

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

OCORRÊNCIAS DE CONODONTES NO MAR DEVONIANO DA  
REGIÃO AMAZÔNICA, GONDWANA OCIDENTAL:  
BIOESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE

JORDANA MARIA VICCARI

ORIENTADORA – Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

Porto Alegre, 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

OCORRÊNCIAS DE CONODONTES NO MAR DEVONIANO DA  
REGIÃO AMAZÔNICA, GONDWANA OCIDENTAL:  
BIOESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE

JORDANA MARIA VICCARI

ORIENTADORA – Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

BANCA EXAMINADORA

Dr<sup>a</sup> Cristina Moreira Félix - Pesquisadora visitante do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS

Prof. Dr. Fernando Erthal – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr<sup>a</sup>. Luciane Profs Moutinho - Pesquisadora visitante do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS

Dissertação de Mestrado  
apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do Título de  
Mestre em Ciências.

Porto Alegre, 2024

FOLHA LIVRE PARA A FICHA CATALOGRÁFICA

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) pela oportunidade de desenvolver pesquisas de forma pública, gratuita e de qualidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento à pesquisa através da minha bolsa de mestrado.

Ao Projeto BIOCRO-NORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões, pelo financiamento das coletas de amostras e bolsas de pesquisa e iniciação científica.

Ao pessoal do Laconf – Laboratório de Conodontes e Foraminíferos da UFRGS, obrigado pelo apoio de sempre. A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Ana Karina Scomazzon, só tenho de agradecer a dedicação, apoio e paciência. Ter uma pesquisadora excepcional, professora que inspira muitas mulheres e ser humano de um tato com o próximo sem igual como orientadora há 7 anos me serve de inspiração nesta jornada.

A Sara Nascimento, que é a alegria do laboratório. Obrigada pelos ensinamentos, apoio e por embarcar nas nossas ideias.

Agradeço aos meus pais, Sérgio e Neusa, e ao meu irmão Jonas pelo apoio, incentivo e amor. Obrigada por me guiarem para seguir meus sonhos. Sem vocês, tenho certeza que o caminho teria sido bem mais tortuoso.

## RESUMO

Durante o Devoniano, o supercontinente Gondwana ocupava uma posição paleogeográfica em altas latitudes, próximo ao Polo Sul. A disposição dos continentes, a atividade tectônica, as flutuações climáticas e a evolução da vida marinha desempenharam um papel importante nos ecossistemas marinhos durante este período. As ocorrências de conodontes em altas latitudes são escassas. No Devoniano Superior (Frasniano/Famenniano ) do Gondwana ocidental, conodontes são encontrados em depósitos anóxicos de folhelhos negros associados à superfície de inundação máxima (SIM) da plataforma distal, na Formação Barreirinha da Bacia do Amazonas e na Formação Jandiatuba da Bacia do Solimões, no norte do Brasil. A fauna é caracterizada por baixa diversidade e elementos plataformados e ramiformes bem preservados de *Mehlina gradata*, *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni*, *Cryptotaxis* sp. e *Polygnathus* sp. na Bacia do Amazonas e *Cryptotaxis* sp., *Parapolygnathus* sp., *Pandorinellina* sp. e *Hibbardella* sp. na Bacia do Solimões. A fauna de conodontes e a sucessão sedimentar sugerem uma ingressão marinha em condições de águas frias do Oceano Pantalassa e Paleo-Tétis para o mar Devoniano (Frasniano/Famenniano) da região amazônica.

**Keywords:** Folhelhos negros, depósitos marinhos, paleogeografia

## ABSTRACT

During the Devonian, the supercontinent Gondwana occupied a paleogeographic position at high latitudes, close to the South Pole. The arrangement of continents, tectonic activity, climate fluctuations and the evolution of marine life played an important role in marine ecosystems during this period. Occurrences of conodonts in high latitudes are scarce. In the Late Devonian (Frasnian/Famennian) of western Gondwana, conodonts are found in anoxic deposits of black shales associated with the maximum flooding surface (MFS) of the distal platform, in the Barreirinha Formation of the Amazonas Basin and in the Jandiatuba Formation of the Solimões Basin, in northern Brazil. The fauna is characterized by low diversity and well-preserved platform and ramiform elements of *Mehlina gradata*, *Ozarkodina* sp. affs. *O. sannemanni*, *Cryptotaxis* sp. and *Polygnathus* sp. in the Amazonas Basin and *Cryptotaxis* sp., *Parapolygnathus* sp., *Pandorinellina* sp. and *Hibbardella* sp. in the Solimões Basin. The conodont fauna and sedimentary succession suggest a marine ingression in cool water conditions from the Panthalassa and Paleo-Tethys Oceans to the Devonian (Frasnian/Famennian) sea of the amazonian region.

**Keywords:** Black-shale, marine deposits, paleogeography

## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
ABSTRACT.....	6
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	11
ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO .....	12
TEXTO INTEGRADOR .....	13
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	17
3. ESTADO DA ARTE .....	18
<b>3.1 Conodontes</b> .....	18
<b>3.2 Conodontes do Devoniano</b> .....	20
4. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO .....	22
<b>4.1 Bacia do Amazonas</b> .....	22
<b>4.2 Bacia do Solimões</b> .....	23
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
6. RESULTADOS .....	27
<b>6.1 Sistemática Paleontológica</b> .....	29
7. DISCUSSÕES.....	38
8. CONCLUSÕES .....	42
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
10. ARTIGO .....	50
11. COMPLEMENTOS.....	71

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Posição paleogeográfica das bacias sedimentares brasileiras no Gondwana ocidental durante o Devoniano e o mar epicontinental Devoniano na região Amazônica (regiões das bacias do Solimões e Amazonas). Modificado de Torsvik & Cocks (2013). ..... 14
- Figura 2: Animal conodonte, aparelho alimentar e elementos conodontes. A) Reconstrução do animal conodonte. Modificado de Purnell et al. (1995); B) Representação tridimensional da região cefálica com a posição dos elementos conodontes. Modificado de Gudemand et al. (2011); C) Vista dorsal (de cima) da organização dos elementos conodontes no aparelho alimentar. Modificado de Gudemand et al. (2011); D) Morfologia externa dos elementos conodontes. 1. Pectiniforme, 2. Ramiforme, 3. Cônico. Modificado de Purnell et al. (1995). ..... 19
- Figura 3: Mapa geológico da Bacia do Amazonas, incluindo a localização do poço estudado 1RX 1AM e dos afloramentos BAS 10 e BAS 12. Localização do poço 1JD 1AM na Bacia do Solimões, para comparação de faunas. Modificado de Almeida & Carneiro (2004). ..... 24
- Figura 4: Processamento das amostras. A) Material desagregado e com a marcação dos elementos conodontes. B-C) Testemunho do poço 1RX 1AM, com a marcação de um elemento conodonte. D) Detalhe de um molde de elemento conodonte ramiforme. .... 26
- Figura 5: Espécies de *Prioniodina* sp. Bassler (1925), elementos P2: A, MP-M 1740; B, MP-M 1741; C, MP-M 1742; D, MP-M 1743. Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde (1879), elementos S0: E, MP-M 1744; F, MP-M 1745; G, MP-M 1746; K, MP-M 1750. Elementos S3: L, MP-M 1751; M MP-M 1752; N, MP-M 1753; O, MP-M 1754. Elementos P2: H, MP-M 1747; I, MP-M 1748; J, MP-M 1749. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem. .... 31
- Figura 6: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1755; B, MP-M 1756; C, MP-M 1757; D, MP-M 1758; E, MP-M 1759; F, MP-M 1760; G, MP-M 1761; H, MP-M 1762; I,



MP-M 1763; J, MP-M 1764. Elementos S3: K, MP-M 1765; L MP-M 1766; M, MP-M 1767; N, MP-M 1768. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem. .... 32

Figura 7: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde (1879), elementos S0: A, MP-M 1769; C, MP-M 1771; D, MP-M 1772; F, MP-M 1774; G, MP-M 1775; H, MP-M 1776 ;I, MP-M 1777;. Elementos S3: B, MP-M 1770; E MP-M 1773. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem. .... 33

Figura 8: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1782; B, MP-M 1783; C, MP-M 1784; G, MP-M 1788; H, MP-M 1798; I, MP-M 1790; J, MP-M 1791; O, MP-M 1796; P, MP-M 1797; Q, MP-M 1798; R, MP-M 1799; S, MP-M 1800; T, MP-M 1801. Elementos P2: K, MP-M 1792; L, MP-M 1793; M, MP-M 1794; N, MP-M 1795. Espécies de *Prioniodina* sp. Bassler (1925), elementos P2: D, MP-M 1785; E, MP-M 1786; F, MP-M 1787. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem..... 34

Figura 9: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1802; K, MP-M 1812; N, MP-M 1815; Q, MP-M 1818; R, MP-M 1819. Elementos S3: B, MP-M 1803; C, MP-M 1804; D, MP-M 1805; E, MP-M 1806; F, MP-M 1807; G, MP-M 1808; H, MP-M 1809; I, MP-M 1810; J, MP-M 1811; L, MP-M 1813; M, MP-M 1814; O, MP-M 1816; P, MP-M 1817. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem. .... 35

Figura 10: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1820; C, MP-M 1822. Elementos S3: B, MP-M 1821; D MP-M 1823; F, MP-M 1825. Elementos P2: G, MP-M 1826. Elementos P1: H, MP-M 1827; I, MP-M 1828; J, MP-M 1829; K, MP-M 1830; L, MP-M 1831. *Ligonodina?* sp. Bassler (1925). Elemento P2: E MP-M 1824 Todos provenientes do poço 1RX 1AM,

Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em MEV. Escala na imagem de 200  $\mu\text{m}$ ..... 36

Figura 11: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde (1879). Elementos S0: A, MP-M 1832; B, MP-M 1833; C, MP-M 1834; E, MP-M 1836. Espécies de *Prioniodina* sp. Bassler (1925), elementos P2: D, MP-M 1835; Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em MEV. Escala na imagem de 200  $\mu\text{m}$ . ..... 37

Figura 12: Mar Devoniano na plataforma sul-americana. Modificado de Almeida & Carneiro (2004). ..... 39

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Relação dos elementos conodontes encontrados no poço 1RX 1AM, nos afloramentos BAS 10 e BAS 12, no trabalho de Cardoso et al. 2015 e no trabalho de Hunicken et al. (1988) e suas respectivas abundâncias .....	28
---	----

## **ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação de mestrado está estruturada na forma de artigo submetido em periódico científico internacional, Qualis-CAPES A2, segundo as normas do Pós Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e sua organização compreende as seguintes partes principais:

### **TEXTO INTEGRADOR**

Documento principal da dissertação que contém a introdução com apresentação do tema e descrição do objeto da pesquisa, objetivos, materiais e métodos, estado da arte e contexto geológico da área de estudo. Também são apresentados os resultados com conodontes encontrados, a sistemática paleontológica, as discussões bioestratigráficas e paleoambientais, as conclusões e referências bibliográficas.

### **ARTIGO**

Compreende o manuscrito intitulado: *The record of marine ingression in western Gondwana from Devonian conodonts in the Amazonas and Solimões basins, Brazil*, desenvolvido pelo primeiro autor durante o período do mestrado, submetido e aceito para a publicação na revista Marine Micropaleontology.

### **COMPLEMENTOS**

Comprovante de submissão e aceite do artigo

## **TEXTO INTEGRADOR**

### **1. INTRODUÇÃO**

Durante o Devoniano, houve grandes mudanças climáticas e de biodiversidade, conhecidos por eventos de deposição de espessos pacotes métricos de folhelhos negros, associados a flutuações eustáticas, transgressões e regressões, eventos de anoxia, florescimentos faunísticos, anomalias geoquímicas e extinções escalonadas. Alguns destes eventos globais estavam associados à disseminação da anoxia em períodos de aquecimento climático e aumento eustáticos e outros se correlacionam com regressões abruptas e resfriamento climático (Becker et al., 2016).

No Devoniano Inferior/Médio, os níveis eustáticos globais aumentaram, resultando em transgressões sobre áreas cratônicas tais como as bacias do Amazonas e Solimões, na região amazônica (Hünicken et al., 1988, Cardoso et al., 2015) (Fig. 1). Com isso, ao longo do Devoniano Superior as faunas de conodontes adentraram na região amazônica e se estabeleceram ali, contudo em um ambiente, clima, temperatura da água e outros fatores abióticos e bióticos específicos daquela área. Assim, as mudanças climáticas e eventos geológicos que se sucederam no Devoniano, somado as condições ambientais locais foram fatores relacionados ao provincialismo das faunas marinhas do Gondwana ocidental durante este período (Torsvik & Cocks, 2013).

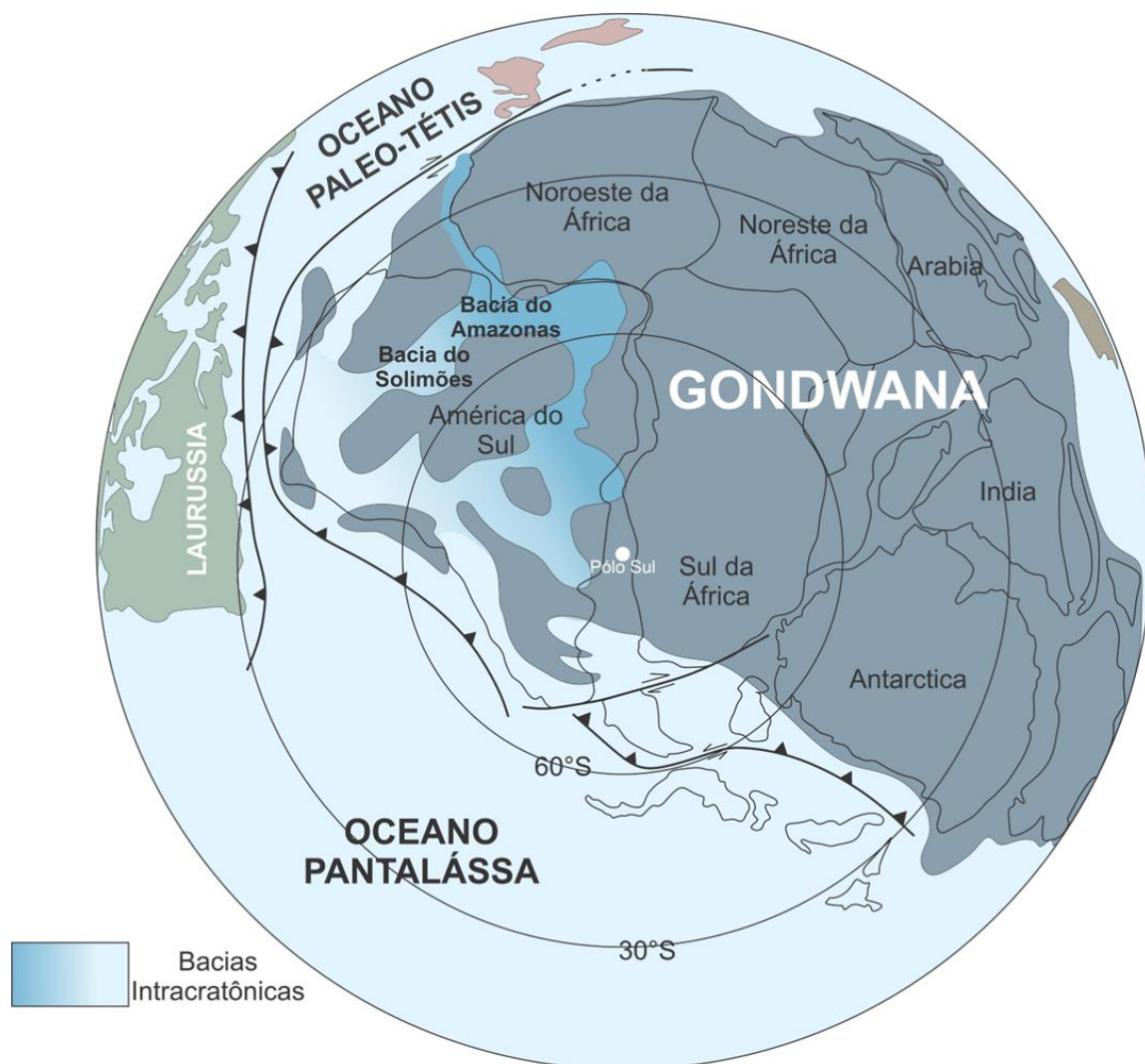


Figura 1: Posição paleogeográfica das bacias sedimentares brasileiras no Gondwana ocidental durante o Devoniano e o mar epicontinental Devoniano na região Amazônica (regiões das bacias do Solimões e Amazonas). Modificado de Torsvik & Cocks (2013).

Os eventos transgressivos resultaram no avanço do mar Devoniano que adentrou na Bacia do Amazonas através da região da Ilha de Marajó, como uma extensão das bacias africanas inundadas pelo oceano Paleo-Tétis (Caputo, 1984). Essa transgressão se estendeu até o Arco de Purus durante o Famenniano ao Mississipiano. Sob esse ambiente, foram estabelecidas as condições para a sedimentação da Formação Barreirinha, constituída principalmente por folhelhos negros (Cunha et al., 2007). Conodontes recuperados dos depósitos que representam esse episódio transgressivo são estudados ao longo deste trabalho.

Estudos paleoambientais e paleogeográficos tem demonstrado que a distribuição dos elementos conodontes é controlada por diversos fatores ambientais tais como profundidade,

temperatura, salinidade, disponibilidade de alimento, levando a preservação destes organismos em biofácies (devido às condições ambientais e climáticas das diferentes províncias mundiais neste período) e tafofácies distintas (Seddon & Sweet, 1971; Sandberg, 1976; Zhen & Percival, 2003). Apesar disso, os conodontes são um dos organismos marinhos mais importantes nas correlações bioestratigráficas do Devoniano por sua abundância, dispersão e preservação nos mares devonianos (Zhang et al. 2019).

Pesquisas em bioestratigrafia de conodontes pelágicos têm sido realizadas para o Devoniano, estabelecendo zoneamentos e correlações de conodontes com base nos táxons de biofácies/tafofácies de águas profundas que apresentam uma distribuição global, tais como biofácies *Palmatolepis-Polygnathus*, fornecendo uma correlação estratigráfica de alta resolução em escala mundial para ambientes de águas profundas (Sandberg & Ziegler, 1973; Ashouri, 2006; Huang & Gong, 2016).

Realizando uma análise detalhada das informações sobre conodontes pelágicos no Devoniano, a bioestratigrafia de conodontes em águas rasas exibe uma menor resolução devido à recuperação de poucos táxons diagnósticos comparados aos conodontes de águas profundas que são menos influenciados por correntes e ação de ondas. A correlação direta entre zonas de dominância de elementos conodontes epipelágicos com os de águas profundas é limitada pela falta de sucessão litológica favorável e outros fatores ambientais (Yuan & Sun, 2023). Embora alguns pesquisadores consigam propor biozonas com base em conodontes de águas rasas (Sandberg & Dreesen, 1984; Qin et al., 1988; Ji, 2004; Wang et al., 2016), estas se diferem tanto nos táxons diagnósticos quanto no período de tempo, das biozonas de águas profundas, podendo levar a uma aplicação inadequada em outra localidade (Yuan & Sun, 2023).

