DÉBORA ELIZA HENRIQUES BAUMANN DI LÁBIO

“Registro de bivalves dulcícolas no Cretáceo (Berriasiano Tardio) da Bacia do Jatobá: sistemática e implicações paleoecológicas.”

Bauru

2023

DÉBORA ELIZA HENRIQUES BAUMANN DI LÁBIO

“Registro de bivalves dulcícolas no Cretáceo (Berriasiano Tardio) da Bacia do Jatobá: sistemática e implicações paleoecológicas.”

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru, para obtenção do título de Mestra em Biociências (Área de Concentração: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica)

Orientador: Prof. Dr. Renato Pirani Ghilardi
Bolsista: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - CAPES 88887.677725/2022-00

Bauru

2023

L119r

Lábio, Débora Eliza Henriques Baumann Di
Registro de bivalves dulcícolas no Cretáceo (Berriasiano Tardio) da Bacia do Jatobá: sistemática e implicações paleoecológicas. / Débora Eliza Henriques Baumann Di Lábio. -- Bauru, 2024
91 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru
Orientador: Renato Pirani Ghilardi

1. Cretáceo. 2. Bivalves. 3. Iridinidae. 4. Taxonomia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru

Faculdade de Ciências

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE DÉBORA ELIZA HENRIQUES BAUMANN DI LÁBIO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCIÊNCIAS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 01 dias do mês de março do ano de 2024, às 10:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de DÉBORA ELIZA HENRIQUES BAUMANN DI LÁBIO, intitulada **Registro de bivalves dulcícolas no Cretáceo (Berriasiano Tardio) da Bacia do Jatobá: sistemática e implicações paleoecológicas**. A Comissão Examinadora foi constituida pelos seguintes membros: Prof. Dr. RENATO PIRANI GHILARDI (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências/ Unesp - Câmpus de Bauru, Prof. Dr. FERNANDO CESAR PAIVA DAGOSTA (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de Grande Dourados, Profa. Dra. PRISCILLA ALBUQUERQUE PEREIRA (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE). Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA.

Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. RENATO PIRANI GHILARDI

Dedico este trabalho ao homem que despertou em mim a vontade de ver além do lugar e da situação, que me mostrou que eu poderia crescer e que dedicou seu tempo a me contar histórias.

In memoriam, Jacob Baumann

AGRADECIMENTOS

Dentre todas as partes do texto que você, caro leitor, verá nesta dissertação, essa, com certeza, foi a que mais me deixou nervosa para escrever. Ser grato por algo ou alguém é um ensinamento que aprendi desde pequena com meus pais e a ideia de talvez esquecer de alguém neste setor, é de fato horrível. Como você poderá perceber, estas palavras muito diferem das que serão apresentadas após essa seção e não é pra menos, como leitora voraz que sou, por diversas vezes fui chamada a realidade pelos meu colegas e orientador: eu deveria escrever de maneira mais científica. Peço licença então, a você que lerá este manuscrito, para deixar fluir aqui a emoção que me toma neste momento.

Como cristã por convicção, preciso começar agradecendo ao Deus que me deu a vida, não só esta, mas como também a que me espera na eternidade. Sem o sacrifício de Cristo na cruz, não seria possível estar aqui e realizar o meu trabalho.

Papito, Valter e Mamis Odete, obrigada por me ensinarem tudo que sei. Pelos momentos de orientação, pelas palavras de consolo, por se alegrarem e chorarem comigo, por me ouvirem e por se disporem a ver meu trabalho, mesmo quando nenhuma palavra lhes fazia sentido.

Gi e Tay, vocês são as melhores irmãs do mundo, minhas melhores amigas, que me ouviram dizer que estava cansada, que me esperaram terminar meus afazeres antes de quaisquer outras atividades e que me suportaram financeiramente quando eu precisei.

Aos meus cunhados, Marcelo e Lucas, meus tios, Helena e Eraldo, meus avós Geraldo e Arlete e meus sobrinhos Miguel, Katharina e Zoe, obrigada por

entenderem que nem sempre eu pude estar presente e por se fazerem presentes sempre que eu precisei.

A família do meu marido, especialmente meus sogros Adalberto e Ilza e ao meu cunhado Guilherme, por me ajudarem com cafés, almoços e cuidados com o Benjamin, vocês facilitaram muito para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Pirani Ghilardi, talvez nenhuma palavra seja suficiente para agradecer: abriu as portas do seu laboratório, me ensinou, meu deu direções e me apontou caminhos que eu nem sequer sabia que existiam. E, quando eu mesma não acreditava mais, me lembrou que a porta estava aberta e me trouxe de volta. E obrigada por me aceitar na continuação deste trabalho, onde mais uma vez o Sr. será um canal de realização de sonhos. Ser sua aluna é um privilégio. Obrigada por me permitir isso!

Ao meu co-orientador, Prof. Luiz Ricardo L. de Simone, também é possível que faltem palavras. Abriu seu laboratório a uma desconhecida, e mesmo sem o vínculo de aluna me ensina tudo que sabe sem nunca demonstrar cansaço. Estendeu a mim o mesmo cuidado e carinho que tem pelos seus alunos e me permitiu realizar um desejo a muito, esquecido: dar nome às coisas. Prof., obrigada pelos momentos tão ricos de conversa e espero que eles continuem nos próximos anos!

À Rafael Costa da Silva, Bruno Horn e Débora de Morais, pela coleta e envio do material analisado neste trabalho.

Aos colegas do LAPALMA, da antigas e os novos, Felipe, Victor, Maurício, Silvio, Henrique, Ana Laura, Maria Emília, Beatriz, Sabrina, Paulo, Gabriel, Mateus Parmegiani e Carol: nossas trocas, cafés, eventos e viagem de campo foram momentos de aprendizagem e alegria para mim, que bom compartilhar com

vocês das descobertas e surpresas da nossa profissão, que possamos usufruir muito desses momentos preciosos e crescer ainda mais juntos.

Aos colegas do Museu de Zoologia da Usp, Alberto, Vanessa, Simone, Isaac, Fernanda, Natan, Victor, Pedro, Gemanny, Mariana (Nana), Daniel e Patrícia: obrigada por me receberem na vida de vocês e me abraçarem (algumas vezes, literalmente) quando eu invadi o laboratório e comecei a tagarelar infinitamente. Vocês foram um presente pra mim nesses dois anos e espero tê-los comigo por muito tempo.

Daiane, Júnior, Pedrinho, Lucas Marcelino, Stefanie, Sabrine, Vanessa, Pedro, Selma e Fernanda, obrigada por me oferecerem abrigo com tão bom grado, que eu realmente me senti em casa. Joyce, Juarez, Helena, Sara, Ighor, Felipe, Fernanda Hediger, Renata, Eucleme, Tito, Lígia, Adilson, Dante, Luiza, Marcelo, Kalu e Raul, obrigada pelos momentos de diversão e espairecimento.

A Tia Lourdes, Claudio, Juliana, Diogo e Luisa, vocês são uma parte importante deste momento e poder finalmente ter me aproximado de vocês foi algo inesperado e de muita felicidade para mim, é um privilégio compartilhar com vocês, não só o sobrenome, mas os momentos que passamos juntos. É um prazer chamá-los de família. O Claudio foi o primeiro em nossa família a cursar faculdade pública e as histórias que seu pai, meu tio-avô Jacob Baumann me contou quando eu era criança, me fizeram sonhar com a universidade e com a pós-graduação.

Aos funcionários de todas as bibliotecas que precisei, pelo empenho de me mandar sem demora, todos os artigos solicitados.

À minha terapeuta, Fabiana, que me acompanha desde antes do início do mestrado e me ajudou com minhas emoções em todos os processos dessa caminhada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo FAPESP (2020/12409-4), à FAPERJ (E-26/210.294/2021) e ao CNPq (07158/2022-7) pelo apoio financeiro que me permitiu não só a bolsa durante o mestrado, mas também uma viagem de campo e antes disso, a coleta do material estudado.

E por último, mas não menos importante: Renato Correia e Benjamin Baumann, meus meninos. Renato, meu amor, companheiro e amigo, que me deu forças todos os dias; que fez café, que me deu chocolate, que cuidou de mim, da casa e do nosso filho; que me levava pra pegar ônibus e me buscava; que ouvia minhas frustrações quando eu não achava a resposta que eu precisava e que parou seus afazeres para ouvir minhas descobertas. Meu amor, sem você eu não teria conseguido. E a você Benj, só posso elogiar sua confiança em mim, sua força de ficar sem a mamãe mesmo sendo tão novinho e sua disponibilidade de me amar, mesmo quando eu não sou a melhor mãe. Filho, você me impulsiona a realizar meus sonhos e eu espero de todo o coração, poder te ajudar a realizar os seus. Você faz tudo valer a pena meu pequeno, eu te amo, ao infinito e além.

RESUMO

A Bacia do Jatobá é uma das bacias interiores do Brasil que surgiram durante a fragmentação do Supercontinente Gondwana, processo que teve como consequência inúmeras alterações geológicas e biológicas, como por exemplo a formação do Oceano Atlântico. Localizada no estado de Pernambuco, faz parte do rift Recôncavo-Tucano-Jatobá. Os trabalhos geológicos na bacia remontam a meados do século XIX, mesma época em que se iniciaram os trabalhos paleontológicos na região, entretanto, nesse período, os fósseis apresentados não foram classificados. Os fósseis da Bacia do Jatobá são majoritariamente de invertebrados bivalves, gastrópodes e conchostráceos. Tratando-se dos moluscos bivalves registrados até agora, são apenas de origem marinha e devoniana. Este trabalho traz a primeira ocorrência de animais de água doce, especificamente de bivalves, além de configurar o primeiro registro deste táxon para o Cretáceo da bacia, sendo os bivalves registrados atribuídos à família Iridinidae. A característica mais marcante destes animais é a charneira com dentição dupla, heterodonte e taxodonte. A presença da família Iridinidae no Cretáceo Inferior da América do Sul pode representar que a família originou-se neste continente ao invés do continente Africano, como acreditava-se anteriormente. Dois gêneros novos e duas espécies novas são apresentados, os táxons novos são, até o momento, o registro mais antigo de iridinídeos no mundo. Os táxons foram analisados sistematicamente e as implicações paleoecológicas e evolutivas de seu registro, discutidas.

Palavras chave: Cretáceo inferior, Taxonomia, Paleoautoecologia

ABSTRACT

The Jatobá Basin is one of the inner basins of Brazil that emerged during the fragmentation of the Gondwana Supercontinent, this process resulted in numerous geological and biological changes, such as the formation of the Atlantic Ocean. Located in the state of Pernambuco, the Jatobá Basin is part of the Recôncavo-Tucano-Jatobá rift. Moreover, geological research in the basin dates back to the mid-19th century, as well as paleontological work, which dates back to the same period. However, researchers from the related period have identified fossils without classifying them. The fossils found in the Jatobá Basin are mainly bivalve invertebrates, gastropods and conchostraceans. In particular, the bivalve molluscs recorded so far are only of marine and Devonian origin. This work brings the first occurrence of freshwater animals, specifically bivalves, in addition to configuring the first record of this taxon for the Cretaceous of the basin. The recorded bivalves were assigned to the Iridinidae family. The most striking feature of these animals is the hinge with double teeth, heterodont and taxodont. The presence of the Iridinidae family in the Early Cretaceous of South America may represent that the family originated on this continent rather than on the African continent. A new genus and two new species are presented, the new taxa are, to date, the oldest record of iridinids in the world. Taxons were systematically analyzed and the paleoecological and evolutionary implications of their record discussed.

Keywords: Lower Cretaceous, Taxonomy, Paleoautoecology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. *Iphigenia brasiliensis.* A) Vista externa. Pé retraído. B) Vista lateral após a retirada da valva esquerda. C) Vista lateral, mas com a retirada do lobo esquerdo do manto ((Ribeiro-Costa; Rocha, 2002) ……..……..……. 08

Figura 2. A ordem Unionida é dependente de um hospedeiro para dispersão em sua fase larval. As larvas do tipo *Glochidium* ou *Lasidium* vivem como ectoparasitas em peixes teleósteos. G: *Glochidium*. L: *Lasidium*. (A figura contém imagens retiradas das seguintes fontes: Collins, 2019; CP CURSOS, 2023; Johnson *et al.*, 2012; Poppe; Poppe, 2015; Silva-Souza; GuardiaFelipe; Arrebola, 2011) ……. …...……... 09

Figura 3. Localização da Bacia do Jatobá no estado de Pernambuco ……. 12

Figura 4. Rift Recôncavo-Tucano-Jatobá. Adaptado de Gordon; Destro; Heilbron (2017)
…… 14

Figura 5. Carta estratigráfica da Bacia do Recôncavo (Silva *et al*., 2007) ……. 28

Figura 6. Carta estratigráfica das Sub-Bacias do Tucano Sul e Central (Costa, Ivan Peixoto *et al*., 2007) ..…… 29

Figura 7. Carta estratigráfica da Sub-Bacia do Tucano Norte e Bacia do Jatobá (Costa, I. P *et al*., 2007) ……..…….. 30

Figura 8. A, B) Holótipo, MCT.I.7202. Espécie nova 2. Valva direita, vista externa e interna. C, D) Holótipo, MCT.I.7192. Espécie nova 1, valva direita, vista externa e interna; E) Espécie nova 2. Charneira, detalhe da região intermediária; F) Detalhe da superfície externa da região anterior, evidenciando linhas de crescimento; G) Charneira, detalhe da região anterior; H) Espécie nova 1, detalhe da região anterior, vista interna. Escala: 10 mm …….…… 41

Figura 9. A, B) MCT.I.7204. Parátipo. Espécie nova 2. C) Margem dorsal, visão do ligamento. Imagem de tomografia. D, E) MCT.I.7195. Parátipo. Espécie nova 1; F) Margem dorsal, visão do ligamento. Imagem de tomografia ……. 42

Figura 10. A, B) Espécie nova 2; morfologia geral e cicatrizes musculares. C, D) Espécie nova 1; morfologia geral e cicatrizes musculares. Abreviaturas: aa - adutor anterior, pa - adutor posterior, pl - linha palial, ht - dentes heterodontes, tt - dentes taxodontes, lt - dentes laterais. Escala: 10 mm ……..… 43

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS **5**
RESUMO **9**
ABSTRACT **10**
LISTA DE FIGURAS **11**
SUMÁRIO **12**
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO **13**
1. 1. Objetivos 18
CAPÍTULO II: GEOLOGIA **19**
2. 1. Contexto geológico da Bacia do Jatobá 19
2. 2. Um breve histórico dos trabalhos geológicos na Bacia do Jatobá 21
2. 3. Histórico de trabalhos paleontológicos na Bacia do Jatobá 27
2. 3. 1. Formação Inajá 28
2. 3. 2 Formação Aliança 29
2. 3. 3 Formação Sergi 30
2. 3. 4 Formação Candeias 31
2. 3. 5 Formação São Sebastião 31
2. 3. 6 Formação Salvador 32
2. 3. 7 Formação Marizal 32
2. 3. 8 Formação Santana 33
CAPÍTULO III: MATERIAL E MÉTODOS **37**
CAPÍTULO IV: **RESULTADOS E DISCUSSÃO** **42**
4. 1 Classificação Sistemática 42
4. 1. 1 Justificativas à Sistemática 46
4. 2 Morfologia Funcional 51
4. 3 Implicações evolutivas do registro dos gêneros novos 57
CAPÍTULO V: **CONCLUSÃO** **61**
REFERÊNCIAS **62**
ANEXO I **71**
ANEXO II **75**

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O filo Mollusca é um dos maiores e mais diversos grupos do reino animal. Entre eles, os Bivalvia compreendem os animais conhecidos como mexilhões, ostras, vieiras, berbigões, sururus, entre outros. Recebem esse nome por possuírem uma concha dividida em duas valvas, geralmente articuladas na região dorsal por ligamento elástico e, às vezes, por dentes na charneira (Brusca; Moore; Shuster, 2018; Ribeiro-Costa; Rocha, 2002). Os corpos (fig.1) desses animais são comprimidos lateralmente, as conchas são fechadas pelos músculos adutores derivados dos músculos do manto; a cabeça é rudimentar e não possui olhos, entretanto, podem haver olhos localizados nas demais regiões do corpo; não possuem tentáculos ou rádula. A perda da rádula para os bivalves é única dentre os moluscos e representa uma sinapomorfia para este grupo. No interior da concha, há um par de palpos labiais grandes compostos de partes interna e externa, que se opõem uma à outra; um par de estatocistos está presente e associa-se aos gânglios pedais. O pé, geralmente, é comprimido lateralmente, em geral sem sola, com função importante na escavação. A cavidade do manto é volumosa e circunda o animal, o manto pode estar variavelmente fundido, algumas vezes formando extensões (sifões). Possuem um par de nefrídios, um par de ctenídios bipectinados grandes e sistema nervoso simples, geralmente formado por gânglios cerebropleurais, pedais e viscerais (Brusca; Moore; Shuster, 2018; Ribeiro-Costa; Rocha, 2002).

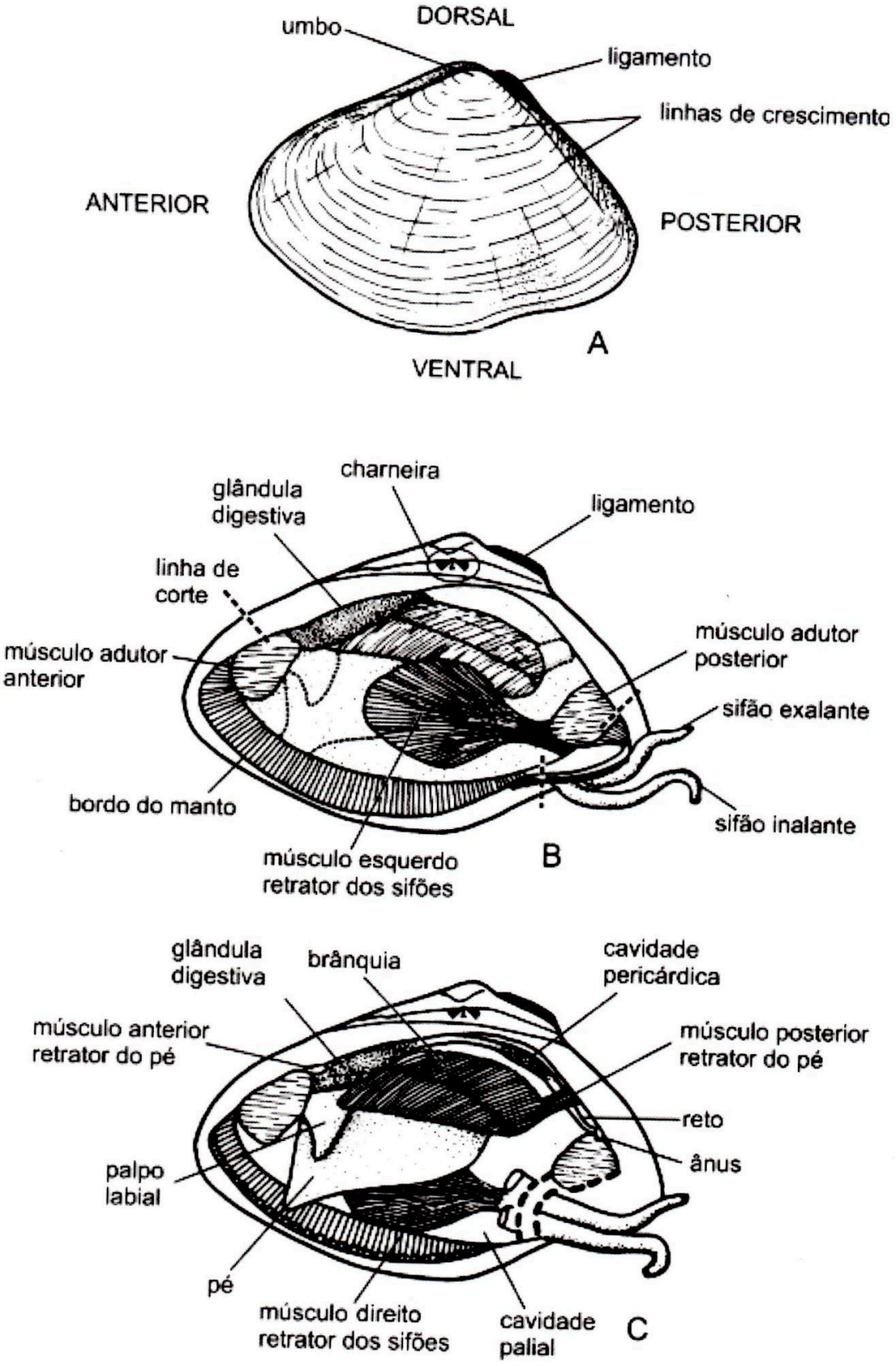


Figura 1. *Iphigenia brasiliensis*. A) Vista externa. Pé retraído. B) Vista lateral após a retirada da valva esquerda. C) Vista lateral, mas com a retirada do lobo esquerdo do manto (Ribeiro-Costa; Rocha, 2002).

