas xerófitas da família Cheirolepidiaceae (*Brachyphyllum*), que representam aproximadamente 78% das folhas identificadas por Cruz (2019), e agora, neste estudo, foram identificadas estruturas reprodutivas de Gnetales, as quais juntamente com as análises obtidas quanto o tamanho da semente neste estudo, dão indícios de uma vegetação aberta de clima seco e quente já amplamente reconhecido para o Eocretáceo (ERIKSSON; FRIIS; LÖFGREN, 2000; ROSSETTI; TRUCKENBRODT; SANTOS JÚNIOR, 2001; ERIKSSON, 2008; SUCERQUIA, 2013, BERNARDES-DE-OLIVEIRA et al., 2014, CARVALHO, et al. 2017, 2019).

6.3 Artigo

ESTRUTURAS REPRODUTIVAS DE GNETALES DA FORMAÇÃO SERRA DO TUCANO (CRETÁCEO INFERIOR), BACIA DO TACUTU, RORAIMA

ADRIANA DE SOUZA TRAJANO

Universidade Federal do Ceará

Programa de Pós-Graduação em Geologia, Centro de Ciências

Av. Humberto Monte, s/n Campus do Pici, 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil.

Adriana.trajano.rr@gmail.com

JULIANE MARQUES-DE-SOUZA

Universidade Estadual de Roraima

Rua 7 de Setembro, 231, Campus Canarinho, 69306-530, Boa Vista, RR, Brasil.

Juliane.marques.souza@uerr.edu.br

ROBERTO IANNUZZI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências

Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

Roberto.iannuzzi@ufrgs.br

ELIZETE CELESTINO HOLANDA

Universidade Federal de Roraima

Laboratório de Paleontologia da Amazônia, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências

Av. Capitão Ene Garcez, 241, Aeroporto, 69.310-000, Boa Vista, Roraima, Brasil

Elizete.holanda@gmail.com

Abstract: Reproductive structures of Gnetales from the Serra do Tucano Formation

(Early Cretaceous), Tacutu Basin, Roraima. The Tacutu Basin is located in a border region between Brazil (northeast of the state of Roraima) and Guyana. Its origin is related to the opening of the Central Atlantic and presents in its composition Meso-Cenozoic sediments. The plant macrofossils collected (reproductive structures) are compressions/impressions, preserved in sandstones with parallel plane lamination from the Murici II outcrop, belonging to the Serra do Tucano Formation (Lower Cretaceous). The results obtained here suggest that the reproductive structures belong to the Ephedraceae group and comprise a vegetation of xerophytic plants typical of the dry and hot climate of the Barremian-Aptian interval.

Keywords: Reproductive structures, Ephedraceae, Early Cretaceous, Tacutu Basin, northern Brazil.

Resumo: A Bacia do Tacutu está situada numa região de fronteira entre o Brasil (nordeste do estado de Roraima) e a Guiana. Sua origem está relacionada com a abertura do Atlântico Central e apresenta em sua composição sedimentos meso-cenozoicos. Os macrofósseis vegetais coletados (estruturas reprodutivas) são compressões/impressões, preservadas em arenitos com laminação plano paralelas provenientes do Afloramento Murici II, pertencente a

Formação Serra do Tucano (Cretáceo Inferior). Os resultados aqui obtidos sugerem que as estruturas reprodutivas pertencem ao grupo das Ephedraceae e compõem uma vegetação de plantas xerofíticas típicas do clima seco e quente do intervalo Barremiano-Aptiano.

Palavras-chave: Estruturas reprodutivas, Ephedraceae, Cretáceo Inferior, Bacia do Tacutu, norte do Brasil.

INTRODUÇÃO

Na Bacia do Tacutu, em Roraima, têm sido recuperadas, na última década, dezenas de fragmentos de macrofósseis vegetais os quais fornecem as primeiras informações sobre a flora fóssil da região. Em virtude do estado fragmentado do material paleobotânico, os estudos taxonômicos ainda se encontram incipientes, com poucos táxons efetivamente reconhecidos. Parte deste material provém de rochas sedimentares da Formação Boa Vista, datadas do intervalo Pleistoceno tardio-Holoceno (Oliveira, 2020; Oliva, 2022). Outra parte provém de rochas sedimentares mesozoicas da Formação Serra do Tucano, de idade eocretácea (Lopes et al., 2011; Santos, 2015; Santos et al., 2016; Cruz, 2019). Nesta última, os registros fossilíferos são constituídos, principalmente, por fragmentos de lenhos silicificados, compressões carbonosas (Lopes et al., 2011; Santos, 2015) e impressões foliares (Wankler et al. 2017), além de caules, sementes e outras estruturas reprodutivas (Cruz, 2019).

Estruturas reprodutivas com características gnetaleanas, tais como a presença de cones presos a ramos áfilos e estriados, de disposição decussada (Kerkhoff & Dutra, 2007), têm sido recuperadas de rochas provenientes da Formação Serra do Tucano. Em que pese o estado fragmentado do material aqui analisado, o presente estudo se justifica pela escassez de registros de macrofósseis de gnetaleanas, quando comparado com o registro de microfósseis deste mesmo grupo (Dilcher et al., 2005; Kerkhoff & Dutra, 2007) e, especialmente, pela escassez de estudos paleobotânicos na Bacia do Tacutu, Roraima. Não obstante, a posição filogenética dos gnetófitas e grupos fósseis intimamente relacionados e suas relações com as

angiospermas tem sido discutida de forma muito intensa nas últimas décadas (Kunzmann et al., 2011; Yang et al., 2013). Tendo em vista as questões acerca dos gnetófitas ainda não resolvidas, novos dados de fósseis podem ajudar a entender melhor não apenas a evolução desse grupo, mas também a filogenia das plantas de sementes em geral (Kunzmann, et al, 2011).

Em específico, destaca-se que estudos taxonômicos descritivos de estruturas reprodutivas são importantes visto que podem contribuir para a compreensão e evolução da flora e da paisagem da região norte do Brasil. Diante do exposto, o presente artigo tem por objetivo realizar o estudo taxonômico baseado em morfologia das estruturas reprodutivas gnetaleanas recuperadas do Afloramento Murici II, posicionado na Formação Serra do Tucano, Cretáceo Inferior da Bacia do Tacutu, Estado de Roraima.

MATERIAL E MÉTODOS

Geologia da área de estudo

A Bacia do Tacutu, segundo Silva et al. (2003), é um aulacógeno formado pela abertura do Oceano Atlântico Central, sendo uma extensão sudoeste do *rift* norte Atlântico que foi implantado em uma zona de reativação do cinturão da Guiana Central (CGC).

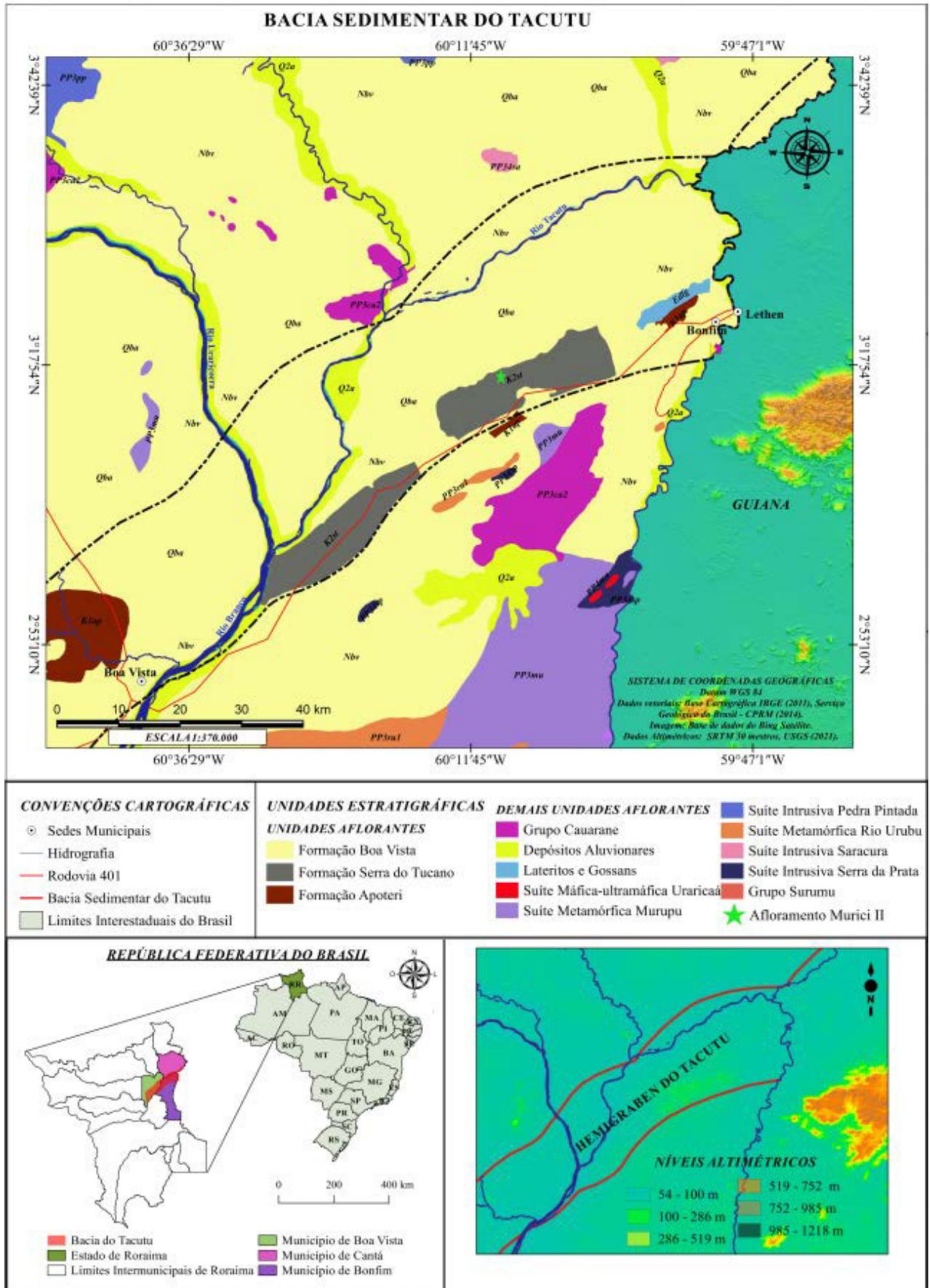
Geograficamente (Figura 1), está localizada na fronteira entre o Brasil (nordeste do estado de Roraima) e o distrito guianense de Rupununi (Eiras & Kinoshita, 1988, 1990; Vaz et al., 2007). A bacia é formada por sistemas de grábens, com direção NE-SW, possui 300 km de comprimento e 30 a 50 km de largura (Eiras & Kinoshita, 1988;1990; Eiras et al., 1994).

Esta bacia tem preenchimento meso-cenozoico (Silva et al., 2003), seu arcabouço sedimentar é composto por rochas sedimentares e vulcano-sedimentares que ultrapassam localmente os 7.000 m de espessura (Eiras & Kinoshita, 1990). Conforme já mencionado, poucos são os estudos paleontológicos existentes sobre a Bacia do Tacutu e ausência de fósseis diagnósticos

se torna um fator limitante para a definição de um esquema cronobiostratigráfico para a bacia (Eiras & Kinoshita, 1988, Souza et al., 2009).

A Bacia do Tacutu, de acordo com Vaz et al. (2007), possui sete formações litoestratigráficas, sendo elas: (1) Apoteri, (2) Manari, (3) Pirara; (4) Tacutu; (5) Serra do Tucano, (6) Boa Vista e (7) Areias Brancas. Dentre estas formações, destacam-se paleobotanicamente as formações Serra do Tucano, de idade Mesozoica, e a Formação Boa Vista, de idade Cenozoica, por apresentarem registro de microfósseis vegetais na porção brasileira da bacia.

Figura 1: Mapa geológico da Bacia do Tacutu. Fonte: Oliva (2022).