Pesquisas baseadas em conodontes devonianos na América do Sul são escassas, provavelmente devido à falta de litologias por erosão ou não deposição no registro sedimentar onde os conodontes são obtidos (Hünicken et al., 1988). Além disso, elementos conodontes encontrados em condições ambientais de baixas temperaturas são menos estudados e possuem menos informações em comparação com os encontrados em águas quentes. Durante o Devoniano, as ocorrências de conodontes estão geralmente restritas ao cinturão tropical de baixa latitude (Klapper & Johnson, 1980; Sweet, 1988) fato que auxilia a explicar por que existem poucas ocorrências de conodontes nas bacias sul-americanas. As ocorrências de conodontes nestas bacias de alta paleolatitudes estão associadas a folhelhos negros do Devoniano Superior.

Nas Bacias Paleozoicas brasileiras, Hünicken et al. (1988) relatam ocorrências de *Polygnathus* sp., *Cryptotaxis* sp. e *Parapolygnathus* sp. na Bacia do Solimões e faunas de *Cryptotaxis* sp., *Mehlina gradata*, *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni* e *Polygnathus* sp. na Bacia do Amazonas são estudadas por Cardoso et al. (2015). Através da análise taxonômica, as faunas de conodontes de Hünicken et al. (1988), Cardoso et al. (2015) e os conodontes aqui descritos, contribuem, juntamente com a sucessão sedimentar para a caracterização da transgressão marinha ocorrida durante o Devoniano Superior no Gondwana Ocidental e o entendimento do mar devoniano na região amazônica.



## **2. OBJETIVOS**

Aplicar uma técnica menos destrutiva na abertura de amostras, para a obtenção mais eficaz dos elementos conodontes e assim ampliar as possibilidades de estudos bioestratigráficos, paleoambientais e tafonômicos.

Realizar o reconhecimento dos táxons encontrados na Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, correlacionar com aqueles do Devoniano da Bacia do Solimões, já estudados na literatura, com intuito de mapear as ocorrências de conodontes, auxiliando na delimitação do mar devoniano na região Amazônica.

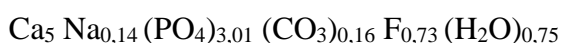
Revisar a distribuição bioestratigráfica das espécies encontradas para auxiliar no entendimento do paleoambiente e as implicações da fauna de conodontes no mar Devoniano da região Amazônica.

### 3. ESTADO DA ARTE

#### 3.1 Conodontes

Briggs et al. (1983) descreveram o primeiro estudo do animal conodonte encontrado com o corpo preservado, as partes moles foram encontradas no Granton Shrimp Bed, Carbonífero inferior da Escócia. Sweet (1988) definiu os animais conodontes como pertencentes a um grupo extinto de cordados basais, de corpo mole e alongado, com simetria e bilateralmente comprimidos, com presença de estruturas preservadas como notocorda e miômeros. Os animais conodontes apresentavam tamanho de até 5cm de comprimento com forma de enguia e olhos grandes, foram considerados predadores, livres natantes e exclusivamente marinhos (Fig. 2).

A porção comumente encontrada dos animais conodontes são os elementos conodontes, peças denticuladas mineralizadas que em conjunto compunham seu aparelho alimentar. Os elementos conodontes são separados em três categorias principais, cônicos (forma de cone), ramiformes (série de transição simétrica S0 – S4) e pectiformes (laminados – P2 e plataformados – P1), e possuem uma morfologia externa variada e ornamentações que se distinguem conforme os gêneros. Estes elementos são compostos de Francolita, uma flúorapatita de cálcio. Segundo Pietzner et al. (1968), a fórmula mineral dos elementos conodontes é a seguinte:



As primeiras ilustrações e discussões sobre elementos conodontes ocorreram em 1856, quando o paleontólogo russo Christian Heinrich Pander publicou trabalhos sobre materiais da Estônia de idade Ordoviciano e Siluriano, e do Carbonífero dos limites atuais da cidade de Moscou. Pander descreveu estes elementos como semelhantes aos dentes de um grupo de peixes do Paleozoico, dando o nome de Conodontes. Até 1962 poucas informações foram adicionadas às já descritas na monografia de Pander e os debates acerca das afinidades zoológicas deste animal continuavam inconclusivas (Sweet, 1988).

Com o aumento de estudos utilizando estes fósseis e o aumento do tamanho das coleções feitas foi possível determinar que estes ocorriam em diversas litologias e podiam ser

encontrados em rochas do Cambriano ao Triássico. Du et al. (2020) apresenta evidências de presença de elementos conodontes em sessões do limite Triássico - Jurássico no Japão, porém é necessário mais estudos em outras áreas para que o intervalo de registro do animal se amplie.

Por possuírem ampla ocorrência mundial e uma ótima variação morfológica no tempo, os elementos conodontes são excelentes fósseis índices no zoneamento bioestratigráfico do Paleozoico. Além disso, são bons indicadores das condições paleoambientais do ambiente onde viviam, como por exemplo espécies que estão condicionadas a profundidade da coluna d'água, oxigenação e variação de salinidade (Sweet, 1998).

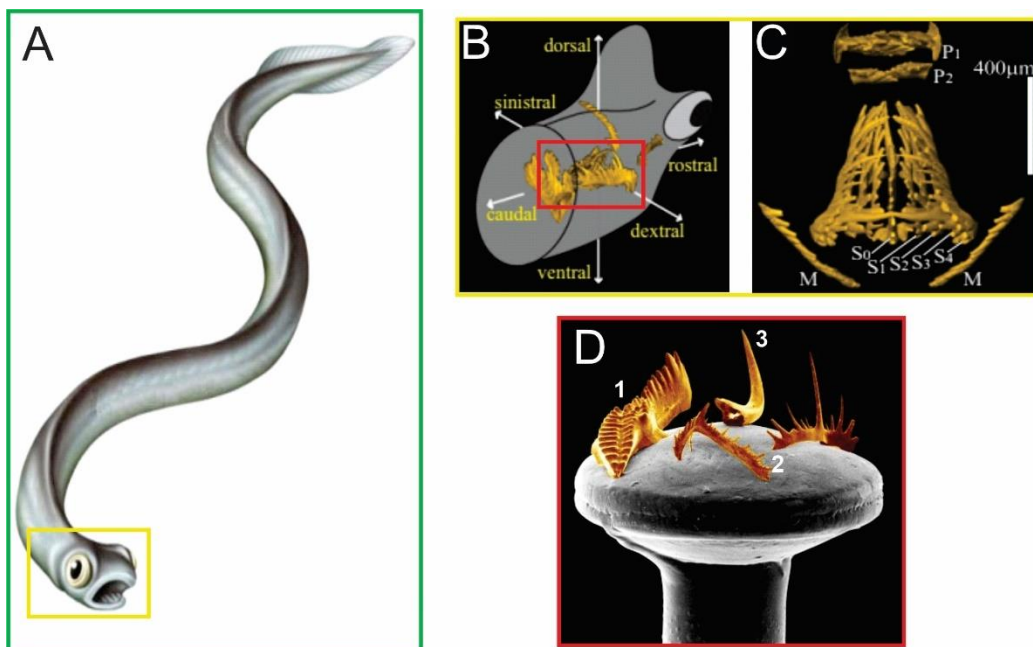


Figura 2: Animal conodonte, aparelho alimentar e elementos conodontes. A) Reconstrução do animal conodonte. Modificado de Purnell et al. (1995); B) Representação tridimensional da região cefálica com a posição dos elementos conodontes. Modificado de Gudemand et al. (2011); C) Vista dorsal (de cima) da organização dos elementos conodontes no aparelho alimentar. Modificado de Gudemand et al. (2011); D) Morfologia externa dos elementos conodontes. 1. Pectiniforme, 2. Ramiforme, 3. Cônico. Modificado de Purnell et al. (1995).

### 3.2 Conodontes do Devoniano

Os animais conodontes enfrentaram alguns dos eventos mais importantes da história da Terra, incluindo quatro das cinco crises que causaram extinção em massa (Ordoviciano-Siluriano, Devoniano-Carbonífero, Permiano-Triássico e Triássico-Jurássico), sobrevivendo a todos, exceto a última, quando desapareceram no final do Triássico.

Ao longo do Ordoviciano, no Devoniano Inferior e no Triássico Inferior houveram picos de diversidade de táxons, sendo o mais alto no Ordoviciano. A fauna de conodontes que evoluiu a partir deste pico de diversidade (48 gêneros) surge no Devoniano Inferior, atinge seu apogeu no Devoniano Superior e depois decresce extensivamente pelo Carbonífero (Ginot & Goudemand, 2020). O aumento subsequente na diversidade da fauna nectônica durante o Siluriano/Devoniano Inferior (Whalen & Briggs, 2018) pode desempenhar um papel na limitação da recuperação dos conodontes através de pressões de predação ou competição por espaços ecológicos.

Segundo Ginot & Goudemand (2020) o pico da diversidade de conodontes no Devoniano ocorreu dentro de uma tendência decrescente de temperatura, com grandes variações, e coincidiu com uma mudança de um sistema transgressivo para um regressivo. Desta forma o Lochkoviano, Pragiano e Emsiano eram caracterizados por temperaturas quentes, passando por um arrefecimento global sem glaciação e seguido por um aquecimento no Givetiano antes da glaciação no final do Famenniano (Joachimski et al., 2009). O Devoniano Superior é bem conhecido por estar entre as duas mais importantes crises biológicas da história: o evento Kellwasser pouco antes do limite Frasniano-Famenniano (McGhee, 1996) e o Hangenberg entre o limite Devoniano-Carbonífero (Becker et al., 2016). Estas crises se caracterizaram por variações bióticas e abióticas e correspondem a episódios de regressão eustática, temperaturas mais frias e anoxias que afetaram a diversidade e morfologia dos conodontes (Balter et al., 2008).

No Brasil, segundo Isaacson et al. (2008) e com base nos dados apresentados por Caputo (1985), os sistemas deposicionais do Devoniano Superior sofreram significativas mudanças durante a glaciação neste período ocorrida no Gondwana. Essa glaciação, bem documentada no Brasil, também pode ser vista em outros países sul-americanos como Argentina (Caputo, 1985; Caputo et al., 2008; Di Pasquo et al., 2009; Caputo & Soares, 2016).

Durante o Devoniano gradativamente os conodontes Ancyrodellídeos foram eliminados assim como quase todas as espécies de Palmatolepídeos, Poligonatídeos e Ancirognatídeos desapareceram no mundo no final do Frasniano (Schindler, 1990). Ao todo, 89% das espécies de conodonte foram extintas no Famenniano.

## 4. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 Bacia do Amazonas

A Bacia do Amazonas é uma sinéclise intracratônica paleozoica desenvolvida no norte do Brasil, possui forma alongada quase elipsoidal na direção WSW-ENE localizada na região equatorial englobando os estados do Amazonas e Pará (Caputo & Soares, 2016). Ela representa uma área de aproximadamente 500.000 km<sup>2</sup>, sendo 1.300 km de comprimento e 380 km de largura média e um preenchimento sedimentar e ígneo de 5.000m de espessura (Cunha et al., 1994; Costa, 2002; Cunha et al., 2007; Caputo & Soares, 2016). A bacia está limitada ao norte pelo Escudo das Guianas, a sul pelo Escudo Brasileiro, a leste pelo arco de Gurupá e ao oeste pelo arco de Purus (Cunha et al., 2007), (Fig. 3).

Os registros geológicos desta bacia refletem as variações no nível do mar e as orogenias que ocorreram na Placa Sul-Americana. Com a reorganização das placas tectônicas pelo rompimento de Rodinia entre 600 e 520 Ma (Benedetto, 2010), separação e rotação no sentido anti-horário do conjunto Antártida-Australia-Índia-África ocidental e América do Sul gerou o Supercontinente Gondwana. A amalgamação dos blocos continentais implicou o fechamento de diversas bacias e abertura de novas. Segundo Cunha et al. (2007) a Bacia do Amazonas estaria relacionada com a dispersão dos esforços compressivos na direção leste-oeste e de alívio na direção norte-sul no final do ciclo Brasiliano-Panafricano.

A presença de estruturas transversais de idade fanerozoica são consequência da reativação de estruturas pré-cambrianas (Wanderley Filho, 1991). Esta reativação das falhas pré-existentes ocorreu na fase rifte da bacia, ocasionando a compartimentação em quatro blocos estruturais localizados entre os arcos de Purus e de Gurupá.

A estrutura estratigráfica da Bacia do Amazonas apresenta duas mega sequências de primeira ordem, Paleozoica e Mesozoica-Cenozoica (Cunha et al., 2007; Matsuda et al., 2010). A mega sequência Paleozoica é dividida em quatro sequências de segunda ordem: Sequência Ordoviciano-Devoniana, Sequência Devoniano-Tournaisiano, Sequência Viseana e Sequência Pennsylvaniano-Permiano. Suas fronteiras estão ligadas a interrupções de sedimentação resultantes do movimento tectônico de Gondwana, causando discordâncias regionais (Caputo, 1984).

A Sequência Devoniano-Tournaisiano se desenvolveu após a Orogenia Caledoniana, sendo conectada por um novo evento transgressivo-regressivo (Caputo, 1984). Composicionalmente, é constituída pelos grupos Urupadí e Curuá. Os depósitos transgressivos de Urupadí, são compostos pela Formação Maecuru, consistindo em arenitos neríticos a deltaicos e pelitos; e a Formação Ererê, composta por siltitos, folhelhos e arenitos neríticos e parálicos (Melo & Loboziak, 2003).

Os depósitos regressivos do Grupo Curuá compreendem as formações Barreirinha, Curiri e Oriximiná. A Formação Barreirinha é composta por folhelhos e siltitos escuros e é dividida em membros Abacaxis, Urubu e Urariá. O Membro Abacaxis é caracterizado por folhelhos escuros ricos em matéria orgânica (com ocorrência de conodontes), responsáveis pelos hidrocarbonetos na bacia. A deposição destes folhelhos ocorreu em um ambiente marinho distal e corresponde à superfície de inundação máxima da sequência (Cunha, 2000).

A Formação Curiri, sobrepõe a Formação Barreirinha discordantemente, é constituída de diamictitos, folhelhos, siltitos e arenitos de ambientes glacial a periglacial, relacionados ao resfriamento climático do final do Devoniano. O pacote sedimentar possui idade fameniana (Melo & Loboziak, 2003) e representa o trato de sistemas de mar baixo sobreposto ao anterior através de discordância erosiva (Cunha et al., 2007). O terço final do Grupo Curuá é representado pela Formação Oriximiná, constituída por arenitos e siltitos depositados em ambiente marinho raso/fluviial. O limite entre as formações Curiri e Oriximiná é obtido por critérios litofaciológicos, neste caso a dominância de arenitos.

## **4.2 Bacia do Solimões**

A denominação Bacia do Solimões surgiu com Caputo (1984), em substituição Bacia do Alto Amazonas. A Bacia do Solimões é uma sinclinal intracratônica localizada na região norte do Brasil, no estado do Amazonas, ocupando uma área de aproximadamente 440.000 km<sup>2</sup>. A bacia é separada em duas áreas: a Sub-bacia do Jandiatuba, a oeste, e a Sub-bacia do Juruá, a leste, separadas pelo Arco de Carauari. É limitada ao norte pelo Escudo das Guianas, ao sul pelo Escudo Brasileiro, a oeste pelo Arco de Iquitos e a leste pelo Arco de Purus (Wanderley Filho et al., 2007).

O preenchimento estratigráfico paleozoico compreende cinco seqüências deposicionais de depósitos transgressivos-regressivos, limitados por discordâncias regionais: Ordoviciano, Siluriano Superior-Devoniano Inferior, Devoniano Médio-Carbonífero Inferior, Carbonífero Superior-Permiano e Cretáceo Superior-Quaternário (Wanderley Filho et al., 2007). A seção devoniana compreende o Grupo Marimari, que é subdividido em duas formações: Uerê, caracterizada por silexito contendo espículas silicosas, e Jandiatuba, composta principalmente de folhelhos cinza a negros e diamictitos. Os folhelhos negros (com ocorrência de conodontes) representam condições anóxicas severas que ocorreram durante a fase máxima transgressiva, permitindo a preservação da matéria orgânica (Wanderley Filho et al., 2007).

Caputo (1984) apresenta evidências que nessa época o clima era frio, passando até por uma situação de glaciação de latitude. Condições de alta anoxia aconteceram no auge da transgressão, favorecendo a preservação da matéria orgânica em algumas camadas argilosas.

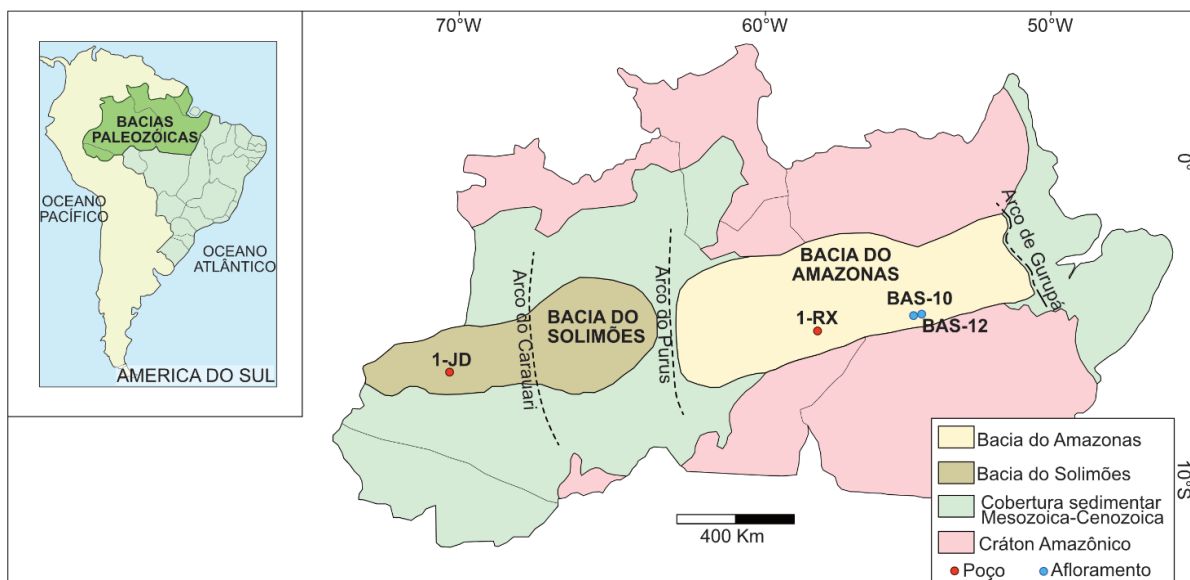


Figura 3: Mapa geológico da Bacia do Amazonas, incluindo a localização do poço estudado 1RX 1AM e dos afloramentos BAS 10 e BAS 12. Localização do poço 1JD 1AM na Bacia do Solimões, para comparação de faunas. Modificado de Almeida & Carneiro (2004).



## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

A coleção de conodontes compreende 299 espécimes recuperados no poço 1RX 1AM (2.572,5 – 2.577,5 m de profundidade) e em dois afloramentos BAS 10 e BAS 12. A preparação das amostras envolveu o uso de um cinzel na desagregação física dos folhelhos em fragmentos de 1-2 mm. Essa técnica permite a identificação e recuperação de elementos, reduzindo o risco de fraturas mesmo nos elementos mais frágeis. Todos os fragmentos foram analisados, resultando na recuperação de elementos plataformados, elementos ramiformes e moldes de plataformados e ramiformes (Fig. 4). Os fragmentos resultantes sem conodontes na superfície foram colocados em recipientes plásticos com peróxido de hidrogênio para dissolução dos resíduos. As amostras ficaram submersas em uma solução de concentração de 90% de água e 10% de peróxido de hidrogênio por três horas, até a reação cessar. Alguns elementos foram recuperados.