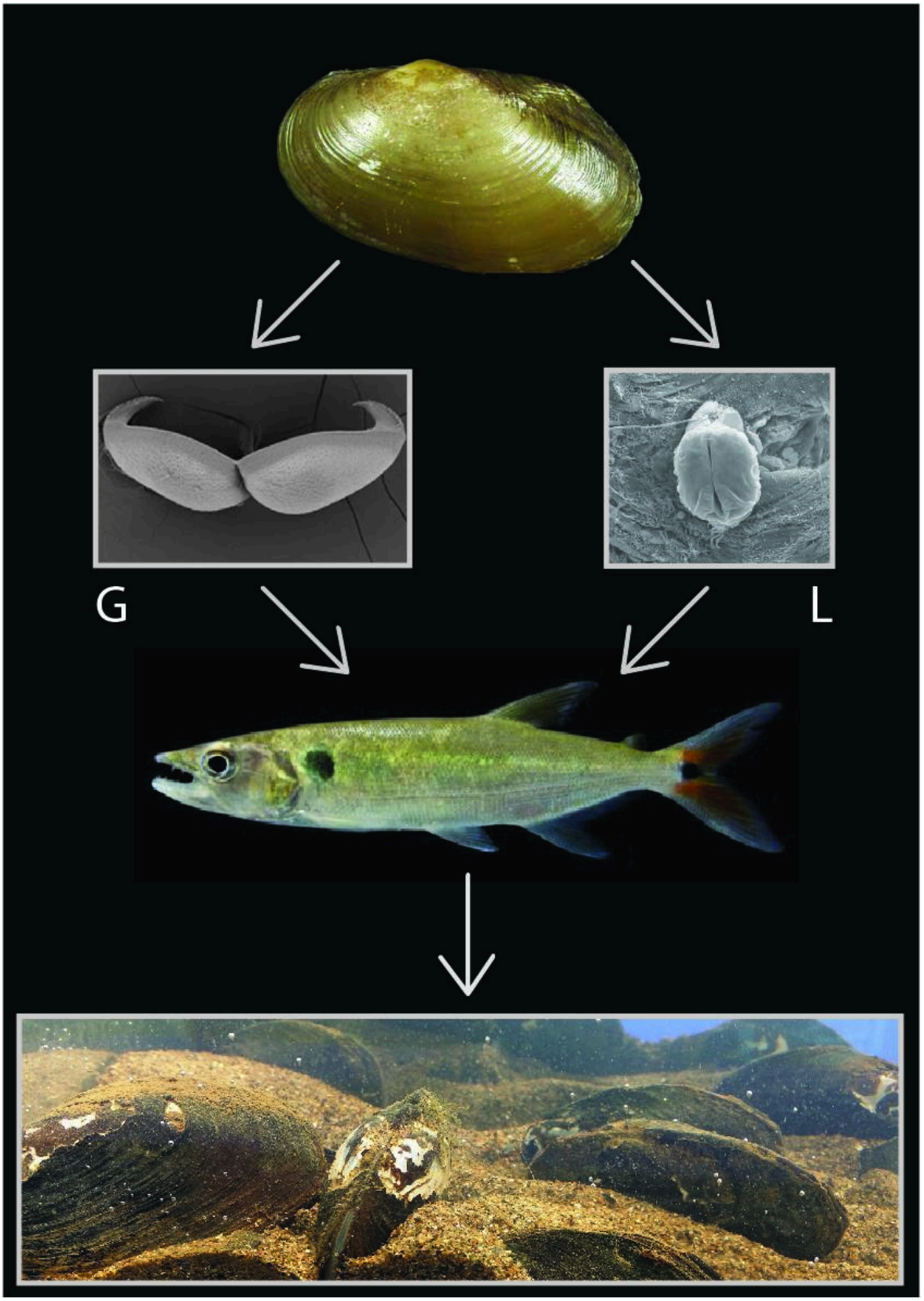


Figura 2. A ordem Unionida é dependente de um hospedeiro para dispersão em sua fase larval. As larvas do tipo *Glochidium* ou *Lasidium* vivem como ectoparasitas em peixes teleósteos. G: Glochidium. L: Lasidium (A figura contém imagens retiradas das seguintes fontes: Collins, 2019; CP CURSOS, 2023; Johnson *et al*, 2012; Poppe; Poppe, 2015; Silva-Souza; Guardia-Felipi; Arrebola, 2011)

Os bivalves são moluscos de água salgada ou doce, predominantemente micrófagos ou suspensívoros constituíntes de um grupo abundante e amplamente distribuído, sendo, os bivalves de água doce, comumente chamados de naiades (McMichael; Hiscock, 1958). A ordem Unionida, que abrange exclusivamente bivalves de água doce, é majoritariamente séssil, altamente dependente de um hospedeiro para dispersão em sua fase larval (fig. 2) e com alto grau de endemismo. O registro fóssil indica sua origem acontecendo, no mínimo, no início do Mesozóico. Dentre as seis famílias da ordem, tem origem gonduânica as famílias Hyriidae, Iridinidae, Mycetopodidae e Etheriidae; sendo Unionidae e Margaritiferidae de origem laurasiana. Com essa origem diversa é possível que, durante a separação da Pangeia ao final do Jurássico, eventos de vicariância possam ter refletido na distribuição atual de Unionida. No Recente, essas seis famílias estão distribuídas da seguinte forma: Unionidae, está presente em quase todos os continentes, exceto América do Sul e Oceania; Margaritiferidae, é encontrada em parte da América do Norte, na Europa e Leste da Ásia; Hyriidae, só é encontrada na América do Sul e Oceania; Iridinidae, tem registros no Centro-Oeste da África; Mycetopodidae tem registros nos Neotrópicos, do Sul do México até a Argentina e Etheriidae, no oeste da América do Sul e Centro-Oeste da África (Bogan; Roe, 2008; Lydeard; Cummings, 2019).

No Brasil há registro fóssil de bivalves unionidas na Formação Solimões (Mioceno Superior, Bacia do Acre), nas Formações Marília (Maastrichtiano) e Adamantina (Turoniano-Santoniano ou Campaniano-Maastrichiano) (Grupo Bauru, Bacia do Paraná) e na Formação Crato (Aptiano, Bacia do Araripe). Os bivalves registrados pertencem às famílias Hyriidae e Mycetopodidae no Mioceno Superior e Mulleriidae (Mycetopodinae J. Gray, 1840), Hyriidae, Sancticarolitidae

e Iridinidae no Cretáceo Superior (Ghilardi *et al.*, 2011b, 2011a; Ghilardi; D'Agosta; Simone, 2007; Ghilardi; Maranhão, 2010; Mezzalira, 1974; Mezzalira; Simone, 1997, 1999; Simone; Mezzalira, 1994, 1993, 1997; Sousa, 2018).

Em se tratando de Cretáceo Inferior, o primeiro provável registro de bivalvia dulcícola no Brasil ocorreu com a descrição de *Cratonaia novaolindensis*, na Formação Crato (Aptiano) (da Silva *et al.*, 2020a) . No mesmo ano, dois gêneros e espécies novas foram registrados também na Formação Crato. *Monginellopsis bellaradiata* foi alocada em Trigonioidoidea, baseado no arranjo muscular e na presença de um dente cardinal anterior estriado. *Araripenaia elliptica* foi descrita com potencial a pertencer a duas famílias, Hyriidae e Trigonioioidea. Se a alocação em Hyriidae estiver correta, *Araripenaia* seria o registro de hirídeo mais antigo na América do Sul. Entretanto, se alocada em Trigonioidoidea, uma assembleia de trigonóides com diversidade morfológica poderia ser documentada na Formação Crato (da Silva *et al.*, 2020a, 2020b).

Na Bacia do Jatobá (fig. 3) há relatos de ocorrência de bivalves fósseis somente nas formações Romualdo e Inajá (Devoniano), ambas de origem marinha (Barreto, 1968; Muniz, 1979). A Formação Salvador (Berriasiano Tardio) foi registrada pela primeira vez por Horn e Morais (2016), na Bacia do Jatobá, os autores descreveram três litofácies genéricas para esta, fan delta proximal, fan delta distal e lacustre, sendo esta última dividida entre lacustre raso e lacustre fundo, evidenciando que a fase lacustre, é erroneamente, interpretada hoje como Formação Candeias (Eocretáceo). Os fósseis alvo deste trabalho foram coletados na Formação Salvador, pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e constituem, possivelmente, o primeiro registro de bivalves dulcícolas na Bacia do Jatobá, adicionando à restrita lista de bivalves dulcícolas no Brasil e na América do Sul,

além de, provavelmente, serem também o primeiro registro de bivalves cretácicos na referida bacia.



Figura 3. Localização da Bacia do Jatobá no estado de Pernambuco.

1. 1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é estudar sistematicamente os fósseis coletados na Formação Salvador, Bacia do Jatobá e, discorrer sobre as implicações paleoecológicas da descoberta.

Para tanto, será necessário classificar taxonomicamente os bivalves fósseis da Formação Salvador, comparando-os com os descritos nos continentes Sul-Americano e Africano. Posteriormente, será discutida a presença destes

táxons nas bacias brasileiras e como isso afeta o conhecimento sobre os Unionidas em geral.

CAPÍTULO II

GEOLOGIA

2. 1. Contexto geológico da Bacia do Jatobá

A Bacia do Jatobá é uma das bacias interiores do Brasil que surgiram durante a fragmentação do Supercontinente Gondwana, processo que teve como consequência inúmeras alterações geológicas e biológicas, como por exemplo a formação do Oceano Atlântico (Hasui *et al.*, 2012). Neste processo aconteceram três etapas de rifteamento:

a) Rifteamento I (Neotriássico-Eocretáceo), afetou predominantemente o norte da América do Sul e representou a abertura do Atlântico Norte, que ocasionou o afastamento da América do Sul/África da América do Norte;
b) Rifteamento II (Eocretáceo pré-Neoaptiano), ocorreu dominantemente no sul da América do Sul e representa a abertura do Atlântico Sul, com o início da separação América do Sul e da África e;
c) Rifteamento III (Neoaptiano-Cenomaniano), que marca a separação definitiva da América do Sul e África.

No mesmo contexto, durante a fase II do rifteamento, surgiram também as bacias do Recôncavo e do Tucano. As três bacias acima citadas, ao contrário das bacias da margem continental, evoluíram ao estágio de margem passiva e constituem um ramo do *rift* Sul-Atlântico abortado no Eoaptiano.

O *rift* Recôncavo-Tucano-Jatobá (fig. 4), localizado principalmente nos estados da Bahia, Sergipe e Pernambuco, é formado por um sistema de grabens de direção geral S-N e a Bacia do Jatobá marca a inflexão do *rift*, de direção S-N,

como ocorre na faixa Recôncavo-Tucano, para W-E (Costa *et al.*, 2007a; Hasui *et al.*, 2012). As três bacias do sistema são separadas por altos/arcos do embasamento: a Bacia do Recôncavo é limitada a norte pelo Alto de Aporá, seguida pela Bacia de Tucano, que é separada da Bacia de Jatobá pelo Alto do São Francisco (do Brasil, 2003).

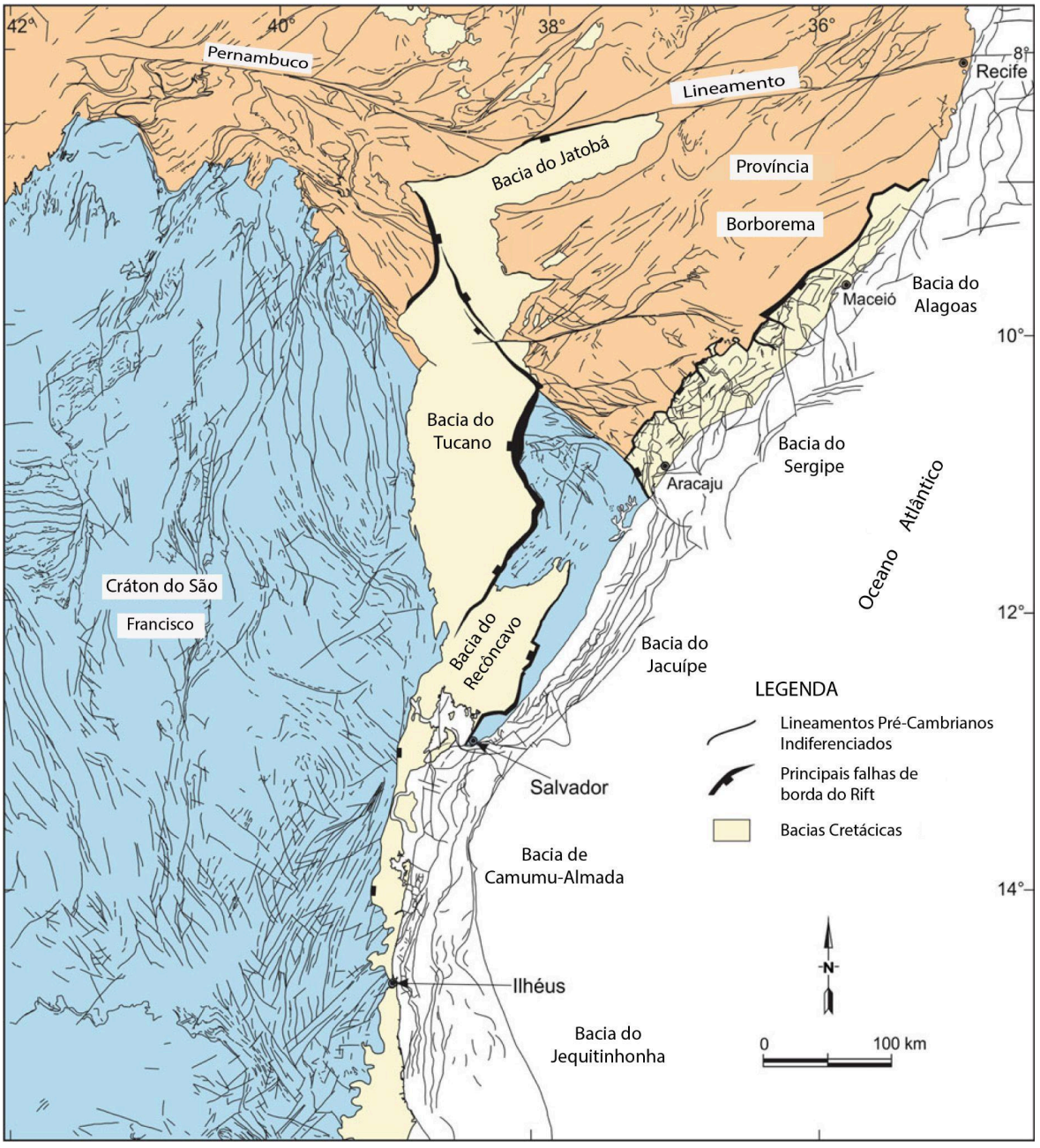


Figura 4. Rift Recôncavo-Tucano-Jatobá. Adaptado de Gordon; Destro; Heilbron (2017)

Enquanto a estratigrafia da Bacia do Recôncavo é independente (fig. 5), as bacias do Tucano e do Jatobá compartilham, em parte, a estratigrafia. A Bacia do Tucano é dividida em três sub-bacias: Sub-Bacia do Tucano Sul, Central e Norte. As sub-bacias do Tucano Sul e Central (fig. 6) têm deposição semelhante entre si, sendo distintas da sub-Bacia do Tucano Norte. A estratigrafia da Sub-Bacia do Tucano Norte é a mesma para a da Bacia do Jatobá (fig. 7). As Bacias do Jatobá e do Araripe são correlatas, sendo possível observar em ambas, formações homônimas, como a Formação Crato (Cretáceo Inferior), a Formação Romualdo (Aptiano) e a Formação Exu (Albiano) (do Brasil, 2003; Ponte; Medeiros; Ponte Filho, 1997).

Braun (1966) afirma que a Bacia do Araripe seria muito maior em seu estado original do que é apresentada hoje e, possivelmente, teria uma ligação com a Bacia do Jatobá. Ambas as bacias, Jatobá e Araripe, provavelmente estariam conectadas no início da deposição da Formação Aliança, estando, ao término da deposição da Formação Sergi, já separadas. A Formação Aliança e a Formação Sergi foram depositadas durante o Titoniano, no Neojurássico (Costa *et al.*, 2007a)

2. 2. Um breve histórico dos trabalhos geológicos na Bacia do Jatobá

Os trabalhos de geologia na Bacia do Jatobá iniciaram-se com Halfeld (1860), com a descrição de arenitos cretácicos pertencentes à bacia, ao longo do Rio São Francisco. Em 1870, Orville Derby denominou como Série Bahia os sedimentos que ocorrem no centro e no sul do Pernambuco (*in* Correia, 1965).

Em 1879, Derby “refere-se a uma série sedimentar idêntica a Série Bahia, entre Buíque e o Rio São Francisco” (*apud* Almeida, 1963). Em 1880, Derby relata suas observações sobre as camadas arenosas mesozóicas continentais, marginais ao Rio São Francisco e situadas nos estados do Sergipe, Alagoas, Pernambuco e Bahia (Derby, 1880). Williams (1925) trata dessas mesmas camadas e registra a ocorrência de linhito em Soares e Petrolândia, onde foi encontrada madeira carbonizada. Moraes (1928) faz uma descrição da sucessão estratigráfica e denomina a série como Jatobá, posteriormente oficializada pelo Serviço Geológico do Brasil.

Em 1962, o geólogo Alberto Carlos F. Almeida, em viagem de reconhecimento, evidenciou a possibilidade de se encontrar sedimentos paleozóicos na Bacia do Jatobá, devido a grande semelhança com os sedimentos da sub-Bacia do Tucano Norte (Barreto, 1968). Foi dado, então, início ao reconhecimento geológico, radiométrico e sedimentológico na bacia pela Petrobrás e, posteriormente, pelos geólogos da Comissão Nacional de Energia Nuclear. No relatório “Geologia da Bacia de Jatobá e Tucano Norte”, Almeida (1963) identifica as sequências estratigráficas da Bacia do Jatobá e denomina as camadas “A”, “B”, “C” e “D”, com ênfase aos sedimentos paleozóicos recém descobertos.

Correia (1965) descreveu seus limites estruturais e estabeleceu a geocronologia da bacia a fim de entender seu arcabouço estrutural. O autor também reuniu as camadas “A”, “B”, “C” e “D” de Almeida (1963) no chamado Grupo Jatobá. Em 1964, Octavio Barbosa, em relatório à PROSPEC denominou as camadas ”A” e “B” como formações Tacaratu e Inajá, entretanto, o relatório só foi publicado em 1970 (Barbosa, 1970). Braun (1966) descreveu os sedimentos

da Bacia do Jatobá, relacionando alguns deles à Formação Exu (Albiano-Cenomaniano) da Bacia do Araripe e identificou as formações Tacaratu e Inajá como pertencentes ao Paleozóico Inferior, além de correlacionar a Formação Santana e a Formação Exu, a duas unidades estratigráficas da Bacia do Jatobá, denominando-as homônimas das formações encontradas no Araripe.

Barreto (1968) analisou as sequências da bacia do Jatobá crono-lito-estratigraficamente e denominou as camadas “A”, “B”, “C” e “D” de Almeida (1963), como Formação Manari, Formação Inajá, Formação Ibimirim e Formação Moxotó, respectivamente. Entretanto, Braun (1970) chamou a atenção para o fato de as formações “A” e “B” já terem sido nomeadas antes disso, por Octávio Barbosa, em 1964, como formações Tacaratu e Inajá, ressaltando que Almeida inclusive já havia citado o relatório de Barbosa em 1967, no seu trabalho intitulado “Origem e Evolução da Plataforma Brasileira” (Almeida, 1967). Portanto, seguindo o princípio da prioridade de nomenclatura, as formações mantiveram seus nomes originais. Em 1980, Dantas e Brito Neves publicaram o texto explicativo sobre o mapa geológico do Estado de Pernambuco, detalhando os conhecimentos existentes até então sobre a Bacia do Jatobá e demais bacias do estado (Dantas; Brito Neves, 1980).

Entre os anos de 1978 e 1980 foi realizado o estudo hidrogeológico da Bacia do Jatobá, uma parceria entre a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e a Organização dos Estados Americanos (OEA). O trabalho teve como objetivo caracterizar a bacia e definir as áreas mais favoráveis ao aproveitamento das águas subterrâneas, do ponto de vista técnico e econômico, para dimensionar a captação de águas visando o abastecimento de projetos de irrigação, aquacultura, bem como o oferecimento à humanos e animais. Neste

trabalho foram suprimidas as formações Ibimirim e Moxotó da sequência estratigráfica e adotou-se os termos Formação Tacaratu e Formação Exu, para as antes designadas, respectivamente, formações Manari e Feira Nova (Leal; Melo, 1983). Com a análise de materiais oriundos de poços de perfuração, Cordani *et al.* (1984) descreveram a natureza do embasamento da Bacia do Jatobá. Os autores também descreveram as principais descontinuidades geotectônicas e estruturais que influenciaram na evolução e cobertura sedimentar da região, com algumas delas representando os limites geográficos da bacia.

Ainda na década de 80, Magnavita e Cupertino (1987) realizaram um trabalho de estudo das bacias do *rift* Recôncavo-Tucano-Jatobá, postulando que as três bacias não evoluíram interligadas desde o começo da implantação do *rift*, mas a partir de hemi-grabens que resultaram em sub-bacias com depocentros isolados por falhas do tipo *transfer*, denominadas falha do rio Itapicuru e falha do rio de Vaza-Barris.

Os elementos estruturais do *rift* Tucano-Jatobá foram analisados e divididos em Domínio Norte, constituído pela sub-Bacia do Tucano Norte e pela Bacia do Jatobá e, Domínio Sul, englobando as sub-Bacias do Tucano Central e Sul por Aragão e Peraro (1994). Os autores também sugeriram que o Lineamento de Pernambuco atuou como uma falha de alívio durante a formação das bacias de Tucano e Jatobá, sob um campo de tensões distensivo de direção E-W. A partir dos dados sísmicos existentes, dos mapas gravimétricos Bouguer e residual e, do mapa geológico de superfície, Peraro (1995) realizou o mapeamento estrutural de feições do embasamento. O autor concluiu que uma tectônica transcorrente foi a responsável pela geração e evolução da Bacia do Jatobá.

Utilizando os poços e seções sísmicas elaborados pela PETROBRÁS e o trabalho de Leal e Melo (1983), Rocha e Leite (1999) aprimoraram o estudo hidrogeológico da Bacia do Jatobá, apresentando todas as formações da bacia de maneira concisa. Ademais, correlacionaram a Bacia do Jatobá à Bacia do Araripe utilizando como parâmetro a análise de sequências realizada por Ponte *et al*. (1997). Os autores dividiram a Bacia do Jatobá em cinco tecno-sequências, Sequência Beta (Siluriano-Devoniano); Sequência Pré-Rifte (Jurássico Superior); Sequência Sin-Rifte (Cretáceo Inferior); Sequência Pós-Rifte (Cretáceo Médio) e; Sequência Zeta (Cenozóica).

Costa Filho *et al*. (2005) apresentaram diagnóstico da situação dos conhecimentos hidrogeológicos da Bacia Sedimentar do Jatobá conhecidos à época. Rocha e Amaral (2007) realizaram a caracterização Geológica e Geométrica dos Aqüíferos da Bacia Sedimentar do Jatobá, especialmente no sistema aqüífero Tacaratú/Inajá. Costa *et al.* (2007) descreveram as formações da Sub-bacia do Tucano Norte e da Bacia do Jatobá, subtraindo as formações Exu e Santana da Bacia do Jatobá e admitindo aluviões quaternários associados aos principais rios da região que se encontra a Bacia.

Araújo *et al*. (2010) caracterizaram os sedimentos lacustres da fase pré-rifte e rifte da bacia de Jatobá, representadas pelas formações Aliança (Tithoniana) e Candeias (Berriasiana-Valanginiana), respectivamente, a fim de comprovar se ambas as formações seriam prováveis geradores de hidrocarbonetos. Os autores concluíram que, assim como a Bacia do Araripe-CE e a Bacia de Souza-PB apresentam indícios de ocorrência de petróleo, também é provável que exista geração de petróleo na Bacia do Jatobá-PE por meio das formações Aliança e Candeias.

Guzmán *et al.* (2015) apresentaram um estado da arte da estratigrafia da Bacia do Jatobá, detalhando a litologia dos grupos e formações geológicas que compõem a bacia. Os autores concluíram que durante o Mesozóico houve sedimentação constante na Bacia do Jatobá. Horn e Morais (2016), descreveram o primeiro afloramento da Formação Salvador (Berriasiano Tardio) para a Bacia do Jatobá e ressaltam esta ter sido erroneamente interpretada como Formação Candeias, com as formações dispostas de maneira intercalada.