Formação Serra do Tucano

A Formação Serra do Tucano, unidade de estudo desta pesquisa, foi denominada por Reis et al. (1994). A Formação Serra do Tucano é aflorante somente na porção brasileira da bacia. Em superfície, encontra-se exposta na forma de morros suaves que atingem até 200 m de altura e compõem a “Serra do Tucano” que dá nome a unidade. Esta feição fisiográfica observada é o oposto do que se encontra predominantemente no interior do gráben, composto por extensões planas (Eiras & Kinoshita, 1990). Segundo Vaz et al. (2007), a Formação Serra do Tucano é caracterizada por apresentar, na base da serra de arenitos castanhos, médios a grossos, com seixos gradando para o topo a caulínicos e friáveis, com estratificação cruzada e raras intercalações de siltitos.

Em síntese, a litologia desta unidade, de acordo com Eiras & Kinoshita (1990) e Eiras et al. (1994), se caracteriza por uma sequência sedimentar composta essencialmente por arenitos, no qual a partir de interpretações sísmicas, estima-se que, em subsuperfície, pode chegar a 2.200 m de espessura. Situada na porção estratigráfica superior da bacia, a Formação Serra do Tucano recobre um pacote de siltitos oxidados (*redbeds*) da Formação Tacutu (Souza & Sampaio, 2007) e encontra-se recoberta de norte a sul, pela extensa sedimentação cenozoica da Formação Boa Vista (Reis et al., 1994).

A idade eocretácea da Formação Serra do Tucano é inferida a partir de sua posição estratigráfica e, de acordo com Cruz (2019), a presença do gênero *Cupressinocladus* limitaria a idade desta unidade ao Aptiano. Sendo assim, com base no registro fóssilífero, a idade da Formação Serra do Tucano corresponderia ao limite (Barremiano-Aptiano). Tendo em vista o escasso registro paleontológico, mais estudos taxonômicos dos fitofósseis encontrados nesta unidade são fundamentais para que se possa ter melhor definição do posicionamento cronoestratigráfico desta formação. Neste sentido, na última década, a descoberta de afloramentos fóssilíferos nesta formação tem impulsionado os estudos paleontológicos da

bacia. Dentre estes, estão estudos conduzidos por Souza & Sampaio (2007) e Abreu-Ioris (2015), em que os autores apresentaram os registros de icnofósseis de invertebrados, Santos (2015), que deu a conhecer a presença de lenhos silificados, Cruz (2019), que descreveu fragmentos de macrofósseis vegetais, e Santos et al., (2016), que registraram a ocorrência de *Charcoal*. Desse modo, para se ter uma ampla visão dos fósseis vegetais já descritos, o Quadro 1 traz uma síntese dos registros encontrados na literatura que remetem à macroflora eocretácea da Bacia do Tacutu (Formação Serra do Tucano).

Quadro 1: Quadro síntese dos principais registros paleobotânicos do Cretáceo da Bacia do Tacutu.

Sistema/Série	Unidade Estratigráfica	Localidade	Táxon	Parte Preservada	Referência
Cretáceo Inferior	Formação Serra do Tucano	Afloramento Murici II	<i>Cladophlebis</i> e <i>Shenopteris</i>	Fronde de samambaia	Cruz, 2019.
			<i>Desmiophyllum gracile</i>	Impressões e compressões de folhas lanceoladas	
			<i>Brachyphyllum</i> e <i>Cupressinocladus</i>	Ramos foliares escamiformes	
			Divisão Cycadophyta	Impressões de pinas destacadas	
		Morro da Sereia	Coníferas?	Lenho (<i>Charcoal</i>)	Santos et al., 2016.
Cretáceo	Não identificada	Margem Rio Tacutu	Ordem? Coniferales	Lenho	Santos, 2015.
			<i>Brachyoxylon</i>		
Cretáceo Inferior	Formação Serra do Tucano	Morro do Tiro	Ordem? Coniferales		

Afloramento Murici II

A área de estudo (Figura 2) localiza-se no município de Bonfim, RR, e seu acesso é feito da capital Boa Vista, pela BR-401, prosseguindo até o Km 82. Neste quilômetro, a partir da margem esquerda da rodovia, encontra-se a vicinal Tucano Bom 170 que dá acesso ao

afloramento Murici II, o qual ocorre em forma de corte de estrada, em meio a uma vegetação do tipo savana (Cruz, 2019).

O afloramento Murici II apresenta um total de 4,5 m de espessura e é constituído por oito sequências litológicas (Figura 2). A base possui 1,30 m de espessura, composta de arenito de fino a médio, com grãos angulosos a subangulosos, de baixa esfericidade e pobremente selecionados, coloração amarela clara e porções vermelhas esbranquiçadas, as quais são inferidas como produto do intemperismo. Seu contato superior é gradual com granodecrescência para o topo (Cruz, 2019).

É seguida por um arenito muito fino, centimétrico, de coloração marrom acobreada. Esta camada tem aspecto tubular (Figura 2). De acordo com Wankler et al. (2019), esta litofácies apresenta marcas de onda de pequeno porte e laminações plano paralelas, e contém, por vezes, fósseis fragmentados de folhas, caules, sementes e outras estruturas reprodutivas (Cruz, 2019), formando níveis milimétricos de acumulação. Wankler et al. (2019) interpretam a deposição desta camada sob regime de fluxo inferior, em sistema de baixa energia.

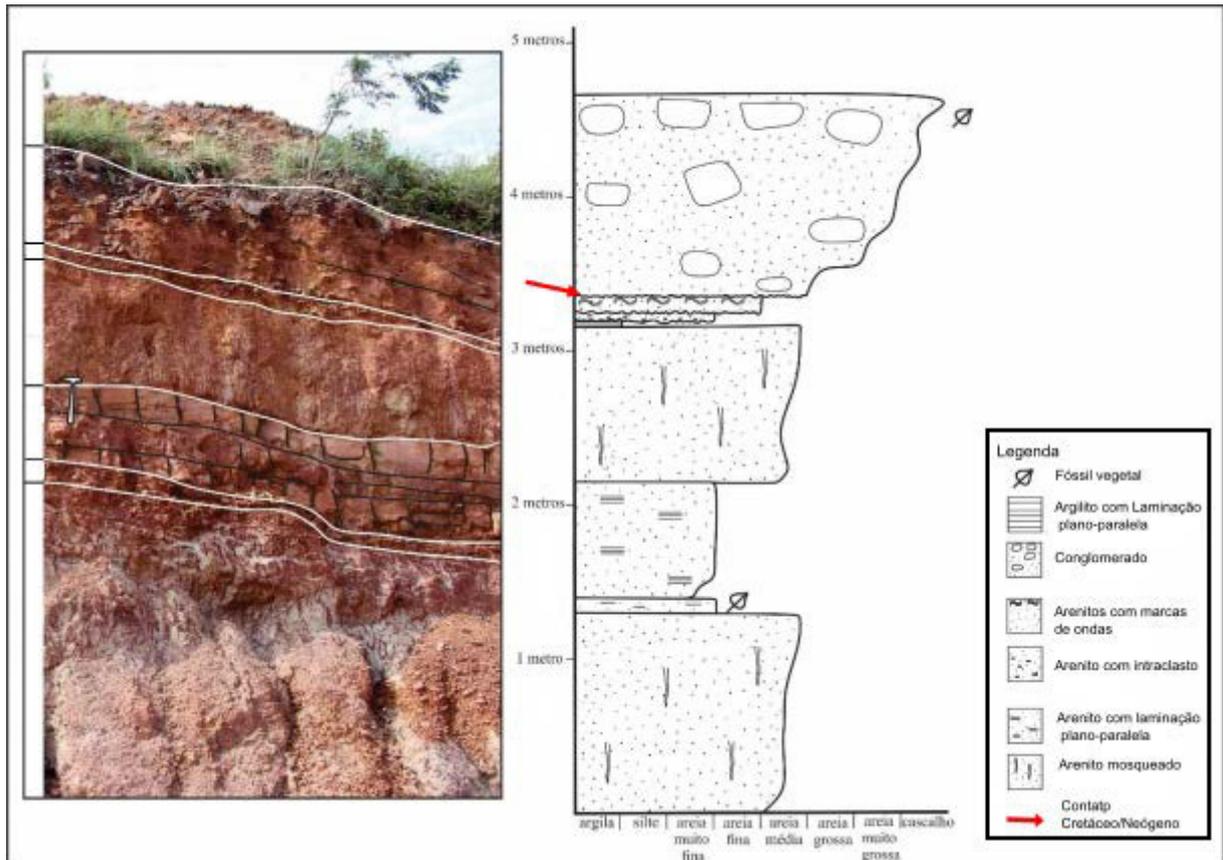
Sobreposta a camada fossilífera, segue uma sequência de arenitos de matriz de areia muito fina e siltosa à areia média, constituída por grãos de quartzo e feldspato alcalinos alterados, angulosos a subangulosos e seleção moderada, e coloração marrom amarelada (Figura 2). Esta camada possui forma tabular e laminações plano-paralelas (Figura 2), além de indicativo de fraturas ocasionadas pelo soerguimento do pacote sedimentar que resultou no padrão em blocos da camada e contribuiu no processo de alteração da rocha em argilominerais. Seu contato superior é gradual com granocrescência para o topo (Cruz, 2019). O topo desta sequência apresenta uma camada inconsolidada de cerca de 1,0 metro de espessura de coloração vermelha esbranquiçada apresentando intenso processo de alteração intempérica. Esta camada tem aspecto textural semelhante a base (Figura 2). O contato superior é abrupto.

Sobrepostos aos arenitos, encontra-se uma sequência pelítica, com camadas de siltitos e arenitos finos de coloração vermelha escura (Figura 2), apresentando estrutura de laminações plano-paralelas deformadas pela sobrecarga da camada sobrejacente com contato superior erosivo. O arenito fino contém intraclastos da camada subjacente e coloração cinza (Figura 2). Apresenta-se composta predominantemente por grãos de quartzo, angulosos a subangulosos, com seleção moderada, estrutura maciça e contato superior erosivo (Cruz, 2019).

O topo desta sequência é composto de arenito fino, com grãos de quartzo, feldspato alcalino alterado e goethita, apresentam aspectos angulosos a subangulosos, e moderadamente selecionados. Esta camada possui coloração amarela clara e apresenta laminação de marcas onduladas (Figura 2). Possui contato superior erosivo. Por fim, no topo do afloramento, apresenta um nível conglomerático, inconsolidado, com gradação inversa e fragmentos de rochas retrabalhadas, inclusive do nível fossilífero (Figura 2).

O ambiente sedimentar da Formação Tucano da Serra foi interpretado por Reis et al. (1994) como francamente continental, relacionado a um sistema fluvial meandrante, agregado a depósitos de planície de inundação gerados por águas rasas e eventos esporádicos, que foi depositado sob condições climáticas áridas. Para Wankler et al. (2019), os depósitos do Afloramento Murici são correspondentes a um sistema fluvial formado por um canal principal composto por barras acrecionárias, associadas a formas de leito arenosas, sendo este canal interligado à depósitos de *overbank* que ocorrem em contextos próximos e distais ao canal principal. Dessa forma, as informações obtidas pelos autores a partir das características faciológicas e arquiteturas neste afloramento mostram ser plausíveis ao que sugere Reis et al. (1994) para os depósitos da Formação Serra do Tucano, os teriam se formado em um sistema fluvial meandrante arenoso.

Figura 2: Afloramento Murici II. Perfil mostrando as disposições das camadas e a ocorrência de fósseis nelas. Fonte: Cruz (2019), modificado.