Os conodontes foram fotografados em microscópio Leica S8 APO com câmera acoplada, usando luz incidente e ampliações de 80x a 160x e no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) do Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS. Os conodontes encontrados foram catalogados e armazenados na coleção paleontológica do LACONF.

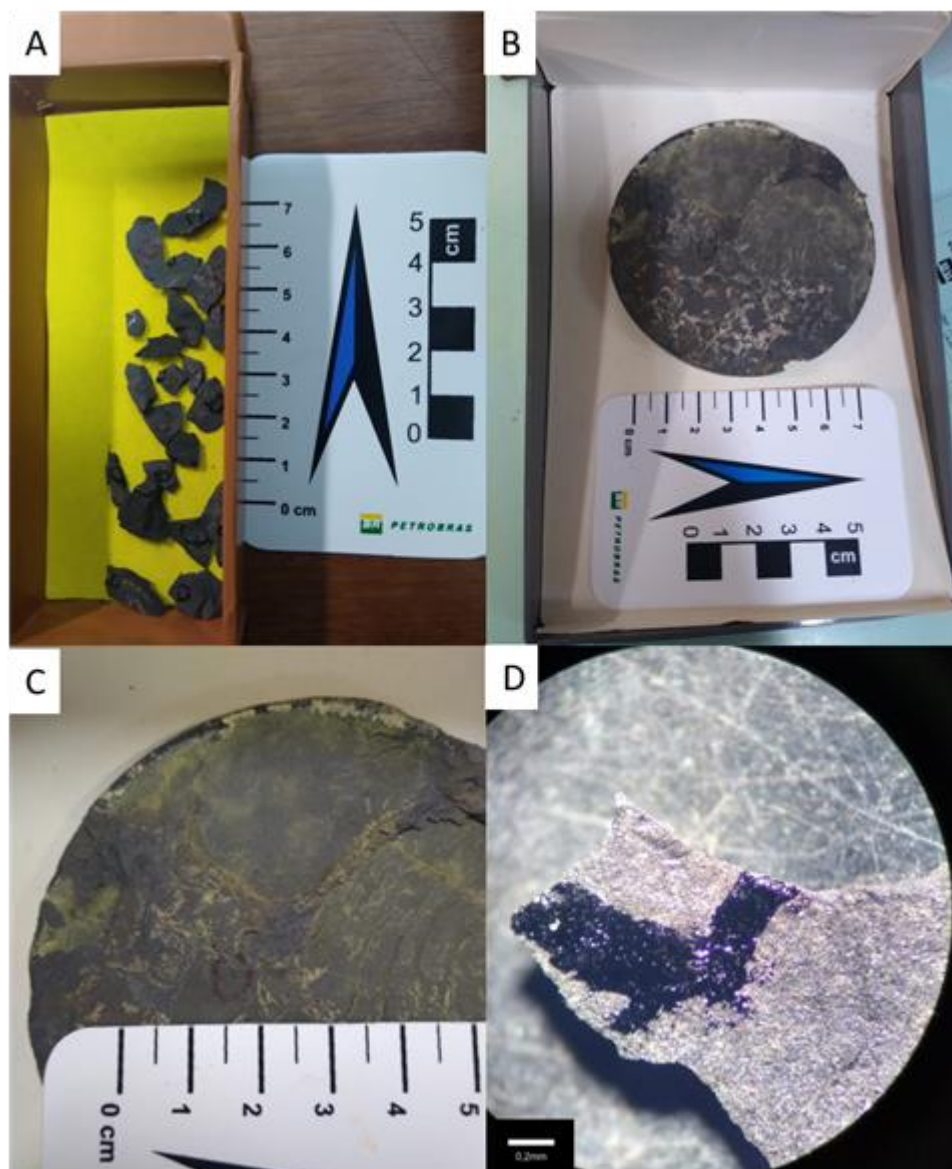


Figura 4: Processamento das amostras. A) Material desagregado e com a marcação dos elementos conodontes. B-C) Testemunho do poço 1RX 1AM, com a marcação de um elemento conodonte. D) Detalhe de um molde de elemento conodonte ramiforme.

## 6. RESULTADOS

O poço 1 RX 1AM resultou em um total de cinco elementos P1, nove elementos P2, 82 elementos ramiformes e 190 moldes atribuídos a *Polygnathus* sp., um elemento P2 de *Ligonodina?* sp., 12 elementos P2 de *Prioniodina* sp. No afloramento BAS 10, um elemento P2 atribuído a *Polygnathus* sp. representando um polignatídeo avançado, e três ramiformes, e 12 moldes determinados como *Cryptotaxis* sp. foram recuperados. Um espécime graptolito (monograptídeo) foi coletado do afloramento BAS 12 (Tabela 1).

Em estudos anteriores, um total de 61 elementos conodontes e 76 moldes foram atribuídos a *Polygnathus* sp., *Cryptotaxis* sp., *Mehlina gradata*, *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni* e *Prioniodina* sp. na Bacia do Amazonas foram relatados por Cardoso et al. (2015).

Em comparação com o Devoniano da Bacia do Solimões, Hünicken et al. (1988) relataram os seguintes elementos conodontes: nove elementos P1, P2 e cinco elementos ramiformes de *Pandorinellina* sp., quatro elementos ramiformes de *Parapolygnathus* sp., três elementos ramiformes de *Hibbardella* sp., um elemento P, P2 e um elemento ramiforme de *Polygnathus* sp., e nove elementos P1, P2 e três elementos ramiformes de *Cryptotaxis* sp.

As amostras analisadas neste estudo são do mesmo poço estudado por Cardoso et al. (2015), utilizando uma técnica mais adequada para obtenção de elementos conodontes dos folhelhos negros. Com a aplicação desta técnica, elementos plataformados de *Polygnathus* sp. foram recuperados. Também foram recuperados elementos ramiformes bem preservados e completos.



## 6.1 Sistemática Paleontológica

Família Polygnathidae Bassler, 1925

Gênero *Polygnathus* Hinde, 1879

*Polygnathus* sp.

Descrição: Elemento S0 (Fig. 5 E-G; Fig. 6 A-J e M; Fig. 7 A, C, D, G, I e L; Fig. 8 A-C, G-K, S; Fig. 10 A, C e Fig. 11 A-C, E). Lâmina longa, fortemente curvada na porção da cavidade basal. Cúspide grande e robusta, curvada em sua cavidade basal. A cúspide é inclinada posteriormente. No processo anterior, a lâmina é composta por uma sequência de dentículos separados e robustos, de comprimentos variáveis, inclinados posteriormente. No processo posterior da barra, é composto por uma sequência trimodal de dentículos separados. Os dentículos são robustos e retos. No processo mais posterior, os dentículos maiores são ligeiramente curvados na base e ligeiramente inclinados anteriormente.

Descrição: Elemento S3 (Fig. 5 L-O; Fig. 6 K-N; Fig. 7 B, E; Fig. 9 B-R; Fig. 10 B, D, F). Processo posterior geralmente longo, reto e fortemente curvado no processo anterior. Cúspide reta, fina e longa, inclinada posteriormente. Os dentículos são separados e ocorrem como uma alternância bimodal. No processo anterior da lâmina existem 2 a 4 sequências de dentículos retos e inclinados posteriormente; cada sequência é composta por uma série de 3-5 dentículos menores combinados com dentículos maiores adjacentes. No processo posterior, a lâmina é composta por sequências de 11 dentículos retos, inclinados posteriormente; cada sequência é composta por 4-7 dentículos menores combinados com dentículos maiores adjacentes.

Descrição: Elemento P2 (Fig. 5 H-L; Fig. 8 K-N e Fig. 10 G). Barra denticulada; os dentículos são curtos, retos, arredondados, robustos e quase homogêneos, parcialmente fundidos e inclinados posteriormente.

Descrição: Elemento P1 (Fig. 10 H - L). Se preservada, a lâmina livre terá  $\frac{3}{4}$  do comprimento da plataforma. A lâmina se funde na parte central da plataforma e continua como uma carena nodosa, parcialmente fundida e levemente curvada que se estende até a extremidade posterior. Possui dois parapeitos ornamentados com nervuras transversais que se prolongam até aos sulcos adcarinais. No parapeito externo, as cristas podem dividir-se em nódulos na porção

posterior. O parapeito interno da porção posterior é ornamentado com nodulos moldados aleatoriamente.

Família *Prioniodinidae* Bassler, 1925

Gênero *Prioniodina* Sweet, 1988

*Prioniodina* sp.

Descrição: Elemento P2 (Fig. 5 A-D; Fig. 8 D-H; Fig. 11 D). Elemento curvo, numerosos dentículos subparalelos, barra arredondada e inclinada. O dentículo maior fica na porção intermediária da barra, esse dentículo é longo, reto e com base arredondada.

Família *Prioniodinidae* Bassler, 1925

Gênero *Prioniodina* Sweet, 1988

*Ligonodina?* sp.

Descrição: Elemento P2 (Fig. 10 E). Barra denticulada, levemente curvada na porção central do elemento. Cúspide longa e ligeiramente curvada. Na porção anterior os dentículos são retos; os maiores dentículos são encontrados na porção média da porção anterior.

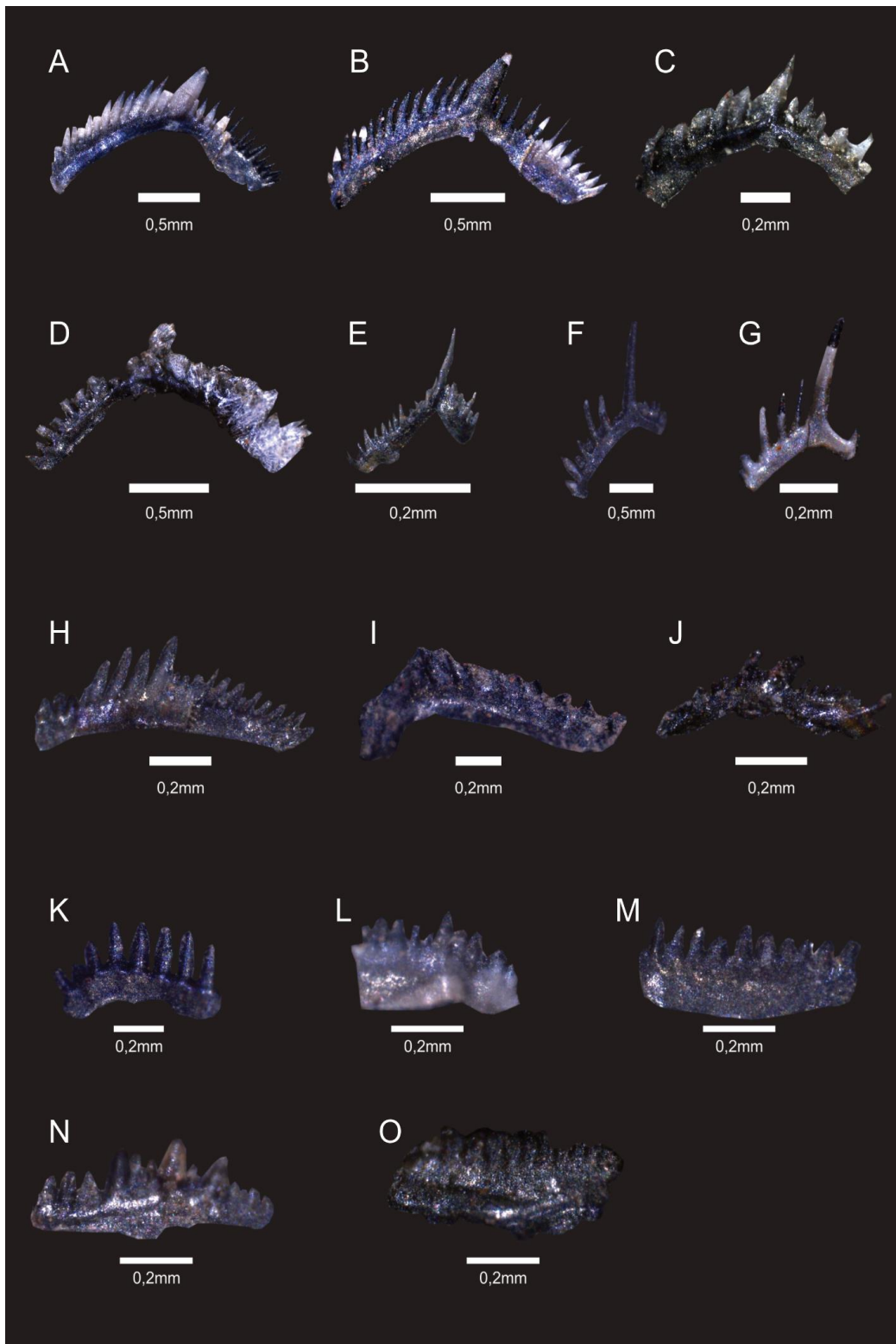


Figura 5: Espécies de *Prioniodina* sp. Bassler (1925), elementos P2: A, MP-M 1740; B, MP-M 1741; C, MP-M 1742; D, MP-M 1743. Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde (1879), elementos S0: E, MP-M 1744; F, MP-M 1745; G, MP-M 1746; K, MP-M 1750. Elementos S3: L, MP-M 1751; M MP-M 1752; N, MP-M 1753; O, MP-M 1754. Elementos P2: H, MP-M 1747; I, MP-M 1748; J, MP-M 1749. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem.

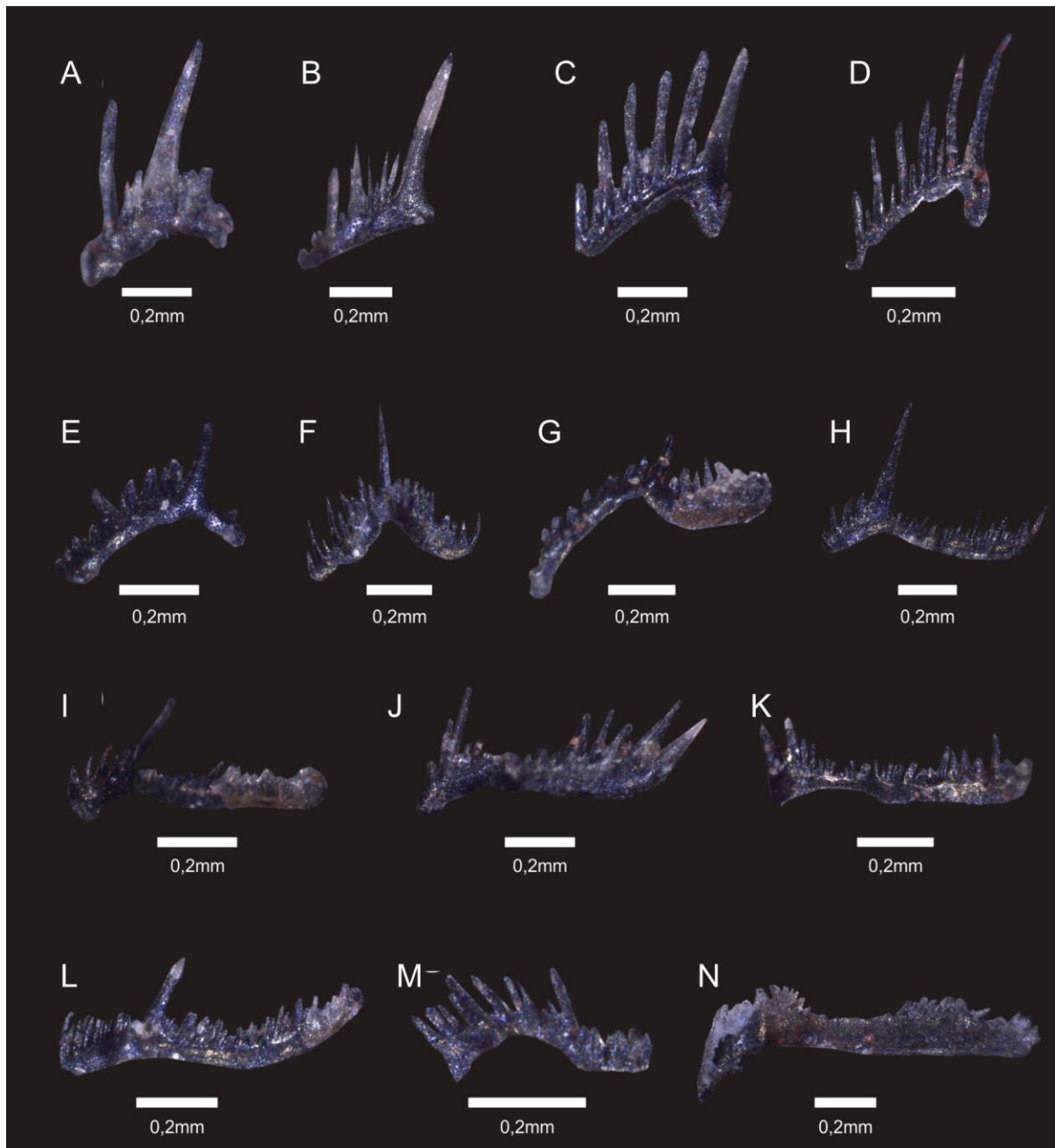


Figura 6: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1755; B, MP-M 1756; C, MP-M 1757; D, MP-M 1758; E, MP-M 1759; F, MP-M 1760; G, MP-M 1761; H, MP-M 1762; I, MP-M 1763; J, MP-M 1764. Elementos S3: K, MP-M 1765; L MP-M 1766; M, MP-M 1767; N, MP-M 1768. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem.