Ao analisar a bioestratigrafia do Cretáceo Inferior na Bacia do Jatobá, Nascimento *et al.* (2017) tiveram como foco a Sequência Pós-Rifte, caracterizada por sistemas fluviais, eólicos, lacustres e de deltas aluviais. Esta sequência é representada pela Formação Marizal, sobreposta por depósitos lacustres relacionados às formações Crato e Romualdo da Bacia do Araripe. Queiroz *et al.* (2017) em seu estudo sobre a geologia da área centro-leste da folha Airi, atribuem à Bacia do Jatobá uma classificação estratigráfica composta por: sequência de Sinéclise (formações Tacaratu e Inajá), sequência de Início de Rifte (formações Sergi e Aliança), sequência de Clímax de Rifte (formações Candeias, São Sebastião e Grupo Ilhas) e; sequência Pós-Rifte (formações Marizal, Crato, Romualdo e Exu). Com enfoque na sequência de Clímax de Rifte, os autores atribuem à Formação Candeias idade Eoberriasiana-Neoberriasiana, enquanto que o Grupo Ilhas é determinado como de idade Neoberriasiana-Eovalangiana. À Formação São Sebastião não é atribuída uma idade específica, mas a colocam como única representante do Grupo Massacará (Queiroz; Fambrini; Neumann, 2017).

Mendes *et al.* (2020) tiveram como objetivo o mapeamento em detalhe e reconhecimento de unidades geológicas ao norte do município de Inajá-PE. Os

autores reconheceram a Formação Inajá (Devoniana), Formação Aliança (Tithoniana), Formação Candeias (Berriasiana-Valanginiana) e o Grupo Ilhas (Valanginiana-Barremiana).

O trabalho mais recente a citar a Bacia do Jatobá é de Morais *et al.* (2023) que realizaram uma revisão litoestratigráfica das bacias sedimentares do Mesozóico da Província Borborema, Nordeste do Brasil. Neste período, diversas unidades que compõem a bacia foram depositadas, com idades que variam desde o Jurássico Superior, das formações Sergi e Aliança, até o Aptiano (Cretáceo Inferior), das formações São Sebastião e Marizal.

2. 3. Histórico de trabalhos paleontológicos na Bacia do Jatobá

Os trabalhos paleontológicos da Bacia do Jatobá são majoritariamente referentes a invertebrados. Desde os primeiros trabalhos geológicos da área é registrada a presença de fósseis, mas na maioria das vezes não há estudo sistemático dos achados.

Trabalhos mais antigos apontam a presença de fósseis na região da Bacia do Jatobá, antes mesmo que as unidades da bacia fossem definidas. Derby (1880) registrou às margens do Rio São Francisco, a ocorrência de madeira silicificada, conchas de ciprinídeos, ossos, dentes de répteis e tubarões, escamas de peixes e répteis. Os peixes foram identificados como pertencentes ao gênero *Lepidotus*. Há ocorrência de madeira carbonizada nos municípios de Soares e Petrolândia (Williams, 1925). Moraes (1928) registrou a ocorrência de lamelibrânquios, gastrópodes, ostracodes e vermes no linhito de Jatobá e

Petrolândia. Maury (1929) identificou os lamelibrânquios coletados por Moraes (1928) como *Psidium* ou *Sphaerium* e a madeira carbonizada de Jatobá como uma gimnosperma.

Moraes (1948) volta a trabalhar na região próxima a cachoeira de Paulo Afonso e reconhece novas áreas areníticas, cujas camadas possuem os mesmos fósseis já antes encontrados. Alguns fragmentos de madeira silicificada encontrados por Moraes neste trabalho são identificados por Barbosa (1953) como pertencentes a uma conífera.

A partir do trabalho de Almeida (1963) e do reconhecimento das unidades que compõem a Bacia do Jatobá, os trabalhos passaram a identificar em quais formações os fósseis foram encontrados. Visando um melhor entendimento do histórico paleontológico da Bacia, serão apresentadas abaixo as formações que possuem em seu registro ocorrências fossilíferas.

2. 3. 1. Formação Inajá

A Formação Inajá aflora acompanhando a área de exposição da Formação Tacaratu. Estende-se da região a Sudoeste do povoado de Moderna, extremo norte da bacia, até SSW de Petrolândia, no extremo sudoeste, onde sua área de exposição torna-se mais estreita. Os afloramentos mais característicos estão na região do sítio Trocado a ESE do Frutuoso, nas proximidades de Moxotó e a Sul da cidade de Petrolândia e da Serra de Manari (Rocha; Leite, 1999). De idade Devoniana, a porção inferior da formação é correlacionada à Formação Pimenteiras e sua porção Superior é correlacionada à Formação Cabeças, ambas da Bacia do Parnaíba (Almeida, 1963; Barreto, 1968). O ambiente de deposição da unidade é marinho, de plataforma rasa dominante, apresentando um evento

recessivo caracterizado pela tentativa de implantação de um sistema fluvial entrelaçado (Rocha; Leite, 1999).

O conteúdo fossilífero da formação é constituído exclusivamente de invertebrados. Almeida (1963) registrou o gênero *Pterínea*; Braun (1966) apontou a ocorrência de Braquiópodes, dos gêneros *Lingula* e *Australocelia*, gastrópodes indeterminados e bivalves das famílias Mytilidae, Pteriidae, Pectiniidae, Nuculiidae-Nuculites CONRAD, porém sem descrição detalhada das espécies. Barreto (1968), Dantas; Brito Neves (1980) e Santos (1963) relataram a presença de gastrópodes Bellerophontideos, alguns espécimes de lamelibrânquios pteroides e *Nuculites*.

Muniz (1979) coletou e identificou moluscos bivalves das espécies: *Nuculites aff. oblongatus*; *Leptodesma (Leptodesma) langei*; *Streblopteria antiqua*; *Spathella brevis*; *Cypricardella ? Petrolandensis*; *Edmondia philipi*; *Sanguinolites pernambucensis* e *Sanguinolites rochacampos*. Leal e Melo (1983) apontaram a Formação Inajá como bastante fossilífera, mas sem descrição de outros fósseis além de rastro de vermes.

Pereira, Almeida e Barreto (2012) analisaram os bivalves e braquiópodes coletados por Muniz (1979), a partir de dados quantitativos, morfofuncionais (autoecológicos) e tafonômicos, visando inferir o modo de vida dos animais.

2. 3. 2 Formação Aliança

Junto com a Formação Sergi, a Formação Aliança constitui o chamado Grupo Brotas (Viana *et al.*, 1971). A área de afloramento da Formação Aliança

estende-se por toda a porção oriental interna da bacia, de NNE até o extremo WSW, em uma área próxima a NW de Petrolândia.

A deposição da Formação Aliança é típica de ambiente lacustre raso de grande extensão, tem idade neo-jurássica e é correlacionada à Formação Brejo Santo, da Bacia do Araripe; à Formação Bananeiras, da Bacia Sergipe-Alagoas e à Série M'Vone da Bacia do Gabão, na África (Ponte; Medeiros; Ponte Filho, 1997; Rocha; Leite, 1999; Viana *et al.*, 1971).

Há ocorrência de ostracodes *Bisulcocypris pricei* Pinto e Sanguinetti, *Bisulcocypris* (=*Metacypris*) sp. KR. *Darwinula oblonga* Roemer, *Darwinula leguminella* Forbes, *Metacypris sp*. KR.; conchostráceos *Pseudoestheria candeiensis*, *Paleolimnadiopsis barbosai* e *Notogripta costai*; estherias, bem como restos de madeira silicificada e peixes (Almeida, 1963; Braun, 1966; Dantas; Brito Neves, 1980; Leal; Melo, 1983).

2. 3. 3 Formação Sergi

A Formação Sergi aflora nas porções oeste e sudoeste da Bacia. Possui sedimentos característicos de ambientes de deposição, fluvial e eólico; idade neo-jurássica e correlação com a Formação Missão Velha da Bacia do Araripe, Formação Serraria, da Bacia Sergipe e Alagoas (Menezes Filho; Santos; Souza, 1988; Ponte; Appi, 1990; Rocha; Leite, 1999). O conteúdo fossilífero é majoritariamente composto de madeira silicificada (Almeida, 1963; Braun, 1966; Dantas; Brito Neves, 1980).

2. 3. 4 Formação Candeias

A Formação Candeias aflora em uma faixa alongada de direção NNE-WSW, próxima ao povoado de Campos, na borda norte da bacia. Estende-se até o Sítio Varas a oeste de Moxotó, onde inflexiona para sudoeste acompanhando a direção do rio Moxotó, até a falha da Fazenda Nova (Correia, 1965), voltando a aflorar na borda noroeste da bacia (Rocha; Leite, 1999). O ambiente de deposição é lacustrino de circulação restrita (euxínico), com gradual evolução para ambiente prodeltaíco. Tem idade eocretácica e é correlacionada com a Formação Barra de Itiúba da Bacia do Sergipe-Alagoas (Menezes Filho; Santos; Souza, 1988)

Ocorrem peixes do gênero *Lepidotus*; ostracodes *Candona imitans sp*. prov., *Cypridea ambigua* KR., *Darwinula sp*., *Dolerocypris ibimirensis*, *Iliocypris sp*.; conchostráceos; pequenos troncos silicificados e carbonizados (provavelmente coníferas); ossos, escamas e dentes de peixe (Almeida, 1963; Braun, 1966; Dantas; Brito Neves, 1980; Leal; Melo, 1983).

2. 3. 5 Formação São Sebastião

A Formação São Sebastião aflora na parte mais setentrional da Bacia do Jatobá, desde a região situada a SSW do povoado de Campos até a SSW do *Horst* de Serrotinho, borda NW da Bacia do Jatobá. Os principais afloramentos desta unidade encontram-se na região de Campos (Fazenda Paraíso) e a NNW de Inajá (Serra do Peitudo) (Rocha; Leite, 1999)

A unidade tem litologia indicativa para ambiente de sedimentação inicialmente fluvial, com posterior retrabalhamento por vento, onde a porção basal caracteriza um sistema fluvial de alta energia e, a superior, um ambiente desértico, tipicamente eólico. Tem idade eocretácea e correlaciona-se com as formações Penedo, Coqueiro Seco e Morro de Chaves da Bacia do Sergipe-Alagoas (Ponte; Appi, 1990; Rocha; Leite, 1999). Almeida (1963) apontou a presença de coquinas de lamelibrânquios.

2. 3. 6 Formação Salvador

A Formação Salvador ocorre próxima ao município de Floresta-PE, com os melhores afloramentos em torno da transposição do Rio São Francisco. O ambiente de sedimentação é composto por três fácies: fan delta proximal, fan delta distal e lacustre, raso e profundo. A formação tem idade Berriasiana e correlaciona-se com a Formação Rio Pitanga da Bacia Sergipe-Alagoas. O conteúdo fossilífero apresenta grande quantidade de bivalves, com valvas articuladas ou fragmentadas, ainda sem táxon específico, mas previamente classificados como pertencentes a família Iridinidae (Baumann *et al.*, 2023; Horn; Morais, 2016; Morais *et al.*, 2023)

2. 3. 7 Formação Marizal

A Formação Marizal encontra-se na região entre oeste e sudoeste de Ibimirim, denominada Baixo de Ibimirim (Magnavita, 1992). A idade é mesocretácica. Pode ser correlacionada ao Membro Carmópolis da Formação Muribeca da Bacia Sergipe-Alagoas e também às formações Itapecuru (Bacia do

Parnaíba) e Urucuia (Bacia do São Francisco), do Oeste da Bahia (Ghignone, 1979; Rocha e Leite, 1999).

A formação possui características de ambiente de sedimentação de sistemas de leques aluviais e fluviais proximais (Rocha; Leite, 1999). Há registros de pólens, ostracodes, peixes, gastrópodes e restos vegetais (Leal; Melo, 1983).

2. 3. 8 Formação Santana

A Formação Santana, juntamente com a Formação Exu, constituem os acidentes geográficos de maior destaque da Bacia do Jatobá, a Serra Negra e a Serra do Periquito, situadas na porção norte, próxima da borda ocidental da bacia. A sedimentação da unidade ocorreu um ambiente lacustre na porção inferior e lacustre raso com influência marinha na porção superior (Rocha; Leite, 1999).

Há registro de ostracodes *Candonopsis sp*, *Paraschuleridea sp*., Heterocypris sp., *Bisulcocypris sp*., coquinas de gastrópodes e bivalves, crocodilídeos, bem como dentes e fragmentos de ossos de peixe, (Braun, 1966; Leal; Melo, 1983).

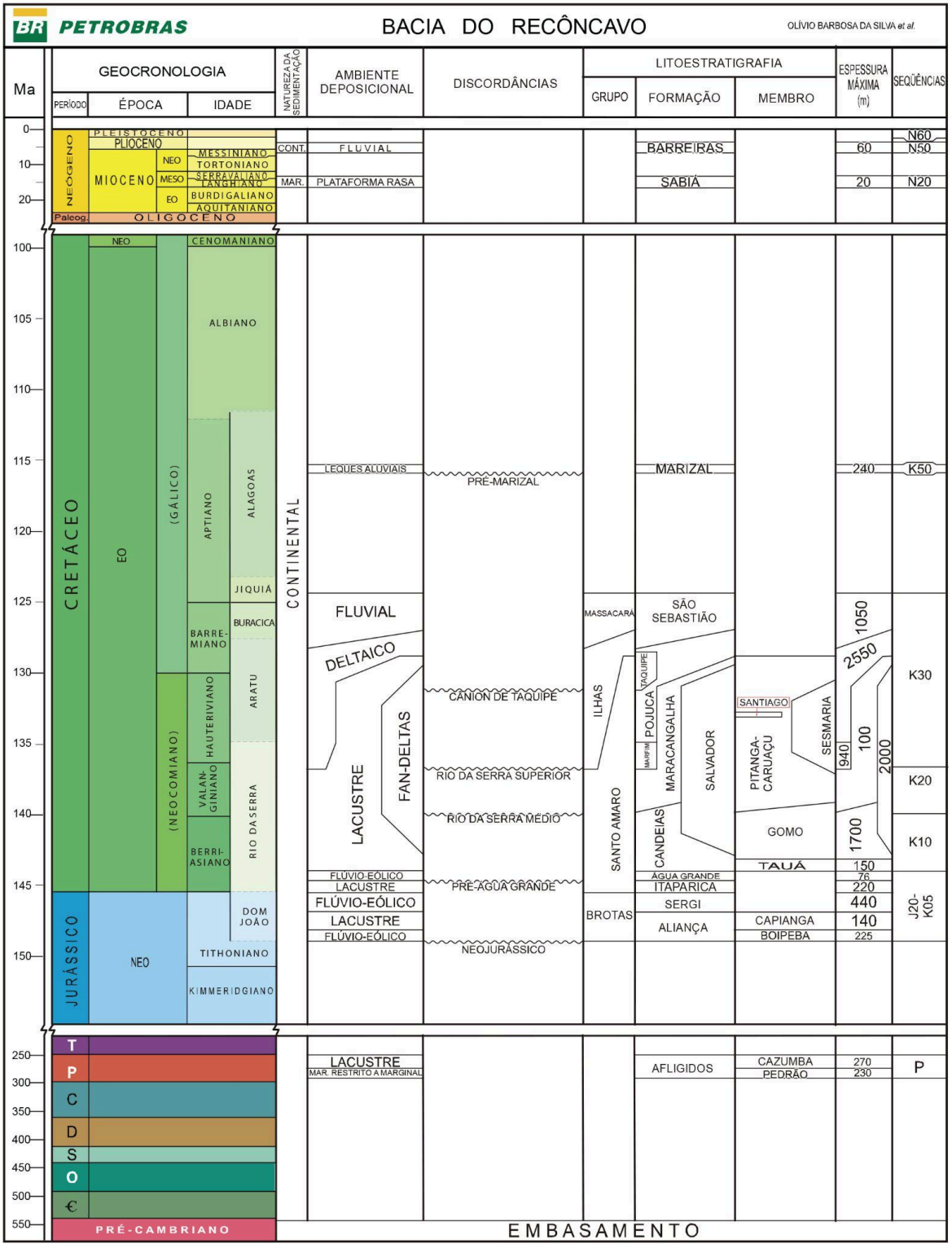


Figura 5. Carta estratigráfica da Bacia do Recôncavo (Silva *et al.*, 2007).

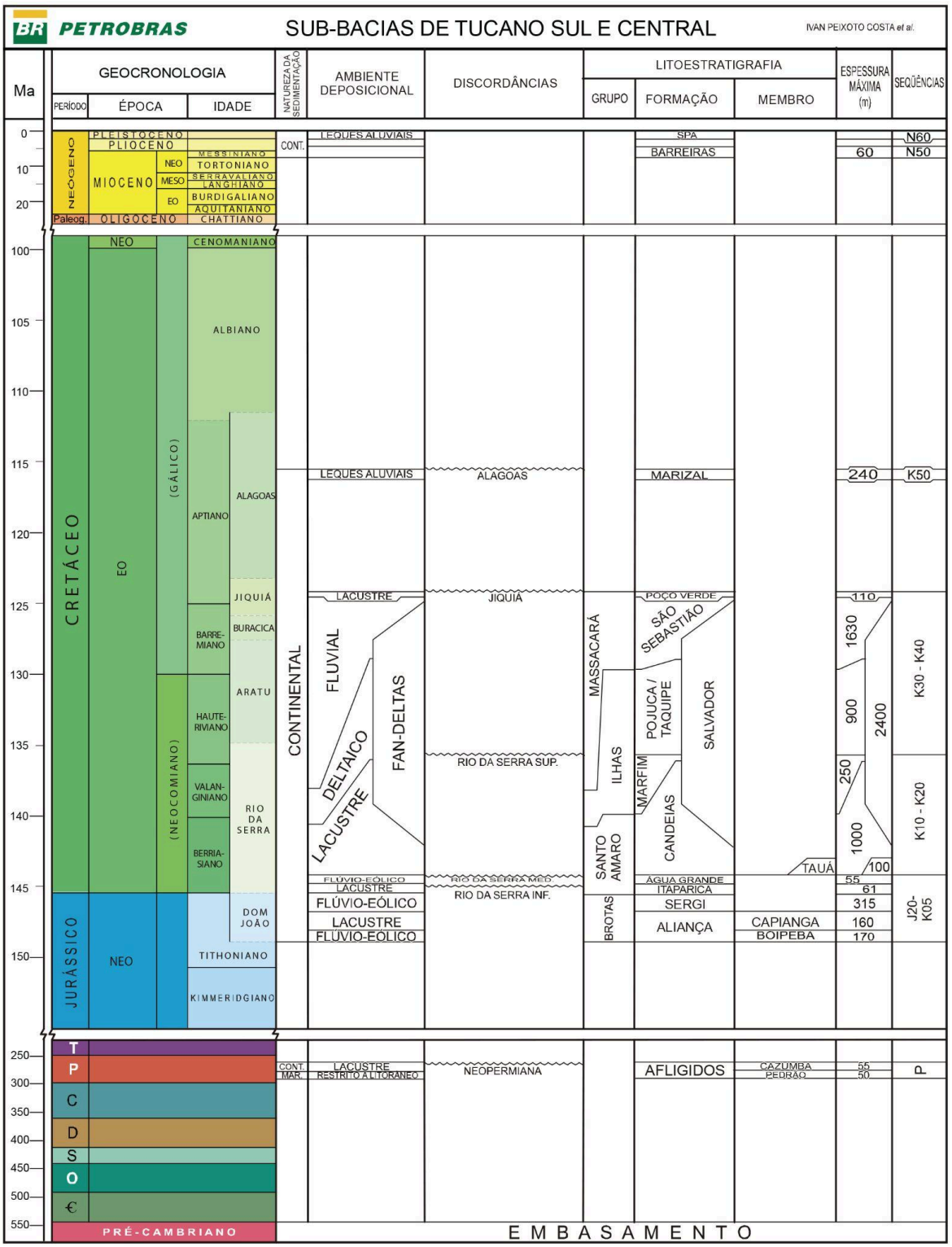


Figura 6. Carta estratigráfica das Sub-Bacias do Tucano Sul e Central (Costa *et al.*, 2007b).

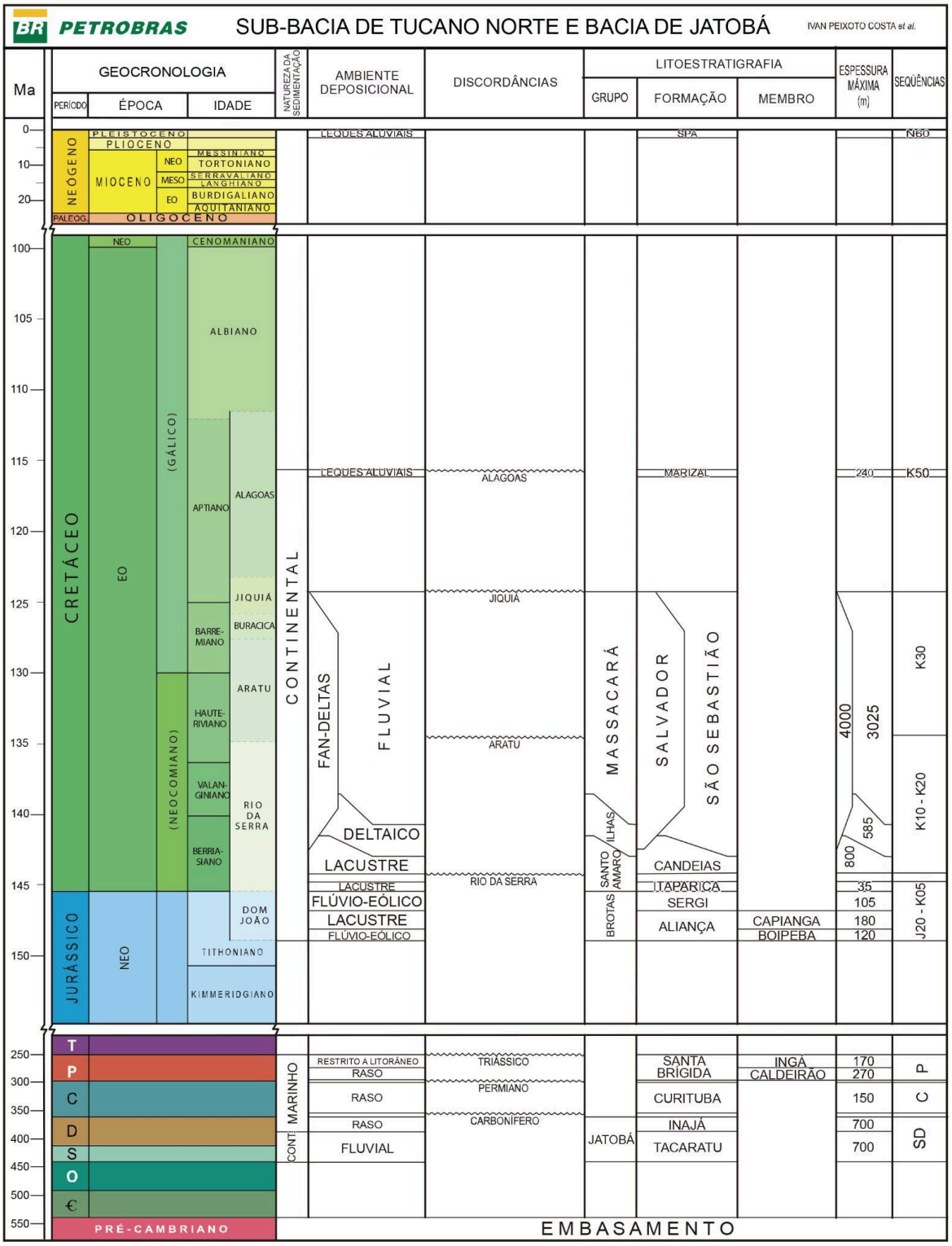


Figura 7. Carta estratigráfica da Sub-Bacia do Tucano Norte e Bacia do Jatobá (Costa *et al.*, 2007a).