Material

As amostras estudadas correspondem a espécimes preservados na forma de compressões/impressões representam de estruturas reprodutivas contidas em arenitos finos, com laminação plano paralela, provenientes do afloramento Murici II (Perfil; Figura 2), localizado na Formação Serra do Tucano (Barremiano-Aptiano). Estas amostras se encontram depositadas na Coleção Paleobotânica do laboratório de Paleontologia da Amazônia – LaPA, no Instituto de Geociências da Universidade Federal de Roraima (IGEO/UFRR), sendo identificadas com a sigla IGEO-PB. As amostras selecionadas para este estudo foram cedidas para o Laboratório de Processamento de Amostras e Coleção de Rochas e Fósseis (LPA-CRF), da Universidade Estadual de Roraima (UERR). Tendo em vista os objetivos a serem alcançados, foram realizadas, entre fevereiro e março de 2020, atividades de campo para ampliar a coleta de novos materiais. Essa etapa contou com o apoio logístico da (UERR) e as

amostras coletadas estão depositadas na Coleção Científica dessa universidade sob a sigla CCU.

Análise morfológica

Inicialmente, realizou-se uma seleção das amostras depositadas no LaPA/UFRR e no LPA-CRF/UEER. Concomitantemente, foram realizadas análises macroscópicas dos vegetais, com o auxílio do estereomicroscópio *Leica ES2*, com o intuito de triar as amostras para realização desta pesquisa. Para realização de medidas lineares, todas feitas em milímetros, utilizou-se um paquímetro Marberg digital 300 mm-12”.

A segunda etapa consistiu-se na preparação dos fósseis, quando as amostras foram submetidas à preparação mecânica para expor as partes que estavam envolvidas pela matriz sedimentar.

Neste processo, utilizou-se ferramentas, tais como: talhadeiras, martelinho, agulha histológica, lâmina e pincel.

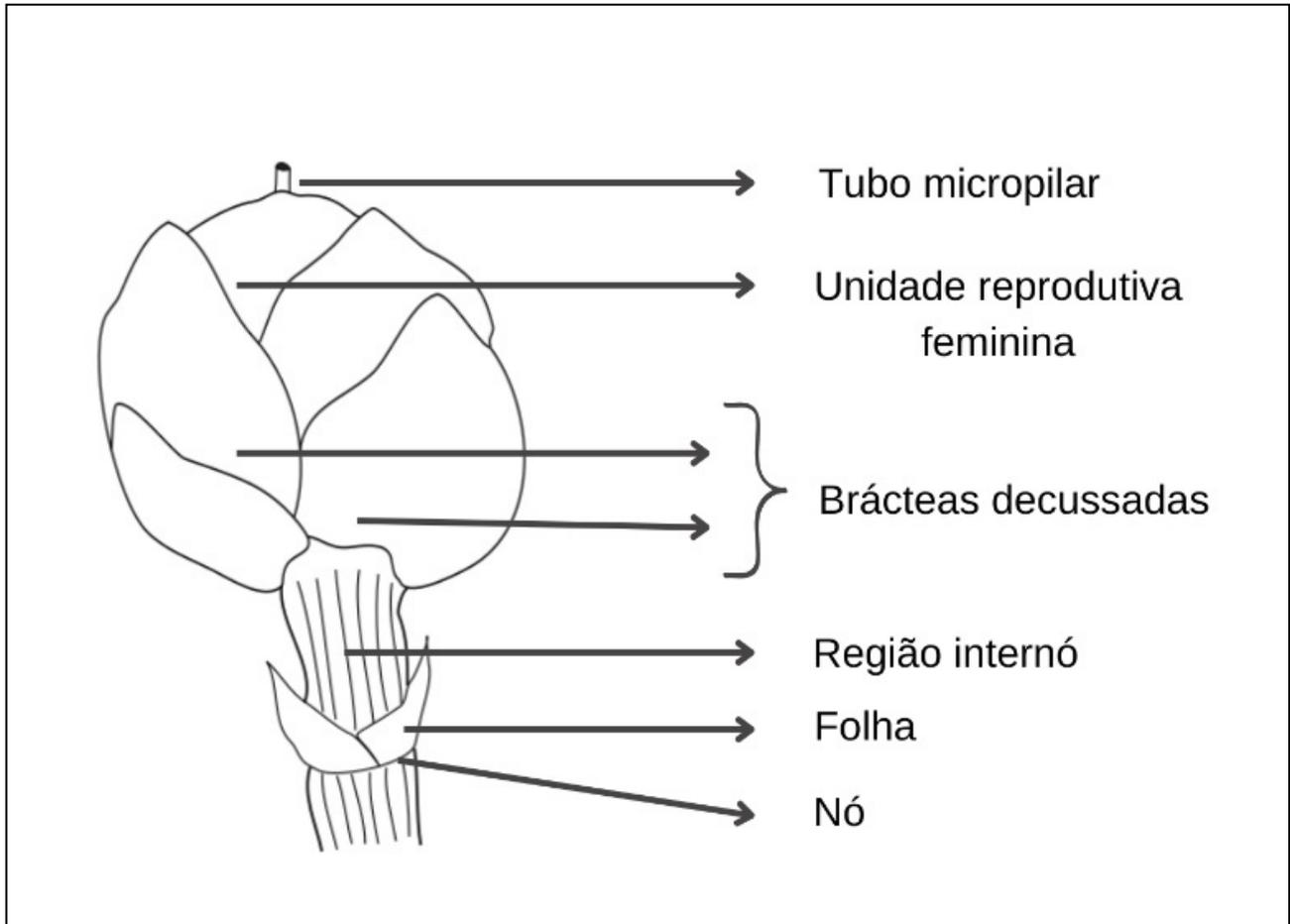
Por fim, os espécimes selecionados foram fotografados com câmera *Canon Rebel reflex 60D*, acopladas com lentes *close-up*. As análises e interpretações das amostras foram realizadas a partir das feições morfológicas preservadas.

ANÁLISE MORFOLÓGICA E TAXONÔMICA

Foram elaboradas fichas de descrição para registrar as principais feições diagnósticas observadas (Figura 3) e para aferição morfométrica das estruturas reprodutivas.

Considerando-se o trabalho desenvolvido por Yang et al. (2013), os seguintes caracteres diagnósticos foram utilizados na caracterização das estruturas reprodutivas genofíticas para fins de classificação taxonômica: (i) arranjo das brácteas (decussado ou em espiral de três); (ii) número de óvulos das brácteas distais (de um a três óvulos envoltos por um tegumento); (iii) o número de brácteas no cone (é variável em nível intra e inter-específico); (iv) grau de fusão das brácteas do cone (livres ou fundidas proximalmente em diferentes graus).

Figura 03: Esquema ilustrando as principais feições diagnósticas de uma estrutura reprodutiva de Ephedraceae, mostrando o cone terminal e o pedicelo estriado com folhas. Inspirado nos trabalhos de: Sharma, P., Uniyal, P. L., & Hammer, Ø. (2010); Carretero, 2018.



Para a identificação taxonômica dos espécimes de estruturas reprodutivas, esta pesquisa sustentou-se nas descrições e/ou diagnoses disponíveis na literatura pertinente (Yang et al., 2005; Kerkhoff & Dutra, 2007; Kunzmann et al., 2009; 2011; Ricardi-Branco et al., 2013; Yang et al., 2013). Os espécimes foram comparados com descrições, fotos e desenhos disponibilizados na literatura que abordam a paleoflora de outras bacias do Cretáceo Inferior.

RESULTADOS

Sistemática Paleobotânica

Sub Reino Embryobionta Cronquist, Takhtajan and Zimmermann, 1966

Divisão Tracheophyta Sinnott, 1935 ex Cavalier-Smith, 1998

Subdivisão Spermatophytina Cavalier-Smith, 1998

Ordem Gnetales Luer. 1879

Família Ephedraceae Dumort. 1829, emend. Yang et al., 2013

Diagnose da Família (Yang et al., 2013): As “Unidades Reprodutivas Femininas” (FRUs), ou cones femininos compostos, são diretamente terminais aos galhos, ou pedunculados ou sub-sésseis ou sésseis nos nós. Os cones femininos compostos, se presentes, são trímeros ou bímeros, possuem de um a múltiplos verticilos/pares de brácteas foliares ou especializadas, cada um subtendendo uma unidade reprodutiva feminina, ou apenas o verticilo/par de brácteas superior sendo fértil e os verticilos/pares inferiores tornando-se estéreis. As brácteas cônicas, às vezes, são modificadas em secas e membranosas, ou secas e coriáceas, ou carnudas e coloridas. As sementes apresentam um envoltório externo e um tegumento interno que geralmente se estende para cima e passa pela abertura do envoltório externo, formando um tubo micropilar fino e oco. Tubos micropilares de comprimento e forma variados, 0,2-4 mm de comprimento, retos, curvados ou enrolados.

cf. *Ephedra* sp.

Figs. 4 a 6

Material (cones): IGEO-PB 384C (1), IGEO-PB 517C (1), IGEO-PB 517C (2), IGEO-PB 517M (1), IGEO-PB 547A (4), IGEO-PB 547 (2), IGEO PB 547b (1), IGEO PB 602b (1), IGEO PB 602b (2).

Material (brácteas): IGEO-PB 384c (2), IGEO-PB 388, IGEO-PB 545a, IGEO-PB 516a (1).

Localidade: Afloramento Murici II, município de Bonfim, estado de Roraima.

Estratigrafia: Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu.

Idade: Barremiano-Aptiano, Eocretáceo.

Descrição do Material: Cone do tipo-*Ephedra*, uni ovulado, ovoide a elipsoide, medindo em torno de 4,0 a 6,8 mm (n=5) de comprimento por 2,70 a 6,90 mm de largura (n=8), por vezes,

pedunculado; o pedúnculo é levemente estriado longitudinalmente, a orientação da unidade reprodutiva FRU em relação ao pedicelo é ortótropa. As brácteas cobrem a semente quase que completamente, apresentando, geralmente, um ou dois pares de brácteas decussadas. O tamanho da bráctea varia de 1,03 a 4,94 mm em largura (n=18), na região proximal, e de 2,49 a 6,8 mm, em comprimento (n=14). Cada cone ovulado contém uma semente que se projeta em direção ao ápice, estas sementes estão aderidas ao cone, expondo, aproximadamente, 1,74 a 2,05 mm de sua porção distal, e medindo cerca de 1,43 a 2,68 mm de largura. A forma da região apical da semente se apresenta arredondada a obtusa.

Forma das brácteas isoladas: As brácteas, quando encontradas isoladas no sedimento, possuem base retusa e ápice cônico.

Pedicelo: O pedicelo geralmente incompleto, possui largura (n=5) aproximadamente 1,08 a 2,41 mm, e é longitudinalmente estriado. O espécime IGEO-PB 384C apresenta folhas escamosas na região nodal.

Comparação: Dentro da ordem das Gnetales, as três famílias conhecidas, i.e. Gnetaceae, Welwitschiaceae e Ephedraceae, são monogênicas, i.e. *Ephedra* L., *Gnetum* L. e *Welwitschia* Hooker, e representam plantas bastante distintas, morfológicamente heterogêneas, mas que compartilham um número significativo de caracteres anatômicos (especialmente em relação às folhas e ramos) (Kunzmann et al., 2009; 2011). Os fósseis desta ordem são determinados, principalmente, por suas estruturas reprodutivas (Kunzmann et al., 2009). Deste modo, tanto *Gnetum* quanto *Welwitschia* possuem cones femininos com muitos verticilos de brácteas férteis, enquanto *Ephedra* tem normalmente apenas o verticilo/par de brácteas superior férteis (Yang et al., 2013).

Ephedraceae é a família que apresenta alguns dos caracteres morfológicos que mais se assemelham aos fósseis aqui estudados. Esta família é constituída por plantas com hábito de crescimento arbustivo, caules delgados, com ramificação decussada, muitos nós, os quais são

geralmente inchados; o caule é estriado entre os nós, as folhas reduzidas, e as unidades reprodutivas femininas (FRUs), ou cones femininos compostos, são terminais aos galhos, ou são pedunculados, ou sub-sésseis, ou sésseis nos nós, com brácteas de arranjo espiralado ou decussado e presença de tubo micropilar (Wang & Zheng, 2010; Yang et al., 2013).