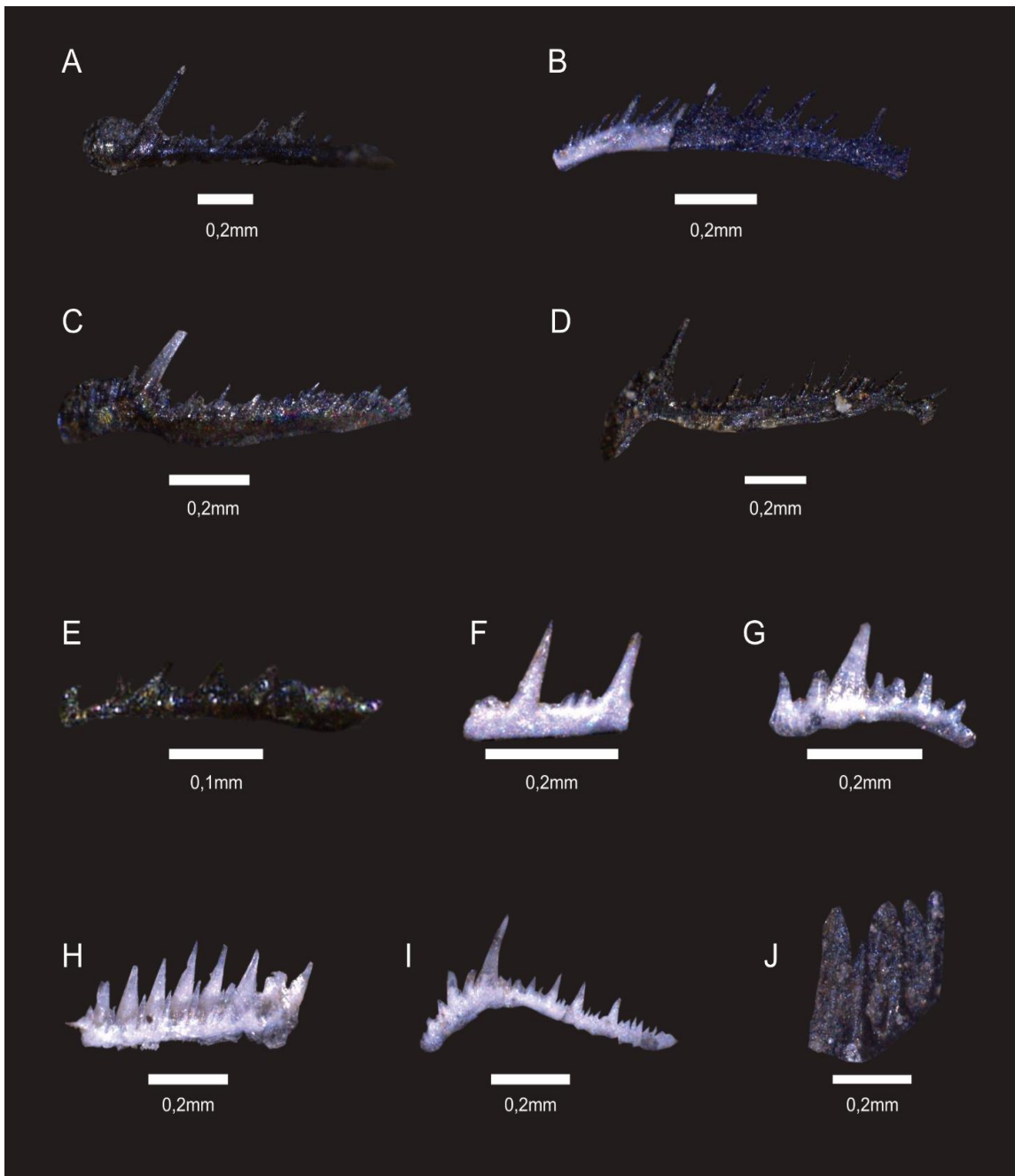


Figura 7: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde (1879), elementos S0: A, MP-M 1769; C, MP-M 1771; D, MP-M 1772; F, MP-M 1774; G, MP-M 1775; H, MP-M 1776 ;I, MP-M 1777;. Elementos S3: B, MP-M 1770; E MP-M 1773. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem.

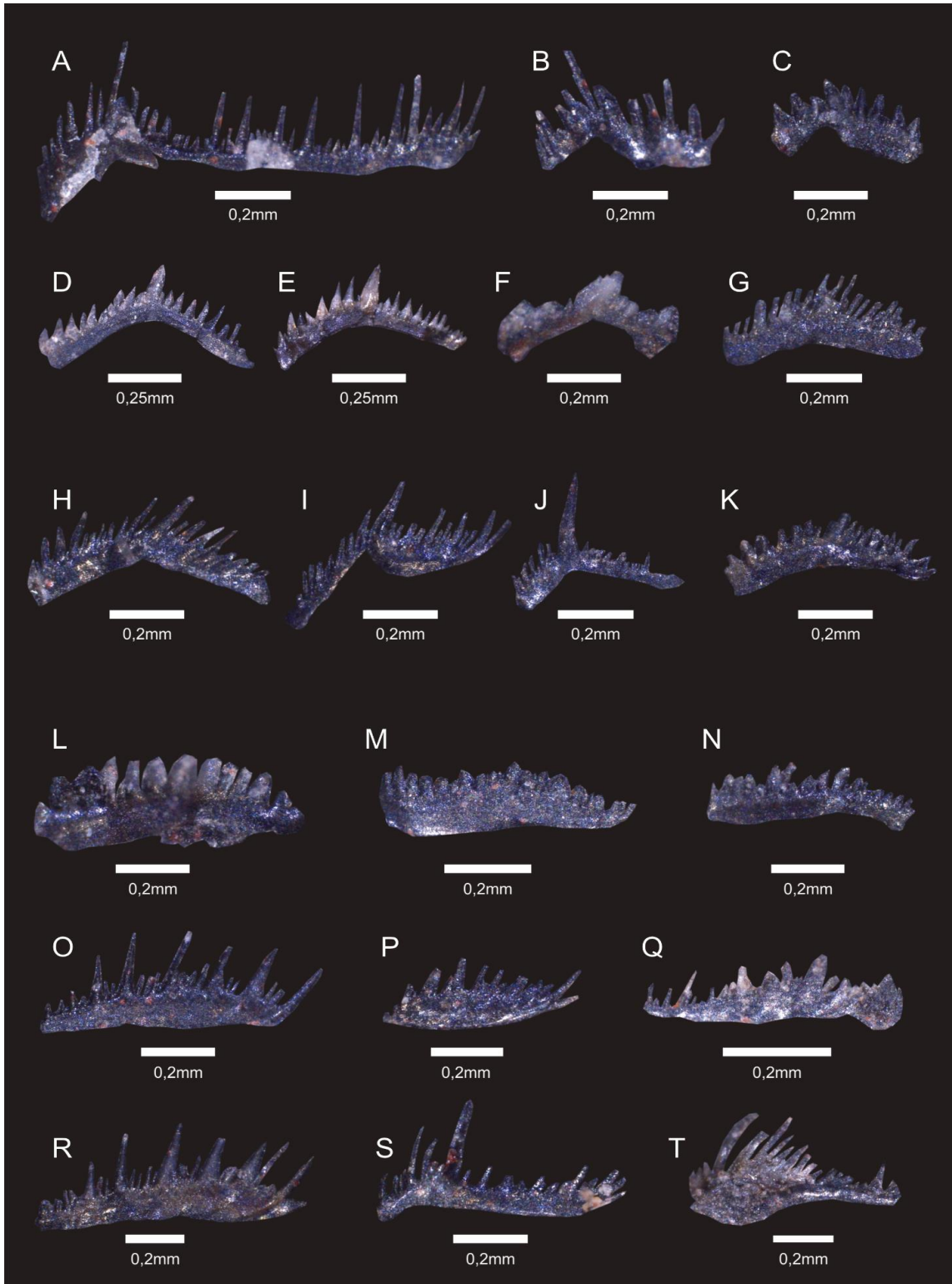


Figura 8: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1782; B, MP-M 1783; C, MP-M 1784; G, MP-M 1788; H, MP-M 1798; I, MP-M 1790; J, MP-M 1791; O, MP-M 1796; P, MP-M 1797; Q, MP-M 1798; R, MP-M 1799; S, MP-M 1800; T, MP-M 1801. Elementos P2: K, MP-M 1792; L, MP-M 1793; M, MP-M 1794; N, MP-M 1795. Espécies de *Prioniodina* sp. Bassler (1925), elementos P2: D, MP-M 1785; E, MP-M 1786; F, MP-M 1787. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem.

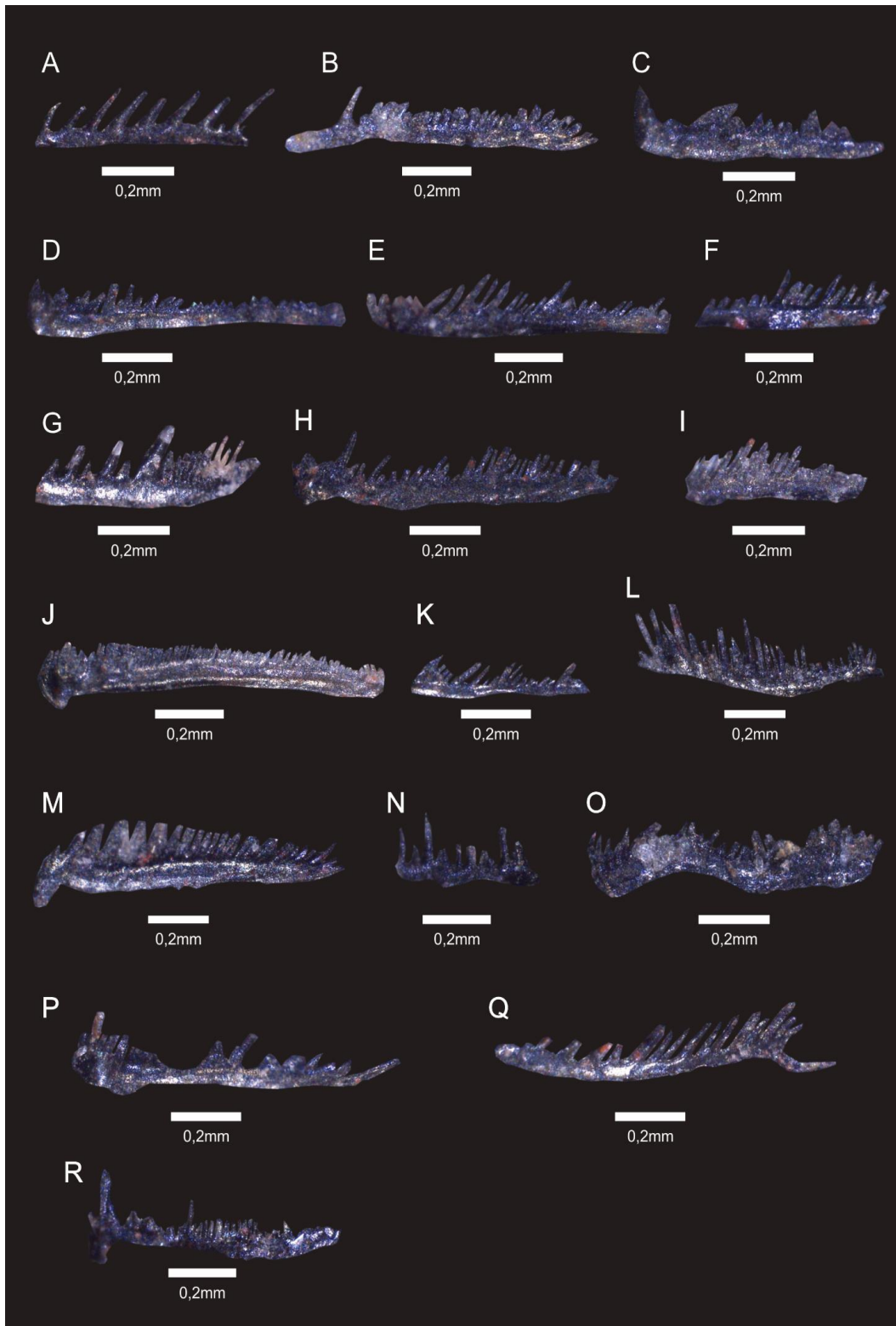


Figura 9: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1802; K, MP-M 1812; N, MP-M 1815; Q, MP-M 1818; R, MP-M 1819. Elementos S3: B, MP-M 1803; C, MP-M 1804; D, MP-M 1805; E, MP-M 1806; F, MP-M 1807; G, MP-M 1808; H, MP-M 1809; I, MP-M 1810; J, MP-M 1811; L, MP-M 1813; M, MP-M 1814; O, MP-M 1816; P, MP-M 1817. Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em microscópio Leica S8 APO, ampliações de 80x a 160x. Escala na imagem.

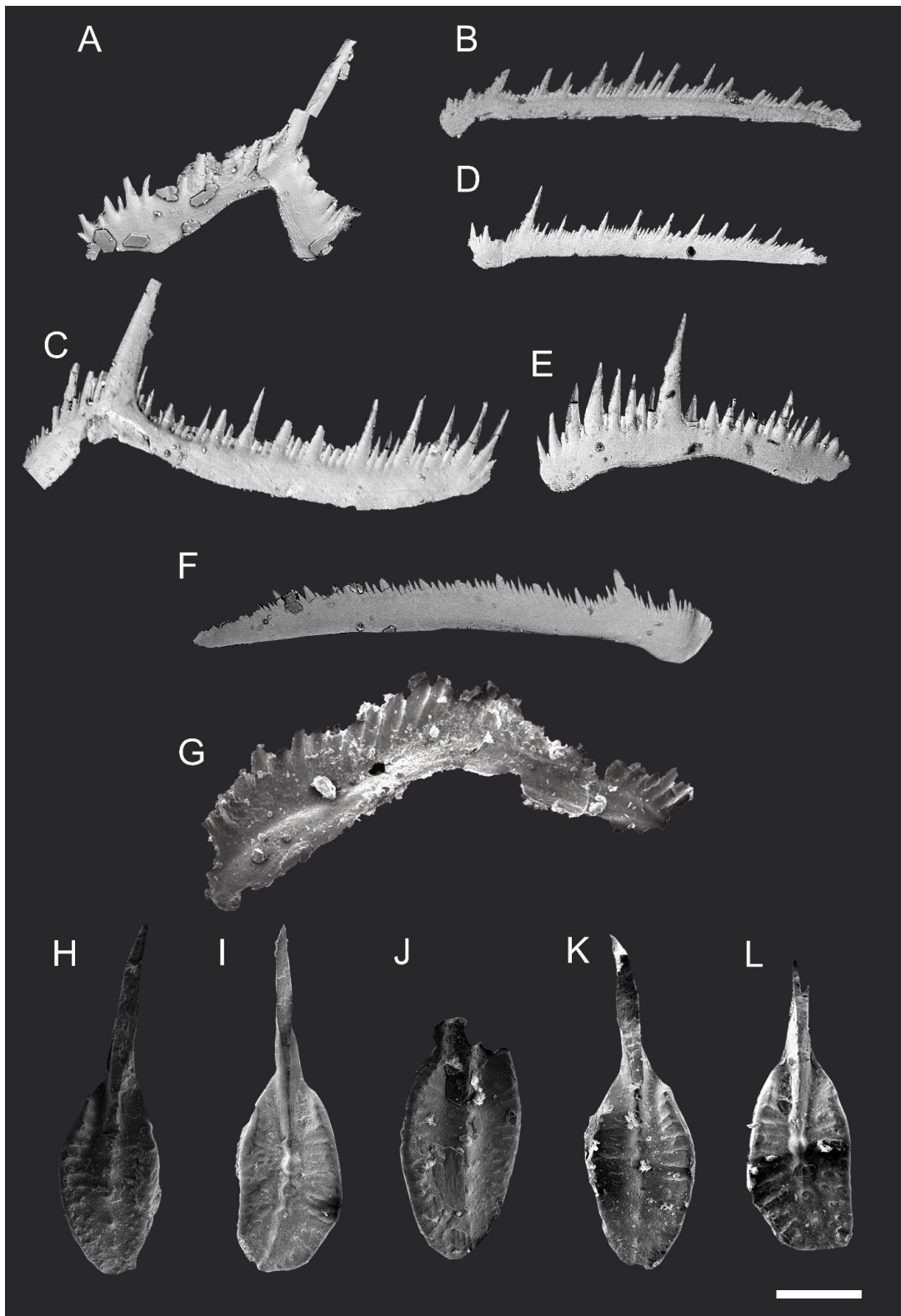


Figura 10: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde, (1879), elementos S0: A, MP-M 1820; C, MP-M 1822. Elementos S3: B, MP-M 1821; D MP-M 1823; F, MP-M 1825. Elementos P2: G, MP-M 1826. Elementos P1: H, MP-M 1827; I, MP-M 1828; J, MP-M 1829; K, MP-M 1830; L, MP-M 1831. *Ligonodina?* sp. Bassler (1925). Elemento P2: E MP-M 1824 Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em MEV. Escala na imagem de 200  $\mu$ m.

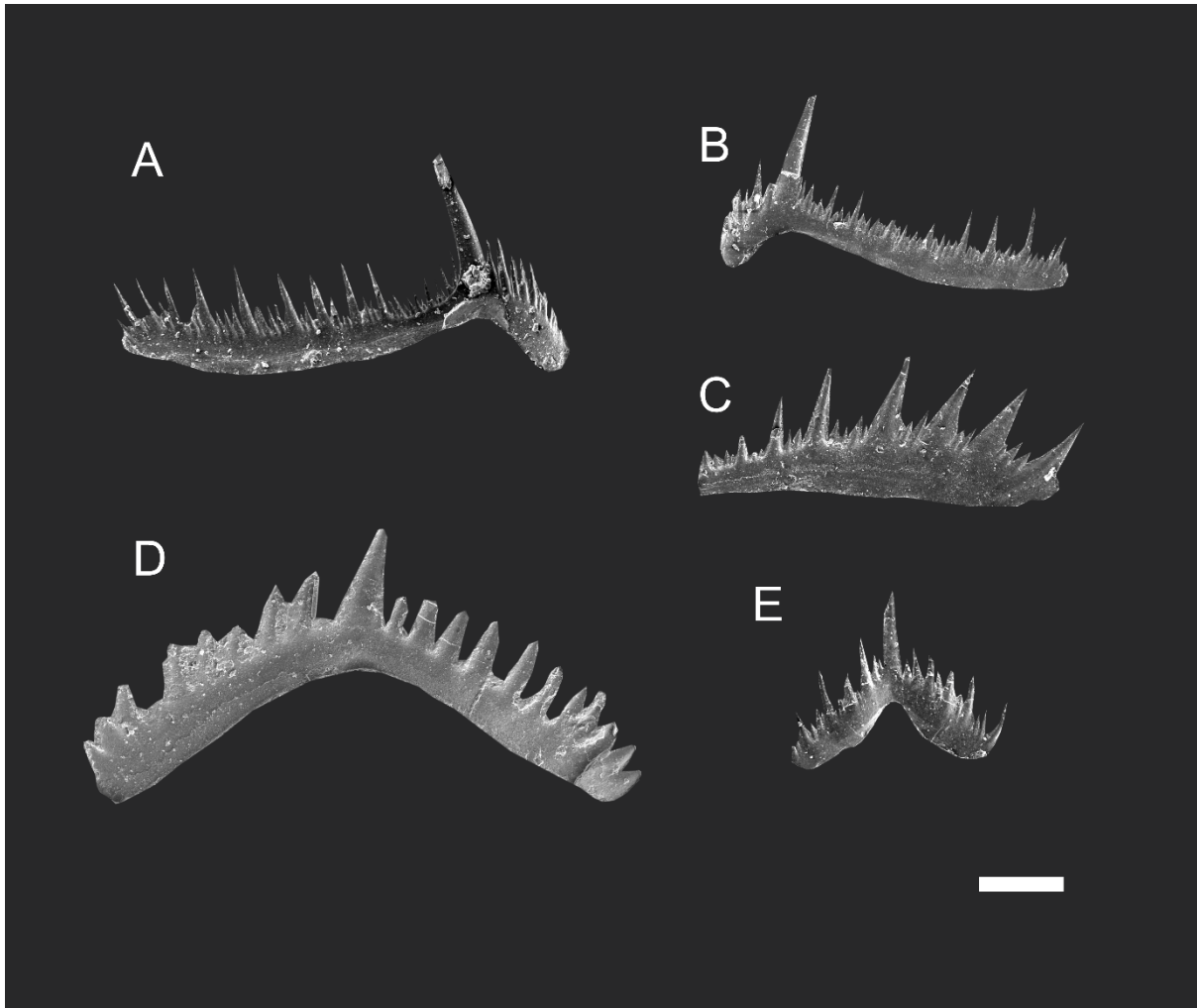


Figura 11: Espécies de *Polygnathus* sp. Hinde (1879). Elementos S0: A, MP-M 1832; B, MP-M 1833; C, MP-M 1834; E, MP-M 1836. Espécies de *Prionodina* sp. Bassler (1925), elementos P2: D, MP-M 1835; Todos provenientes do poço 1RX 1AM, Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas, Brasil. Fotomicrografia em MEV. Escala na imagem de 200  $\mu$ m.