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

O material estudado neste trabalho consiste em 84 espécimes de bivalves, entre valvas articuladas, desarticuladas ou fragmentos de conchas, coletadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), próximo ao município de Floresta, no interior do Pernambuco. Segundo o relatório de campo cedido pela CPRM, a região estudada é predominantemente formada por rochas sedimentares de idade entre o Jurássico e o Cretáceo, correspondendo à borda da bacia, com a maior parte dos afloramentos ocorrendo ao longo de cortes relacionados à construção do canal de transposição do Rio São Francisco, além de áreas erosivas naturais. Participaram da coleta os geólogos Bruno Ludovico Dihl Horn e Débora Melo Ferrer de Morais, ambos da SUREG-RE. Foram visitadas nove localidades, todas com ocorrências fossilíferas nas quais foram levantados os fósseis encontrados, litologia, formação geológica, idade, ambiente, coordenadas geográficas e dados para localização e georreferenciamento.

Os espécimes estudados neste trabalho são oriundos dos pontos BL-42, BL-54 e BL-64. No ponto BL-42, apresenta-se uma represa associada ao canal da Transposição do Rio São Francisco, os sedimentos são constituídos de conglomerados, arenitos, e argilitos, pertencentes a Formação Salvador/Candeias (Cretáceo Inferior), constituída por um sistema de fandeltas. O ponto encontra-se sob as coordenadas 8° 41' 48.60" S; 38° 16' 34.30" O; com elevação de 399m. A análise do ponto ocorreu no dia 03 de fevereiro de 2017 e, segundo o relatório de campo, foram registradas cinco ocorrências fossilíferas de moluscos bivalves.

O ponto BL-64, associado a um corte do canal da Transposição do Rio São Francisco, também pertencente à Formação Salvador/Candeias, com sedimentos do tipo conglomerados, arenitos e arenitos conglomeráticos, está localizado nas coordenadas 8° 45' 1.60" S; 38° 20' 58.10" O, com elevação de 351m. A análise deste ponto foi realizada no dia 04 de fevereiro de 2017 e apresenta apenas uma ocorrência fossilífera de moluscos bivalves. Por fim, o ponto BL-54, localizado em um barranco próximo à BR 316, ainda na Formação Salvador/Candeias, sob coordenadas 8° 46' 0.70" S; 38° 21' 42.60" O e com elevação de 336 m. A análise deste ponto ocorreu também no dia 04 de fevereiro de 2017 e apenas uma ocorrência fossilífera de moluscos bivalves foi registrada. Os sedimentos deste ponto são constituídos de conglomerados residuais, arenitos, arenitos conglomeráticos e siltitos arenosos.

Os fósseis de bivalves foram então enviados ao Laboratório de Paleontologia de Macroinvertebrados (LAPALMA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Bauru, sob a direção do Prof. Dr. Renato Pirani Ghilardi.

Durante o desenvolvimento do projeto de iniciação científica, com fomento FAPESP, de número 2018/01927-4, os espécimes foram separados em seis morfotipos, levando-se em consideração a morfologia e os dados métricos obtidos com o auxílio de paquímetro, gerando a tabela que encontra-se no anexo I. Os dados gerados pela tabela foram analisados segundo a metodologia de Stanley (1970), seguindo o quadro I. Posteriormente foram separados quanto ao seu tamanho, alongamento e obesidade, para enfim separá-los nos morfotipos, descritos a seguir.

Quadro 1. Termos descritivos para os valores das medidas dos caracteres morfológicos de conchas de bivalves (Ghilardi, 1999).

Termo descritivo	Valor do Caráter
Tamanho (Comprimento)	
Muito Pequeno	≤ 1,5 cm
Pequeno	1,6 - 3,5 cm
Moderadamente Pequeno	3,6 - 5,0 cm
Moderadamente Grande	5,1 - 7,0 cm
Grande	7,1 - 10 cm
Muito Grande	≥ 10,1 cm
Alongamento (C/A)	
Não alongada	≤ 1,19
Moderadamente alongada	1,20 - 1,39
Alongada	1,40 - 1,59
Muito alongada	≥ 1,60
Obesidade (A/L)	
Fortemente inflada	≤ 1,29
Inflada	1,30 - 1,49
Moderadamente inflada	1,50 - 1,69
Comprimida	1,70 - 1,99
Muito comprimida	≥ 2,00
Alongamento Anterior (CA/C)	
Parte anterior expandida	0,51 - 0,60
Parte anterior fortemente expandida	≥ 0,61

- Morfotipo 1: Fósseis de tamanho moderadamente pequeno a moderadamente grande e muito alongados, com obesidade entre moderadamente inflada e muito comprimida.
- Morfotipo 2: Fósseis de tamanho moderadamente pequeno a moderadamente grandes, alongados ou muito alongados e comprimidos ou muito comprimidos.

- Morfotipo 3: Fósseis pequenos ou moderadamente pequenos, alongados ou muito alongados e obesidade entre moderadamente inflados e muito comprimidos.
- Morfotipo 4: Fósseis pequenos ou moderadamente pequenos, com alongamento entre moderadamente alongados e muito alongados e obesidade entre fortemente inflados e muito comprimidos.
- Morfotipo 5: Fósseis pequenos, não alongados ou moderadamente alongados, com obesidade entre moderadamente inflados e muito comprimidos.
- Morfotipo 6: Fósseis pequenos ou moderadamente pequenos, alongados ou muito alongados e com obesidade entre moderadamente inflados e muito comprimidos.

Os espécimes que inicialmente foram numerados de 1 a 84. Posteriormente, foram tombados pelo paleontólogo responsável pela coleta do material, Rafael da Costa Silva, no Museu de Ciências da Terra (MCTer, sob responsabilidade da CPRM, com números de tombo entre MCT.I.7136 e MCT.I.7219. O MCTer foi fundado em 1907 e o prédio, atualmente em obras, está situado na Av. Pasteur, n° 404, no bairro da Urca, município do Rio de Janeiro/RJ, a poucos metros do Pão de Açúcar. Izabella Pimentel foi a responsável por incluir os espécimes na coleção de invertebrados.

A identificação dos espécimes contou com o auxílio do Prof. Luiz Ricardo L. Simone, responsável pelo setor de Malacologia do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUsp). Alguns fósseis foram enviados ao MZUsp para obtenção de imagens de tomografia com o intuito de visualizar o interior das

conchas que se encontram fechadas. As imagens obtidas através do CT-Scan, estão sendo analisadas com o auxílio dos programas VG Max e Dragonfly.

Para a identificação taxonômica foi utilizado, principalmente, o livro Treatise of Invertebrate de Moore (1969).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste capítulo serão publicados posteriormente em forma de artigo. O artigo referente ao item 4.1 Classificação Sistemática, foi submetido a revista Cretaceous Research e encontra-se em processo de alteração após a revisão de pares. No anexo II consta o artigo original enviado à revista.

4. 1 Classificação Sistemática

Superfamília Etherioidea Deshayes, 1832

Família Iridinidae Swainson, 1840

Gênero *Novo 1*

Espécie tipo: *Espécie Nova 1*

Diagnose: Distingue-se de seus congêneres, exceto *Moncetia*, *Chambardia*, *Chelidonopsis* e *Gênero Novo 2*, pela presença de charneira com dentição heterodonte (vs. taxodonte em *Pleiodon, Taxodontites, Itaimbea* e *Iridina* e edêntula em *Aspatharia, Chambardia, Chelidonopsis, Mutela*). Possui dente cardinal bem desenvolvido (vs. dente dente fraco na valva direita de *Moncetia*), em forma de gota grande entre duas fossetas, músculos adutores anterior e

posterior presentes, ambos arredondados, sendo o anterior maior e melhor impresso que o posterior, sem ornamentação no umbo (vs. umbo ornamentado [*Chambardia, Chelidonopsis*] ou nas valvas.

Gênero: Neutro

Lista de espécies inclusas: *Espécie Nova 1*

Espécie Nova 1

Holótipo: BRASIL. **Pernambuco,** Floresta, Bacia do Jatobá 8° 41' 48.60" S 38° 16' 34.30" O, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7192 (figs. 8, 9, 10).

Parátipos: BRASIL. **Pernambuco,** Floresta, Bacia do Jatobá 8° 41' 48.60" S 38° 16' 34.30" O, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7169, MCT.I.7194, MCT.I.7198.

Estratotipo: Berriasiano Tardio. Conglomerados, arenitos e argilitos.

Dimensões (mm): Holótipo (CT = 48, A = 24, L = 1) Parátipos (min - média - máx) CT = 45 - *50* - 52; A = 26 - *27* - 28; E = 12 - *12.3* - 13

Diagnose: valva elíptica, muito alongada e muito comprimida, cerca de 1,8 vezes mais longa do que alta**;** dentição heterodonte, com um dente cardinal pronunciado, em forma gota, entre duas fossetas (e o complemento na outra valva); cicatrizes musculares adutoras anterior e posterior aparentes, sendo a cicatriz adutora anterior mais pronunciada que a posterior.

Descrição: Valva direita, de forma elíptica, com tamanho moderadamente pequeno, muito alongado e muito comprimido, cerca de 1,8 vezes mais longa do que alta. Umbo no terço anterior da concha, conservado e obtuso. A partir do

umbo há uma estrutura semelhante a uma carena, levemente oblíqua, chegando até a margem posterior. A partir do umbo, em direção a margem posterior, na margem dorsal, há resquícios de uma estrutura, provavelmente o ligamento. Margem anterior e posterior côncavas, sendo que a margem posterior apresenta ligeira quebra, provavelmente em decorrência dos processos de preservação. A margem dorsal, bem como a ventral são arredondadas. É possível visualizar linhas de crescimento próximas à margem dorsal da valva. Na face interna da concha, um dente cardinal, bem desenvolvido, está presente na linha de charneira, entre duas fossetas, sendo a fosseta anterior maior e mais profunda que a posterior. A presença da dentição do tipo taxodonte permaneceu dúbia. As cicatrizes musculares anterior e posterior são observáveis, ambas arredondadas, com respectivamente 11% e 9% do tamanho da valva. Uma linha palial conspícua é observada com aparente ondulações próxima à margem dorsal.

Gênero *Novo 2*

Espécie tipo: *Espécie Nova 2*

Diagnose: Distingue-se de seus congêneres, pela presença de charneira com dentição dupla, heterodonte logo abaixo do umbo, com cardinais em número de três sendo o central mais pronunciado (e o complemento na outra valva) e taxodonte ao longo da linha da charneira.

Gênero: Neutro

Lista de espécies inclusas: *Espécie Nova 2*

Espécie Nova 2

Holótipo: BRASIL. **Pernambuco,** Floresta, Bacia do Jatobá 8°41' 48.60" S 38° 16' 34.30" W, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7202 (figs. 8, 9, 10)

Parátipos: BRASIL. **Pernambuco,** Floresta, Bacia do Jatobá 8° 41' 48.60" S 38° 16' 34.30" O, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7200, MCT.I.7201, MCT.I.7204.

Estratotipo: Berriasiano tardio. Conglomerados, arenitos e argilitos.

Dimensões (mm): Holótipo (CT = 50, A= 20, L = 6) Parátipos (min. - *média* - máx.) CT = 47 - *47.7* - 48; A = 18 - *18* - 18; L = 6 - *6.7* - 8

Diagnose: charneira com dentição dupla, heterodonte logo abaixo do umbo, com cardinais em número de três sendo o central mais pronunciado e taxodonte ao longo da linha da charneira, no terço médio da margem dorsal.

Descrição: Valva direita retangular, com tamanho moderadamente pequeno (aprox. 50 mm), muito alongado e muito comprimido, cerca de 2,6 vezes mais longa que larga. Umbo subterminal no terço anterior da concha, conservado, ortógiro e obtuso. Escudo parcial, visível. Resquício de estrutura, provavelmente o ligamento, visível. Duas estruturas, semelhantes a uma carena, partem do umbo em direção à margem posterior. Margem anterior côncava, margem posterior convexa, margem dorsal reta e margem ventral arredondada. Linhas de crescimento visíveis por toda a valva. Na região posterior da valva, partindo da margem ventral, há um aprofundamento (aprox. 20 % do tamanho do animal), mas não há quebra da mesma. Na face interna da concha três dentes cardinais visíveis, sendo o dente do meio levemente pronunciado, há um dente lateral

parcialmente desgastado, não pronunciado, próximo ao umbo. Próxima a região central da margem superior da linha da charneira, há dentículos e fossetas característicos de dentição do tipo taxodonte. Uma cicatriz muscular, arredondada, fortemente impressa está visível na borda da margem anterior, próxima à margem dorsal e ao primeiro dente cardinal, com aproximadamente 12% do tamanho da valva.

4. 1. 1 Justificativas à Sistemática

Os caracteres morfológicos da concha, como a estrutura da charneira, cicatrizes musculares e escultura umbonal, são caracteres diagnósticos importantes para identificação de Unionida (Skawina; Dzik, 2011). Na ordem dos Unionida, a superfamília Etherioidea é composta pelas famílias Hyriidae, Etheriidae, Mycetopodidae e Iridinidae (Graf; Cummings, 2007) e a alocação dos gêneros novos na família Iridinidae será discutida a seguir.

Iniciando a análise dos bivalves estudados pela morfologia externa da concha, o caráter que mais chama a atenção é a ausência de ornamentação. Esculturas radiais vistas em Hyriidae (Ricci, 1986), que podem estar presentes no umbo ou na extensão total da concha e são um carácter diagnóstico para a família, estão ausentes nos gêneros novos. Nas valvas de ambas as espécies dos gêneros novos apenas finas linhas de crescimento são observáveis. A família Etheriidae conhecida como ostras de água doce, possui uma das valvas fixas ao substrato quando o animal se torna adulto, tornando suas valvas diferentes entre si (Moore, 1969). Essa característica também não ocorre nas espécies dos gêneros novos, excluindo a possibilidade de pertencerem a esta família.

Na face interna da concha, os gêneros novos apresentam como caráter principal o tipo de dentição. Enquanto o gênero novo 1 apresenta dentição do tipo heterodonte bem desenvolvida, o gênero novo 2 apresenta uma charneira desconhecida até então em Bivalvia: dentição dupla, heterodonte e taxodonte. Considerando as demais famílias de Etherioidea, Etheriidae apresenta charneira edêntula (Moore, 1969) e Mycetopodidae pode apresentar charneira edêntula ou com resquícios de dentículos (Parodiz; Bonetto, 1963).

A família Iridinidae, entretanto, tem como características a concha não ornamentada, com bicos lisos ou ligeiramente ondulados, sem resquícios bem definidos de prodissoconcha; a charneira possui dentes cardinais, dentição taxodonte secundária ou são edêntulas e a linha palial raramente apresenta um ligeiro sinus posterior (Moore, 1969). Todas essas características são distinguíveis nos gêneros novos, o que possibilitou sua alocação na família. Um adendo importante é ainda, a dupla dentição. Apesar de não haver registros dessa característica na ordem Unionida, ambos os gêneros novos foram alocados em uma família já existente por não existirem dados concretos que essa característica, pelo menos por hora, seja diagnóstica para a criação de uma nova família.

Até o momento, os Iridinidae possuíam nove gêneros, são eles: *Mutela* Scopoli, 1777; *Moncetia* Bourguignat, 1885; *Aspatharia* Bourguignat, 1885; *Chambardia* Bourguignat em Servain, 1890; *Pleiodon* Conrado, 1834; Chelidonopsis Ancey, 1887; *Taxodontites* Mezzalira, 1974; *Itaimbea* Mezzalira, 1974 e *Iridina* Van Bocxlaer e Van Damme, 2009 (Lydeard e Cummings, 2019; Van Bocxlaer e Van Damme, 2009). Em nenhum dos nove gêneros foi encontrado o tipo de dentição dos dois novos gêneros.

No gênero novo 1, a dentição conta com um dente cardinal em forma de gota grande entre duas fossetas enquanto no gênero novo 2, a dentição, apesar de ser menos desenvolvida que no gênero novo 1, ainda é mais desenvolvida que nos demais gêneros da família, *Moncetia* por exemplo, apresenta um dente fraco na valva esquerda com o complemento na valva direita (Van Bocxlaer; Van Damme, 2009), enquanto que no gênero novo 1, há duas fossetas na valva direita, indicando a presença de dois dentes na valva esquerda. Além disso, a fosseta anterior presente na valva direita, indica um dente cardinal bem desenvolvido na valva esquerda e, no gênero novo 2, ocorre o mesmo, apesar da fosseta anterior da valva direita ser menos profunda do que no gênero novo 1. Os gêneros *Mutela*, *Aspatharia*, *Chambardia* e *Chelidonopsis*, são edêntulos e os gêneros *Taxodontites*, *Itaimbea*, *Pleiodon* e *Iridina* são comumente taxodontes; e todos eles carecem de dentes cardinais característicos de ambos os novos gêneros (Van Bocxlaer; Van Damme, 2009).

Em relação a ornamentação, como discutido anteriormente, ambas as espécies novas não possuem valvas ornamentadas, já os gêneros *Aspatharia* e *Chambardia*, possuem escultura umbonal, respectivamente, cristas paralelas e largas em forma de V e cristas concêntricas (Van Bocxlaer; Van Damme, 2009).

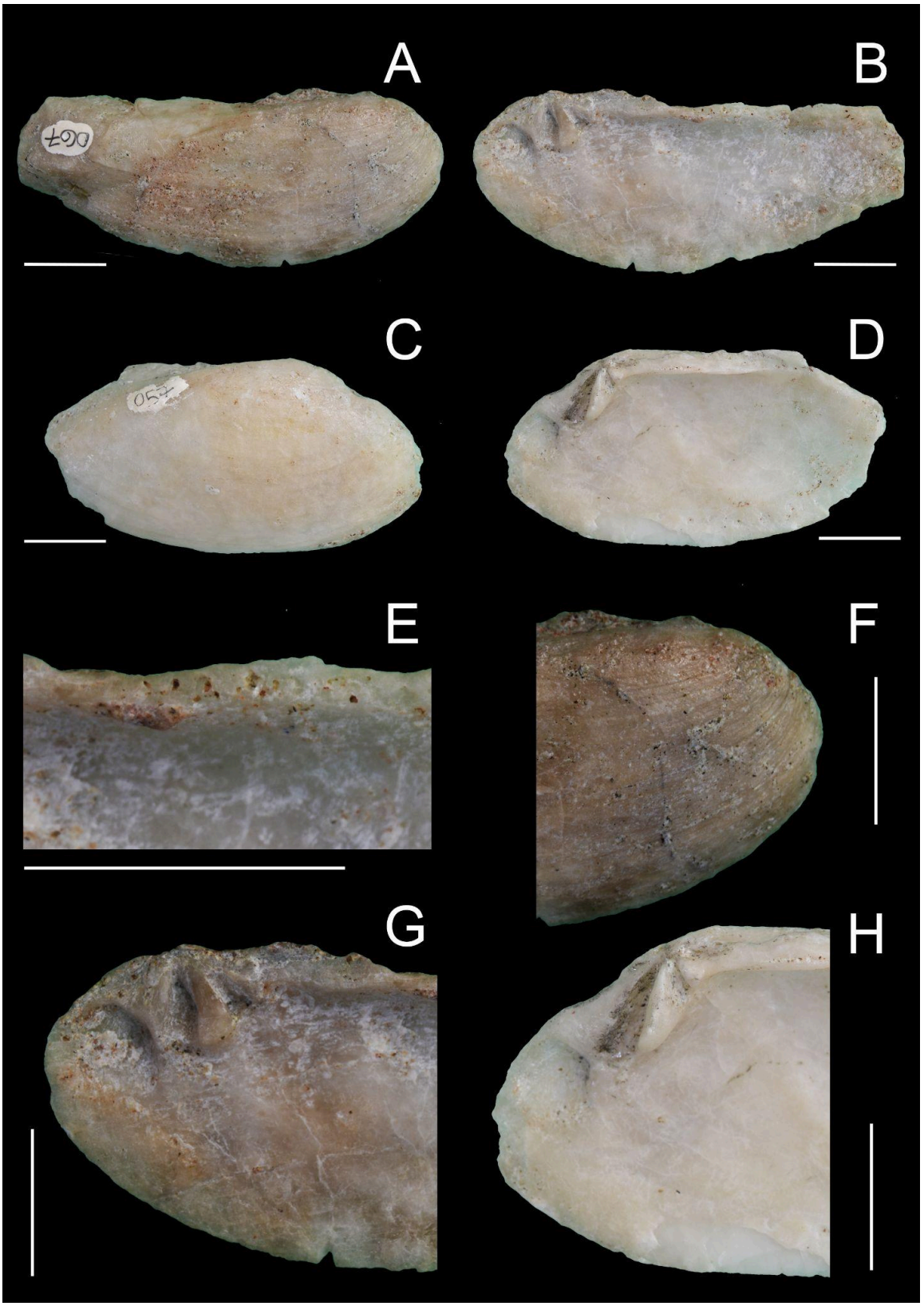


Figura 8. A, B) Holótipo, MCT.I.7202. Espécie nova 2. Valva direita, vista externa e interna. C, D) Holótipo, MCT.I.7192. Espécie nova 1, valva direita, vista externa e interna; E) Espécie nova 2. Charneira, detalhe da região intermediária; F) Detalhe da superfície externa da região anterior, evidenciando linhas de crescimento; G) Charneira, detalhe da região anterior; H) Espécie nova 1, detalhe da região anterior, vista interna. Escala: 10 mm

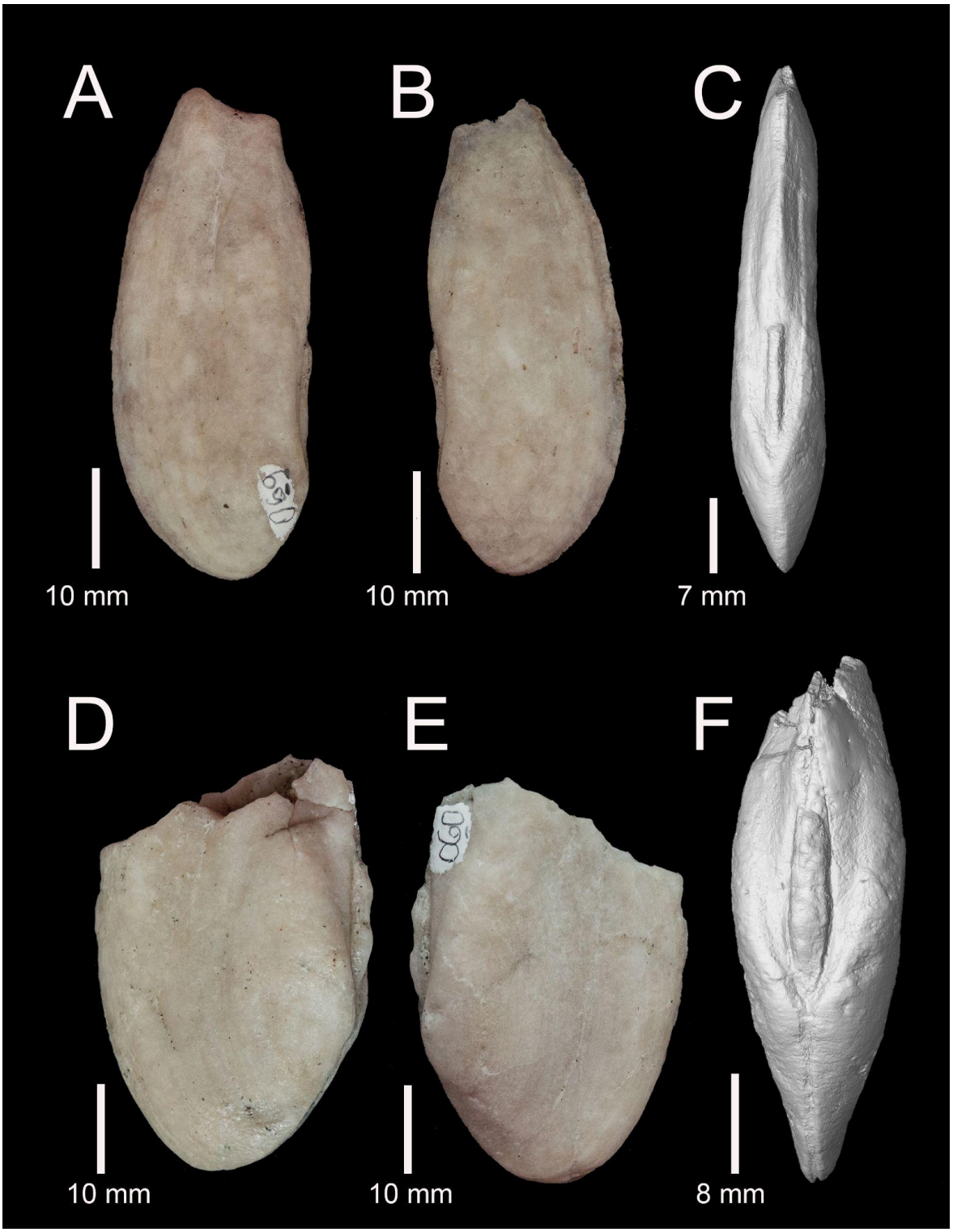


Figura 9: A, B) MCT.I.7204. Parátipo. Espécie nova 2. C) Margem dorsal, visão do ligamento. Imagem de tomografia. D, E) MCT.I.7195. Parátipo. Espécie nova 1; F) Margem dorsal, visão do ligamento Imagem de tomografia.