Poucos são os táxons descritos na literatura que se assemelham morfológicamente ao material descrito neste estudo. *Itajuba yansanae*, erigida por Ricardi-Branco et al. (2013), para depósitos da Formação Crato (Albiano – Aptiano) da Bacia do Araripe, é uma Gnetales fóssil que se assemelha ao gênero atual *Ephedra* que apresenta apenas um óvulo/semte por cone ovulado, circundado por dois pares de brácteas. Nosso material difere de *Itajuba yansanae* quanto à variação no comprimento e largura dos cones, e pelas brácteas que não se estendem para/ou além da estrutura reprodutiva.

Outro fóssil semelhante, também da Formação Crato, é *Cearania heterophylla* estabelecida por Kunzmann et al. (2009). As estruturas reprodutivas femininas deste táxon são interpretadas como órgãos ovulados de semte única, cercada por várias brácteas estéreis ligadas terminalmente, e os masculinos como pequenos órgãos produtores de pólen, semelhantes a cones, cuja estrutura é composta por várias unidades microsporangidas em arranjo decussado oposto. A estrutura ovular de *C. heterophylla* consiste em várias brácteas dispostas em espiral e que, portanto, diferem nos arranjos em pares de *Ephedra* e da forma aqui analisada (Kunzmann et al., 2009).

Ephedra paleoamericana (Kerkhoff & Dutra, 2007), recuperada de rochas da mesma unidade estratigráfica de *C. heterophylla* e de *I. yansanae* na Bacia do Araripe, foi erigida com base em um estróbilo masculino contendo de oito a dez brácteas lenhosas, de disposição verticilada e caráter livre. Já os estróbilos fósseis estudados são interpretados como femininos pela presença do óvulo/semte compondo o FRU e os poucos pares de brácteas observados (dois

a quatro pares), são característicos da estrutura reprodutiva feminina de *Ephedra* (Kerkhoff & Dutra, 2007).

Os espécimes aqui estudados também possuem semelhanças em suas FRUs com *Ephedra archaeorhytidosperra*, erigida por Yang et al. (2005) a partir de um espécime fóssil coletado na Formação Yixian (Cretáceo Inferior), no oeste de Liaoning, na China, por apresentarem de um a dois óvulos por cone que são constituídos por poucos pares de brácteas (geralmente dois pares) de filotaxia decussada e pedúnculo estriado. No entanto, o tubo micropilar que tem sido relatado nestes fósseis descritos na China encontra-se ausente nos espécimes aqui descritos, impedindo assim uma comparação mais acurada entre as formas.

Segundo Yang (2007), a partir do estudo realizado com a espécie atual *Ephedra rhytidosperra*, a ausência desse tubo parece ocorrer em alguns casos em que o par de FRU desenvolveu-se assimetricamente em um cone, onde, neste caso, um deles teria sido eventualmente abortado. Por conseguinte, as unidades ovuladas abortadas parecem sempre não possuir um tubo micropilar. Outra explicação para ausência do tubo micropilar refere-se às condições tafonômicas necessárias para preservação dessas estruturas mais delicadas, como no caso, seria o da inserção em uma matriz sedimentar de granulometria muito fina. Neste sentido, as FRUs aqui estudadas estão preservadas em arenitos, o que possivelmente prejudicou a preservação de estruturas tão delicadas.

Diante do exposto, considerando-se o princípio da parcimônia, optou-se por indicar a similaridade do material fóssil com representantes do gênero *Ephedra*, sem, contudo, formalizar uma determinação específica, nomeando como cf. *Ephedra* sp. Espera-se que no futuro, com a ampliação do material fossilífero, possa haver mais evidências que corroborem esta relação de modo mais claro e permitam uma classificação em nível específico.

DISCUSSÃO

Gnetales

As Gnetales são encontradas no registro fóssil desde o Eocretáceo, embora inclua representantes vivos, é um grupo que historicamente foi colocado em uma posição intermediária entre as gimnospermas e as angiospermas, em uma subdivisão denominada Chlamydospermae (Taylor et al., 2009). Por muitos anos este tem sido o grupo de plantas mais controverso e de relações filogenéticas ainda obscuras, dentro das cinco linhagens modernas de plantas com sementes conhecidas, incluindo Cicadáceas, Ginkgo, Coníferas e Angiospermas (Yang, 2010).

No que se diz respeito à evolução inicial e filogenia das Gnetales, têm-se basicamente duas hipóteses. A primeira coloca as Gnetales em um clado antófito, no qual, a partir de dados morfológicos, implica dizer que os cones femininos compostos das Gnetales podem estar intimamente relacionados às flores de angiospermas ou órgãos férteis de Bennettitales, Erdtmanithecales e outros clados antófitos (Kunzmann et al., 2011). A outra hipótese, a partir de dados moleculares, situa as Gnetales dentro ou intimamente relacionadas às coníferas, formando os grupos “Gnepines, Gnetifers ou Gnecups”, sugerindo que os cones femininos compostos das Gnetales e os das Coniferophytes podem ser homólogos (Yang et al., 2013).

Um estudo filogenético molecular, desenvolvido por Ran et al. (2018), coloca Gnetales como irmã das Pinaceae e assim sustenta a hipótese Gnepina, no qual os dois grupos formam um clado irmão de Conífera II. Os dados apresentados sugerem também taxas evolutivas moleculares semelhantes em Gnetales e angiospermas, indicando que ambos os grupos devem ter sofrido pressões seletivas similares em sua história evolutiva.

As três famílias de Gnetales têm sido amplamente tratadas como táxons naturais, apesar de monogenéricas (i.e., *Ephedra* L., *Gnetum* L. e *Welwitschia* Hooker) (Yang & Wang, 2013; Yang et al, 2013). O gênero de Ephedraceae existente, i.e. *Ephedra*, apresenta uma

diversidade muito maior e é considerado primitivo/ basal (Liu et al., 2008), enquanto *Gnetum* e *Welwitschia* são representantes mais derivados e estão mais intimamente relacionados entre si do que com *Ephedra* (Yang et al., 2013). Assim sendo, a abundância de Gnetales afins às Ephedraceae no começo do registro do grupo durante o Eocretáceo faz todo o sentido, pois o plano ephedroide é o mais basal a partir do qual os demais evoluíram. O presente achado expande o registro das plantas ephedraceanas ao longo dos paleotrópicos do início do Cretáceo, corroborando com o registro conhecido até o momento.

Significado paleoambiental-paleoclimático

O período Cretáceo é geralmente descrito como um dos mais quentes da história da Terra (Carvalho et al., 2017). No Eocretáceo, as províncias paleoflorísticas do continente sul-americano estavam situadas na região equatorial (Sucerquia, 2013) interpretada, predominantemente como semi-árida a árida (Spicer et al., 2013). A porção noroeste do Gondwana, em que a Bacia do Tacutu estava situada durante o Eocretáceo, também estava inserida na região paleotropical. O registro fitofossilífero da Formação Serra do Tucano, de idade Barremiana-Aptiana, tem sido interpretado como sendo constituído por uma comunidade vegetacional de ambiente ripário e de planície de inundação, composto por espécimes que podem ser classificados como plantas mesófitas e xerófitas (Cruz; 2019). As mesófitas são representadas por restos de *Cladophlebis*, *Sphenopteris*, *Cupressinocladus*, *Desmiophyllum* e *Cycadophyta*, enquanto as xerófitas por ramos de *Brachyphyllum* (Cruz, 2019).

Carvalho et al. (2017) e Carvalho et al. (2019) têm apontado para a existência de ciclos de clima seco e úmido durante o Aptiano tardio, tendo como referência os estudos das palinofloras. Os resultados apresentados pelos autores indicam que durante o processo de umidificação climática, a flora xerofítica, dominada por *Classopollis* (Cheirolepidiaceae), era substituída por uma grande abundância e diversidade de esporos de pteridófitas (e.g.,

Cyathidites, *Cicatricosisporites*), característicos da fase úmida. Na Formação Serra do Tucano ainda não foi possível recuperar palinomorfos. No entanto, dentre os fragmentos foliares estudados por Cruz (2019), predominam fragmentos da família Cheirolepidiaceae (i.e., *Brachyphyllum*) que representam aproximadamente 78% das folhas identificadas. Agora, com estruturas reprodutivas de Gnetales aqui descritas, há fortes indícios de clima seco e quente (Carvalho, et al. 2019).

As gnetaleanas apresentam características xerofíticas típicas (Kerkhoff & Dutra, 2007), tais como: folhas reduzidas a escamas; estômatos afundados na epiderme, enquanto células epidérmicas e parênquima cortical estão incrustados de oxalato de cálcio (Bernardes-de-Oliveira et al., 2014). A escassez de macrofósseis de gnetaleanas no registro fossilífero é também associada a sua presença em áreas mais secas, dificultando sua incorporação no ciclo sedimentar (Crane, 1996).

Idade da Formação Serra do Tucano

Inicialmente, a Formação Serra do Tucano era considerada de idade Barremiana-Albiana (Eiras et al., 1994, Vaz et al., 2007). No entanto, Cruz (2019) sugeriu um intervalo menor para esse pacote sedimentar, a partir da ocorrência do gênero *Cupressinocladus* que apresenta sua amplitude estratigráfica limitada ao Aptiano. Sendo assim, com base no registro fitofossilífero, a idade da formação corresponderia ao limite Barremiano-Aptiano. Essa delimitação de idade proposta por Cruz (2019) é corroborada com a presença de Gnetales aqui descritas, visto que ambas são elementos de uma flora xerofítica presente na maioria das bacias sul-americanas (Carvalho et al. 2017) e bastante abundantes no início do Aptiano em floras de clima seco e quente. Por fim, vale ressaltar que estes dados da Formação Serra do Tucano dão indícios de que aquela flora não experimentou os ciclos de umidificação observados ao final do Aptiano por Carvalho et al. (2017; 2019), visto que não se observa

uma redução da quantidade de táxons xerofíticos em comparação aos demais relacionados a climas mais úmidos.

Figura 04: Ephedraceae, detalhes morfológicos do cone ovulado do espécime IGEO-PB 384C (1). br= bráctea, FRU= unidades reprodutivas femininas, p= pedicelo, n= nó, f= folha e g= gema.