## 7. DISCUSSÕES

Segundo Cooper & Scotese (2003), a maior parte das plataformas marinhas do noroeste do Gondwana representavam áreas de clima frio, recobertas por sedimentos siliciclásticos e faunas de clima frio a temperado no Devoniano Inferior. Plataformas carbonáticas e recifes estavam ausentes, exceto nas latitudes de 45° a 30°S ao redor do cinturão de Mauritânia-Marrocos na Argélia, no Emsiano. No Eifeliano e início do Givetiano trechos de recifes de corais e estromatoporóides, sugerem águas superficiais relativamente quentes no Devoniano Médio, apesar das altas latitudes (Cooper & Scotese, 2003). No entanto, os recifes desapareceram completamente no noroeste de Gondwana durante o Frasniano e Famenniano. Os eventos de extinção nos depósitos marinhos foram definidos com base nas mudanças faunísticas, marcadas pelo desaparecimento de famílias e gêneros suscetíveis as mudanças climáticas que estavam ocorrendo naquele período (House, 2002).

A localização do Gondwana em altas latitudes não permitiu a formação de carbonatos e formações salinas durante a maior parte do Paleozóico e neste cenário, um mar interior frio e anóxico desenvolveu-se na porção ocidental do Gondwana, na América do Sul. A paleobiogeografia e a paleoecologia não fornecem evidências consistentes para comparação com modelos paleoambientais usados em áreas de baixa latitude onde *Polygnathus* e *Cryptotaxis* estão associados a outros táxons como *Palmatolepis* e *Icriodus* (Sandberg e Dreesen, 1984), usados para reconhecer biofácies. *Palmatolepis* e *Icriodus* não estão presentes nas bacias paleozóicas brasileiras, provavelmente devido a fatores climáticos.

A transgressão máxima registrada nesse mar no oeste do Gondwana, está relacionada à deposição de folhelhos negros radioativos nas bacias do Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná (Melo, 1989, Pereira et al., 2007). Eventos transgressivos globais e até mesmo o efeito estufa podem ser a causa desses folhelhos negros depositados entre o Frasniano e o Famenniano (Harris et al., 2013).

A sedimentação da Formação Barreirinha ocorreu em um contexto transgressivo permitindo a ligação entre as bacias Madre de Deus e Solimões (Over et al., 2009). A ligação entre essas bacias intracratônicas permitiu que os conodontes alcançassem a Bacia do Amazonas, passando pelo topo do Arco de Purus durante o Frasniano (Fig. 12). Os conodontes poderiam ter chegado através da principal abertura marinha devoniana na borda nordeste da bacia, pelo Oceano Pantalassa (Melo, 1989). De acordo com Scotese et al. (1999) e Torsvik

&Cocks (2004), no Devoniano Inferior ao Médio, o Reino Malvinocáfrico de alta latitude apresentava águas temperadas frias. Durante o Devoniano Superior, as condições de *Icehouse* começaram a predominar. Os diamictitos Fammenianos de Jandiatuba estendem-se por ampla área da Bacia do Solimões. Isto sugere que o depósito da Bacia do Solimões estava sob condições glaciomarinhas a glaciais (Caputo et al., 2008).

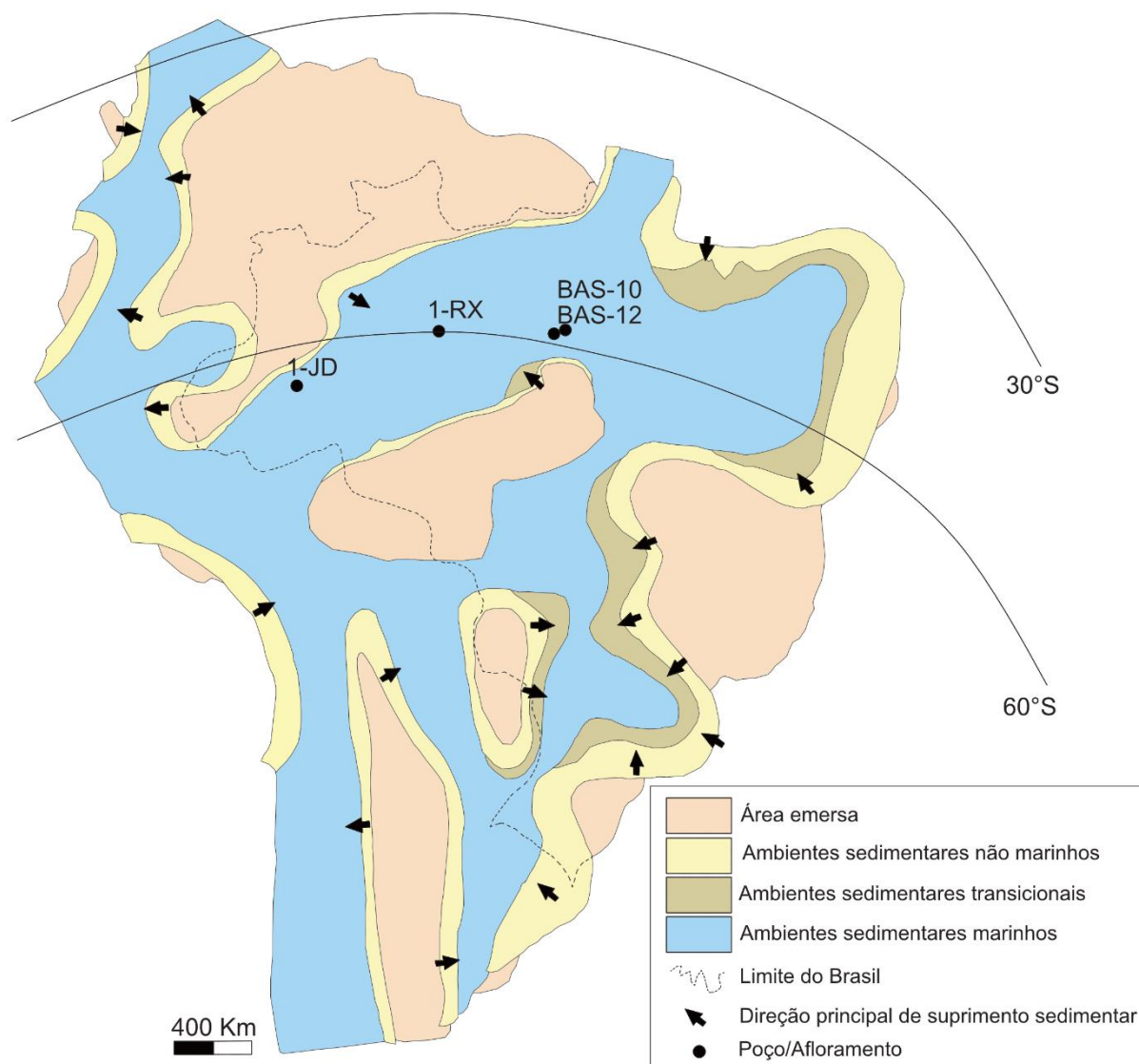


Figura 12: Mar Devoniano na plataforma sul-americana. Modificado de Almeida & Carneiro (2004).

De acordo com Becker et al. (2020) os eventos anóxicos e faunísticos são mais graduais e expressos em pulsos e as correlações inter-regionais de cada pulso dentro de um evento não são facilmente identificáveis. Os folhelhos negros da Formação Barreirinha constituem um pacote de aproximadamente 100 m de estratos que ainda não foi correlacionado com qualquer

pulso de extinção do Frasniano-Famenniano . Faltam conodontes consistentes para uma correlação robusta com outras partes do mundo devido à ausência de muitos táxons importantes, como *Palmatolepis* e *Icriodus*. Nos modelos de biofácies de conodontes do Devoniano Superior, *Palmatolepis* representam fácies *off-shore* e de águas profundas e ocorrem amplamente em ambientes de plataformais, enquanto as biofácies de *Icriodus* são restritas a condições próximas à costa.

Condições climáticas mais quentes na América do Sul são registradas com o movimento do oeste de Gondwana em direção ao norte. Este movimento para baixas latitudes pode estar relacionado à transgressão marinha que eliminou muitos táxons Malvinocáfricos, permitindo a migração dos táxons da porção sul da Euramérica para a América do Sul (Isaacson, 2007). Os palinomorfos do Devoniano Médio e Superior na Argentina, Bolívia e Brasil incluem espécies cosmopolitas e restritas que combinadas com palinofloras terrestres sugerem clima temperado (Di Pasquo et al. 2009; Di Pasquo et al. 2015; Matsumura et al. 2023).

As amostras analisadas neste estudo são do mesmo poço analisado por Cardoso et al. (2015), os quais optaram pela utilização de métodos mecânicos (britagem das amostras) para obtenção de conodontes em folhelhos. Contudo no presente estudo foi aplicada técnica de abertura das amostras em placas, proporcionando a recuperação de espécimes inteiros auxiliando na identificação de táxons de difícil classificação. Alguns elementos descritos por Cardoso et al. (2015) provavelmente foram identificados erroneamente como *Mehlina gradata* e *Polygnathus* sp. De acordo com Dzik et al. (2022), estes elementos pertencem a *Branmehla* spp. que dominou a fauna Famenniana de alta latitude da Amazônia. A assembleia com *Branmehla inornata* e *Dasbergina stabilis* sugere um ambiente de água fria (Dzik et al. 2022).

Na Bacia do Solimões os conodontes são associados a abundantes escamas de peixes. Hunicken et al (1988) e Isaacson (2007) sugerem que essas escamas pertençam a peixes actinoptérigeos de idade devoniana. Não há vestígios de peixes ou outra fauna associada no material aqui analisado. Na Bacia do Amazonas foram encontradas fauna associada de graptolitos, organismos coloniais exclusivamente marinhos e que tinham hábitos plantônicos e bentônicos. São importantes marcadores bioestratigráficos do Devoniano e as formas plantônicas foram entintas no Emsiano (Lenz, 2013). As formas bentônicas aparecem até o Carbonífero. Ainda não foi possível determinar a espécie do monograptideo encontrado no afloramento BAS 12.



Hünicken et al. (1988) descreveu *Polygnathus* sp. e *Cryptotaxis* sp., bem como os gêneros *Pandorinellina* sp., *Parapolygnathus* sp. e *Hibbardella* sp. em um poço na Bacia do Solimões. Cardoso et al. (2015), além do registro de *Polygnathus* sp. e *Cryptotaxis* sp., registraram *Mehlina gradata* e *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni* na Bacia do Amazonas. Todos os táxons foram encontrados em folhelhos negros Devonianos característicos de altas latitudes, demonstrando a capacidade desses táxons de se adaptarem a diferentes condições ambientais.

Segundo Cardoso et al. (2015) o desaparecimento dos conodontes do Membro Urubu, terço superior da Formação Barreirinha coincide com a sedimentação dos folhelhos depositados em ambiente mais oxigenado com diluição siliciclástica. Porém, neste estudo, espécimes de conodontes foram recuperados de uma fina camada siliciclástica intercalada em folhelhos negros no afloramento BAS 10.

Os gêneros de conodontes *Polygnathus* e *Cryptotaxis* encontrados na Bacia do Amazonas e na Bacia do Solimões sugerem adaptação a um ambiente marinho de água temperada a fria e a existência de um extenso mar intracratônico durante o Devoniano conectando essas bacias.

## 8. CONCLUSÕES

A sedimentação caracterizada por folhelhos negros durante o Devoniano nas bacias do Amazonas e Solimões é atribuída aos episódios de transgressão que ocorreram em todo o mundo durante esse período.

Durante a maior parte do Devoniano o Gondwana estava localizado em latitudes elevadas no hemisfério sul, os conodontes habitavam os mares frios do Devoniano, com a ausência de organismos característicos de águas quentes, como corais. Também ausentes nos mares paleozoicos brasileiros são formações salinas e depósitos de calcário, assim como a fauna de conodontes comum em latitudes baixas e climas mais quentes.

Os folhelhos negros do poço 1RX 1AM e os afloramentos BAS 10 e BAS 12 representam os eventos transgressivos e os conodontes são referidos às águas pelágicas. Os gêneros *Polygnathus* e *Cryptotaxis* são os táxons mais comuns no Devoniano das bacias paleozoicas do norte do Brasil, ocorrendo na Bacia do Amazonas e na Bacia do Solimões. A associação de conodontes fornece uma idade confiável para os depósitos de folhelhos negros no Frasniano/Famenniano.

Os modelos paleoambientais estabelecidos para regiões de baixas latitudes não são aplicáveis nas bacias paleozoicas do Gondwana Ocidental, onde o clima era mais frio e sem deposição de carbonatos e com uma fauna de conodontes provinciana.

Conodontes e graptolitos constituem os grupos de microfósseis mais importante para o Paleozoico inferior. A presença de graptolitos no afloramento BAS 12 pode auxiliar na bioestratigrafia e estudos mais aprofundados estão sendo desenvolvidos nesse sentido.

O estudo de conodontes devonianos nas bacias do Amazonas e Solimões tem sido prejudicado pela escassez de afloramentos e dificuldade de obtenção de amostras de poços desta idade.

Através das informações obtidas dos conodontes que viveram em áreas de altas latitudes, como na região amazônica, durante o Devoniano, será possível avaliar as respostas ambientais às mudanças climáticas nessas regiões, adicionando novos dados aos já existentes em ambientes de baixas latitudes.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida F., & Carneiro C. 2004. Inundações marinhas fanerozoicas no Brasil e recursos minerais associados. In: Mantesso V., Bartorelli A., Carneiro C., Brito B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, p. 43-58.

Ashouri, A. R. 2006. *Icriodus* and *Polygnathus* (Conodonts) from the Late Devonian of Eastern Iran, and Middle - Late Devonian. *J SUT*. 32(2):39–67.

Balter, V., Renaud, S., Girard, C., Joachimski, M. M. 2008. Record of climate-driven morphological changes in 376 Ma Devonian fossils. *Geology* 36, 907–910.

Bassler, R. S. 1925. Classification and stratigraphic use of the conodonts. *Geological Society of America Bulletin*, 36, 218-220.

Becker, R. T., Königshof, P., & Brett, C. E. 2016. Devonian climate, sea level and evolutionary events: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 423(1), 1-10.

Becker, R. T., Marshall, J. E. A., da Silva, A. C., 2020. The Devonian Period. In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmidt, M.D., Ogg, G.M. (Eds.), *Geologic Time Scale 2020*, 1st edition. Elsevier, pp. 733–810. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X>.

Benedetto, J. L. 2010. El continente de Gondwana a través del tiempo. *Una introducción a la Geología Histórica*, 329-365.

Briggs, D. E. G., Clarkson, E. N. K. & Aldridge, R. J. 1983. The conodont animal. *Lethaia* 16, 1-14.

Caputo, M. V. 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. University of California, Santa Barbara, 582.

Caputo, M. V., de Melo, J. H. G., Streeb, M., Isbell, J. L., Fielding, C. R. 2008. Late Devonian and early Carboniferous glacial records of South America. *Geological Society of America Special Papers*, 441, 161-173.

Caputo, M. V., & Soares, E. A. A. 2016. Eustatic and tectonic change effects in the reversion of the transcontinental Amazon River drainage system. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 301-328.

Cardoso, C. N., Sanz-Lopez, J., Blanco-Ferrera, S., Lemos, V. B., Scmazzon, A. K. 2015. Frasnian conodonts at high paleoaltitude (Amazonas Basin, North Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 418, 57-64

Copper, P., & Scotese, C. R., 2003. Megareefs in Middle Devonian supergreenhouse climates. *Geological Society of America Special Paper*, 370, 209–230.

Costa, A. 2002. Tectônica Cenozóica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da América do Sul, Caribe, Cocos e Nazca. Belém. CG/UFGA. Dissertação de Mestrado. 238p.

Cunha, P. R. C., Gonzaga, F. G., Coutinho, L. F. C., Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8, p. 47-55.

Cunha, P. R. C., 2000. Análise estratigráfica dos sedimentos eo/mesoDevonianos da porção ocidental da Bacia do Amazonas sob a ótica da estratigrafia de sequências no interior cratônico. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Thesis, 263 p.

Cunha, P., Melo, J., & Silva, O. 2007. Bacia do Amazonas, *Boletim de Geociências*. Manaus. PETROBRÁS. 15. n2. 227 – 254p.

Di Pasquo, M., Amenábar, C. R., Noetinger, S. 2009. Middle Devonian microfloras and megaflores from western Argentina and southern Bolivia: their importance in the palaeobiogeographical and palaeoclimatic evolution of western Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications*, 314(1), 193-213.

Di Pasquo, M., Noetinger, S., Isaacson, P., Grader, G., Starck, D., Morel, E., Fohnagy, H. A. 2015. Mid-Late Devonian assemblages of herbaceous lycophytes from northern Argentina and Bolivia: Age assessment with palynomorphs and invertebrates and paleobiogeographic importance. *Journal of South American Earth Sciences*, 63, 70-83.

- Du, Y., Chiari, M., Karádi, V., Nicora, A., Onoue, T., Pálffy, J., Roghi, G., Tomimatsu, Y., Rigo, M. 2020. The asynchronous disappearance of conodonts: New constraints from Triassic-Jurassic boundary sections in the Tethys and Panthalassa. *Earth-Science Reviews*, 203, 103176.
- Dzik, J., Phong, N. D., Thuy, N. T., Świś, P. 2022. Evolution and migration of conodonts and ammonoids near the end of Devonian recorded in distant localities. *Stratigraphy*, 19(1). <https://doi.org/10.29041/strat.19.1.02>
- Geitgey, J. E., & Carr, T. R., 1987. Temperature as factor affecting conodont diversity and distribution. In: Austin, R.L. (Ed.), *Conodonts: investigative techniques and applications* British Micropalaeontological Society Series. Ellis Horwood Limited, Chichester, pp. 241–255.
- Ginot, S., & Goudemand, N. 2020. Global climate changes account for the main trends of conodont diversity but not for their final demise. *Global and Planetary Change*, 195, 103325.
- Goudemand, N., Orchard, M.J., Urdy, S., Bucher, H., Tafforeau, P., 2011. Synchrotronaidd reconstruction of the conodont feeding apparatus and implications for the mouth of the first vertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 108, 8720–8724.
- Harris, N. B., Munich, C. A., Selby, D., Korn, D. 2013. Minor and trace element and Re–Os chemistry of the Upper Devonian Woodford Shale, Permian Basin, west Texas: insights into metal abundance and basin processes. *Chemical Geology*, 356, 76–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.07.018>.
- Hinde, N. S. 1879. On conodonts from the Chazy and Cincinnati groups of the Cambro-Silurian, and from the Hamilton and Genesee-Shale divisions of the Devonian in Canada and the United States. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 35, 351-369.
- House, M. R. 2002. Strength, timing, setting, and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 181, 5–25. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00471-0](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00471-0).
- Huang, C., & Gong, Y. M. 2016. Timing and patterns of the Frasnian–Famennian event: evidences from high-resolution conodont biostratigraphy and event stratigraphy at the Yangdi section, Guangxi, South China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.* 448:317–338. [doi:10.1016/j.palaeo.2015.10.031](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.10.031).