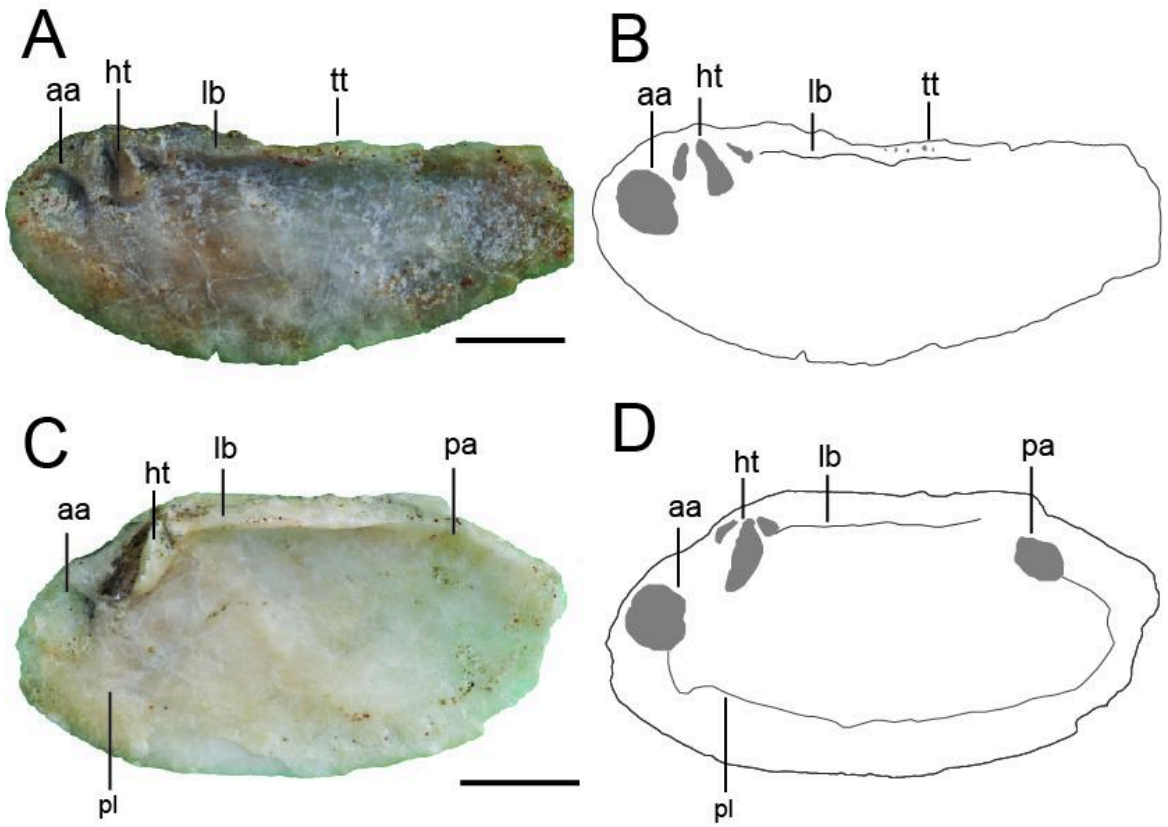


Figura 10. A, B) Espécie nova 2; morfologia geral e cicatrizes musculares. C, D) Espécie nova 1; morfologia geral e cicatrizes musculares. Abreviaturas: aa - adutor anterior, pa - adutor posterior, pl - linha palial, ht - dentes heterodontes, tt - dentes taxodontes, lb - embasamento do ligamento. Escala: 10 mm

4. 2 Morfologia Funcional

Morfologia funcional é o estudo das relações entre a forma de um organismo e seu modo de vida e habitat (Vermeij; Dudley, 1985). A forma da concha e sua morfologia refletem as demandas ambientais e são semelhantes mesmo em bivalves com relações de parentesco distantes (Eagar, 1978). Muitas pesquisas evidenciam a possibilidade que agentes biológicos de seleção tenham provocado adaptações menos especializadas em organismos de água doce do que em organismos marinhos, por exemplo, características anti-predação

amplamente difundidas em gastrópodes marinhos são raras ou ausentes nos grupos que invadiram a água doce; por isso é importante enfatizar que quase todos os estudos sobre morfologia funcional em bivalves são em relação aos animais de ambiente marinhos (Vermeij *et al.*, 1985).

Os bivalves apresentam características que possibilitam o estudo de sua morfologia funcional já que alteram minimamente a partir de um design comum (a priori, eles nunca perdem a concha). Suas partes duras, passíveis de preservação, refletem adequadamente o desenvolvimento de cada indivíduo. A forma da concha expressa o compromisso entre as restrições de desenvolvimento e o paradigma funcional, com pouca interferência da anatomia das partes moles, da fisiologia e das interações bióticas. E, por último, eles são diversificados o suficiente para fornecer exemplos de adaptações paralelas para testes de modelos, especialmente se incluirmos o registro fóssil (Seilacher, 1985).

O estudo da morfologia funcional das espécies novas tem como finalidade verificar se a morfologia corrobora com o ambiente em que os animais se desenvolveram. Geologicamente, a Formação Salvador, na qual os bivalves foram encontrados, é caracterizada por três fácies: fan delta proximal, fan delta distal e lacustre, raso e profundo. A classificação dos animais a princípio corrobora com essa informação, uma vez que a família e a ordem em que estão inseridos, são exclusivamente de água doce. A falta de ornamentação das valvas é o primeiro indicativo de que, de fato, são animais de água doce, uma vez que, bivalves dulcícolas não possuem valvas crenuladas ou denticuladas, tipos comuns em animais marinhos. Apesar de várias formas de ornamentação radial serem conhecidas em estágios jovens de Unionacea, essa escultura usualmente é perdida em conchas adultas. A falta de ornamentação é uma possível

consequência ao progresso em direção à vida deltaica e ao aumento da escavação, processos que parecem ser marcados pelo alisamento da superfície da concha (Eagar, 1978; Vermeij; Dudley, 1985).

As espécies novas possuem conchas mais comprimidas, que podem ser indicativas de hábito de escavação. Os bivalves escavadores podem ser igualmente rápidos em escavar e em escapar, sendo provável que a velocidade de escavação dos animais esteja associada a sua capacidade de sobreviver em ambientes que sofrem com cargas pesadas de areia e lodo. A forma das conchas, que se apresentam comparativamente mais “aerodinâmicas”, ou seja, mais alongadas, mais comprimidas e com abertura pedal em suas regiões ântero-ventral também é característica de animais que habitam esses habitats. A fauna de uma região deltaica é menos variável do que a fauna de uma região marinha ou de uma baía, o que pode refletir na eliminação das conchas mais infladas e de tamanhos maiores (Eagar, 1978).

Entre os bivalves marinhos, a variação da forma da concha dentro das espécies é tipicamente pequena, se comparadas com as de algumas espécies de bivalves de água doce. A ampla variação intra-específica no formato da concha é particularmente característica dos bivalves os quais a larva é parasita de peixes, como por exemplo em *Unio*, *Margaritifera* e *Anodonta*. Cada geração, então, perde e recupera contato com seu ambiente que, dependendo do movimento do peixe e do momento da soltura, pode diferir consideravelmente do anterior, tanto no caráter do fundo como, especialmente, uma determinada região pode ser afetada pela velocidades da água e turbulência concomitante. Esta redistribuição contínua torna tais espécies secundariamente oportunistas. A manutenção de uma gama ampla de variação pareceria, portanto, ter valor de sobrevivência,

desde que tal variação tenha significado funcional (Eagar, 1978). Considerando os holótipos e parátipos das espécies novas, pouca variação intra-específica foi encontrada, entretanto esse fato pode apenas refletir a baixa amostragem do material para essa análise em específico.

As espécies novas apresentam uma diferença morfológica no formato da concha que pode ser explicada pela morfologia funcional e o habitat que provavelmente estavam inseridas. Em algumas faunas de bivalves foram observados dois tipos de padrão de crescimento, com poucos intermediários entre eles. Nestes casos, as tendências ou padrões são diretamente associados à velocidade da água dos habitats atuais ou passados. Por exemplo, na distribuição de espécies de Unionoidea em um rio, o arqueamento dorsal dos animais pode ser alterado de acordo com as alterações de velocidade da água do habitat. Em um primeiro padrão de crescimento, o dorso da concha torna-se arqueado e a margem ventral se endireita podendo ficar refletida, tendência essa que pode ser acompanhada por aumento ou diminuição da obesidade da concha. Neste padrão, há evidências da associação da tendência de arqueamento dorsal com aumento na velocidade da água do habitat. Na segunda tendência, as margens dorsais das conchas aproximam-se da retidão, ou tornam-se retas, com o desenvolvimento de uma charneira relativamente longa, enquanto a margem ventral tende a mostrar graus crescentes de curvatura. Aqui, as conchas, apresentam evidências de uma associação ou habitat em águas relativamente lentas ou paradas (Eagar, 1978).

Considerando-se a geologia da Formação Salvador, as três fácies propostas e aplicando a mesma proposta de padrão de arqueamento dorsal proposto por Eagar (1978) para as espécies novas, podemos inferir sobre o

habitat ao qual cada espécie poderia pertencer. Na espécie nova 2 observamos uma margem dorsal mais reta do que na espécie nova 1 o que poderia indicar que a região onde a espécie nova 2 se estabeleceu havia tendência maior a águas mais paradas. Esse padrão pode indicar, no caso da Formação Salvador, um possível pertencimento da espécie nova 2 às fácies lacustres ou deltáicas distais, enquanto que, a espécie nova 1 poderia ter se adaptado melhor à facie deltaica proximal, onde possivelmente, a velocidade das águas era maior.

Em ambas as espécies novas não foi possível observar aberturas ou "gapes" anteriores e posteriores, característica comum em bivalves de água doce (Vermeij; Dudley, 1985). Ainda relacionado a cicatrizes interiores da concha, as espécies novas não aparentam possuir cicatriz de sinus na linha palial. Entretanto, a não existência da cicatriz de sinus palial não exclui a possibilidade das espécies possuírem sifões, como acontece em alguns Cardiidae e Veneridae, ou ter hábito escavador, mas pode ser indicativo de hábito infaunal raso (Kondo, 1987).

Outra característica morfológica, que a maioria dos bivalves de água doce apresentam, é o espessamento da parte anterior ou umbonal da concha, em relação à parte posterior. Esse espessamento anterior parece ser uma característica de todos os Unionacea, mesmo dos gêneros de concha mais finas como *Mutela, Anodonta, Solenaia* e *Diplasma*. Essa característica está presente nas espécies novas, bem como cicatrizes musculares anteriores bem marcadas e, no caso da espécie nova 2, também uma marca sutil da cicatriz adutora posterior. O espessamento da parte anterior e a presença de cicatrizes musculares anteriores bem marcadas e evidentes, são reforços à ideia de que as

espécies novas apresentavam hábito escavador ativo (Savazzi; Peiyi, 1992; Vermeij; Dudley, 1985).

Dentro da morfologia das espécies novas a característica mais incomum encontrada é a dentição: a dentição heterodonte bem desenvolvida em ambas as espécies e a dupla dentição na espécie nova 2.

A dentição em bivalves se localiza abaixo do umbo e/ou na linha da charneira, tendo como função o alinhamento preciso das valvas no fechamento, redução da rotação independente das valvas por forças de cisalhamento estranhas (por exemplo, durante a escavação) e a limitação da extensão da abertura destas. Nos casos de bivalves escavadores profundos ou perfuradores de rochas, que levam uma existência relativamente protegida, a necessidade de uma dentição que seja totalmente eficaz no desempenho destas funções é menor do que naqueles suscetíveis de serem expostos a condições perturbadas (Moore, 1969).

A dentição do tipo taxodonte é um dos tipos mais simples. Consiste de uma série de dentes curtos e retos ou em forma de chevron, que ocupa todo o comprimento das margens dorsais. Porém, em alguns casos, eles podem ser interrompidos logo abaixo dos bicos por um pequeno recesso triangular, o resilífero. A dentição do tipo heterodonte, foi assim denominada por causa da presença de dentes cardinais e laterais distintamente diferenciados. Entretanto, esta condição não é óbvia em todos os casos de bivalves aos quais o termo é aplicado. Os dentes laterais são obscuros em muitos representantes de algumas famílias heterodontes (por exemplo, Veneridae) e estão ausentes em outras famílias (por exemplo, Thyasiridae, Psammobiidae, Solenidae, Hiatellidae). Quando os dentes laterais estão presentes, eles podem ser anteriores,

posteriores ou anteriores e posteriores. Se apenas os laterais posteriores estão presentes, encontram-se inteiramente posteriores ao ligamento (Moore, 1969).

Ainda não foi possível determinar, no caso da espécie nova 2, se a charneira com dois tipos de dentição possui caráter adaptativo funcional.

4. 3 Implicações evolutivas do registro dos gêneros novos.

Os fósseis de bivalves cretácicos da ordem Unionida na América do Sul são registrados na Argentina e no Brasil. O gênero *Diplodon* e *Pleiodon* são encontrados nas formações Loncoche e Allen (Campaniano-Maastrichtiano), no Cretáceo Superior da Argentina. No Brasil, as famílias Hyriidae, Sancticarolitidae e Iridinidae são encontradas na Formação Marília (Maastrichtiano) e na Formação Adamantina (Turoniano-Santoniano ou Campaniano-Maastrichtiano) (Ghilardi *et al.*, 2011a, 2011b; Ghilardi; D'Agosta; Simone, 2007; Ghilardi; Maranhão, 2010; Mezzalira, 1974; Mezzalira; Simone, 1999; Parras; Griffin, 2013; Simone; Mezzalira, 1993, 1997, 1994; Varela; Gerling, Enzo Lautaro; Parras, Ana Maria, 2011). Há registros também na Formação Crato (Aptiano), da Bacia do Araripe, sendo registrados três táxons: *Cratonaia novaolindensis*, família Silesunionoidea; *Monginellopsis bellaradiata*i, alocado em Trigonioidoidea e *Araripenaia elliptica*, com potencial de pertencer a duas famílias, Hyriidae ou Trigonioioidea (da Silva *et al.*, 2020a, 2020b)

Entretanto, Van Damme *et al.* (2015) consideram a ocorrência da família Iridinidae na América do Sul, equivocada. Os autores afirmam que os táxons

sul-americanos *Taxodontites* Mezzalira, 1974 e *Itaimbea* Mezzalira 1974, alocados na família por conta da charneira anodonte e, supostamente correlatos ao gênero africano *Mutela* Scopoli, 1777, possuem um sulco central até então desconhecido em Iridinidae. Os autores ressaltam ainda que, diversas famílias de naiades apresentarem charneiras edentolosas, não sendo justificativa suficiente para a alocação dos gêneros novos em Iridinidae.

Outra questão apontada por Van Damme *et al.* (2015) é a presença do gênero *Itaimbea* em Iridinidae. *Itaimbea* foi originalmente classificado em *Pleiodon* (†*P. priscus*) pela presença da charneira taxodonte (Ihering, 1912). Posteriormente, a classificação foi rejeitada e *P. priscus* foi sinonimizado ao gênero *Paxyodon* (Parodiz; Bonetto, 1963). Mais tarde, novamente houve alteração na classificação, com o espécime sendo realocado na família Iridinidae, agora no gênero *Itaimbea* (Mezzalira, 1974). Van Damme *et al.* (2015) aceitam a classificação de Ihering (1912), mas reconhecem que a charneira taxodonte vista em *Itaimbea* não é típica de *Pleiodon*. Por último, Van Damme et al. (2015) afirmam ainda que a presença de Iridinidae na América do Sul continua dúbia, pois, para eles, é necessário um material melhor preservado para estabelecer se o gênero *Itaimbea* do Mesozóico da América do Sul, o gênero Africano *Pleiodon* e o gênero Norte Americano *?Pleiodon* sp. são associados, ou, como eles acreditam, um caso de convergência (Scholz; Hartman, 2007; Van Damme; Bogan; Dierick, 2015). Apesar da presença de Iridinidae na América do Sul permanecer dúbia para alguns autores, a existência de um gênero novo de Iridinidae pode trazer uma nova luz para a história evolutiva da família. Iridinidae, que até então acreditava-se ser de origem africana, aparece no registro fóssil do

continente apenas no Cretáceo Médio-Superior (Van Damme; Bogan; Dierick, 2015).

Associações de bivalves mais antigas, do Jurássico ou Cretáceo Inferior da América do Sul, são encontradas nos depósitos lacustres do Jurássico Médio-Superior da Formação La Matilde e da Formação Cañadón Asfalto na Patagônia (Argentina). Entretanto, nestas formações, apenas espécies do gênero *Diplodon* Spix, 1827 ou *?Diplodon* foram descritos ou mencionados (Cabaleri *et al.*, 2010; Monferran *et al.*, 2013; Morton; Herbst, 2001). Ainda, o gênero Norte Americano *?Pleiodon* sp, pertencente a Iridinidae, ocorre apenas na porção terminal do Cretáceo da Formação Hell Creek de Montana (Morris; Williamson, 1988).

Em seu trabalho, (Van Damme; Bogan; Dierick, 2015) discutem a paleobiogeografia das naiades africanas e apontam surpresa ao constatar que a fauna por eles estudada é mais aparentada à fauna europeia do que a fauna sul-americana. Essa percepção pode ser explicada pelo modelo “Africa-first” exemplificado por Upchurch (2008). No modelo é sugerido que durante a separação do continente Gondwana, a primeira grande separação de massas de terra foi entre América do Sul e o Continente Africano, que teria ocorrido entre 140 e 120 milhões de anos atrás.

A Formação Salvador, com deposição no Berriasiano Tardia, data entre 145 e 139 milhões de anos. Os bivalves que se encontram na formação, portanto, sendo atribuídos à família Iridinidae, estavam na América do Sul antes da separação dos continentes sul-americano e africano, segundo o modelo “Africa-first”. Esse dado é importante porque coloca a origem da família Iridinidae na América do Sul e não no continente Africano, como acreditava-se: os registros

da família, até agora, constavam do Cretáceo Médio, tanto no continente africano quanto no continente sul-americano. É possível que a família Iridinidae tenha se mantido no continente sul-americano até o final do Cretáceo e a partir disto, seus remanescentes tenham sido suplantados pela família Mycetopodidae, endêmica da região (Lydeard; Cummings, 2019; Parodiz; Bonetto, 1963).

As relações entre Iridinidae e Mycetopodidae foram estudadas através do gênero *Leila* (Mycetopodidae), que apresenta características únicas que o aproximam dos Iridinideos (=Mutelidae), Bonetto (1963) destaca essas características como sendo: presença de sifões, cicatrizes dorsais na concha e as dimensões e forma do "*lasidium*" - larva parasita típica da super família Etherioidea. Entretanto, apesar da forma da larva ser mais parecida com os mutelídeos, em *Leila*, o tamanho da larva chega a ser três vezes maior que os mutelídeos americanos (Bonetto, 1963; Heard; Vail, 1976). Além das características morfológicas, trabalhos moleculares também apontam a proximidade das famílias Myetopodidae e Iridinidae (Bolotov *et al.*, 2016; Graf; Cummings, 2006; Lopes-Lima *et al.*, 2018; Pfeiffer III; Graf, 2015).

Com todas as evidências que mostram que a presença da família Iridinidae na América do Sul não só é um fato, mas também que aconteceu antes do que se imaginava, é importante determinar as relações entre os gêneros da família para entender melhor a evolução desta. Estudos filogenéticos e de paleobiogeografia são necessários para determinar quão próximos são os gêneros novos descobertos, dos gêneros africanos da família Iridinidae, ademais, é possível que estudos de paleobiogeografia indiquem como se deu a dispersão destes gêneros pelo hemisfério sul.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

1) A partir dos caracteres morfológicos da concha e análise destes em relação a sua funcionalidade, pode-se concluir que os gêneros novos apresentam características próprias de bivalves de água doce, corroborando com a descrição de fácies apresentada para a Formação Salvador por Horn e Moraes (2016).

2) Possivelmente, as espécies dos gêneros novos apresentavam hábitos de vida do tipo escavador raso. O formato das conchas podem ser indicativos da região da formação em que estes animais viviam: a espécie nova 2 com margem dorsal reta provavelmente pertencia a região de facie deltaica proximal enquanto que a espécie nova 21 situava-se na região de águas mais calmas, na fácie lacustre ou deltaica distal.

3) Os gêneros novos apresentam características que os colocam dentro da família Iridinidae e a criação destes é necessária devido às charneiras. O gênero novo 1 apresenta dentição do tipo heterodonte, bem desenvolvido, com formato de gota, enquanto o gênero novo 2 apresenta charneira composta por dois tipos de dentição: heterodonte e taxodonte.