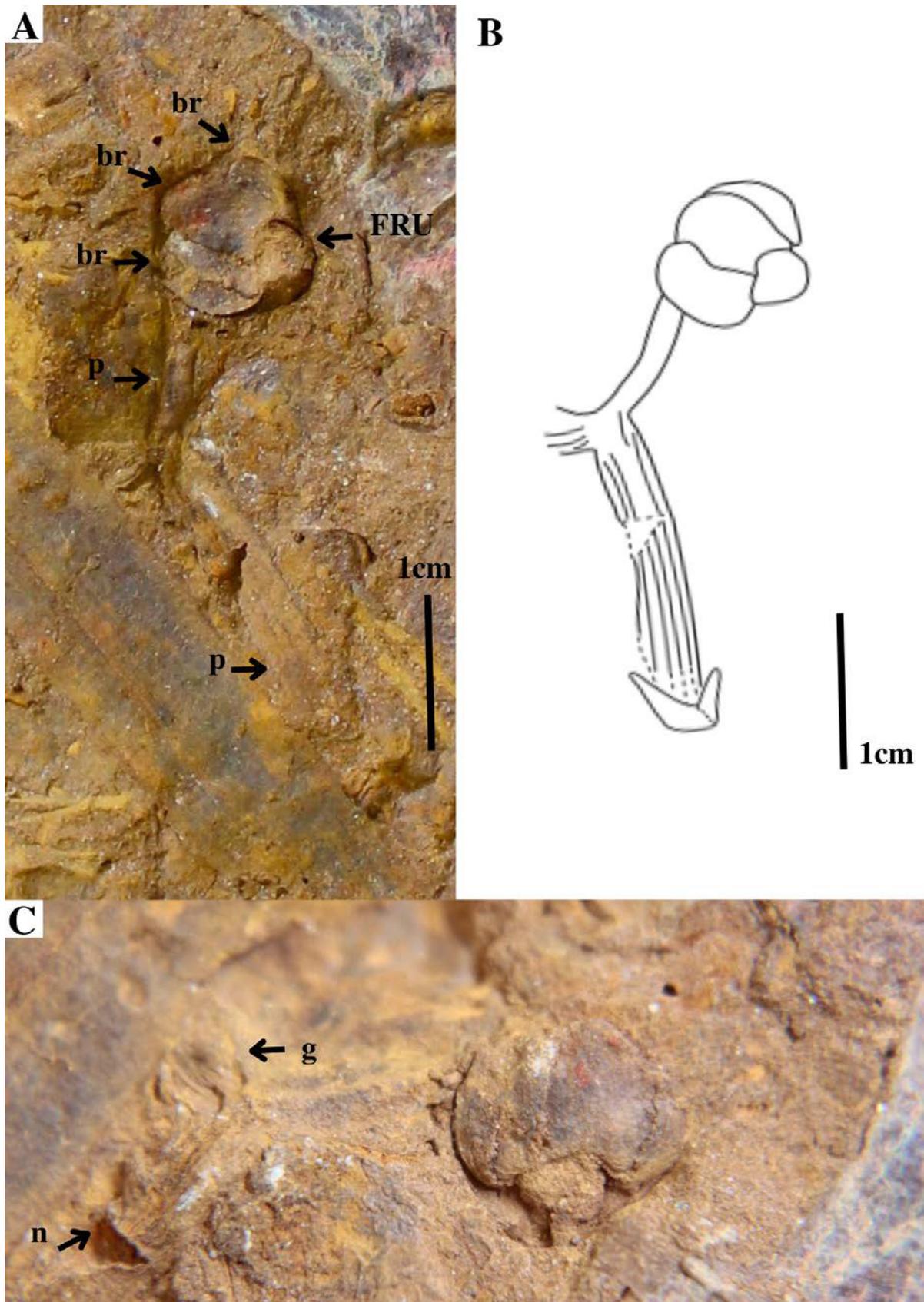


Figura 05: Ephedraceae, detalhes morfológicos do cone ovulado dos espécimes "A e B" - IGEO-PB 517C (1); "C"- IGEO-PB 517C (2) e "D"- IGEO-PB 517m (1). br= bráctea, FRU= unidades reprodutivas femininas, p= pedicelo, n= nó.

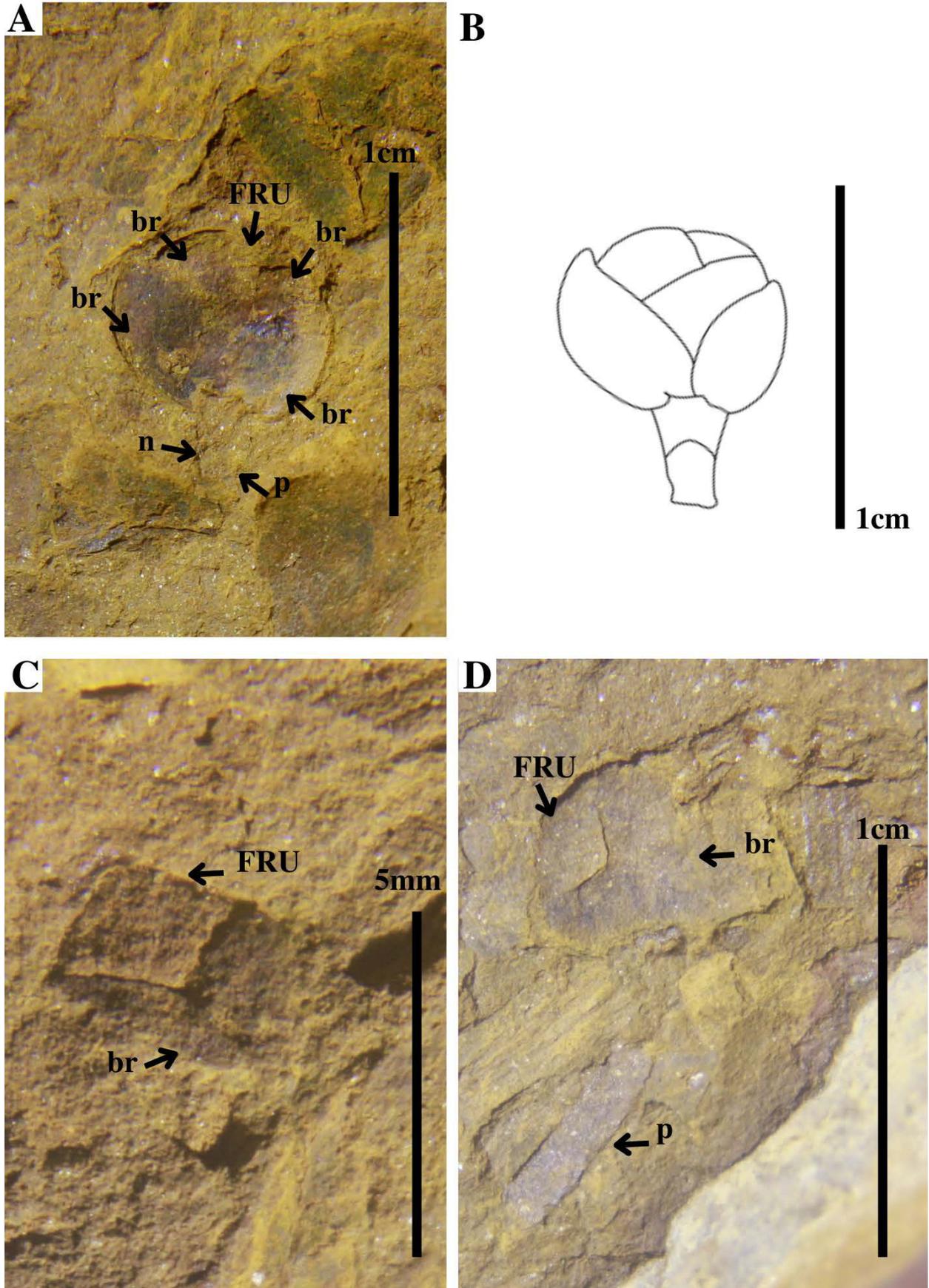
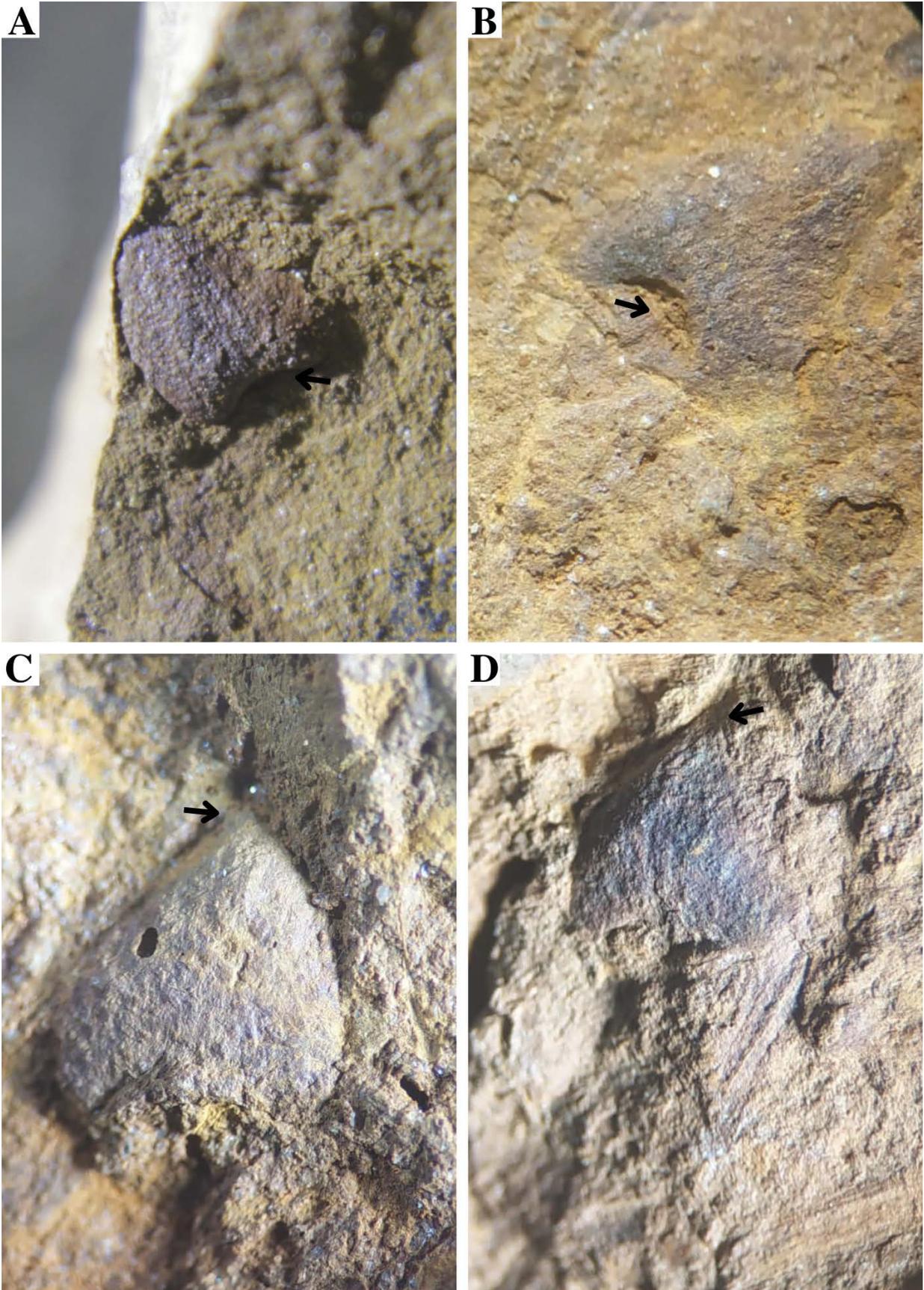


Figura 06: Detalhes morfológicos das brácteas isoladas. (A) espécime IGEO-PB 545A, onde se observa a base retusa. (B) espécime IGEO-PB 516A (1), onde se observa por vezes cicatriz de inserção. (C) espécime IGEO-PB 384C (2) e (D) espécime IGEO-PB 388, mostrando a forma do ápice cônico.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O presente estudo apresenta os primeiros registros de estruturas reprodutivas do Cretáceo Inferior da Bacia do Tacutu, provenientes do Afloramento Murici II da Formação Serra do Tucano (Barremiano-Aptiano), já que até o momento apenas porções vegetativas haviam sido reportadas;
- As análises e interpretações das amostras resultaram no reconhecimento de estruturas reprodutivas do tipo-*Ephedra*, as quais foram classificadas como cf. *Ephedra* sp. com base nas feições preservadas nos fósseis;
- Este achado expande a ocorrência de Gnetales ephedroides para o norte do país, um grupo que foi dominante no cinturão tropical durante o início do Cretáceo.
- A associação destas estruturas do tipo-*Ephedra* com outros táxons já reconhecidos da Formação Serra do Tucano sustentam a hipótese de clima quente e seco para a região onde se situava a Bacia do Tacutu no intervalo Barremiano-Aptiano.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará e à Coordenação de Capacitação em Pesquisa e Recursos Humanos (CAPES) pelo apoio à realização de presente trabalho que corresponde ao mestrado da mesma, assim como à CNPQ pela bolsa concedida (processo 130694/2019-3), sem a qual não teria sido possível a realização deste estudo. RI agradece ao Conselho Nacional de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (CNPQ) pela bolsa concedida (processo PQ313946/2021-3).

REFERÊNCIAS

Abreu-Ioris, G. R. 2015. *Interpretações paleoambientais com base nos icnofósseis da Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu*. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, Dissertação de Mestrado, 95p.