Hünicken, M. A., Melo, J. H. G., Lemos, V. B. 1988. Devonian Conodonts from the Upper Carboniferous of Amazon Basin, Northwestern Brazil. In: McMillan, N.J.; Embry, A.F.; Glass, D.J., eds., *Devonian of the World*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 14. Calgary, 3, 479-483.

Isaacson, P. E. 2007. Mid-Paleozoic biogeography of the Central Andes: endemic faunas, immigrants, and paleogeography. In: Díaz-Martínez, E., Rábano, I. (Eds.), *4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America Cuadernos del Museo Geominero 8*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 213–218.

Isaacson, P. E., Díaz-Martínez, E., Grader, G. W., Kalvoda, J., Bábek, O., Devuyt, F. X. 2008. Late Devonian–earliest Mississippian glaciation in Gondwanaland and its biogeographic consequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 268(3-4), 126-142.

Ji, Q. 2004. On the change of conodonts near the Devonian-Carboniferous boundary. *Prof Pap Stratigr Paleontol.* 28. 111–123.

Joachimski, M. M., Breisig, S., Buggisch, W., Talent, J. A., Mawson, R., Gereke, M., Morrow, J. R., Day, J., Weddige, K., 2009. Devonian climate and reef evolution: insights from oxygen isotopes in apatite. *Earth Planet. Sci. Lett.* 284, 599–609.

Klapper, G., & Johnson, J. G. 1980. Endemism and dispersal of Devonian conodonts. *Journal of Paleontology*, 400-455.

Lenz, A.C., 2013. Early Devonian graptolites and graptolite biostratigraphy, Arctic Islands, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 50, 1097–1115.

Matsuda, N. S., Winter, W. R., Wanderley Filho, J. R., Cacela, A. S. M. O. 2010. Paleozóico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós – Estado do Pará. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 18, p. 123-152.

Matsumura, W. M. K., Di Pasquo, M., Iannuzzi, R., Bosetti, E. P. 2023. *Plant Diversification Through the Devonian in Brazil*. In *Brazilian Paleofloras: From Paleozoic to Holocene*. Springer International Publishing, 236 p.

Melo, J. H. G. de. 1989. The Malvinokaffric Realm in the Devonian of Brazil. In: McMillan, N.J., Embry, A.F., Glass, D.J. (Eds.), *Devonian of the World*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 14. 1, 669–703 (imprint 1988).

- Melo, J. H. G., & Loboziak S. 2003. Devonian-Early Carboniferous miospore biostratigraphy of the Amazon Basin, northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 124:131-202.
- McGhee, G. R. J. 1996. *The Late Devonian Mass Extinction - The Frasnian/Famennian Crisis*. Columbia University Press, New York.
- Over, D. J., de la Rue, S., Isaacson, P. E., Ellwood, B. 2009. Upper Devonian conodonts from black shales of the high latitude Tomachi Formation, Madre de Dios Basin, northeastern Bolivia. *Palaeontographica Americana*, 62, 89–95.
- Pereira, E., Bergamaschi, S., Rodrigues, R., Pessoa de Souza, M.S. 2007. Silurian and Devonian world-wide flooding events in the Paraná Basin. In: Iannuzzi, R., Boardman, D.R. (Eds.), *Problems in Western Gondwana geology, I Workshop “South America–Africa correlations: du Toit revisited”*, pp. 115–120 (Gramado-RS-Brazil, August 27<sup>th</sup> to 29<sup>th</sup>, 2007, Extended abstracts).
- Pietzner, H., Vahl, J., Werner, H., & Ziegler, W. 1968. Zur chemischen Zusammensetzung und Mikromorphologie der Conodonten: *Palaeontographica*, v. 128, pt. A, p. 115- 152.
- Purnell, M. A. 1995. Microwear on conodont elements and macrophagy in the first vertebrates. *Nature*, 374(6525), 798-800.
- Qin, G. R., Zhao, R. X., Ji, Q. 1988. Late Devonian and Early Carboniferous conodonts from northern Guangdong and their stratigraphic significance. *Acta Micropalaeontologi Sin.* 5(1): 57–71.
- Scotese, C. R., Boucot, A. J., McKerrow, W. S. 1999. Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology. *Journal of African Earth Sciences*, 28, 99–114. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(98\)00084-0](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(98)00084-0)
- Sandberg, C. A., Ziegler, W. 1973. Refinement of standard Upper Devonian conodont zonation based on sections in Nevada and West Germany. *Geol Palaeontol.* 7:97–122.
- Sandberg, C. A. 1976. Conodont biofacies of Late Devonian *Polygnathus styriacus* Zone in western United States. *Geol Assoc Can Spec Pap.* 15:171–186.
- Sandberg, C. A., & Dreesen, R. 1984. Late Devonian icriodontid biofacies models and alternate shallow-water conodont zonation. *Geol Soc Am Spec Pap.* 196:143–178.

Schindler, E. 1990. The Late Frasnian (Upper Devonian) Kellwasser Crisis; p. 151-159 in Notes in Earth Sciences 30, Springer-Verlag, New York, 432 p.

Seddon, G., & Sweet, W. C. 1971. An Ecologic Model for Conodonts. *Journal of Paleontology*, 45(5), 869–880. <http://www.jstor.org/stable/1302783>.

Sweet, W. C. 1988. The Conodonta, Morphology, Taxonomy, Palaeoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum. *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*, n. 10, 212p.

Torsvik, T. H., & Cocks L. R. M. 2004. Earth geography from 400 to 250 Ma: a palaeomagnetic, faunal and facies review. *Journal of Geological Society*, 161(4), 555–572. <https://doi.org/10.1144/0016-764903-098>

Torsvik, T. H., & Cocks, L. R. M. 2013. Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Research*, 24(3-4), 999-1030.

Wanderley Filho, J. R. 1991. Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua correlação com o embasamento. Belém, CG/UFGA. Dissertação de Mestrado. 125p.

Wanderley Filho, J. R., Eiras, J. F., Vaz, P. T. 2007. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 15(2), 217-225.

Wang, Z. H., Becker, R. T., Aboussalam, Z. S., Hartenfels, S., Joachimski, M. M., Gong, Y. M. 2016. Conodont and carbon isotope stratigraphy near the Frasnian/Famennian (Devonian) boundary at Wulankeshun, Junggar Basin, NW China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.* 448:279–297.

Whalen, C. D., & Briggs, D. E. 2018. The Palaeozoic colonization of the water column and the rise of global nekton. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 285 (1883), 20180883.

Yuan, Z., & Sun, Y. 2023. Upper Devonian conodont fauna from Western Hubei, China and its significance. *Historical Biology*, 1-27.

Zhang, X. S., Over D. J., Ma, K. Y., Gong, Y. M. 2019. Upper Devonian conodont zonation, sea-level changes and bio-events in offshore carbonate facies Lali section, South China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.* 531:109219.



Zhen, Y. Y., & Percival I. G. 2003. Ordovician conodont biogeography – reconsidered. *Lethaia*. 36:357–369.

## 10. ARTIGO

## Marine Micropaleontology

## The record of marine ingression in western Gondwana from Devonian conodonts in the Amazonas and Solimões basins, Brazil

--Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	MARMIC-D-23-00068R2
<b>Article Type:</b>	VSI: Conodonts
<b>Keywords:</b>	Black-shale, marine deposits, paleogeography, Famennian
<b>Corresponding Author:</b>	Jordana Maria Viccari Federal University of Rio Grande do Sul BRAZIL
<b>First Author:</b>	Jordana Maria Viccari
<b>Order of Authors:</b>	Jordana Maria Viccari Sara Nascimento Ana Karina Scomazzon Amanda Pericolo Andrés Felipe Rojas Mantilla Martín Andrés Leon Caffroni Sanmya Karolyne Rodrigues Dias Paulo A. Souza Valesca Brasil Lemos Danielle Dall Amaria Soffiatti
<b>Manuscript Region of Origin:</b>	South America
<b>Abstract:</b>	During the Devonian the Gondwana supercontinent was in a paleogeographic position in high latitudes, close to the South Pole. The arrangement of continents, tectonic activity, climate fluctuations, and evolution of marine life played an important role in the marine ecosystems during this period. Conodont occurrence in high latitudes are scarce. In the Upper Devonian (Frasnian/Famenian) of western Gondwana, conodonts have been found in anoxic black-shale deposits associated with maximum flooding surface (MFS) of a distal platform, in the Barreirinha Formation of the Amazonas Basin and Jandiatuba Formation of the Solimões Basin, in northern Brazil. The fauna is characterized by low diversity and well-preserved platform and ramiform elements of <i>Mehlina gradata</i> , 'Ozarkodina' aff. "O". <i>sannemanni</i> sp., <i>Cryptotaxis</i> sp. and <i>Polygnathus</i> sp. in the Amazonas Basin and <i>Cryptotaxis</i> sp., <i>Parapolygnathus</i> sp., <i>Pandorinellina</i> sp., and <i>Hibbardella</i> sp. in the Solimões Basin. The conodont faunal association and sedimentary succession suggest a marine ingression in cold water conditions to the Devonian sea of the Amazonian region.
<b>Suggested Reviewers:</b>	Jaime Fernandes Eiras eiras.jaime.49@gmail.com Exploration blocks in the Solimões Basin, Tectonics, Sedimentation, Stratigraphy, Sequence Stratigraphy, Petroleum Systems, Geochemistry, and Seismic Interpretation. Gladys Ortega gladyscortega@gmail.com Graptolite–conodont biostratigraphy and biofacies. Niilo Matsuda nilomatsuda@hotmail.com Master at the Petrobras Exploration Department Carbonate rocks, Amazonas Basin, petrography Mercedes Di Pasquo medipa@cicytp.org.ar permanent researcher Paleozoic Paleobotanic studies
<b>Response to Reviewers:</b>	

## The record of marine ingression in western Gondwana from Devonian conodonts in the Amazonas and Solimões basins, Brazil

Jordana Maria Viccari<sup>1\*</sup>, Sara Nascimento<sup>1</sup>, Ana Karina Scomazzon<sup>1</sup>, Amanda Pericolo da Rosa<sup>1</sup>, Andrés Felipe Rojas Mantilla<sup>1</sup>, Sanmya Karolyne Rodrigues Dias<sup>1</sup>, Paulo A. Souza<sup>1</sup>, Valesca Brasil Lemos<sup>1</sup>, Danielle Dall Amaria Soffiatti<sup>1</sup>, Martín Andrés León Caffroni<sup>1</sup>

1 – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil

\* Corresponding author [jordana.viccari@gmail.com](mailto:jordana.viccari@gmail.com) – Jordana M. Viccari

### Abstract

During the Devonian, the Gondwana supercontinent was in a paleogeographic position in high-latitudes, close to the South Pole. The arrangement of continents, tectonic activity, climate fluctuations, and the evolution of marine life played an important role in the marine ecosystems during this period. Conodont occurrences in high-latitudes are scarce. In the Upper Devonian (Frasnian/Famenian) of western Gondwana, conodonts have been found in anoxic black-shale deposits associated with maximum flooding surface (MFS) of a distal platform, in the Barreirinha Formation of the Amazonas Basin and Jandiatuba Formation of the Solimões Basin, in northern Brazil. The fauna is characterized by low diversity and well-preserved platform and ramiform elements of *Mehlina gradata*, *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni*, *Cryptotaxis* sp. and *Polygnathus* sp. in the Amazonas Basin and *Cryptotaxis* sp., *Parapolygnathus* sp., *Pandorinellina* sp., and *Hibbardella* sp. in the Solimões Basin. The conodont faunal association and sedimentary succession suggest a marine ingression in cool water conditions to the Devonian sea of the Amazonian region.

**Keywords:** Black-shale, marine deposits, paleogeography

## Introduction

During the Devonian Period the supercontinent Gondwana was located at high-latitudes (**Fig. 1**), dominated by glacial conditions. In western Gondwana Lower/Middle Devonian strata were dominated by a great transgression marked by wide deposition of black-shales in cold-water conditions in the Amazonian region (Hünicken et al., 1988, Cardoso et al., 2015).

This event resulted in the rise of the Devonian sea over areas previously occupied by Silurian seas, entering into the Amazonas Basin through the Marajó Island region, as an extension of African basins flooded from the Paleo-Tethys Ocean (Caputo, 1984). This transgression extended to the Purus Arch during the Famennian to Early Carboniferous. Under this environment, the conditions for the black shales of the Barreirinha Formation were established (Cunha et al., 2007). In the regional context, the Solimões Basin was invaded by a sea from the active edge of the South American Platform, depositing neritic and glacio-marine sediments contained in the Marimari Group (Almeida and Carneiro, 2004). Conodonts recovered from the deposits representing this transgressive episode are described herein.

Previous research based on Devonian conodonts by Hünicken et al. (1988) reports occurrences of *Polygnathus* sp., *Cryptotaxis* sp., and *Parapolygnathus* sp. in the Solimões Basin and faunas of *Cryptotaxis* sp., *Mehlina gradata*, *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni*, and *Polygnathus* sp. in the Amazonas Basin (Cardoso et al., 2015). Through taxonomic description, the conodont faunas of Hünicken et al. (1988), Cardoso et al. (2015) and the herein-described conodonts are important to relate the species that had been found, and to understand more about the environmental and climatic relationship of western Gondwana with these faunas.

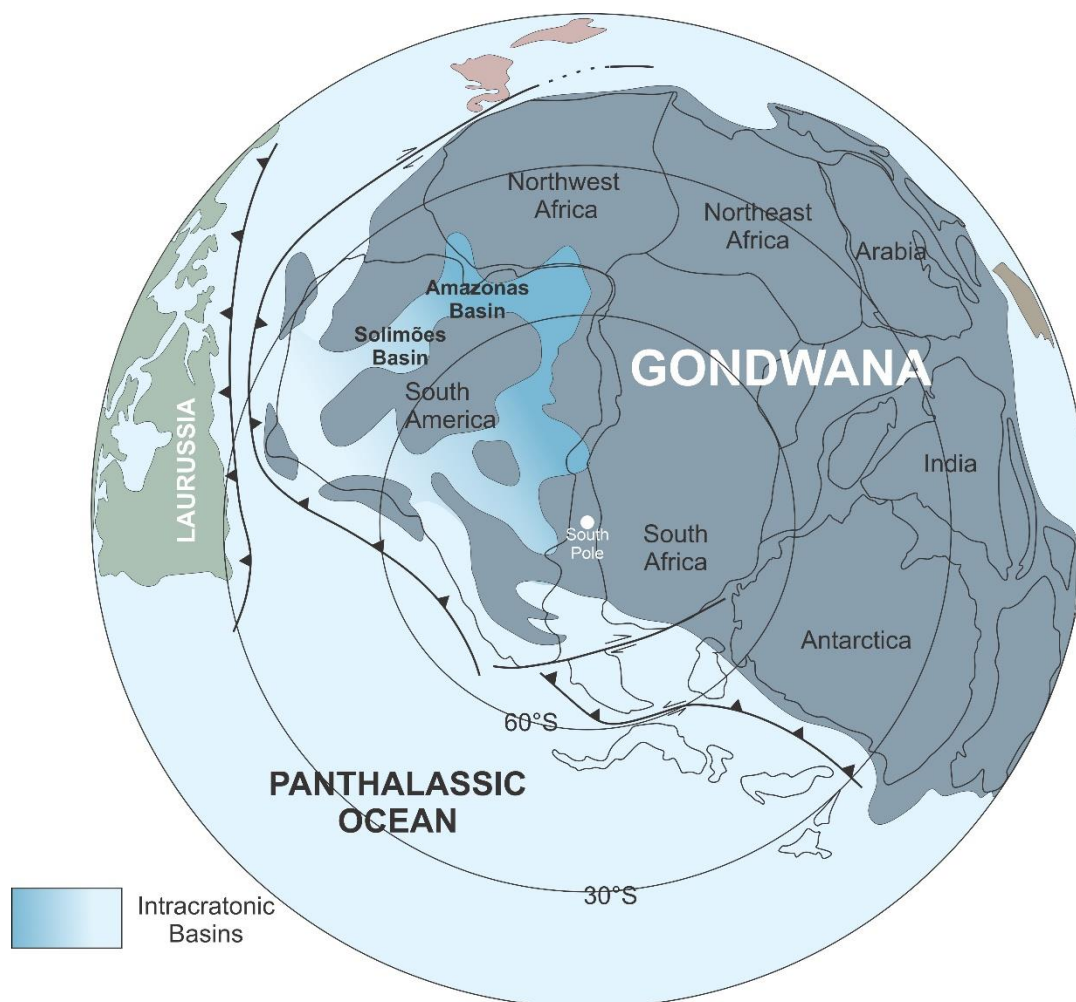


Figure 1. Devonian paleogeography in Brazilian sedimentary basins of the western Gondwana and the epicontinental sea. Modified from Torsvik and Cocks (2013).

### Regional setting

The Amazonas Basin is an intracratonic syncline developed in northern Brazil (Cunha et al., 2007). It has an area of approximately 500,000 km<sup>2</sup> covering the states of Amazonas and Pará (**Fig. 2**). The geological record of this basin reflects the variations in sea level and the orogenies that occurred in the South American Plate. The Gurupá Arc delimits the basin to the east, and the Purus Arc forms the boundary to the west (Cunha et al., 2007). The stratigraphic framework of the Amazonas Basin presents two first-order mega sequences, Paleozoic and Mesozoic-Cenozoic, to a total thickness of 5,000 m.

According to Cunha et al. (2007), the Paleozoic mega sequence is divided into four second-order sequences: Ordovician-Devonian Sequence, Devonian-Tournaisian Sequence, Viséan Sequence, and Pennsylvanian-Permian Sequence. The boundaries are connected to

sedimentation breaks resulting from the tectonic movement of Gondwana that caused regional unconformities (Caputo, 1984).

The Devonian-Tournaisian Sequence developed after the Caledonian Orogeny was connected by a new transgressive–regressive event (Caputo, 1984). Compositionally the sequence is constituted from base to top by the Urupadí and Curuá groups. The transgressive deposits of the Urupadí Group in ascending order are composed of the Maecuru Formation, consisting of neritic to deltaic sandstones and pelites; and Ererê Formation, composed of siltstones, shales, and neritic and paralic sandstones (Melo & Loboziak, 2003). The regressive deposits of the Curuá Group comprise the Barreirinha, Curiri, and Oriximiná formations.

The Barreirinha Formation consists of dark shales and siltstones divided into the Abacaxis, Urubu, and Urariá members. The Abacaxis Member is characterized by organic rich dark shales, responsible for the hydrocarbons in the basin, from which conodonts were recovered. The deposition of these shales occurred in a distal marine environment and corresponds to the maximum flood surface of the sequence (Cunha, 2000). The BAS 10 and BAS 12 outcrops are located near the city of Rurópolis in the state of Pará. Lithologically they are characterized by thick layers of black shales intercalated by thin sandstone lenses.

The Solimões Basin is an intracratonic syncline located in the northern region of Brazil, in the State of Amazonas, occupying an area of approximately 440,000 km<sup>2</sup>. The Paleozoic stratigraphic filling comprises four depositional sequences of transgressive–regressive deposits, limited by regional unconformities (Wanderley Filho et al., 2007). Devonian strata comprise the Marimari Group, which is subdivided into the Uerê Formation, characterized by silexite containing siliceous spicules, and the Jandiatuba Formation, composed primarily of gray to black-shales and diamictites. The conodont bearing black shales represent severe anoxic conditions that occurred during the maximum transgressive phase, allowing preservation of organic matter (Wanderley Filho et al., 2007).