4) A presença dos gêneros novos, pertencendo a família Iridinidae, no Cretáceo Inferior do Brasil, traz para a América do Sul o possível surgimento da família, que até então, era originária no Cretáceo Superior do continente Africano.

5) Estudos filogenéticos e paleobiogeográficos são necessários para determinar se os táxons de Iridinidae sul-americanos são aparentados aos táxons africanos e como se deu a dispersão das famílias entre os continentes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernando F. M. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, [*s. l.*], n. 241, 1967.

ALMEIDA, Alberto Carlos F. **Relatório "Geologia da Bacia de Jatobá e Tucano Norte"**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1963.

ARAGÃO, Maria Alice N. F.; PERARO, Antônio Admilson. Elementos estruturais do rifte Tucano/Jatobá. **Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil**, [*s. l.*], v. 3, p. 161–165, 1994.

ARAÚJO, Jadson T. *et al.* As Fases Lacustres pré-rifte (Formação Aliança) e rifte (Formação Candeias) da Bacia do Jatobá-PE como provável geradores de hidrocarbonetos. [*s. l.*], 2010.

BARBOSA, Octavio. Geologia Econômica de parte da região do médio São Francisco, Nordeste do Brasil. **Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)**, [*s. l.*], v. 140, 1970.

BARBOSA, Otávio. Sôbre a idade das camadas mesozóicas do Nordeste do Brasil. **Notas pre-liminares e estudos, Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional da Produção Mineral**, [*s. l.*], n. 72, 1953.

BARRETO, Paulo M. C. O Paleozóico da Bacia de Jatobá, Pernambuco. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, [*s. l.*], v. 17, n. 1, p. 29–45, 1968.

BAUMANN, Débora Eliza *et al.* **New fossil bivalve species (Iridinidae, Unionida) from the Salvador Formation (Berriasian) in the Jatobá Basin, Northeast, Brazil**. Recife, Pernambuco: [*s. n.*], 2023.

BOGAN, Arthur E.; ROE, Kevin J. Freshwater bivalve (Unioniformes) diversity, systematics, and evolution: status and future directions. **Journal of the North American Benthological Society**, [*s. l.*], v. 27, n. 2, p. 349–369, 2008.

BOLOTOV, Ivan N. *et al.* Multi-locus fossil-calibrated phylogeny, biogeography and a subgeneric revision of the Margaritiferidae (Mollusca: Bivalvia: Unionoida). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [*s. l.*], v. 103, p. 104–121, 2016.

BONETTO, Argentino A. Contribución al conocimiento de Leila blainvilleana (Lea)(Mollusca: Pelecypoda). **Physis**, [*s. l.*], v. 24, n. 67, p. 11–16, 1963.

BRAUN, Oscar P. A respeito do" Paleozóico da Bacia do Jatobá, Pernambuco. **Mineralogia e Metalurgia**, [*s. l.*], v. 52, n. 309, p. 109–111, 1970.

BRAUN, Oscar P. G. Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil (Bacias de Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe). **Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)**, [*s. l.*], v. 236, 1966.

BRUSCA, Richard C.; MOORE, Wendy; SHUSTER, Stephen M. Invertebrados. 3a edição. **Editora Guanabara**, [*s. l.*], 2018.

CABALERI, Nora *et al.* Estratigrafía, análisis de facies y paleoambientes de la Formación Cañadón Asfalto en el depocentro jurásico Cerro Cóndor, provincia del Chubut. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, [*s. l.*], v. 66, n. 3, p. 349–367, 2010.

COLLINS, Christopher. 2019. The Texas Observer. Texas Standard. Site: [https://www.texasstandard.org/stories/the-fate-of-freshwater-mussels-a-harbinger-of-climate-change-to-come/] Acesso em 07 nov. 2023

CORDANI, Umberto G. *et al.* Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. **Ciência. Técnica. Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo**, [*s. l.*], n. 14, p. 1–70, 1984.

CORREIA, Elson Gomes. Contribuição da refração sísmica no delineamento do arcabouço estrutural da Bacia de Jatobá. **Coletânea de relatorios de exploração (II). Rio de Janeiro: Petrobrás, CENPES**, [*s. l.*], p. 41–66, 1965.

COSTA, Ivan Peixoto *et al.* Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, [*s. l.*], v. 15, n. 2, p. 445–453, 2007a.

COSTA, Ivan Peixoto *et al.* Sub-bacias de Tucano Sul e Central. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, [*s. l.*], v. 15, n. 2, p. 433–443, 2007b.

COSTA FILHO, Waldir Duarte *et al.* Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro. **Hidrogeologia da Bacia do Jatobá: Sistema aquífero Racaratu/Inajá. Meta A. Recife: UFPE/CPRM/FINEP. 357p**, [*s. l.*], 2005.

CP Cursos. 2023. Peixes de água doce do Brasil. Site: [https://www.cpt.com.br/artigos/peixes-de-agua-doce-do-brasil-peixe-cachorro-rhaphiodon-vulpinus] Acesso em 07 nov. 2023

DA SILVA, Victor R. *et al.* Cratonaia novaolindensis gen. et sp. nov.(Unionida, Silesunionoidea) from the Aptian of Brazil (Araripe Basin), and its implications for the early evolution of freshwater mussels. **Cretaceous Research**, [*s. l.*], v. 107, p. 104275, 2020a.

DA SILVA, Victor R. *et al.* New freshwater mussels (Bivalvia, Unionida) with potential trigonioidid and hyriid affinities from the Early Cretaceous of Brazil. **Geobios**, [*s. l.*], v. 61, p. 41–54, 2020b.

DANTAS, José Robinson Alcoforado; BRITO NEVES, Benjamim Bley. **Mapa geológico do Estado de Pernambuco: Texto explicativo**. [*S. l.*]: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1980.

DERBY, Orville A. Contribuições para o estudo da geologia do Vale do São Francisco. **Archivos do Museu Nacional**, [*s. l.*], v. 4, p. 89–119, 1880.

DO BRASIL, CPRM-Serviço Geológico. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**, [*s. l.*], p. 55, 2003.

EAGAR, R. M. C. Shape and function of the shell: a comparison of some living and fossil bivalve molluscs. **Biological Reviews**, [*s. l.*], v. 53, n. 2, p. 169–210, 1978.

GHILARDI, Renato Pirani *et al.* MOLUSCOS FÓSSEIS DO GRUPO BAURU. **Cenários da Vida**, [*s. l.*], v. 4, 2011a.

GHILARDI, Renato Pirani. **Paleoautoecologia dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), no Estado de São Paulo| b bivalves fósseis como indicadores da dinâmica sedimentar**. 1999. PhD Thesis - Universidade de São Paulo, [*s. l.*], 1999. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-26102015-142006/en.php. Acesso em: 19 out. 2023.

GHILARDI, Renato Pirani *et al.* Tafonomia de moluscos fósseis do Grupo Bauru (Cretáceo Superior, bacia Bauru), na região do Município de Monte Alto, São Paulo, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, [*s. l.*], v. 6, n. 2, p. 197–206, 2011b.

GHILARDI, Renato Pirani; D'AGOSTA, Fernando Cesar Paiva; SIMONE, Luiz Ricardo Lopes de. Itaimbea sp. nov., uma nova espécie de Iridinidae fóssil (Bivalvia: Etherioidea), do grupo Bauru (Bacia Bauru, Cretáceo superior), Monte Alto, São Paulo, Brasil. **Resumos**, [*s. l.*], 2007.

GHILARDI, Renato Pirani; MARANHÃO, Maria da Saudade Araujo Santos. Anatomia interna de alguns molucos bivalves fósseis do grupo Bauru (cretáceo superior, Bacia Bauru), Brasil: implicações paleoecológicas. **Terr@ plural**, [*s. l.*], v. 4, n. 1, p. 113–120, 2010.

GORDON, Andres; DESTRO, Nivaldo; HEILBRON, Monica. The Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift and Associated Atlantic Continental Margin Basins. *In*: HEILBRON, Monica; CORDANI, Umberto G.; ALKMIM, Fernando F. (org.). **São Francisco Craton, Eastern Brazil**. Cham: Springer International Publishing, 2017. (Regional Geology Reviews). p. 171–185. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-01715-0_9. Acesso em: 19 out. 2023.

GRAF, Daniel L.; CUMMINGS, Kevin S. Palaeoheterodont diversity (Mollusca: Trigonioida+ Unionoida): what we know and what we wish we knew about freshwater mussel evolution. **Zoological Journal of the Linnean Society**, [*s. l.*], v. 148, n. 3, p. 343–394, 2006.

GRAF, Daniel L.; CUMMINGS, Kevin S. Review of the systematics and global diversity of freshwater mussel species (Bivalvia: Unionoida). **Journal of Molluscan Studies**, [*s. l.*], v. 73, n. 4, p. 291–314, 2007.

GUZMÁN, Juliana *et al.* Estratigrafia da Bacia de Jatobá: estado da arte. **Estudos Geológicos**, [*s. l.*], v. 25, n. 1, p. 53–76, 2015.

HAAG, Wendell R. **North American Freshwater Mussels**. [*S. l.*], 2012. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/books/north-american-freshwater-mussels/0AE8BD455CC9EA7A57552708456B63A3. Acesso em: 20 fev. 2023.

HALFELD, Henrique Guilherme Fernando. **Atlas e relatorio concernente a exploração do Rio de S. Francisco desde a Cachoeira da Pirapora até ao Oceano Atlantico: levantado por Ordem do Governo de SMIO Senhor Dom Pedro II**. [*S. l.*]: Typ. Moderna de Georges Bertrand, 1860.

HASUI, Yociteru *et al.* **Geologia do Brasil**. São Paulo, Brasil: Editora Beca, 2012.

HEARD, William H.; VAIL, Virginia A. Anatomical Systematics of Etheria Elliptica (Pelecypoda: Mycetopodidae). **Malacological Review**, [*s. l.*], v. 9, p. 15–24, 1976.

HORN, Bruno Ludovico Dihl; MORAIS, Débora Melo Ferrer. First occurrence of the Salvador Formation in the Jatobá Basin (Pernambuco, Northeast Brazil): Facies characterization and depositional systems. **Journal of South American Earth Sciences**, [*s. l.*], v. 72, p. 25–37, 2016.

IHERING, Hermann. **Analyse der Süd-Amerikanischen Heliceen**. [*S. l.*]: Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 1912. v. 15

JOHNSON, Jennifer A. et al. Host identification and glochidia morphology of freshwater mussels from the Altamaha River basin. **Southeastern Naturalist**, v. 11, n. 4, p. 733-746, 2012.

KONDO, Yasuo. 847. Burrowing depth of infaunal bivalves: observation of living species and its relation to shell morphology. *In*: 847. BURROWING DEPTH OF INFAUNAL BIVALVES, 1987. **Transactions and proceedings of the Paleontological Society of Japan. New series**. [*S. l.*]: Palaeontological Society of Japan, 1987. p. 306–323. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/prpsj1951/1987/148/1987_148_306/_article/-char/ja/. Acesso em: 18 out. 2023.

LEAL, José de Menezes; MELO, José Geraldo de Melo. Bacia sedimentar de Jatobá PE. Estudo hidrogeológico. Série: BRASIL SUDENE. **Hidrogeologia**, [*s. l.*], v. 64, 1983.

LOPES-LIMA, Manuel *et al.* Expansion and systematics redefinition of the most threatened freshwater mussel family, the Margaritiferidae. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [*s. l.*], v. 127, p. 98–118, 2018.

LYDEARD, Charles; CUMMINGS, Kevin S. **Freshwater mollusks of the world: a distribution atlas**. [*S. l.*]: JHU Press, 2019.

MAGNAVITA, Luciano Portugal. **Geometry and kinematics of the Reconcavo-Tucano-Jatoba Rift, NE Brazil.** 1992. PhD Thesis - University of Oxford, [*s. l.*], 1992.

MAGNAVITA, Luciano P.; CUPERTINO, José Antonio. Síntese do atual conhecimento tectono-sedimentar das bacias do Tucano e Jatobá. **Rifts intracontinentais (seminario), Resumo dos trabalhos, PETROBRAS, DEPEX, Rio de Janeiro**, [*s. l.*], p. 219–235, 1987.

MAURY, Carlotta Joaquina. Novas collecções paleontológicas do Serviço Geológico do Brasil. **(No Title)**, [*s. l.*], 1929.

MCMICHAEL, Donald F.; HISCOCK, Ian David. A monograph of the freshwater mussels (Mollusca: Pelecypoda) of the Australian region. **Marine and Freshwater Research**, [*s. l.*], v. 9, n. 3, p. 372–508, 1958.

MENDES, Daniele de Melo *et al.* Caracterização Geológica e Estratigráfica da Região a Norte de Inajá (PE), Bacia de Jatobá, Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, [*s. l.*], v. 6, n. 2, p. 32–44, 2020.

MENEZES FILHO, N. R.; SANTOS, R. A; SOUZA, J. D. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil; carta geológica, carta metalogenética/previsional - escala 1:1000.000 (Folha SC.24-X-C-V Santa Brígida). Estado da Bahia.** Brasília: DNPM/CPRM, 1988.

MEZZALIRA, Sérgio. [Contribution to the knowledge of stratigraphy and paleontology of Bauru Sandstone [Brazil]].[Portuguese]. **Boletim-Instituto Geografico e Geologico (Brazil). no. 51.**, [*s. l.*], 1974.

MEZZALIRA, Sérgio; SIMONE, Luiz Ricardo L. A posição sistemática de alguns bivalves unionoidea do Grupo Bauru (Cretáceo Superior) do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, [*s. l.*], v. 2, n. 6, p. 63, 1997.

MEZZALIRA, Sérgio; SIMONE, Luiz Ricardo L. Two new species of Castalia (Mollusca, Bivalvia, Unionoida) in Cretaceous of Bauru Group, São Paulo State, Brazil. **Revista Universidade Guarulhos e Geociências**, [*s. l.*], v. 4, n. 6, p. 58–60, 1999.

MONFERRAN, M. D. *et al.* Taxonomía, palaeoecología y tafonomía de un nuevo Spinicaudata (‘Conchostraca’) de la Formación Cañadón Asfalto (Jurásico Superior), Chubut, Argentina. **Ameghiniana**, [*s. l.*], v. 50, n. 4, 2013. Disponível em: https://bioone.org/journals/ameghiniana/volume-50/issue-4/AMGH.v50i4.3/V-Simposio-Argentino-Jur%c3%a1sico-Trelew-2013/10.5710/AMGH.v50i4.3.full. Acesso em: 25 jul. 2023.

MOORE, Raymond Cecil. **Treatise on invertebrate paleontology: Pt. N Mollusca 6, Bivalvia**. [*S. l.*]: Geological Society of America, 1969.

MORAES, Luciano Jacques. Estudos geológicos no Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro: Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. **Boletim**, [*s. l.*], n. 32, p. 67–75, 1928.

MORAES, Luciano Jacques. Novas áreas da Série Jatobá em Alagoas, Sergipe e Bahia. **Mineralogia e Metalurgia**, [*s. l.*], v. 80, p. 40–42, 1948.

MORAIS, Débora Melo Ferrer *et al.* Review of the lithostratigraphy of the Mesozoic basins of the Borborema Province, Northeastern Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, [*s. l.*], v. 6, n. 1, p. 43–66, 2023.

MORRIS, P. J.; WILLIAMSON, P. G. Pleiodon (Conrad)(Bivalvia: Mutelidae: Pleiodoninae) from the Late Cretaceous of Montana: a first North American record for the Mutelidae. **Journal of Paleontology**, [*s. l.*], p. 758–765, 1988.

MORTON, Lourdes; HERBST, Rafael. Nuevas especies del género Diplodon Spix (Bivalvia, Unionidea) del Jurásico Medio (Formación La Matilde), provincia de Santa Cruz, Argentina. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie**, [*s. l.*], v. 3, n. 2, p. 159–164, 2001.

MUNIZ, Geraldo C. Barros. Moluscos Devonianos da Formação Inajá no Estado de Pernambuco. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [*s. l.*], v. 51, n. 4, p. 651–675, 1979.

NASCIMENTO, Luiz RDSL *et al.* Biostratigraphic analysis based on palynomorphs and ostracods from core 2-JNS-01PE, Lower Cretaceous, Jatobá Basin, northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [*s. l.*], v. 76, p. 115–136, 2017.

PARODIZ, Juan J.; BONETTO, Argentino A. Taxonomy and zoogeographic relationships of the South American naiades (Pelecypoda : Unionacea and Mutelacea). **Malacologia**, [*s. l.*], v. 1, p. 179–214, 1963.

PARRAS, Ana; GRIFFIN, Miguel. Late Cretaceous (Campanian/Maastrichtian) freshwater to restricted marine mollusc fauna from the Loncoche Formation, Neuquén Basin, west-central Argentina. **Cretaceous Research**, [*s. l.*], v. 40, p. 190–206, 2013.

PERARO, Antônio Admilson. Caracterização Sismica do Tectonismo Transcorrente na Bacia do Jatoba. *In*: , 1995. **4th International Congress of the Brazilian Geophysical Society**. [*S. l.*]: European Association of Geoscientists & Engineers, 1995. p. cp-313.

PEREIRA, Priscilla A.; ALMEIDA, Josê Augusto C.; BARRETO, Alcina M. F. Paleoecologia dos bivalves e braquiópodes da Formação Inajá (Devoniano), Bacia do Jatobá (PE), Brasil. **Estudos Geológicos**, [*s. l.*], v. 22, n. 1, p. 37–53, 2012.

PFEIFFER III, John M.; GRAF, Daniel L. Evolution of bilaterally asymmetrical larvae in freshwater mussels (Bivalvia: Unionoida: Unionidae). **Zoological Journal of the Linnean Society**, [*s. l.*], v. 175, n. 2, p. 307–318, 2015.

PONTE, Francisco Celso; APPI, Ciro Jorge. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. *In*: , 1990. **Congresso Brasileiro de Geologia**. [*S. l.: s. n.*], 1990. p. 211–226.

PONTE, Francisco Celso; MEDEIROS, Rodi Ávila; PONTE FILHO, Francisco Celso. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe: Parte 1-Análise de sequências. **Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias interiores do Nordeste**, [*s. l.*], v. 2, 1997.

POPPE, Guido T; POPPE, Philippe. 2015. *Chambardia wahlbergi f. tabula.* Site: Conchology. Disponível em: [https://conchology.be/?t=68&u=842346&g=ea93e91e74a2efedc88c0df32f7fccce&q=7cf4f45a2f9a5c64f6f801dc5d8fd712] Acesso em 07 nov. 2023

QUEIROZ, Renan Gustavo Barbosa; FAMBRINI, Gelson Luís; NEUMANN, Virgínio Henrique de Miranda Lopes. Geologia da Área Centro-leste da Folha Airi, Bacia de Jatobá, Nordeste do Brasil. **Estudos Geológicos**, [*s. l.*], v. 27, n. 2, p. 82–109, 2017.

RIBEIRO-COSTA, Cibele S.; ROCHA, Rosana Moreira. Invertebrados: Manual de Aulas Práticas. **Editora Holos, Ribeirão Preto**, [*s. l.*], 2002.

RICCI, Célia Neli. Estudo de Diplodon (Diplodon) multistriatus (Lea, 1831) encontrado no Estado do Rio de Janeiro, Brasil (Molluscca, Bivalvia, Hyriidae). [*s. l.*], 1986. Disponível em: https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/3024. Acesso em: 29 jan. 2024.

ROCHA, Dunaldson Eliezer G. A.; AMARAL, Cristiano de Andrade. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Jatobá: Sistema aqüifero Tacaratu/Inajá. **Meta B. Caracterizaçao geológica e geométrica dos aqüiferos, CPRM-Universidade Federal de Pernambuco. Rede Cooperativa de Pesquisa, comportamento das bacias sedimentares da regiao semi-árida do nordeste**

brasileiro, Ministério de Minas e Energia-Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasil, [*s. l.*], 2007.

ROCHA, Dunaldson Eliezer G. A.; LEITE, Jairo Fonseca. **Estudo hidrogeológico da Bacia do Jatobá-PE: geologia**. [*S. l.*]: CPRM, 1999.

SANTOS, Rubens da Silva. Notícias paleontológicas. **Engenharia, Mineração e Metalurgia**, [*s. l.*], v. 38, p. 291, 1963.

SAVAZZI, Enrico; PEIYI, Yao. Some morphological adaptations in freshwater bivalves. **Lethaia**, [*s. l.*], v. 25, n. 2, p. 195–209, 1992.

SCHOLZ, Henning; HARTMAN, Joseph H. Paleoenvironmental reconstruction of the Upper Cretaceous Hell Creek Formation of the Williston Basin, Montana, USA: implications from the quantitative analysis of unionoid bivalve taxonomic diversity and morphologic disparity. **PALAIOS**, [*s. l.*], v. 22, n. 1, p. 24–34, 2007.

SEILACHER, Adolf. Bivalve morphology and function. **Series in Geology, Notes for Short Course**, [*s. l.*], v. 13, p. 88–101, 1985.

SILVA, Olívio Barbosa da *et al.* Bacia do Recôncavo. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, [*s. l.*], v. 15, n. 2, Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas, p. 423–431, 2007.
SILVA-SOUZA, A. T., GUARDIA-FELIPI, P., & ARREBOLA, N. R. (2011). Embryonic development of Anodontites trapesialis (Lamarck, 1819)(Bivalvia: Mycetopodidae). *Brazilian Journal of Biology*, *71*, 139-144.

SIMONE, Luiz Ricardo Lopes; MEZZALIRA, Sérgio. **Fossil molluscs of Brazil**. [*S. l.*]: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria …, 1994.

SIMONE, Luiz Ricardo L.; MEZZALIRA, Sergio. The systematic position of some Unionoidea bivalves from Bauru Group (upper Cretaceous) of Brazil. **Revista Universidade Guarulhos, Geociencias**, [*s. l.*], v. 2, n. 6, p. 63–65, 1997.

SIMONE, Luiz Ricardo L.; MEZZALIRA, Sérgio. Vestígios de partes moles em um bivalve fóssil (Unionoida, Mycetopodidae) do Grupo Bauru (Cretáceo Superior), São Paulo, Brasil. **ANAIS-ACADEMIA BRASILEIRA DE CIENCIAS**, [*s. l.*], v. 65, p. 155–155, 1993.

SKAWINA, Aleksandra; DZIK, Jerzy. Umbonal musculature and relationships of the Late Triassic filibranch unionoid bivalves. **Zoological Journal of the Linnean Society**, [*s. l.*], v. 163, n. 3, p. 863–883, 2011.

UPCHURCH, Paul. Gondwanan break-up: legacies of a lost world?. **Trends in ecology & evolution**, [*s. l.*], v. 23, n. 4, p. 229–236, 2008.

VAN BOCXLAER, Bert; VAN DAMME, Dirk. Palaeobiology and evolution of the late Cenozoic freshwater Molluscs of the Turkana basin: Iridinidae Swainson, 1840 and Etheriidae Deshayes, 1830 (Bivalvia: Etherioidea). **Journal of Systematic Palaeontology**, [*s. l.*], v. 7, n. 2, p. 129–161, 2009.

VAN DAMME, Dirk; BOGAN, Arthur E.; DIERICK, Manuel. A revision of the Mesozoic naiads (Unionoida) of Africa and the biogeographic implications. **Earth-Science Reviews**, [*s. l.*], v. 147, p. 141–200, 2015.