- Bernardes-de-Oliveira, M. E. C.; Sucerquia, P. A.; Mohr, B.; Dino, R., Antonioli, L. & Garcia, M. J. 2014. Indicadores paleoclimáticos na paleoflora do Crato, final do Aptiano do Gondwana Norocidental. In: I. D. S. Carvalho; M. J. Garcia; C. C. Lana & O. S. Jr (eds) *Paleontologia: Cenários de Vida—Paleoclimas*, Vol 5, p. 99-118.
- Carretero, E. M. 2018. Flora Medonza (Ephedraceae Dumort.). Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/428/42857911008/movil/>. Acesso em: 12/11/2022.
- Carvalho, M. D. A.; Bengtson, P.; Lana, C. C.; Sá, N. D. P.; Santiago, G., & Giannerini, M. C. D. S. 2019. Late Aptian (Early Cretaceous) dry–wet cycles and their effects on vegetation in the South Atlantic: Palynological evidence. *Cretaceous Research*, **100**:172-183.
doi:10.1016/j.cretres.2019.03.021
- Carvalho, M. D. A.; Lana, C. C.; Bengtson, P. & Sá, N. D. P. 2017. Late Aptian (Cretaceous) climate changes in northeastern Brazil: A reconstruction based on indicator species analysis (IndVal). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **485**:543-560.
doi:10.1016/j.palaeo.2017.07.011
- Crane, P. 1996. The fóssil history of Gnetales. *International Journal of Plant Sciences*. 157 (6 Suppl.):50-57. *doi:10.1086/297403*
- Cruz, C. S. 2019. *Interpretações paleoambientais sobre a macroflora cretácea da formação serra do Tucano, bacia do Tacutu - RR*. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, Dissertação de Mestrado, 109 p.
- Dilcher, D. L.; Bernardes-de-Oliveira, M. E.; Pons, D. & Lott, T. A. 2005. Welwitschiaceae. from the Lower Cretaceous of northeastern Brazil. *American Journal of Botany*, **92**: 1294-1310. *doi: 10.3732/ajb.92.8.1294*
- Eiras J. F. & Kinoshita, E. M. 1990. Geologia e perspectivas petrolíferas da Bacia do Tacutu. In: *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*, 1., Rio de Janeiro: PETROBRAS, CENSUD, p. 197-220. (Anais).

- Eiras, J. F. & Kinoshita, E. M. 1988. Evidências de movimento transcorrentes na Bacia do Tacutu. In: Seminário sobre rifte intracontinentais, 1, Rio de Janeiro, Petrobrás/ DEPLEX, p.2279-2291. (Anais).
- Eiras, J. F.; Kinoshita, E. M. & Feijó, F. J. 1994. Bacia do Tacutu. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, p.83-89. (Boletim de Geociências).
- Kerkhoff, H.L.M. & Dutra, L.T. 2007. Uma nova Ephedraceae (Gnetales) da bacia do Araripe, Cretáceo Inferior, Brasil. In: Carvalho, I.S.; Cassab, R.C.T.; Schwanke, C.; Carvalho, M. A.; Fernandes, A.C.S.; Rodrigues, M.A.C.; Carvalho, M.S.S.; Arai, M. & Oliveira, M.E.Q. *Paleontologia: Cenários da Vida* (Ed. Interciência), p. 243-250.
- Kunzmann, L.; Mohr; B. A. R. & Bernardes-de-Oliveira, M. E. C. 2009. *Cearania heterophylla* gen. nov. et sp. nov., a fossil gymnosperm with affinities to the Gnetales from the Early Cretaceous of northern Gondwana. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 158, p. 193–212. doi:10.1016/j.revpalbo.2009.09.001.
- Kunzmann, L.; Mohr, B. A.; Wilde, V. & Bernardes-de-Oliveira, M. E. 2011. A putative gnetalean gymnosperm *Cariria orbiculiconiformis* gen. nov. et spec. nov. from the Early Cretaceous of northern Gondwana. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 165(1-2), p. 75-95. doi:10.1016/j.revpalbo.2011.02.005.
- Liu, H. M.; Ferguson, D. K.; Hueber, F. M.; Li, C. S. & Wang, Y. F. 2008. Taxonomy and systematics of *Ephedrites cheniae* and *Alloephedra xingxuei* (Ephedraceae). *Taxon*, **57**: 577-582. doi.10.2307/25066023.
- Lopes, A. M.; Souza, W. D. & HOLANDA, E.C. 2011. Levantamento paleontológico nas Formações Serra do Tucano, Tacutu e Manari, Bacia do Tacutu – RR. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 12, 2011. *Resumos*, Boa Vista: UFRR, p.1-4.

- Oliva, D. A. 2022. *Anatomia e Morfologia de Macrofósseis Vegetais Quaternários da Formação Boa Vista da Bacia do Tacutu-RR*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Dissertação de Mestrado, 75 p.
- Oliveira, A. C. 2020. *Paleoincêndios como Indicadores de Mudanças Climáticas Durante o Cenozóico (Formação Boa Vista), Bacia do Tacutu, Roraima*. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 54 p.
- Ran, J.H.; Shen, T.T.; Wang, M. M. & Wang, X. Q. 2018. Phylogenomics resolves the deep phylogeny of seed plants and indicates partial convergent or homoplastic evolution between Gnetales and angiosperms. *Proc. R. Soc. B* **285**: 20181012. doi: 10.1098/rspb.2018.1012.
- Reis, N. J.; Nunes, N.S. D. V. & Pinheiro, S. D. S. 1994. A cobertura mesozoica do hemigráben Tacutu- Estado de Roraima: Uma abordagem ao paleoambiente da Formação Serra do Tucano. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 38, 1994. *Resumos*. Balneário Camboriú: UFSC, p. 234-235.
- Ricardi-Branco, F.; Torres, M.; Tavares, S. S.; Carvalho, I. D. S.; Tavares, P. G. & Campos, A. C. A. 2013. Itajuba yansanae Gen and SP NOV of Gnetales, Araripe Basin (Albian-Aptian) in Northeast Brazil. *In: Zhang, Y & Ray, P. (eds.). Climate Change and Regional/Local Responses*. London, United Kingdom, IntechOpen, doi: 10.5772/55704.
- Santos, Â. C. S. D.; Holanda, E. C.; Souza, V. D.; Guerra-Sommer, M.; Manfroi, J., Uhl, D. & Jasper, A. 2016. Evidence of palaeo-wildfire from the upper lower Cretaceous (Serra do Tucano Formation, Aptian–Albian) of Roraima (North Brazil). *Cretaceous Research*, **57**: 46-49. doi:10.1016/J.CRETRES.2015.08.003.
- Santos, Â. C. S. 2015. *Interpretações Paleoambientais e Paleoecológicas para o Cretáceo da Bacia do Tacutu com Base em Lenhos*. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, Dissertação de Mestrado, 69 p.

- Silva, A. J. P.; Lopes, R. C.; Vasconcelos, A. M. & Bahia, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. 2003. In: L. A., Bizzi, C., Schobbenhaus; R. M., Vidotti & J. H. Gonçalves (eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p. 55-85.
- Sharma, P., Uniyal, P. L., & Hammer, Ø. 2010. Two new species of *Ephedra* (Ephedraceae) from the western Himalayan Region. *Systematic Botany*, **35(4)**:730-735.
doi:10.1600/036364410X539817
- Souza, V. D.; Vieira, C. E. L.; Costa, J. A. V. D.; Matos, S. C. D. & Soares, V. M. A. 2009. Ocorrência de lenhos fósseis na Bacia do Tacutu, Roraima. *Revista Acta Geográfica*, **3**: 73-77. *doi: 10.5654/acta.v3i5.215*.
- Souza, V. & Sampaio, B.M. 2007. Primeiro registro fóssil (icnofósseis) da Formação Tucano (Bacia do Tacutu/RR): Uma ferramenta no estudo da evolução da paleopaisagem de Roraima. *Revista Acta Geográfica*, **1**: 105-112. *doi: 10.5654/actageo2007.0101.000*.
- Sucerquia, P. A. R. 2013. *Taxonomia, modos de preservação e fitogeografia de Coníferas aptianas da região Paleoequatorial da América do Sul*. 2013. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, 246 p. *doi:10.11606/T.44.2016.tde-31012014-142803*.
- Spicer, R. A.; Herman, A. B.; Yang, J. & Spicer, T. E. 2013. Why future climate change is likely to be underestimated: evidence from palaeobotany. *Journal of the Botanical Society of Bengal*, **67**: 75-88.
- Taylor, T.N.; Taylor, E.L. & Krings, M. 2009. *Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants*. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 1252 p.
- Vaz, P.T.; Filho, J.R.W. & Bueno, G.V. 2007. Bacia do Tacutu. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, **15**: 289-297. (Boletim de Geociências).

- Wang, X. & Zheng, S. 2010. Whole fossil plants of Ephedra and their implications on the morphology, ecology and evolution of Ephedraceae (Gnetales). *Chinese Science Bulletin*, **55**:1511–1519. doi:10.1007/s11434-010-3069-8.
- Wankler, F. L.; Sander, C.; Holanda, E. C.; Stevaux, J. C. & Leli., I. T. 2017. Novos registros fossilíferos na Formação Serra do Tucano e suas Implicações para seu modelo deposicional. In: SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA: A matemática está em tudo, 2017. *Resumos expandidos*, Boa Vista, Editora da UERR, p. 325-329.
- Wankler, F. L.; Chaves, G. B. & Menezes, M. F. 2019. Arquitetura dos Depósitos Fluviais Meandrantés da Formação Serra do Tucano, Bonfim - RR. In: XVI SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2019. *Resumos expandidos*, Manaus, CCPA, 4 p.
- Yang, Y. 2010. A review on gnetalean megafossils: problems and perspectives. *Taiwania*, **55**: 346-354. doi: 10.6165/tai.2010.55(4).346
- Yang, Y. 2007. Asymmetrical development of biovulate cones resulting in uniovulate cones in Ephedra rhytidosperra (Ephedraceae). *Plant Systematics and Evolution*, **264**: 175-182. doi: 10.1007/s00606-006-0504-z.
- Yang, Y.; Geng, B. Y.; Dilcher, D. L.; Chen, Z. D. & Lott, T. A. 2005. Morphology and affinities of an early Cretaceous Ephedra (Ephedraceae) from China. *American Journal of Botany*, **92**: 231-241. doi: 10.3732/ajb.92.2.231
- Yang, Y.; Lin, L. & Wang, Q. 2013. *Chengia laxispicatagen.* et sp. nov., a new ephedroid plant from the Early Cretaceous Yixian Formation of western Liaoning, Northeast China: evolutionary, taxonomic, and biogeographic implications. *BMC Evolutionary Biology*, **13**: 1-13. doi: 10.3732/ajb.92.2.231
- Yang, Y. & Wang, Q. 2013. The earliest fleshy cone of Ephedra from the early cretaceous Yixian formation of Northeast China. *PLOS ONE*, **8**:1-7. doi:10.1371/journal.pone.0053652

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O presente estudo apresenta os primeiros registros de sementes e de estruturas reprodutivas do Cretáceo Inferior da Bacia do Tacutu, provenientes do Afloramento Murici II, da Formação Serra do Tucano (Barremiano-Aptiano);
- As análises e interpretações das amostras resultaram em duas linhas pesquisa; I) foco nas feições morfológicas das estruturas reprodutivas (n=5) para fins de estudos taxonômicos; II) análises do tamanho das sementes (n=48) com vistas a inferências paleoecológicas;
- As análises e interpretações das amostras resultaram no reconhecimento de estruturas reprodutivas de cf. *Ephedra* sp.;
- Já as análises quanto ao tamanho médio das sementes apontadas neste registro, evidenciou que as sementes se apresentaram predominantemente pequenas, com o tamanho menor ou igual a 10mm³, o que condiz com o tamanho relatado na literatura para sementes durante o Eocretáceo;
- De acordo os dados obtidos da análise dessas sementes, a dispersão por anemocoria é a que ocorria com mais frequência, pois essas sementes, por serem muito pequenas, não possuíam estruturas específicas de dispersão, sendo efetivamente movidas pelo vento, tendo em vista que não geram resistência a ele;
- Por fim, pode-se inferir que as condições climáticas atuantes naquela época favoreceram o estabelecimento de uma vegetação mais aberta, conforme já relatado na literatura, e o tamanho reduzido das sementes são evidências deste tipo de vegetação que foi dominante no Cretáceo, sendo este um período considerado com clima seco. Ademais, a associação de táxons já reconhecidos da Formação Serra do Tucano, com a presença de cf. *Ephedra* sp. sustenta a hipótese de clima quente e seco no intervalo Barremiano-Aptiano da Bacia do Tacutu.