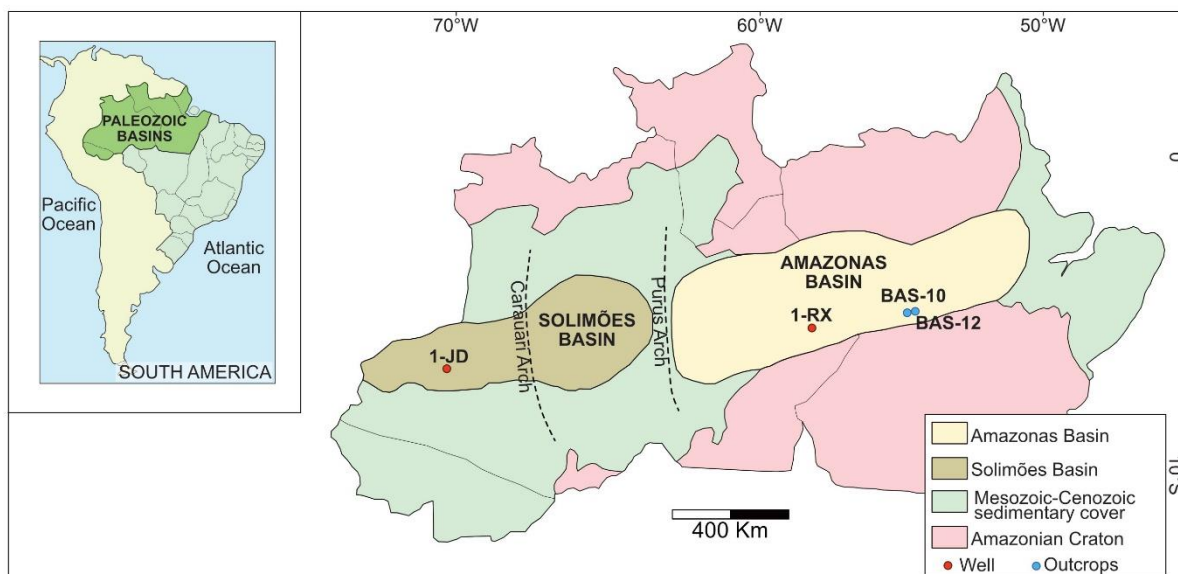


Figure 2. Geologic map of Solimões and Amazonas basins, including the location of studied well 1RX 1AM and outcrops BAS 10 and BAS 12 (Amazonas), and studied well 1JD 1AM (Solimões). Modified from Almeida and Carneiro (2004).

## Material and methods

The conodont collection comprises 292 specimens from Amazonas Basin, recovered from well 1RX 1AM (2,572.5 - 2,577.5 m depth) and two outcrops BAS 10 and BAS 12 (Fig. 2). Additionally 137 specimens (Cardoso et al., 2015) from well 1RX 1AM (2,430 - 2,577.5 m depth), Amazonas Basin and 35 specimens (Hünicken et al., 1988) from well 1JD 1AM (2,349.5 - 2,355.8 m depth), Solimões Basin.

Sample preparation involved the use of a chisel in the physical disaggregation of shales in thin fragments, approximately 1.5 - 2 mm. This technique allows the identification and recovery of elements reducing the risk of fractures even in the most fragile elements. All fragments were analyzed resulting in the recovery of platform and ramiform elements and also ramiform molds. Shale without conodonts were placed in a plastic bucket with a capacity of 1.5 l of water, filled with 90% water (~1.2 L) and 10% hydrogen peroxide (~200 ml) to dissolve the residue. The samples remained in this solution for three days until the reaction ended. The resulting material was washed and sieved (0.85 and 0.063 mm), and some elements were still found.

Conodonts were photographed using the Scanning Electron Microscope (SEM) of Laboratório de Geologia Isotópica, UFRGS. The conodont collection is housed in the Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, UFRGS.

## Results

Well 1 RX 1AM yielded a total of three P1-P2 elements, 82 ramiform elements, and 190 molds attributed to *Polygnathus* sp., one P2 element of *Ligonodina?* sp., six P2 elements of *Prioniodina* sp. In the outcrop BAS 10, one P2 element assigned to *Polygnathus* sp. representing an advanced polygnathid, and three ramiforms, and 12 molds determined to as *Cryptotaxis* sp. were recovered. A monograptid specimen was collected from the BAS 12 outcrop.

In previous studies, a total of 61 conodont elements and 76 molds attributed to *Polygnathus* sp., *Cryptotaxis* sp., *Mehlina gradata*, *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni* and *Prioniodina* sp. in the Amazonas Basin were reported by Cardoso et al. (2015).

Hünicken et al. (1998) reported the following conodont elements from the Solimões Basin: nine P1-P2 elements and five ramiform elements of *Pandorinellina* sp., four ramiform elements of *Parapolygnathus* sp., three ramiform elements of *Hibbardella* sp., one P1-P2 element and one ramiform element of *Polygnathus* sp., and nine P1-P2 elements and three ramiform elements of *Cryptotaxis* sp.

The samples analyzed in this study are from the same core studied by Cardoso et al. (2015), using a more detailed technique to obtain conodont elements from the black shales. With the application of this technique, platform elements of *Polygnathus* sp. were recovered. Well-preserved and complete ramiform elements were also recovered (**Table 1**).





## Systematic Paleontology

Family Polygnathidae Bassler, 1925

Genus *Polygnathus* Hinde, 1879

*Polygnathus* sp.

Description: S0 element (**Fig. 3 A, C and Fig. 4 A-C, E**). Long blade, strongly curved in the basal cavity portion. Large and robust cusp, curved in its basal cavity. The cusp is posteriorly inclined. In the anterior process, the blade is composed of a sequence of separate and robust denticles, of variable lengths, inclined posteriorly. In the posterior process of the bar, it is composed of a trimodal sequence of separate denticles. The denticles are robust and straight. In the most posterior process, the largest denticles are slightly curved at the base and slightly inclined anteriorly.

Description: S3 element (**Fig. 3 B, D, F**). General long posterior process, straight and strongly curved in the anterior process. Cusp straight, thin, and long, inclined posteriorly. The denticles are separate and occur as a bimodal alternation. In the anterior process of the blade, there are 2-4 sequences of straight and posteriorly inclined denticles; each sequence is composed of a series of 3-5 smaller denticles combined with adjacent larger denticles. In the posterior process, the blade is composed of 11 sequences of straight denticles, inclined posteriorly; each sequence is composed of 4-7 smaller denticles combined with adjacent larger denticles.

Description: P2 element (**Fig. 3 G**). Denticulated bar; the denticles are short, straight, rounded, robust, and almost homogeneous, partially fused and inclined posteriorly.

Description: P1 element (**Fig. 3 H - L**). If preserved, the free blade is  $\frac{3}{4}$  the length of the platform. The blade fuses at the central part of the platform and continues as a knotted, partially fused, and slightly curved carina that extends to the posterior end. It has two parapets decorated with transverse ridges that extend to the adcarinal grooves. On the outer parapet, the ridges may divide into nodules in the posterior portion. The internal parapet of the posterior portion is ornamented with shaped random nodes.

Material: 148 P1, P2 and ramiform elements, and 266 P1-P2 and ramiform elements molds.

Family *Prioniodinidae* Bassler, 1925

Genus *Prioniodina* Sweet, 1988

*Prioniodina* sp.

Description: P2 element (**Fig. 4 D**). Curved element, numerous sub-parallel denticles, rounded and inclined bar. The largest denticle is in the middle portion of the bar, this denticle is long, straight, and with a rounded base.

Material: 11 P2 elements, and 12 P2 element molds.

Family *Prioniodinidae* Bassler, 1925

Genus *Prioniodina* Sweet, 1988

*Ligonodina?* sp.

Description: P2 element (**Fig. 3 E**). Denticulated bar, slightly curved in the middle portion of the element. Cusp long, and slightly curved. In the anterior portion, the denticles are straight; the largest denticles are found in the middle portion of the anterior portion.

Material: One P2 element.

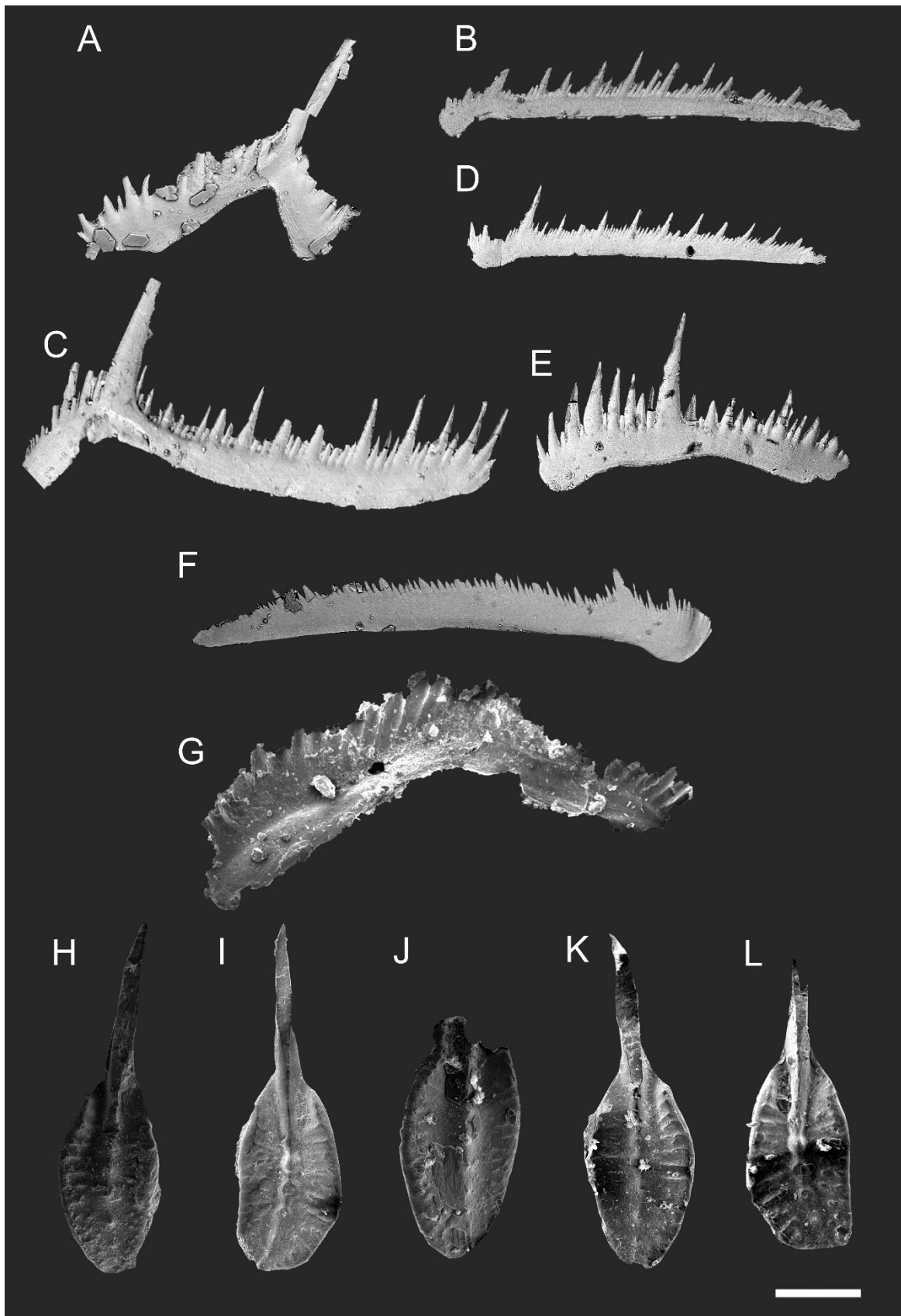


Figure 3. *Polygnathus* sp., A, C: S0 elements. B, D, F: S3 elements. G: P2 element. H-L: P1 elements; *Ligonodina?* sp., E: P2 element. All from well 1-RX-1AM, except G from BAS-10 from Barrerinha Formation, Amazonas Basin. Size of scale: 200  $\mu$ m

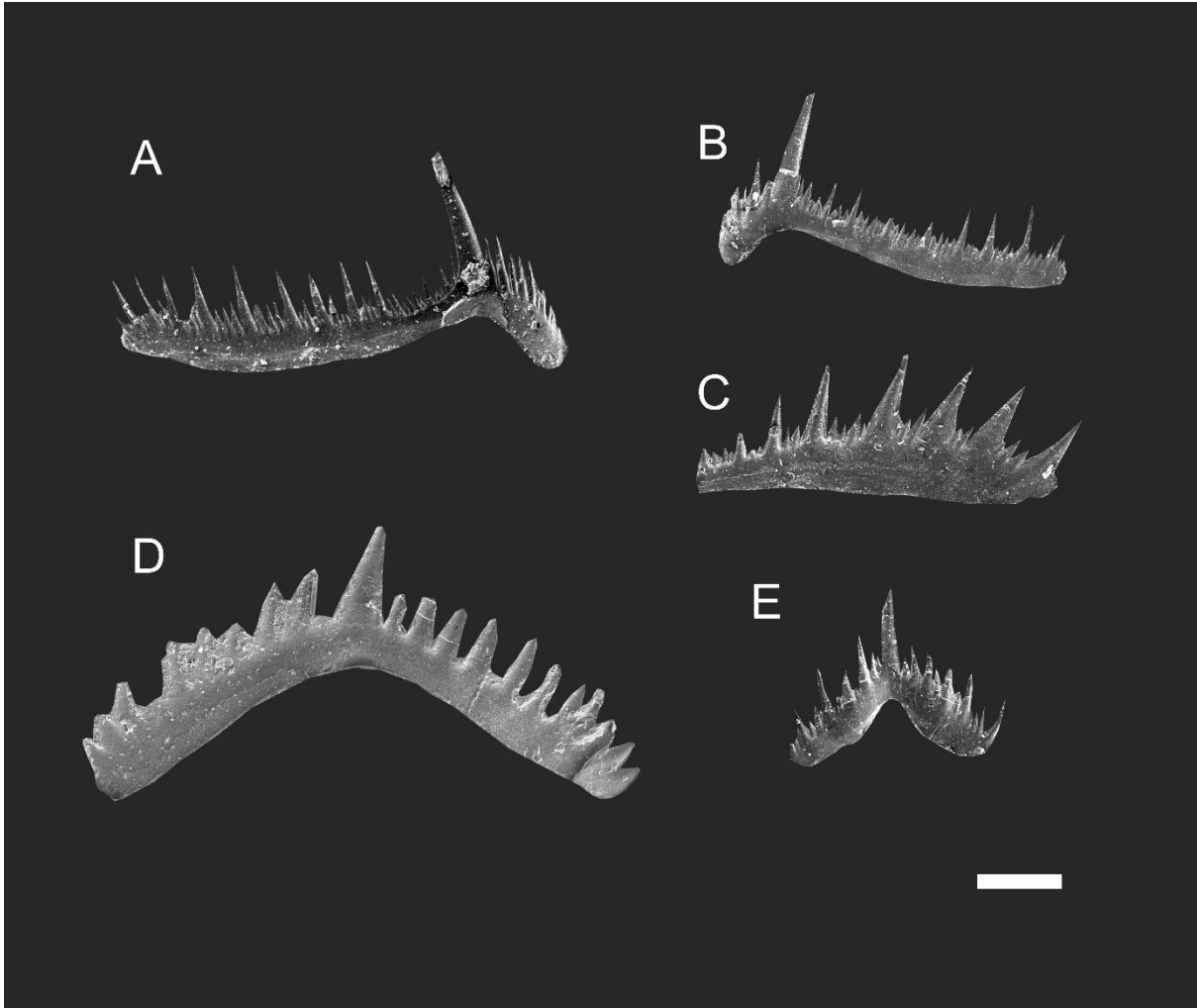


Figure 4. *Polygnathus* sp., A-C, E: S0 elements, *Prioniodnid* sp., D: P2 element. All from well 1-RX-1AM, from Barrerinha Formation, Amazonas Basin. Size of scale: 200  $\mu$ m

## Discussions

According to Cooper and Scotese (2003), most of the marine shelves of Gondwana represented cold climate shelf areas, replete with siliciclastic sediments and cold-to-cool temperate fauna. Events in the Devonian marine deposits were defined based on faunal turnovers, marked by extinctions of select genera and families (House, 2002).

The location of Gondwana at high-latitudes did not allow the formation of carbonates and saline formations during most of the Paleozoic and in this scenario, a cold and anoxic inland sea was developed in the western portion of Gondwana. Paleobiogeography and paleoecology do not provide consistent evidence for comparison with paleoenvironmental models used in low-latitude areas where *Polygnathus* and *Cryptotaxis* are associated with other taxa like *Palmatolepis* and *Icriodus* (Sandberg and Dreesen, 1984), used to recognize biofacies. *Palmatolepis* and *Icriodus* were not present in the Brazilian Paleozoic basins, probably due to climatic factors.

The maximum transgression recorded in the Frasnian sea in western Gondwana is related to the deposition of radioactive black shales in the Solimões, Amazonas, Parnaíba, and Paraná basins (Melo, 1989, Pereira et al., 2007). Global transgressive events and even the greenhouse effect may be the cause of these black shales deposited between the Frasnian and the Famennian (Harris et al., 2013).

The sedimentation of the Barreirinha Formation occurred in a transgressive context allowing the connection between the Madre de Dios and Solimões basins (Over et al., 2009). The connection between these intracratonic basins allowed conodonts to reach the Amazonas Basin, passing over the top of the Purus during Frasnian (**Fig. 5**). Conodonts could have arrived from the northeast through the main Devonian marine opening on the northeastern border of the basin (Melo, 1989). According to Scotese et al. (1999) and Torsvik and Cocks (2004), in the Early to Middle Devonian, the high-latitude Malvinokaffric Realm featured cool temperate waters. During the Late Devonian, Ice House conditions began. The Famennian diamictites of Jandiatuba extend over a wide area of the Solimões Basin. This suggests that the Solimões Basin deposit is under glaciomarine to glacial conditions (Caputo et al. 2008).

According to Becker et al. (2020) many anoxic and faunal events are more gradual and expressed in pulses and the inter-regional correlations of each pulse within an event are not easily identifiable. The black shales of the Barreirinha Formation constitute a package of approximately 100 m of strata that has yet to be correlated with any extinction pulse of the Frasnian–Famennian. Consistent elements for a robust correlation with other parts of the world

are lacking due to the absence of many important taxa such as *Palmatolepis* and *Icriodus*. In Late Devonian conodont biofacies models, *Palmatolepis* represents off-shore and deep-water facies and occurs widely in slope and basin environments, while *Icriodus* biofacies are restricted to near-shore conditions. However, conodont occurrences are still limited concerning latitude and are not confirmed from localities of cool temperate higher latitudes of either hemisphere during the early Famennian (Seddon and Sweet, 1971).

Warmer climatic conditions in South America are recorded with the movement of western Gondwana northward. This movement to low-latitudes may be related to marine transgression that eliminated many Malvinokaffric taxa allowing the migration of the taxa from the southern portion of Euramerica to South America (Isaacson, 2007). Middle and Late Devonian palynomorphs in Argentina, Bolivia, and Brazil include cosmopolitan and restricted species that combined with terrestrial palynofloras suggest cool temperate climate (Di Pasquo et al. 2009; Di Pasquo et al. 2015; Matsumura et al. 2023).