VARELA, Julio Adrián; GERLING, ENZO LAUTARO; PARRAS, ANA MARIA. Interpretación paleoambiental y contenido fósil de la Formación Allen (Campaniano-Maastrichtiano) en la localidad de El Abra, provincia de Río Negro, Argentina. [*s. l.*], 2011. Disponível em: https://www.conicet.gov.ar/. Acesso em: 18 jul. 2023.

VERMEIJ, Geerat J.; DUDLEY, Elizabeth C. Distributions of adaptations: a comparison between functional shell morphology of freshwater and marine pelecypods. *In*: EVOLUTION. [*S. l.*]:

Academic Press, 1985. p. 461–478. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=RU_gBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA461&dq=vermeij+distribution+of+adaptation+&ots=3bHK9-1bJI&sig=RbbdErDydBW3lw5lfYnF5qrYsN4. Acesso em: 18 out. 2023.

VIANA, Cleantho Fialho *et al.* Revisão estratigráfica da bacia Recôncavo/Tucano. **Boletim técnico da Petrobrás**, [*s. l.*], v. 14, n. 3–4, p. 157–192, 1971.

WILLIAMS, Horace E. **Notas geologicas e economicas sobre o valle do rio São Francisco Bol. no 12 do Serv**. [*S. l.*]: Geologico, 1925.

ANEXOS

ANEXO I

Tabela 1. Relação de Fósseis e suas determinadas medidas, onde: Nº Fóssil = número do fóssil para identificação durante a análise; CT = comprimento total; A = altura; CA = comprimento anterior; CP = comprimento posterior; E = espessura; CT/A = relação do comprimento total pela altura; A/E = relação da altura pela espessura; Obs = Observações. Em observações, (-) significa que não há observações a serem consideradas; (*) apresenta umbo com relativa dificuldade de observação e (?) apresenta umbo com grande dificuldade de observação (Continua).

Nº Fóssil	CT (cm)	A (cm)	CA (cm)	CP (cm)	E (cm)	CT/A (cm)	A/L (cm)	Obs.
1	2,1	1,1	0,6	1,5	0,7	1,91	1,57	-
2	2,4	2,1	1	1,4	1	1,14	2,1	*
3	2,2	1,5	0,9	1,3	0,9	1,47	1,67	-
4	3,6	1,4	0,7	2,9	0,7	2,57	2	*
5	5,2	1,6	1,5	3,7	0,8	3,25	2	-
6	4	1,3	1	3	0,6	3,08	2,17	-
7	5,5	1,9	1	4,5	0,7	2,89	2,71	*
8	2,2	1,4	0,9	1,3	0,7	1,57	2	-
9	2,2	1,1	0,5	1,7	0,7	2	1,57	-
10	2,7	1,9	0,9	1,8	-	1,42	-	Incrustrada
11	5,9	1,9	1,8	4,1	1	3,11	1,9	-
12	5,2	2,6	1,9	3,3	0,8	2	3,25	-
13	2,2	1,6	0,8	1,4	1	1,38	1,6	-
14	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
15	2,4	1,8	0,8	1,6	1,2	1,33	1,5	Quebrada
16	2,7	1,8	1,1	1,6	1,2	1,5	1,5	*
17	4,3	1,8	1,3	3	0,9	2,39	2	* Quebrada
018A Esq.	2,3	1,3	0,8	1,5	-	1,77	-	Incrustrada
018A Dir.	2,1	1,3	0,8	1,3	-	1,62	-	Incrustrada
018E	2,1	1,5	0,8	1,3	0,8	1,4	1,88	-
19	1,7	1	0,6	1,1	0,6	1,7	1,67	-

Tabela 1. Relação de Fósseis e suas determinadas medidas, onde: Nº Fóssil = número do fóssil para identificação durante a análise; CT = comprimento total; A = altura; CA = comprimento anterior; CP = comprimento posterior; E = espessura; CT/A = relação do comprimento total pela altura; A/E = relação da altura pela espessura; Obs = Observações. Em observações, (-) significa que não há observações a serem consideradas; (*) apresenta umbo com relativa dificuldade de observação e (?) apresenta umbo com grande dificuldade de observação (Continuação).

Nº Fóssil	CT (cm)	A (cm)	CA (cm)	CP (cm)	E (cm)	CT/A (cm)	A/E (cm)	Obs.
20	1,6	1,2	0,7	0,9	0,7	1,33	1,71	Quebrada
21	3,1	2,7	1,1	2	2	1,15	1,35	Quebrada
22	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
23	2,4	1,8	0,7	1,7	1	1,33	1,8	-
24	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
25	3	2,6	1,1	1,9	-	1,15	-	Incrustrada
26	6,4	2,2	2,2	4,2	0,6	2,91	3,67	-
27	6,5	3,1	1,4	5,1	1	2,1	3,1	-
28	5,2	2,5	1,8	3,4	1	2,08	2,5	-
29	5,3	1,9	1,5	3,8	0,8	2,79	2,38	-
30	4,5	2,4	1,6	2,9	1,2	1,88	2	*
31	3,9	2,5	1,4	2,5	-	1,56	-	Incrustrada
032 Esq.	6,2	2,1	1,3	4,9	1,4	2,95	1,5	Separadas
032 Dir.	6,2	2,2	1,6	4,6	-	2,82	-	-
33	5,1	2,8	1,7	3,4	1,2	1,82	2,33	-
034 Esq.	5,2	2,8	2,3	2,9	1,3	1,86	2,15	-
034 Dir.	4,5	2,8	2,2	2,3	-	1,61	-	-
035 Esq.	2,7	2,3	1,2	1,5	0,5	1,17	4,6	Quebrada - Amassada
035 Dir.	2,8	2,1	1	1,8	-	1,33	-	Inteira - Amassada
36	3,1	2,6	1,3	1,8	1,4	1,19	1,86	-
37	3,1	1,6	0,8	2,3	0,8	1,94	2	?
38	3,2	2	1,2	2	1	1,6	2	?
39	3,6	2,3	1,3	2,3	1,4	1,57	1,64	*

Tabela 1. Relação de Fósseis e suas determinadas medidas, onde: Nº Fóssil = número do fóssil para identificação durante a análise; CT = comprimento total; A = altura; CA = comprimento anterior; CP = comprimento posterior; E = espessura; CT/A = relação do comprimento total pela altura; A/E = relação da altura pela espessura; Obs = Observações. Em observações, (-) significa que não há observações a serem consideradas; (*) apresenta umbo com relativa dificuldade de observação e (?) apresenta umbo com grande dificuldade de observação (Continuação).

Nº Fóssil	CT (cm)	A (cm)	CA (cm)	CP (cm)	E (cm)	CT/A (cm)	A/E (cm)	Obs.
40	2,9	2	1,1	1,8	1,2	1,45	1,67	*
41	3,3	2	0,9	2,4	1,3	1,65	1,54	*
42	1,2	0,8	0,5	0,7	0,4	1,5	2	-
43	2,2	1,3	0,7	1,5	0,8	1,69	1,63	-
44	1,8	1,2	0,5	1,3	0,7	1,5	1,71	-
45	5,2	1,8	1,2	4	1	2,89	1,8	*
46	3,2	1,9	1,3	1,9	1	1,68	1,9	*
47	5,8	2,1	2	3,8	0,9	2,76	2,33	*
48	6,1	2	1,6	4,5	1	3,05	2	*
049 Esq.	6	2,8	1,7	4,3	1,6	2,14	1,75	-
049 Dir.	5,8	2,9	1,9	3,9	-	2	-	Quebrada em duas partes
50	5,2	2,8	1,9	3,3	1,6	1,86	1,75	-
51	5	1,5	1,1	3,9	0,7	3,33	2,14	*
52	5,1	2,7	2,3	2,8	1	1,89	2,7	-
53	6,3	2	1,9	4,4	0,6	3,15	3,33	-
54	2,3	1,4	0,7	1,6	0,7	1,64	2	-
55	2	1,3	0,4	1,6	0,6	1,54	2,17	-
56	2,6	1,4	0,8	1,8	0,5	1,86	2,8	*
57	4,8	2,4	1,7	3,1	1	2	2,4	-
58	3,8	2,6	1,4	2,4	1,2	1,46	2,17	*
59	5,2	2,6	2,2	3	1,2	2	2,17	-
60	4,3	3	2,4	1,9	1,4	1,43	2,14	Quebrada
61	5,7	3,1	1,9	3,8	1,3	1,84	2,38	-

Tabela 1. Relação de Fósseis e suas determinadas medidas, onde: Nº Fóssil = número do fóssil para identificação durante a análise; CT = comprimento total; A = altura; CA = comprimento anterior; CP = comprimento posterior; E = espessura; CT/A = relação do comprimento total pela altura; A/E = relação da altura pela espessura; Obs = Observações. Em observações, (-) significa que não há observações a serem consideradas; (*) apresenta umbo com relativa dificuldade de observação e (?) apresenta umbo com grande dificuldade de observação (Continuação).

Nº Fóssil	CT (cm)	A (cm)	CA (cm)	CP (cm)	E (cm)	CT/A (cm)	A/E (cm)	Obs.
62	3,8	2	1,1	2,7	0,6	1,9	3,33	* Quebrada
63	5,1	2,6	2	3,1	1,2	1,96	2,17	-
64	5,7	1,9	1,7	4	0,8	3	2,38	*
65	4,8	1,8	1,3	3,5	0,6	2,67	3	-
66	4,8	1,8	1,3	3,5	0,6	2,67	3	-
67	5	2	1,5	3,5	0,6	2,5	3,33	-
68	4,2	1,5	1,4	2,8	0,5	2,8	3	-
69	4,7	1,8	1,2	3,5	0,8	2,61	2,25	*
70	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
71	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
72	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
73	0,8	0,6	0,3	0,5	0,4	1,33	1,5	-
74	2,3	1,3	0,6	1,7	1	1,77	1,3	Uma valva quebrada
75	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento incrustrado
76	1,1	0,6	0,3	0,8	0,4	1,83	1,5	-
77	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
78	1,9	1	0,6	1,3	0,6	1,9	1,67	Incrustrada
79	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
80	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
81	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
82	-	-	-	-	-	-	-	Fragmento
83	1,1	0,9	0,6	0,5	0,8	1,22	1,13	Quebrada
84	2,1	1,1	0,6	1,5	0,8	1,91	1,38	Quebrada

ANEXO II

Neste anexo encontra-se o artigo referente à seção 4.1 Classificação Sistemática. O artigo está em fase final de preparação e será submetido à revista Cretaceous Research.

New Fossil Genus and Species of Bivalves (Iridinidae, Unionida) from the Salvador Formation (Berrasian) in the Jatobá Basin, Northeast, Brazil

Débora Eliza Baumann [1,4], Luiz Ricardo L. Simone[2,5], Rafael da Costa Silva [3,6] e Renato Pirani Ghilardi [1,7].

[1] Laboratório de Paleontologia de Macroinvertebrados, Faculdade de Ciências, Unesp, Bauru.
[2] Laboratório de Malacologia, Museu de Zoologia da Usp, São Paulo, São Paulo, Brasil.
[3] Museu de Ciências da Terra, Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, Rio de Janeiro, RJ, Brazil
[4] E-mail: debora.baumann@unesp.br. Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3815-8802
[5] E-mail: lrsimone@usp.br.Orcid: https://orcid.org/0000-0002-1397-9823
[6] E-mail: rafael.costa@sgb.gov.br. Orcid: https://orcid.org/0000-0002-5391-0775
[7] E-mail: renato.ghilardi@unesp.br. Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0410-8011

ABSTRACT

Duplexium n. gen. (Unionoida, Iridinidae) is described including two new species, *Duplexium jatobensis* and D. *florestensis*. It is characterized by having both, heterodont and taxodont hinge. These fossils belong to Salvador formation (Late Berriasian), Jatobá Basin, Pernambuco, Brazil, so far known as possessing only marine Devonian bivalves. The presence of the African Iridinidae in Brazil, and evolution inferences on regional unios are also discussed.

Zoobank: urn:lsid:zoobank.org:pub:3F30CC3A-01F6-4D74-87E5-0F76C929B1E4

1.0 INTRODUCTION

The bivalve fossil mollusks from the Jatobá Basin (08º30' to 9º06' S; 37º06' to 38º30' W), which is located in the state of Pernambuco - northeast of Brazil - have, so far, marine Devonian origin. Moreover, the first record of mollusks in this basin was *Nuculites* and bellerophotid gastropods (Santos, 1963). Later, bivalve mollusks were identified, suck as *Nuculites* aff*. oblongatus* Conrad, 1841; *Leptodesma (Leptodesma) langei* Muniz, 1979; *Streblopteria antiqua* Muniz, 1979; *Spathella brevis* Muniz, 1979; *Cypricardella ? Petrolandensis* Muniz, 1979; *Edmondia philipi* Hall & Whitfield, 1870; *Sanguinolites pernambucensis* Muniz, 1979 and *Sanguinolites rochacampos* Muniz, 1979*;* which were all collect in the Inajá Formation (Devonian) (Muniz, 1979).

The Jatobá Basin has an approximate area of 5.941 km2, with a rather rectangular shape of ENE-WSW direction, its dimensions are close to 155 km long to 55 km wide. Furthermore, it has a Precambrian basement, the deposition is from the Silurian to the Albian, with Cenozoic covering (Costa Filho et al., 2005; Costa et al., 2007). In addition, the Salvador Formation (Late Berriasian) outcrop was registered by Horn and Morais (2016), who described three generic lithofacies: 1) proximal fan delta; 2) distal fan delta; and 3) lacustrine. Moreover, those authors evidenced that the Salvador Formation was wrongly named to Candeias Formation.

Therefore, this work presented the first occurrence of freshwater mussels in the Salvador Formation and in the Jatobá Basin. Besides, these freshwater mussels are the oldest record of freshwater mussels in South America and the oldest iridinids in the world.

2.0 MATERIAL AND METHODS

The material presented here was collected by the Geological Survey of Brazil (CPRM), in the Floresta city, state of Pernambuco. The region is formed by sedimentary rocks between the Jurassic and Cretaceous age. It covers the boundary of the basin and most of the outcrops in the area of transposition of the São Francisco river, in addition to natural erosion areas. The collection point was named BL-42 (8°41'48.60"S 38°16'34.30"W; elevation of 399 m), it is a dam associated with the transposition channel of the São Francisco River and the deposits are constituted by conglomeratic, sandstones and mudstones.

Furthermore, the material is composed of 38 specimens of animals, with one or both the valves, open or closed, all of them housed in the paleontological collection of Museu de Ciências da Terra, Serviço Geológico do Brasil (Museum of Earth Sciences, Geological Survey of Brazil) at Rio de Janeiro, RJ, Brazil. The specimens are registered between the numbers MCT.I.7139 to MCT.I.7142, MCT.I.7146, MCT.I.7147, MCT.I.7152, MCT.I.7153, MCT.I.7161 to MCT.I.7180, MCT.I.7182 to MCT.I.7188, MCT.I.7192 to MCT.I.7196, MCT.I.7198, MCT.I.7200 to MCT.I.7204. The specimens were measured by Stanley (1970) methodology, following the characters: 1) length (L): the maximum anteroposterior dimension of the shell; 2) height (H): largest perpendicular axis of the shell; 3) thickness: maximum dimension of the valves, perpendicular to the commissure axis. Hence, the following morphological data were established: elongation, obesity, and size.

Firstly, elongation corresponds to the ratio of length to height, which could be not elongated (smaller than 1.19), moderately elongated (between 1.20 and 1.39), elongated (between 1.40 and 1.59) and very elongated (bigger than 1.60).

Secondly, obesity is the ratio of the height to the thickness, which could be heavily inflated (smaller than 1.29), inflated (between 1.30 and 1.49), moderately inflated (between 1.50 and 1.69), compressed (between 1.70 and 1.99) and very compressed (bigger than 2.00). Lastly, the size is defined by the length. Therefore, the animal could be very small (smaller than 15 mm), small (between 16 and 35 mm), moderately small (between 36 and 50 mm), moderately large (between 51 and 70 mm), large (between 71 and 100 mm) and very larger (bigger than 101 mm) (Stanley, 1970).

Later, the animals were identified by morphological analysis and compared to unionids in Brazil, South America and the African continent. This comparison was necessary because these animals occurred at the time when South America and the African continents were still connected.

To conclude, the measurements are specified in the systematic description below, with L = length, H = height and TK = thickness. For the classification the papers used were Moore (1969); Simone (2006); Ghilardi et al (2011) and Van Damme et al (2015).

3.0 PALEONTOLOGICAL SYSTEMATIC

Superfamily Etherioidea Deshayes, 1832

Family Iridinidae Swainson, 1840

Genus *Duplexium* nov. gen.

Zoobank: urn:lsid:zoobank.org:act:9351F9FE-961A-44F8-92E4-7110CCD44424

Type species: *Duplexium jatobensis* nov. sp.

Diagnoses: Shell moderately small, very elongated and very compressed, umbo in the anterior third; uni- or bicarinate, from the umbo to near posterior margin; growth lines entirely valve surface. Hinge with double dentition, heterodont just below umbo, with three cardinals and two pits in the RV (and the complement in the other valve), central cardinal more pronounced, taxodont dentition along posterior hinge line.

Gender: Masculine

List of included species: *D. jatobensis* (type species), *D. florestensis*.

Etymology: the name is derived from Latin *Duplex* meaning two, referring to the double dentition of the hinge of the type species.

Duplexium jatobensis nov. gen. nov. sp.

Zoobank: urn:lsid:zoobank.org:act:630544A7-B93A-45ED-982B-EB47C3A9B27E

Holotype: BRAZIL. **Pernambuco,** Floresta, Jatobá Basin 8°41'48.60"S 38°16' 34.30"W, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7202 (Fig.1A, B, E-G; 3A, B)

Paratypes: BRAZIL. **Pernambuco,** Floresta, Jatobá Basin 8°41'48.60"S 38°16'34.30"O, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7200, MCT.I.7201, MCT.I.7204.

Stratotype: Late Berriasian, conglomerates, sandstones, and mudstones.

Dimensions (mm): Holotype: L = 50, H= 20, TK = 6; Paratype (minimum - *average* - maximum.) L = 47 - *47.7* - 48; H = 18 - *18* - 18; TK = 6 - *6.7* - 8

Diagnosis: rectangular valve, very elongated, very compressed, about 2.6 times longer than wide; hinge with two types of dentition, heterodont just below umbo. Hinge with three cardinals, central tooth most pronounced, taxodont arrangement along posterior hinge line, in middle third of dorsal margin.

Description: outline rectangular, size moderately small (approx. 50 mm), very elongated and very compressed, about 2.6 times longer than wide. Umbo subterminal, in anterior third, orthogyre and obtuse. Partial shield visible. Remains of probable ligament (fig. 2A, B, C), visible. Two low carinas running from umbo towards posterior margin. Anterior margin concave, posterior margin convex, dorsal margin straight, ventral margin rounded. Growth lines visible throughout the surface. Deepening in posterior region, starting from the ventral margin (approx. 20% of animal's size), lacking break in valve. Hinge with three cardinal teeth, RV with middle tooth slightly pronounced, lateral tooth weakly pronounced, partially worn down near umbo. Denticles and pits, characterizing a taxodont dentition, in the hinge line, close to the central region of upper margin. Muscular scar, rounded, heavily on edge of anterior margin, close to dorsal margin and to first cardinal tooth, with approximately 12% of the valve size.

Duplexium florestensis nov. gen. nov. sp.

Zoobank: urn:lsid:zoobank.org:act:8004A5CF-9941-46EA-9CE7-910377A3AE2D

Holotype: BRAZIL. **Pernambuco,** Floresta, Jatobá Basin 8°41' 48.60" S 38°16'34.30"O, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7192 (Fig.1C, D, H; 3C, D).

Parátipos: BRAZIL. **Pernambuco,** Floresta, Bacia do Jatobá 8° 41' 48.60" S 38° 16' 34.30" O, (03.ii.2017, Horn, B. L. D.; Morais, D. M. F.; Silva, R. C. col.) MCT.I.7169, MCT.I.7194, MCT.I.7195, MCT.I.7198.

Stratotype: Late Berriasian conglomerates, sandstones, and mudstones.

Dimensions (mm): Holotype: L = 48, H = 24, TK = 1; Paratypes (minimum - *average* - maximum): L = 45 - *50* - 52; H = 26 - *27* - 28; TK = 12 - *12.3* - 13

Diagnosis: valve elliptic, very elongated, very compressed, about 1.8 times longer than wide; hinge dentition of heterodont type, RV with pronounced cardinal tooth, between two pits (and the complement in other valve); anterior adductor scar more pronounced than posterior scar.

Description: Right valve shape elliptic, moderately small size, very elongated and very compressed, about 1.8 times longer than wide. Umbo in anterior third obtuse. Carina low, from umbo , slightly oblique, reaching posterior margin. Probably the ligament present (fig. 2D, E, F). Anterior and posterior margins concave, posterior margin slightly pointed (probably result of preservation processes). Dorsal and ventral margins rounded. Growth lines close to dorsal margin. Hinge with cardinal tooth well developed, between two pits; anterior pit larger and deeper than posterior pit. Taxodont-type dentition in posterior region unclear. Anterior and posterior muscle scars are rounded, with respectively 11% and 9% of the valve size. A conspicuous pallial line is seen with apparent undulations near the ventral margin.