REFERÊNCIAS

- ABREU-IORIS, G. R. **Interpretações paleoambientais com base nos icnofósseis da Formação Serra do Tucano, Bacia do Tacutu**. 2015. 95p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, (2015).
- ARAÚJO, K. C. O.; SOMMER, M. G.; MEDEIROS, M. A. A.; GIRNOS, E. C.; SCHIMDT, I. D. Lenhos de coníferas do Mesocretáceo do Norte do Maranhão, Brasil. **Revista brasileira de paleontologia**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 29-38, 2011.
- BATISTA, M. E. P. **Paleoflora da Bacia do Araripe (Aptiano/Albiano): novas perspectivas sobre a taxonomia e paleoecologia de coníferas**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- BATISTA, M. E. P.; SILVA, D. D. C.; SALES, M. A.; SA, A. A.; SARAIVA, A. A.; LOIOLA, M. I. B. New data on the stem and leaf anatomy of two conifers from the Lower Cretaceous of the Araripe Basin, northeastern Brazil, and their taxonomic and paleoecological implications. **PloS one**, [s. l.], 12(3), e0173090, 2017.
- BATISTA, M. E.; KUNZMANN, L.; SÁ, A. A.; SARAIVA, A. Á.; LOIOLA, M. I. A New Species of *Brachyphyllum* from the Crato Formation (Lower Cretaceous), Araripe Basin, Brazil. **Ameghiniana**, [s. l.], 57(6), 519-533, 2020.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; DILCHER, D.; BARRETO, A. M. F.; RICARDI-BRANCO, F.; MOHR, B.; CASTRO-FERNANDES, M. C. D. O Estado d'arte da taoflora do membro Crato, formação Santana, Eocretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim**, [s. l.], 2002.
- BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; SUCERQUIA, P. A.; MOHR, B.; DINO, R.; ANTONIOLI, L.; GARCIA, M. J. Indicadores paleoclimáticos na paleoflora do Crato, final do Aptiano do Gondwana Norocidental. **Paleontologia: Cenários de Vida—Paleoclimas**, Interciência, Rio de Janeiro, 5, 99-118, 2014.
- BERRANGÉ, J. P.; DEARNLEY, R. The Apoteri Volcanic Formation – tholeiitic flows in the North Savanas Gráben of Guyana and Brazil. **Geologische Rundschau**, Stuttgart, [s. l.], v. 64, n. 1, p. 883-899, 1975.
- CADENA, E. A.; MEJIA-MOLINA, A.; BRITO, C. M.; PEÑAFIEL, S.; SANMARTIN, K. J.; SARMIENTO, L. B. New Mesozoic and Cenozoic fossils from Ecuador: Invertebrates, vertebrates, plants, and microfossils. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 83, p. 27-36, 2018.
- CARNEIRO FILHO, A.; SCHWARTZ, D.; TATUMI, S. H.; ROSIQUE, T. Amazonian Paleodunes Provide Evidence for Drier Climate Phases during the Late Pleistocene–Holocene. **Quaternary Research**, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 205-209, 2002.
- CASTRO, R.; GIORGIONI, M.; SOUZA, V. D.; RAMOS, M.; FEITOZA, L. M.; DINO, R.; ANTONIOLI, L. Facies analysis, petrography, and palynology of the Pirara

Formation (Upper Jurassic-Lower Cretaceous)-Tacutu Basin (Roraima, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 112, p. 103574, 2021.

COIFFARD, C.; MOHR, B. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. Hexagyne philippiana gen. et sp. nov., a piperalean angiosperm from the Early Cretaceous of northern Gondwana (Crato Formation, Brazil). **Taxon**, [s. l.], v. 63, n. 6, p. 1275-1286, 2014.

CRAWFORD, F. D.; SZELEWSKI, C. E.; ALVEY, G. D. Geology and exploration in the takutu graben of guyana Brazil. **Journal of Petroleum Geology**, [s. l.], 8(1), 5–36, 1985.

CRUZ, C. S. **Interpretações paleoambientais sobre a macroflora cretácea da formação serra do Tucano, bacia do Tacutu - RR**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2019.

DILCHER, D. L.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E.; PONS, D.; LOTT, T. A. Welwitschiaceae from the Lower Cretaceous of northeastern Brazil. **American Journal of Botany**, [s. l.], 92(8), 1294-1310, 2005.

DUARTE, L.; SANTOS, R. S. Plant and fish megafossils of the Codó Formation, Parnaíba Basin, NE Brazil. **Cretaceous Research**, [s. l.], 14(6), 735–746. doi:10.1006/cres.1993.1049, 1993.

EIRAS J. F.; KINOSHITA, E. M. **Geologia e perspectivas petrolíferas da Bacia do Tacutu**. In: ORIGEM E EVOLUÇÃO DAS BACIAS SEDIMENTARES, 1., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: **PETROBRAS, CENSUD**. 1990. p. 197-220, 1990.

EIRAS, J. F.; KINOSHITA, E. **Evidências de movimento transcorrentes na Bacia do Tacutu**. In: SEMINÁRIO SOBRE RIFTE INTRACONTINENTAIS, 1, Rio de Janeiro, Anais Seminário sobre rifte intracontinental. Rio de Janeiro: **Petrobrás/DEPLEX**, p.2279-2291, 1988.

EIRAS, J. F.; KINOSHITA, E. M.; FEIJÓ, F. J. **Bacia do Tacutu. Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.83-89, 1994.

ERIKSSON, O. Evolution of seed size and biotic seed dispersal in angiosperms: paleoecological and neocological evidence. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, 169:863-870, 2008.

ERIKSSON, O.; FRIIS E. M.; LÖFGREN, P. Seed Size, Fruit Size, and Dispersal Systems in Angiosperms from the Early Cretaceous to the Late Tertiary. **The American Naturalist**, [s. l.], Jul;156(1):47-58. doi: 10.1086/303367, 2000.

FALCÃO, M. T. **Compartimentação do relevo no hemigráben do Tacutu, estado de Roraima**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2007.

FAMBRINI, G. L.; SILVESTRE, D. D. C.; BARRETO JUNIOR, A. M.; SILVA-FILHO, W. F. D. **Estratigrafia da Bacia do Araripe: estado da arte, revisão crítica e resultados novos.** *Geologia USP. Série Científica*, 20 (4), pp. 169-212, doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v20-163467, 2020.

FIGUEIREDO, R. F.; WANKLER, F. L. **Estudo Faciológico da Formação Serra do Tucano - Roraima.** In: 12º Simpósio de Geologia da Amazônia, 2011, Boa Vista. 12º Simpósio de Geologia da Amazônia, 2011.

FRIIS, M. W.; RICE, B. L.; WESTOBY, M. Seed dispersal spectra: a comparison of temperate plant communities. **Journal of Vegetation Science**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 547-562, 1990.

GÓMEZ, M. A.; PUEBLA, G. G.; PRAMPARO, M. B.; ARCUCCI, A. B. Fossil seeds from the La Cantera Formation, Early Cretaceous, San Luis Province, Argentina. **Acta Palaeobotanica**, [s. l.], 60(1), 181–198, 2020.

HAMMEN, T.; BURGER, D. Pollen flora and age of the Takutu Formation, Guyana. **Leidse Geologische Mededelingen**, [s. l.], Leiden, n.38, p.173-180, 1966.

HARPER J.L.; LOVELL P.H.; MOORE K.G. The shapes and sizes of seeds. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [s. l.], 1: 327 – 356, 1970.

HUGHES, L.; DUNLOP, M.; FRENCH, K.; LEISHMAN, M. R.; RICE, B.; RODGERSON, L.; WESTOBY, M. Predicting dispersal spectra: a minimal set of hypotheses based on plant attributes. **The Journal of Ecology**, [s. l.], p. 933-950, 1994.

KUNZMANN, L.; MOHR, B. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. *Cearania heterophylla* gen. nov. et sp. nov., a fossil gymnosperm with affinities to the Gnetales from the Early Cretaceous of northern Gondwana. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam,158, p. 193–212, 2009.

KUNZMANN, L.; MOHR, B. A. R.; WILDE, V.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. A putative gnetalean gymnosperm *Cariria orbiculiconiformis* gen. nov. et spec. nov. from the Early Cretaceous of northern Gondwana. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam,165(1-2), 75-95, 2011.

KUNZMANN, L.; MOHR, B. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. *Novaolindia dubia* gen. et sp. nov. an enigmatic seed plant from the Early Cretaceous of northern Gondwana. **Review of Palaeobotany and Palynology**, [s. l.], v. 147, n. 1-4, p. 94-105, 2007.

KUNZMANN, L.; MOHR, B. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. Gymnosperms from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). I. Araucariaceae and Lindleycladus (incertae sedis). **Fossil Record**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 155-174, 2004.

LATRUBESSE, E. M.; NELSON, B. W. Evidence for Late Quaternary aeolian activity in the Roraima-Guyana Region. **Catena**, Amsterdam, v. 43, p. 63-80, 2001.

- LEISHMAN, M. R.; WRIGHT, I. J.; MOLES, A. T.; WESTOBY, M. **The evolutionary ecology of seed size**. Seeds: the ecology of regeneration in plant communities, [s. l.], v. 2, p. 31-57, 2000.
- LIMA, F. J. D.; SARAIVA, A. A. F.; SAYÃO, J. M. Revisão da paleoflora das formações Missão Velha, Crato e Romualdo, Bacia do Araripe Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, Recife, v. 22, p. 99-115, 2012.
- LINDOSO, R. M., DUTRA, T. L.; CARVALHO, I. D. S.; MEDEIROS, M. A. New plant fossils from the lower Cretaceous of the Parnaíba Basin, Northeastern Brazil: Southern Laurasia. **Brazilian Journal of Geology**, [s. l.], v. 48, p. 127-145, 2018.
- LOPES, A. M.; SOUZA, V. D.; HOLANDA, E.C. **Levantamento paleontológico nas Formações Serra do Tucano, Tacutu e Manari, Bacia do Tacutu – RR**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 12, Boa Vista. Resumos. Boa Vista: UFRR, 2011. p.1-4, 2011.
- MARQUES-DE-SOUZA, J. **Sementes do permiano inferior da Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul, Brasil: análise taxonômica e paleoecologia**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2009.
- MARQUES-DE-SOUZA, J. **Análise taxonômica, estratigráfica e ecológica de sementes e estruturas reprodutivas do permiano inferior da Bacia do Paraná**. 2013. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- MARQUES-DE-SOUZA, J.M.; IANNUZZI, R. Sementes do gênero Samaropsis Goeppert no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Rio Grande do Sul, 10 (2): 93-106, 2007.
- MARQUES-DE-SOUZA, J.M.; IANUZZI, R. Dispersal syndromes of fossil seeds from Lower Permiano f Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Anais da Academia brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, 2012.
- MARTINEZ, L. C. A.; HUACALLO, E. P.; PUJANA, R. R.; PADULA, H. A new megaflore (leaves and reproductive structures) from the Huancané Formation (Lower Cretaceous), Peru. **Cretaceous Research**, [s. l.], v. 110, p. 104426, 2020.
- McCONNELL, R. B. Fundamental fault zones in the Guiana and West African Shields in relation to presumed axes of Atlantic spreading. **Geological Society of American Bulletin**, Boulder, v. 80, n. 11, p. 1775-1782, 1969.
- MENEZES, F. T. B.; WANKLER, F. L.; VELOSO, R. S.; GAMA, C. V. C. Sistemas Depositionais Fluviais: Análise Estratigráfica das Unidades Sedimentares da Formação Boa Vista, Nordeste da Bacia do Tacutu, RR. **Revista Geográfica Acadêmica**, Roraima, V.14, N.1, 2020.
- MILIANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; NETO, O. C. P. Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas

Estratigráficas. **Boletim Geociências: PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 183-205, 2007.