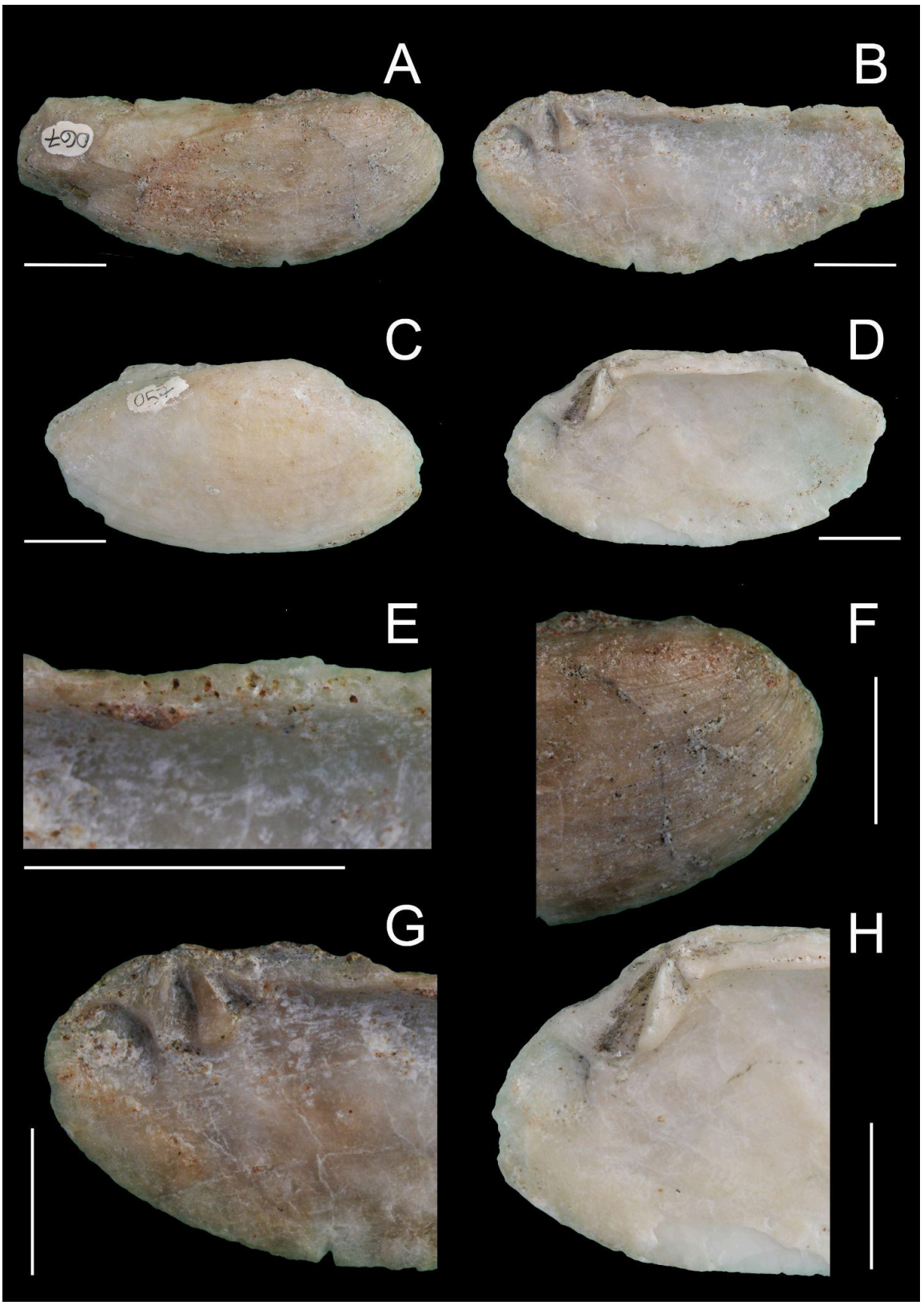


Figure 1: A, B) Holotype, MCT.I.7202. *Duplexium jatobensis*, RV, outer and inner view. C, D) Holotype, MCT.I.7192. *Duplexium florestensis*, RV, outer and inner view; E) *Duplexium jatobensis.* Hinge, detail of middle region; F) same, detail outer surface of anterior region, showing growth lines; G) same, hinge, detail of anterior region; H) *Duplexium florestensis*, detail of anterior region, inner view. Scale: 10 mm

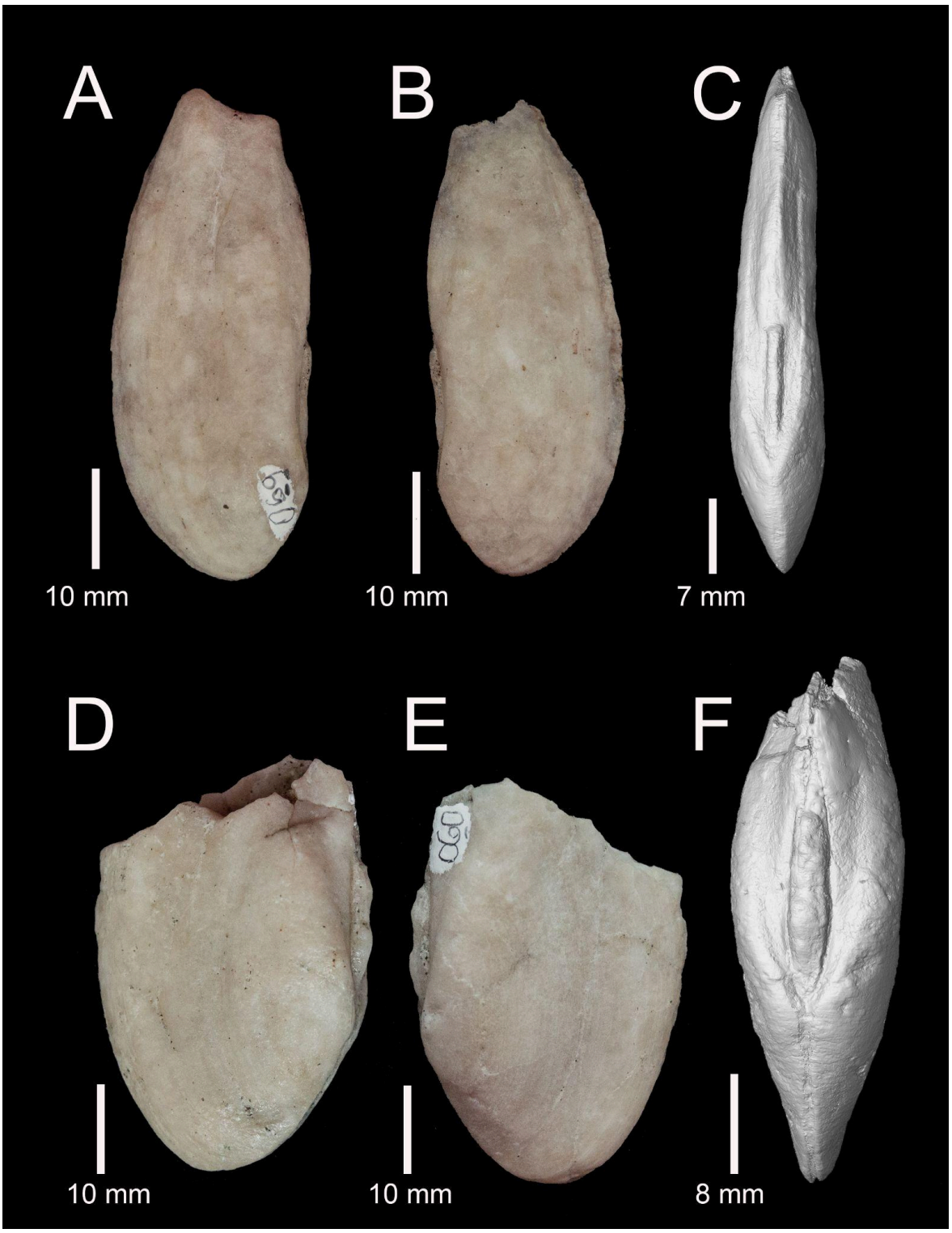


Figure 2: A, B) MCT.I.7204. Paratype. *Duplexium jatobensis*. C) Dorsal margin, ligament's view. D, E) MCT.I.7195. Paratype. *Duplexium florestensis*; F) Dorsal margin, ligament's view

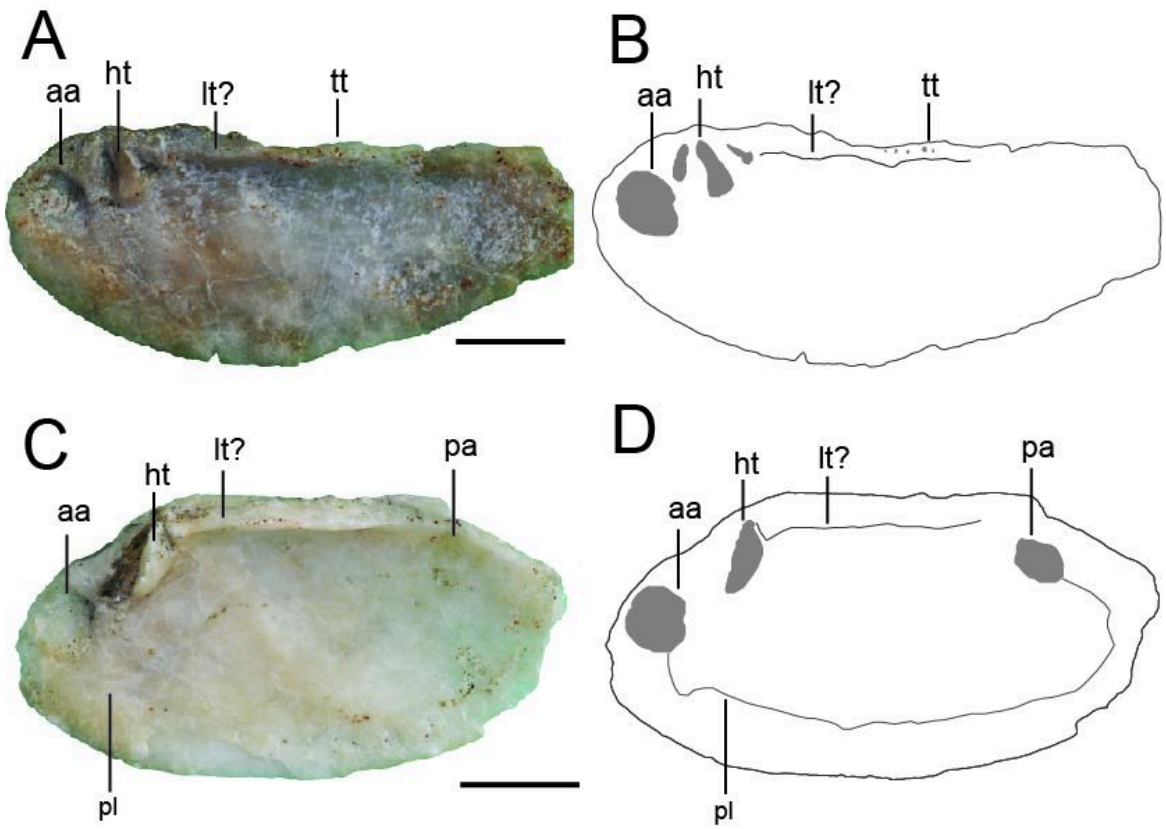


Figure 3: A, B) *Duplexium jatobensis* gen. et sp. nov; Salvador Formation (Berriasian), general morphology and muscle scars. C, D) *Duplexium florestensis* gen. et sp. nov., Salvador Formation (Berriasian), general morphology and muscle scars. Abbreviations: aa - anterior adductor, pa - posterior adductor, pl - pallial line, ht - heterodont teeth, tt - taxodont teeth, lt - lateral teeth. Scale: 10 mm

5.0 DISCUSSION

The morphological characters of the shell, like hinge structure, muscle scars and umbonal sculpture, are important diagnostic sources to identify the Unionida (Skawina and Dzik, 2011). Based on these data, despite *Duplexium* having the potential to belong to the Mycetopodidae, which is the living Etherioidea found in South America, the described taxa were tentatively inserted into the Iridinidae, due to the presence of taxodont dentition, evident at least in *D. jatobensis*. However, in *D. florestensis* this character remains doubtful, because

the valves are outworn, probably due to rework. Iridinidae is also characterized by having mostly uncarved shell; beaks smooth or slightly wavy, without well-defined remains of prodissoconch; hinge only with cardinal or edentulous, few with secondary taxodont dentition, and pallial line rarely with slight posterior sinus. All these features are also found in *Duplexium* species.

The double dentition patterns present in *D. jatobensis* demanded the creation of a new genus, as there is no record of hinged bivalves that have such mixed, heterodont and taxodont dentition. Furthermore, the separation of the genus into two species is due to the shape of the shell, as *D. jatobensis* is clearly more elongated than *D. florestensis*, not justified by taphonomy. Both species are allocated in the same genus because of their characteristics in common, such as the heterodont dentition, with more pronounced cardinals and a rounded and well-imprinted anterior muscle scar (Moore, 1969; Van Bocxlaer and Van Damme, 2009).

The bivalve fossils of the order Unionida in South America are recorded in Argentina and Brazil. The genera *Diplodon* and *Pleiodon* were found in the Loncoche and Allen formations (Campanian-Maastrichtian), in the Late Cretaceous of Argentina. In Brazil, the Hyriidae, Sancticarolitidae and Iridinidae families were found in Marilia (Maastrichtian) and Adamantina (Turonian-Santonian or Campanian-Maastrichtian) formations (Ghilardi et al., 2007, 2011a, b; Ghilardi and Maranhão, 2010; Mezzalira, 1974; Mezzalira and Simone, 1999; Parras and Griffin, 2013; Simone and Mezzalira, 1993, 1994, 1997; Varela et al., 2011). Moreover, the earliest occurrence of freshwater mussels in the Early Cretaceous is probably the description of *Cratonaia novaolindensis*, in Crato Formation (Aptian) (da Silva et al., 2020a). In addition, two new genera and

species were described in the Crato Formation in the same year: *Monginellopsis bellaradiata,* which was placed in Trigonioidoidea and *Araripenaia elliptica* which may belong to one of two families, Hyriidae or Trigonioioidea (da Silva et al., 2020b)

Moreover, the presence of the Iridinidae in South America is questioned, since it was known just in the African continent (Van Damme et al., 2015) until the description of the genera *Itaimbea* Mezzalira, 1974 and *Taxodontites* Simone & Mezzalira, 1999 with, respectively, two and one species. Van Damme et al (2015), also, question the presence of *Itaimbea* in Iridinidae. The holotype was allocated initially in *Pleiodon* (*P. priscus*) (Ihering, 1912), due to its taxodont hinge. Later, Parodiz and Bonetto (1963) rejected this classification, transferring the *priscus* to *Paxyodon*, whereas Mezzalira (1974) reallocated the specimen in Iridinidae again when introduced *Itaimbea*. The authors finally accepted the classification of Ihering (1912), but recognized that the hinge taxodont seen in *Itaimbea* is not typical of *Pleiodon*. Lastly, the Van Damme et al. (2015) claimed that the presence of the Iridinidae in South America remains doubtful. For them it is necessary a better preserved material to establish with the genera *Itaimbea* of the Mesozoic South America, the African *Pleiodon* and the North American *?Pleiodon* sp. are affiliated or, like who thinking, a convergence case (Scholz and Hartman, 2007; Van Damme et al., 2015).

Although the presence of the Iridinidae in South America remains doubtful for some authors, the existence of *Duplexium* nov. gen. can be a new light in the evolutionary history of Iridinidae. Since the first time that the superfamily Mullerioidea (= Etherioidea), namely Iridinidae in the African fossil register was in the Late Cretaceous (Van Damme et al., 2015), the presence of *Duplexium* nov.

gen. in South America Early Cretaceous put the origin of the Iridinidae family in this continent, not in the African continent like was thinking until now. Older Mesozoic (Jurassic or Early Cretaceous) South America bivalve associations consists in Mid to Late Jurassic lacustrine deposits of the La Matilde Formation and the Cañadón Asfalto Formation in Patagonia (Argentina), but only with species assigned to taxon *Diplodon* Spix, 1827 or *?Diplodon* have been described or mentioned (Cabaleri et al., 2010; Monferran et al., 2013; Morton and Herbst, 2001)). Moreover, even the North American *?Pleiodon* sp, although its membership in the Iridinidae is doubtful too, appeared in the fossil record only in the terminal Cretaceous Hell Creek Formation of Montana (Morris and Williamson, 1988).

6.0 CONCLUSION

1) *Duplexium jatobensis* and *Duplexium florestensis* are the first record of freshwater mussels and also the earliest record of Cretaceous mollusks in Jatoba Basin.
2) The family Iridinidae, freshwater bivalves presently living in the African continent, occurred in the Late Cretaceous in South America. Hence, the fossil bivalves described here are the oldest record of the taxa.
3) The genus *Duplexium* is probably located at the evolutionary base of the Iridinidae, which means that South America, especially Brazil, is now at the base of the development of the family.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the Zoology Museum of the University of São Paulo for providing access to the necessary resources for data analysis and also to Renato Correia Di Lábio for his help in producing high resolution images of the samples. Thank you to Bruno Ludovico Dihl Horn and Debora Melo Ferrer de Morais for your excellent geological work in Jatoba Basin, which made this work possible and brought to light an area still poorly studied. Finally, thanks to CAPES, CNPq and FAPERJ for the financial support. [CAPES 88887.677725/2022-00; CNPq 407158/2022-7; FAPERJ E-26/210.294/2021].

REFERENCES

Cabaleri, N., Volkheimer, W., Armella, C., Gallego, O., Silva Nieto, D., Páez, M., Cagnoni, M., Ramos, A., Panarello, H., Koukharsky, M., 2010. Estratigrafía, análisis de facies y paleoambientes de la Formación Cañadón Asfalto en el depocentro jurásico Cerro Cóndor, provincia del Chubut. Rev. Asoc. Geológica Argent. 66, 349–367.

Costa Filho, W.D., Demetrio, J.G.A., Feitosa, E.C., Manoel Filho, J., 2005. Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro. Hidrogeol. Bacia Jatobá Sist. Aquífero RacaratuInajá Meta Recife UFPECPRMFINEP 357p.

Costa, I.P., Bueno, G.V., Milhomem, P. da S., Silva, H., Kosin, M.D., 2007. Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá. Bol. Geociências PETROBRAS 15, 445–453.

da Silva, R.C., 2017. Relatório de Campo. Viagem de campo a Pernambuco (01 a 06 de fevereiro de 2017) em apoio ao Projeto Alto Moxotó, executado pela SUREG-RE.

da Silva, V.R., Varejao, F.G., Matos, S.A., Fürsich, F.T., Skawina, A., Schneider, S., Warren, L.V., Assine, M.L., Simoes, M.G., 2020a. Cratonaia novaolindensis gen. et sp. nov.(Unionida, Silesunionoidea) from the Aptian of Brazil (Araripe Basin), and its implications for the early evolution of freshwater mussels. Cretac. Res. 107, 104275.

da Silva, V.R., Varejao, F.G., Matos, S.A., Rodrigues, M.G., Fürsich, F.T., Skawina, A., Schneider, S., Warren, L.V., Assine, M.L., Simoes, M.G., 2020b. New freshwater mussels (Bivalvia, Unionida) with potential trigonioidid and hyriid affinities from the Early Cretaceous of Brazil. Geobios 61, 41–54.

Ghilardi, R.P., D'Ágosta, F.C.P., Alves, K., de Arruda Campos, A.C., 2011a. Tafonomia de moluscos fósseis do Grupo Bauru (Cretáceo Superior, bacia Bauru), na região do

Município de Monte Alto, São Paulo, Brasil. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi-Ciênc. Nat. 6, 197–206.

Ghilardi, R.P., D'Agosta, F.C.P., Simone, L.R.L. de, 2007. *Itaimbea* sp. nov., uma nova espécie de Iridinidae fóssil (Bivalvia: Etherioidea), do grupo Bauru (Bacia Bauru, Cretáceo superior), Monte Alto, São Paulo, Brasil. Resumos.

Ghilardi, R.P., Maranhão, M. da S.A.S., 2010. Anatomia interna de alguns molucos bivalves fósseis do grupo Bauru (cretáceo superior, Bacia Bauru), Brasil: implicações paleoecológicas. Terr Plur. 4, 113–120.

Ghilardi, R.P., Rodrigues, S.C., Simone, L.R.L., Carbonaro, F.A., Nava, W.R., 2011b. MOLUSCOS FÓSSEIS DO GRUPO BAURU. Cenários Vida 4.

Ihering, H., 1912. Analyse der Süd-Amerikanischen Heliceen. Academy of Natural Sciences of Philadelphia.

Mezzalira, S., 1974. [Contribution to the knowledge of stratigraphy and paleontology of Bauru Sandstone [Brazil]].[Portuguese]. Bol.-Inst. Geogr. E Geol. Braz. No 51.

Mezzalira, S., Simone, L.R.L., 1999. Two new species of Castalia (Mollusca, Bivalvia, Unionida) in Cretaceous of Bauru Group, São Paulo State, Brazil. Rev. Universidade Guarulhos E Geociências 4, 58–60.

Monferran, M.D., Gallego, O.F., Astrop, T., Cabaleri, N., Zacarías, I., 2013. Taxonomía, palaeoecología y tafonomía de un nuevo Spinicaudata ('Conchostraca') de la Formación Cañadón Asfalto (Jurásico Superior), Chubut, Argentina. Ameghiniana 50. https://doi.org/10.5710/AMGH.v50i4.3

Moore, R.C., 1969. Treatise on invertebrate paleontology: Pt. N Mollusca 6, Bivalvia. Geological Society of America.

Morris, P.J., Williamson, P.G., 1988. Pleiodon (Conrad)(Bivalvia: Mutelidae: Pleiodoninae) from the Late Cretaceous of Montana: a first North American record for the Mutelidae. J. Paleontol. 758–765.

Morton, L., Herbst, R., 2001. Nuevas especies del género Diplodon Spix (Bivalvia, Unionidea) del Jurásico Medio (Formación La Matilde), provincia de Santa Cruz, Argentina. Rev. Mus. Argent. Cienc. Nat. Nueva Ser. 3, 159–164.

Muniz, G.C.B., 1979. Moluscos Devonianos da Formação Inajá no Estado de Pernambuco. An. Acad. Bras. Ciênc. 51, 651–675.

Parodiz, J.J., Bonetto, A.A., 1963. Taxonomy and zoogeographic relationships of the South American naiades (Pelecypoda : Unionacea and Mutelacea). Malacologia 1, 179–214.

Parras, A., Griffin, M., 2013. Late Cretaceous (Campanian/Maastrichtian) freshwater to restricted marine mollusc fauna from the Loncoche Formation, Neuquén Basin, west-central Argentina. Cretac. Res. 40, 190–206. https://doi.org/10.1016/j.cretres.2012.07.002

Santos, R. da S., 1963. Notícias paleontológicas. Eng. Min. E Metal. 38, 291.

Scholz, H., Hartman, J.H., 2007. Paleoenvironmental reconstruction of the Upper

Cretaceous Hell Creek Formation of the Williston Basin, Montana, USA: implications from the quantitative analysis of Unionoid bivalve taxonomic diversity and morphologic disparity. PALAIOS 22, 24–34. https://doi.org/10.2110/palo.2005.p05-059r

Simone, L.R., Mezzalira, S., 1993. Vestígios de partes moles em um bivalve fóssil (Unionoida, Mycetopodidae) do Grupo Bauru (Cretáceo Superior), São Paulo, Brasil. An.-Acad. Bras. Cienc. 65, 155–155.

Simone, L.R.L., Mezzalira, S., 1994. Fossil molluscs of Brazil. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria …

Simone, L.R., Mezzalira, S., 1997. The systematic position of some Unionoidea bivalves from Bauru Group (upper Cretaceous) of Brazil. Rev. Universidade Guarulhos Geocienc. 2, 63–65.

Skawina, A., Dzik, J., 2011. Umbonal musculature and relationships of the Late Triassic filibranch unionoid bivalves. Zool. J. Linn. Soc. 163, 863–883.

Stanley, S.M., 1970. Relation of shell form to life habits of the Bivalvia (Mollusca). Geological Society of America.

Van Bocxlaer, B., Van Damme, D., 2009. Palaeobiology and evolution of the late Cenozoic freshwater Molluscs of the Turkana basin: Iridinidae Swainson, 1840 and Etheriidae Deshayes, 1830 (Bivalvia: Etherioidea). J. Syst. Palaeontol. 7, 129–161.

Van Damme, D., Bogan, A.E., Dierick, M., 2015. A revision of the Mesozoic naiads (Unionoida) of Africa and the biogeographic implications. Earth-Sci. Rev. 147, 141–200.

Varela, J.A., Gerling, E. L., Parras, A., 2011. Interpretación paleoambiental y contenido fósil de la Formación Allen (Campaniano-Maastrichtiano) en la localidad de El Abra, provincia de Río Negro, Argentina.