MOHR, B. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; LOVERIDGE, R.; PONS, D.; SUCERQUIA, P. A.; CASTRO-FERNANDES, M. C. *Ruffordia goeppertii* (Schizaeales, Anemiaceae)—a common fern from the Lower Cretaceous Crato Formation of northeast Brazil. **Cretaceous research**, [s. l.], 54, 17-26, 2015.

MOHR, B. A. R.; SCHULTKA, S.; SÜSS, H.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. A new drought resistant gymnosperm taxon *Duartenia araripensis* gen. nov. et sp. nov. (Cheirolepidiaceae?) from the Early Cretaceous of Northern Gondwana. **Palaeontographica Abteilung B: Palaeobotany – Palaeophytology**, Germany, p. 1-25, 2012.

MOHR, B. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; LOVERIDGE, R.F. The macrophyte flora of the Crato Formation. In: Martill, D.M; BECHLY, G.; LOVERIDGE, R.F. (orgs). *The Crato Fossil Beds of Brazil*. **Cambridge University Press**, [s. l.], 2007. 10.1017/CBO9780511535512.020, 2007.

MOHR, B. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; TAYLOR, D. W. *Pluricarpellatia*, a nymphaealean angiosperm from the Lower Cretaceous of northern Gondwana (Crato Formation, Brazil). **Taxon**, [s. l.], v. 57, n. 4, p. 1147-1158, 2008.

MOLES, A.T.; ACKERLY, D.D.; WEBB, C.O.; TWEDDLE, J.C.; DICKIE, J.B.; PITMAN, A.J.; WESTOBY, M. Factors that shape seed mass evolution. **PNAS**, [s. l.], 102(30):10540-10544, 2005.

MONJE-DUSSAN, C.; MARTÍNEZ, C.; ESCAPA, I.; MADRIÑÁN, S. Nuevos registros de helechos y coníferas del Cretácico Inferior en la cuenca del Valle Superior del Magdalena, Colombia. **Boletín de Geología**, Colombia, 38(4): 29-42, 2016.

OLIVA, D. A. **Anatomia e Morfologia de Macrofósseis Vegetais Quaternários da Formação Boa Vista da Bacia do Tacutu-RR**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

OLIVEIRA, A. C. **Paleoincêndios como Indicadores de Mudanças Climáticas Durante o Cenozóico (Formação Boa Vista), Bacia do Tacutu, Roraima**. 2020. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima-Ufr, Boa Vista, 2020.

OLIVEIRA, A. D.; BRANCO, F.; CALLEFO, F.; ZABINI, C.; GALANTE, D. Tafonômia e análise de charcoais como ferramenta para a caracterização paleoambiental da Formação São Carlos (Cretáceo Superior, Bacia Bauru, Brasil). **Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP**, Campinas, SP, n. 27, p. 1–1, 2019. DOI: 10.20396/revpibic2720192210, 2019.

PEREIRA, R.; CARVALHO, I. D. S.; AZEVEDO, D. D. A. Afinidades paleobotânicas de âmbares cretáceos das bacias do Amazonas, Araripe e recôncavo. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 25, n. 2, pp. 217-224, 2006.

- PINTO, V. M.; SANTOS, J. O. S.; RONCHI, L. H.; HARTMANN, L. A.; BICUDO, C. A.; SOUZA, V. D. Field and geochemical constraints on the relationship between the Apoteri basalts (northern Brazil, southwestern Guyana) and the Central Atlantic Magmatic Province. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 79, p. 384-393, 2017.
- PUEBLA, G. G.; IGLESIAS, A.; GÓMEZ, M. A.; PRÁMPARO, M. B. Fossil record of Ephedra in the lower cretaceous (Aptian), Argentina. **Journal of plant research**, Japan, v. 130, n. 6, p. 975-988, 2017.
- REIS, N. J.; SZATMARI, J.; FILHO, J. R. W.; YORK, D.; EVENSEN, N. M.; SMITH, P. E. **Dois eventos de magmatismo máfico mesozóico na fronteira Brasil-Guiana, Escudo das Guianas: enfoque à região do Rifte Tacutu – North Savannas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracaju. Resumos. Aracaju: UFSE, 2006. pp. 459-464, 2006.
- REIS, N. J.; FRAGA, L. M. B. **Geologia do Estado de Roraima**. Relatório inédito. Manaus. CPRM, 1998.
- REIS, N. J.; FARIA, M. S. G. D.; MAIA, M. A. M. O quadro cenozoico da porção norte-oriental do Estado de Roraima. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSACOSTA, L. T. (ed.). Contribuição à geologia da Amazônia, Belém: **Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 3, p. 259-272, 2001.
- REIS, N. J.; NUNES, N. S. D. V.; PINHEIRO, S. D. S. **A cobertura mesozoica do hemigráben Tacutu- Estado de Roraima: Uma abordagem ao paleoambiente da Formação Serra do Tucano**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneário Camboriú, Resumos. Balneário Camboriú: UFSC, 1994, v.3. p. 234-235, 1994.
- ROBERTS, E. A.; LOVERIDGE, R. F.; WEIB, J.; MARTILL, D. M.; SEYFULLAH, L. J. Reinvestigating the fossil leaf *Welwitschiophyllum brasiliense* Dilcher et al. (2005), from the Lower Cretaceous Crato Formation of Brazil. **Cretaceous Research**, [s. l.], 112, 104471, 2020.
- ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; SANTOS JÚNIOR, A. E. **Clima do Cretáceo no Meio-norte brasileiro**. O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú. Belém, Museu Goeldi, p. 67-76, 2001.
- SÁNCHEZ, M. M.; CRUZ, A. D. J. G.; GONZÁLEZ, H. C. *Frenelopsis* y *Pseudofrenelopsis* (Coniferales: Cheirolepidiaceae) en el Cretácico Temprano de Colombia. **Boletín de Geología**, Colombia, v. 29, n. 2, 2007.
- SANTOS, Â. C. S. D.; HOLANDA, E. C.; SOUZA, V. D., GUERRA-SOMMER, M.; MANFROI, J.; UHL, D.; JASPER, A. Evidence of palaeo-wildfire from the upper lower Cretaceous (Serra do Tucano Formation, Aptian–Albian) of Roraima (North Brazil). **Cretaceous Research**, [s. l.], v. 57, p. 46-49, 2016.
- SANTOS, A. C. S. **Interpretações Paleoambientais e Paleoecológicas para o Cretáceo da Bacia do Tacutu com Base em Lenhos**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2015.

SCHOEMAKER, R. E. Fossil leaves from the lower Cretaceous Ciano formation, southwestern Ecuador. **Palaeontographica Abteilung B - Band 180**, Alemanha, p. 120-138, 1982.

SEYFULLAH, L. J.; ROBERTS, E. A.; SCHMIDT, A. R.; RAGAZZI, E.; ANDERSON, K. B., NASCIMENTO, D. R. D.; KUNZMANN, L. Revealing the diversity of amber source plants from the Early Cretaceous Crato Formation, Brazil. **BMC Evolutionary Biology**, [s. l.], 20(1), 1-22, 2020.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L. A., SCHOBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M. e GONÇALVES, J. H. (eds.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Brasília: **CPRM – Serviço Geológico do Brasil**, cap. II, p. 55-85, 2003.

SILVA, M.G.; PORSANI, M.J. Aplicação de balanceamento espectral e DMO no processamento sísmico da Bacia do Tacutu. **Revista Brasileira de Geofísica**, [s. l.], 24, 273-290, 2006.

SIMS, H. J. The evolutionary diversification of seed size: using the past to understand the present. **Evolution**, [s. l.], 66 (5): 1636-1649, 2012.

SOUZA, V. D.; VIEIRA, C. E. L.; COSTA, J. A. V. D.; MATOS, S. C. D.; SOARES, V. M. A. Ocorrência de lenhos fósseis na Bacia do Tacutu, Roraima. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, Roraima, Ano 3, nº5: 73-77, jan/jun, 2009.

SOUZA, V. D.; SAMPAIO, B.M. Primeiro registro fóssil (icnofósseis) da Formação Tucano (Bacia do Tacutu/RR): Uma ferramenta no estudo da evolução da paleopaisagem de Roraima. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, Roraima, Ano 1, v.1: 105-112, 2007.

STERN, A. G. **Caracterização de depósitos fluviais de grandes e pequenos rios no Quaternário da Amazônia: Terraços de terra firme no Médio Rio Solimões, Amazonas (AM) e a formação Boa Vista, Roraima (RR)**. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

SUCERQUIA, P. A. R. **Gimnospermas eocretáceas da Formação Crato, bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Paleontologia e Bioestratigrafia) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, doi:10.11606/D.44.2007.tde-22082007-105023, 2006.

SUCERQUIA, P. A. R. **Taxonomia, modos de preservação e fitogeografia de Coníferas aptianas da região Paleoequatorial da América do Sul**. 2013. Tese (Doutorado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, doi:10.11606/T.44.2016.tde-31012014-142803, 2013.

SUCERQUIA, P. A. R.; BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C.; MOHR, B. A. R. Phytogeographic, stratigraphic, and paleoclimatic significance of *Pseudofrenelopsis capillata* sp. nov. from the Lower Cretaceous Crato Formation, Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, [s. l.], v. 222, p. 116-128, 2015.

SZATMARI, P. Amazon rift and Pisco-Jurua fault: Their relation to the separation of North America from Gondwana. *Geology: Petrobras Research Center (CENPES)*, Rio de Janeiro, v. 11, p. 300-304, 1983.

TEEUW, R.M.; RHODES, E.J. Aeolian activity in northern Amazonia: optical dating of Late Pleistocene and Holocene paleodunes. *Journal of Quaternary Science*, [s. l.], 49 -54 p., (2005).

TIFFNEY B. H. Seed size, dispersal syndromes and the rise of the angiosperms: evidence and hypothesis. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, [s. l.], 71: 551-576, 1984.

VAN DER PIJL, L. Principles of dispersal in higher plants. **Springer-Verlag**, Berlin Heidelberg New York, 1982.

VAN WAVEREN, I. M.; VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT, J. H. A.; VAN DEN BURGH, J.; DILCHER, D. L. Macrofloral remains from the Lower Cretaceous of the Leiva region (Colombia). *Scripta Geologica*, [s. l.], v. 123, p. 1-39, 2002.

VAZ, P.T.; FILHO, J. R. W.; BUENO, G.V. Bacia do Tacutu. **Boletim de Geociências**, Rio de Janeiro, (15)2: 289-298 maio/nov., 2007.

WANKLER, F. L. Estudo Faciológico da Formação Serra do Tucano – Roraima: Estado de Arte e Perspectivas. In: HOLANDA, E. C.; BESERRA NETA, L. C. (Org). **Geociências na Pan-Amazônica**. Boa Vista: editora da UFRR, p.113-139, 2016.

WANKLER, F. L.; SANDER, C.; HOLANDA, E. C.; STEVAUX, J. C.; LELI., I. T. Novos registros fossilíferos na Formação Serra do Tucano e suas Implicações para seu modelo deposicional. Semana Nacional de Ciência e Tecnologia 2017: A matemática está em tudo, **Boletim de resumos**, Boa Vista, Editora da UERR, 2017.

WARREN, L. V.; VAREJÃO, F. G.; QUAGLIO, F.; SIMÕES, M. G.; FÜRSICH, F. T.; POIRÉ, D. G.; ASSINE, M. L. Stromatolites from the Aptian Crato Formation, a hypersaline lake system in the Araripe Basin, northeastern Brazil. **Facies**, Berlin Heidelberg v. 63, n. 1, 2017, p. 1-19, 2017.

ZULAR, A.; SAWAKUCHI, A. O.; CHIESSI, C. M., D'HORTA, F. M.; CRUZ, F. W.; DEMATTÊ, J. A. M.; SOARES, E. A. A. The role of abrupt climate change in the formation of an open vegetation enclave in northern Amazonian during the late Quaternary. **Global and Planetary Change**, [s. l.], 2019.