The samples analyzed in this study are from the same core worked by Cardoso et al. (2015), using another methodology to obtain conodont elements in shales. Some elements described by Cardoso et al. (2015) probably were misidentified as *Mehlina gradata* and *Polygnathus* sp. According to Dzik et al. (2022), these elements belong to *Branmehla* spp. which dominated the Famennian high-latitude assemblage of Amazônia. The assemblage with *Branmehla inornata* and *Dasbergina stabilis* suggests a rather cold-water environment (Dzik et al. 2022).

In the Solimões Basin conodonts are commonly associated with abundant isolated fish scales, described by Hünicken et al. (1988) and Isaacson (2007), suggesting that the remains belong to actinopterygians of latest Devonian age. There are no remains of fish or other associated fauna in the material analyzed here.

Hünicken et al. (1988) described *Polygnathus* sp. and *Cryptotaxis* sp., as well as the genera *Pandorinellina* sp., *Parapolygnathus* sp., and *Hibbardella* sp. in a well in the Solimões Basin. Cardoso et al. (2015), besides the record of *Polygnathus* sp. and *Cryptotaxis* sp., recorded *Mehlina gradata* and *Ozarkodina* sp. aff. *O. sannemanni* in the Amazonas Basin. All taxa were found in Devonian black-shales characteristics of high-latitudes, demonstrating the ability of these taxa to adapt to different environmental conditions.

The black shales from well 1RX 1AM and the outcrops BAS 10 and BAS 12 represent the transgressive events and conodonts are referred to deep waters. According to Cardoso et al. (2015) the disappearance of conodonts from the upper Famennian Urubu Member of the Barreirinha Formation coincides with the sedimentation of shales deposited in a more

oxygenated setting with siliciclastic dilution. However, in this study, specimens of conodonts were recovered from a thin siliciclastic layer intercalated in black shales.

The conodont genera *Polygnathus* and *Cryptotaxis* found in the Amazonas Basin and also in the Solimões Basin suggest adaptation to a cool-water marine environment and the existence of an extensive intracratonic sea during the Devonian connecting these basins.

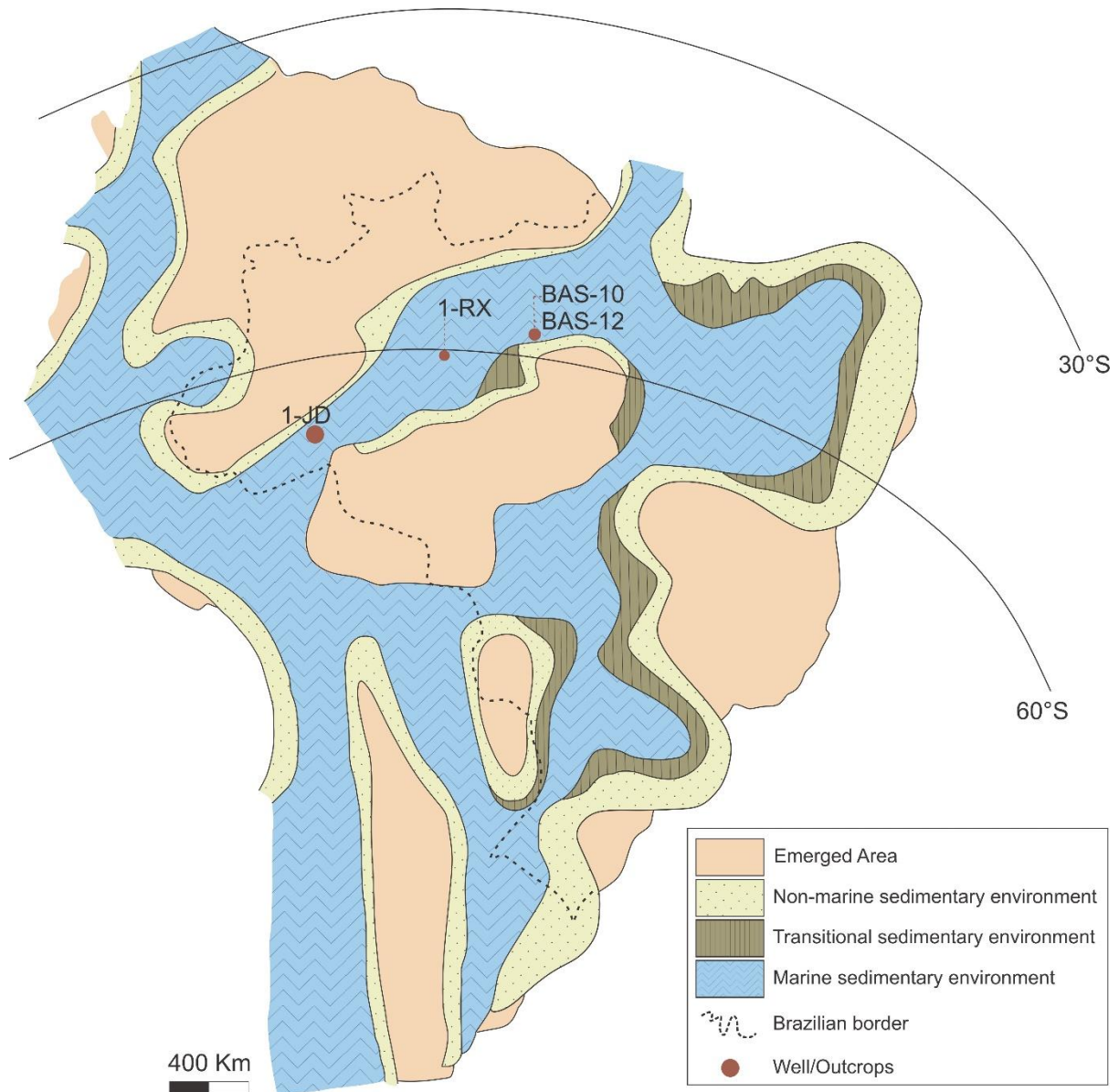


Figure 5. Marine Devonian sea on the South American platform. Modified from Almeida and Carneiro (2004).



## Conclusions

The sedimentation characterized by black shales during the Devonian in the Amazonas and Solimões basins is attributed to transgressive episodes that occurred worldwide during most of the Paleozoic. In the Late Devonian, Gondwana was located in high-latitudes, where conodonts lived in cold-water seas, without characteristic warm water organisms, such as corals. Also absent in the Brazilian Paleozoic seas are saline formations, limestone deposits, as well as the fauna of conodonts, common in low-latitudes with a warmer climate.

The genera *Polygnathus* and *Cryptotaxis* are the most common taxa in the Devonian of the Paleozoic basins of northern Brazil, occurring in the Amazonas Basin and the Solimões Basin. The conodont association provides a reliable biostratigraphic Frasnian/Famenian age to the black shale deposits.

The paleoenvironmental models established for low-latitude regions are not applicable in the Paleozoic basins of western Gondwana, where the climate was colder and without carbonate deposition.

There are few publications of Devonian conodonts in the Amazonas and Solimões basins because of the poor outcrops and well cores available. The climate changes that occurred during the Paleozoic are of great interest for understanding current global climate variations. Through the information provided by studies of conodonts in low-latitude areas, it will be possible to evaluate environmental responses to climate change in these areas by adding new data.

**Credit authorship contribution statement**

**Jordana Maria Viccari:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Software, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Ana Karina Scomazzon:** Writing – review & editing, Visualization, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation. **Sara Nascimento:** Writing – review & editing, Visualization, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation. **Andrés Felipe Rojas Mantilla:** Writing – review & editing, Visualization, Software, Investigation, Formal analysis. **Sanmya Karolyne Rodrigues Dias:** Writing – review & editing, Investigation. **Amanda Pericolo da Rosa:** Writing – review & editing, Investigation. **Valesca Brasil Lemos:** Writing – review & editing, Investigation. **Paulo Alves de Souza:** Writing – review & editing, Investigation, Funding acquisition. **Danielle Dall Amaria Soffiatti:** Investigation. **Martin Andrés Leon-Caffroni:** Investigation.

**Declaration of competing interest**

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

**Acknowledgments**

We are grateful for funding provided by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and support by BIOCRO NORTE Project, UFRGS-PETROBRAS [IAP 00803]. Thanks to PETROBRAS Oil Company for providing the profiles and geological information used in the study. We also thank the BIOCRO NORTE project group for their contributions and discussions.

## References

Almeida F., Carneiro C., 2004. Inundações marinhas fanerozoicas no Brasil e recursos minerais associados. In: Mantesso V., Bartorelli A., Carneiro C., Brito B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, p. 43-58.

Bassler, R.S., 1925. Classification and stratigraphic use of the conodonts. *Geological Society of America Bulletin*, 36, 218-220.

Becker, R.T., Marshall, J.E.A., da Silva, A.C., 2020. The Devonian Period. In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmidt, M.D., Ogg, G.M. (Eds.), *Geologic Time Scale 2020*, 1st edition. Elsevier, pp. 733–810. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824360-2.00022-X>.

Caputo, M.V., 1984. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. University of California, Santa Barbara, 582.

Caputo, M.V., de Melo, J.H.G., Streel, M., Isbell, J.L., Fielding, C.R., 2008. Late Devonian and early Carboniferous glacial records of South America. *Geological Society of America Special Papers*, 441, 161-173.

Cardoso, C.N., Sanz-Lopez, J., Blanco-Ferrera, S., Lemos, V.B., Scomazzon, A.K., 2015. Frasnian conodonts at high paleoaltitude (Amazonas Basin, North Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 418, 57-64.

Copper, P., Scotese, C.R., 2003. Megareefs in Middle Devonian supergreenhouse climates. *Geological Society of America Special Paper*, 370, 209–230.

Cunha, P.R.C., 2000. *Análise estratigráfica dos sedimentos eo/mesoDevonianos da porção ocidental da Bacia do Amazonas sob a ótica da estratigrafia de sequências no interior cratônico*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Thesis, 263 p.

Cunha, P.R.C., Gonçalves de Melo, J.H., Silva, O.B., 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 15, 227-251.

Di Pasquo, M., Amenábar, C.R., Noetinger, S., 2009. Middle Devonian microfloras and megafloras from western Argentina and southern Bolivia: their importance in the palaeobiogeographical and palaeoclimatic evolution of western Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications*, 314(1), 193-213.

Di Pasquo, M., Noetinger, S., Isaacson, P., Grader, G., Starck, D., Morel, E., Fohnagy, H. A., 2015. Mid-Late Devonian assemblages of herbaceous lycophytes from northern Argentina and Bolivia: Age assessment with palynomorphs and invertebrates and paleobiogeographic importance. *Journal of South American Earth Sciences*, 63, 70-83.

Dzik, J., Phong, N.D., Thuy, N. T., Świś, P., 2022. Evolution and migration of conodonts and ammonoids near the end of Devonian recorded in distant localities. *Stratigraphy*, 19(1). <https://doi.org/10.29041/strat.19.1.02>

Harris, N.B., Munich, C.A., Selby, D., Korn, D., 2013. Minor and trace element and Re–Os chemistry of the Upper Devonian Woodford Shale, Permian Basin, west Texas: insights into metal abundance and basin processes. *Chemical Geology*, 356, 76–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.07.018>.

Hinde N.S., 1879. On conodonts from the Chazy and Cincinnati groups of the Cambro-Silurian, and from the Hamilton and Genesee-Shale divisions of the Devonian in Canada and the United States. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 35, 351-369.

House, M.R., 2002. Strength, timing, setting, and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 181, 5–25. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00471-0](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00471-0).

Hünicken, M.A., Melo, J.H.G., Lemos, V.B., 1988. Devonian Conodonts from the Upper Carboniferous of Amazon Basin, Northwestern Brazil. In: McMillan, N.J.; Embry, A.F.; Glass, D.J., eds., *Devonian of the World*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 14. Calgary, 3, 479-483.

Isaacson, P.E., 2007. Mid-Paleozoic biogeography of the Central Andes: endemic faunas, immigrants, and paleogeography. In: Díaz-Martínez, E., Rábano, I. (Eds.), 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America Cuadernos del Museo Geominero 8, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 213–218.

Klapper, G., Philip, G.M., 1971. Familial classification of reconstructed Devonian conodont apparatuses. In: Lindstrom, M. and Ziegler, W. (Eds.), Symposium on Conodont Taxonomy. *Geologica et Paleontologica Special Publication*, 1 (1-4), 97-105.

Klapper, G., Philip, G.M., 1972. Devonian conodont apparatuses and their vicarious skeletal elements. *Lethaia*, 4, 429-452.

Matsumura, W.M.K., Di Pasquo, M., Iannuzzi, R., Bosetti, E.P., 2023. Plant Diversification Through the Devonian in Brazil. In *Brazilian Paleofloras: From Paleozoic to Holocene*. Springer International Publishing, 236 p.

Melo, J.H.G. de, 1989. The Malvinokaffric Realm in the Devonian of Brazil. In: McMillan, N.J., Embry, A.F., Glass, D.J. (Eds.), *Devonian of the World*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 14. 1, 669–703 (imprint 1988).

Melo, J.H.G., Loboziak, S. 2003. Devonian-early Carboniferous miospore biostratigraphy of the Amazon Basin, northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 124 (3-4), 131-202.

Over, D.J., de la Rue, S., Isaacson, P.E., Ellwood, B., 2009. Upper Devonian conodonts from black shales of the high latitude Tomachi Formation, Madre de Dios Basin, northeastern Bolivia. *Palaeontographica Americana*, 62, 89–95.

Pereira, E., Bergamaschi, S., Rodrigues, R., Pessoa de Souza, M.S., 2007. Silurian and Devonian world-wide flooding events in the Paraná Basin. In: Iannuzzi, R., Boardman, D.R. (Eds.), *Problems in Western Gondwana geology, I Workshop “South America–Africa correlations: du Toit revisited”*, pp. 115–120 (Gramado-RS-Brazil, August 27<sup>th</sup> to 29<sup>th</sup>, 2007, Extended abstracts).

Sandberg, C.A., Dreesen, R., 1984. Late Devonian icriodontid biofacies models and alternate shallow-water conodont zonation. *Conodont Biofacies and Provincialism*, 143–178. doi:10.1130/spe196-p143

Scotese C.R., Boucot A.J., McKerrow W.S., 1999. Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology. *Journal of African Earth Sciences*, 28, 99–114. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(98\)00084-0](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(98)00084-0)

Seddon, G., Sweet, W. C., 1971. An Ecologic Model for Conodonts. *Journal of Paleontology*, 45(5), 869–880. <http://www.jstor.org/stable/1302783>

Torsvik T. H., Cocks L. R. M., 2004. Earth geography from 400 to 250 Ma: a palaeomagnetic, faunal and facies review. *Journal of Geological Society*, 161(4), 555–572. <https://doi.org/10.1144/0016-764903-098>


Torsvik, T.H., Cocks, L.R.M., 2013. Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Research*, 24(3-4), 999-1030.

Wanderley Filho, J.R., Eiras, J.F., Vaz, P.T., 2007. Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 15(2), 217-225.

## 11. COMPLEMENTOS

### ANEXO A – Comprovante de submissão e aceite do artigo

---


Jordana Viccari <jordana.viccari@gmail.com>

---

**Decision on submission to Marine Micropaleontology**  
1 mensagem

---

**Marine Micropaleontology** <em@editorialmanager.com> 1 de fevereiro de 2024 às 05:12  
Responder a: Marine Micropaleontology <support@elsevier.com>  
Para: Jordana Maria Viccari <jordana.viccari@gmail.com>

CC: guillermo.albanesi@unc.edu.ar

Manuscript Number: **MARMIC-D-23-00068R2**

The record of marine ingression in western Gondwana from Devonian conodonts in the Amazonas and Solimões basins, Brazil

Dear Mrs Viccari,

Thank you for submitting your manuscript to Marine Micropaleontology.

Your manuscript is virtually accepted. However, the handling editor indicated few necessary corrections that unfortunately cannot be coped with at the pre-proof stage. For example, he recommends to add few lines on the description rules you followed (line 139). The cited references are listed below. I am sure this will not take much time and I invite you to resubmit your manuscript after addressing the comments in the attached annotated file. Please resubmit your revised manuscript by **Feb 22, 2024**.

When revising your manuscript, please consider all issues mentioned in the reviewers' comments carefully: please outline every change made in response to their comments and provide suitable rebuttals for any comments not addressed. Please note that your revised submission may need to be re-reviewed.

To submit your revised manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/marmic/>, and navigate to the "Submissions Needing Revision" folder under the Author Main Menu.

**Research Elements (optional)**  
This journal encourages you to share research objects - including your raw data, methods, protocols, software, hardware and more – which support your original research article in a Research Elements journal. Research Elements are open access, multidisciplinary, peer-reviewed journals which make the objects associated with your research more discoverable, trustworthy and promote replicability and reproducibility. As open access journals, there may be an Article Publishing Charge if your paper is accepted for publication. Find out more about the Research Elements journals at [https://www.elsevier.com/authors/tools-and-resources/research-elements-journals?dgcid=ec\\_em\\_research\\_elements\\_email](https://www.elsevier.com/authors/tools-and-resources/research-elements-journals?dgcid=ec_em_research_elements_email).

Marine Micropaleontology values your contribution and I look forward to receiving your revised manuscript.📧

Kind regards,

Dr Xavier Crosta  
Editor-in-Chief  
Marine Micropaleontology

<b>ANEXO I</b>	
Título da Dissertação/Tese:	
OCORRÊNCIAS DE CONODONTES NO MAR DEVONIANO DA REGIÃO AMAZÔNICA, GONDWANA OCIDENTAL: BIOESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE	
Área de Concentração: Paleontologia	
Autor: <b>Jordana Maria Viccari</b>	
Orientadora: Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon	
Examinador: Prof. Dr. Fernando Erthal	
Data: 29/02/2024	
Conceito: A	
<b>PARECER:</b>	
<p>O texto, de modo geral, está muito bem redigido, permitindo leitura fácil e fluida. O resumo sintetiza bem o teor da dissertação, apresentando suas principais novidades. A dissertação apresenta um texto integrador que contextualiza brevemente o tema de pesquisa, e os objetivos são claros e bem formulados, dentro do escopo de um mestrado.</p> <p>O estado da arte é apresentado com clareza, e demonstram grande conhecimento do assunto pela autora. Os materiais e métodos são bem descritos, e são de fácil compreensão para quem não é especialista no assunto. Foi dedicada uma seção para descrever o contexto geológico da área de estudo, mas não foram incluídas figuras com o arcabouço estratigráfico das bacias do Amazonas e Solimões, nem fotografias de afloramentos ou dos testemunhos utilizados. Os resultados são apresentados de maneira objetiva, e as figuras são de excelente qualidade. Contudo, o graptolito coletado, que é citado reiteradamente, não foi ilustrado. A tabela 1 na verdade é um quadro, pois tabelas não possuem linhas gráficas verticais.</p> <p>A discussão é abrangente, demonstrando que a autora teve grande preocupação em contrapor seus resultados com as evidências apresentadas na literatura. Algumas frases ficaram muito longas, ou mesmo confusas em sua escrita literal (“...paleobiogeografia e a paleoecologia não fornecem evidências [...]”, “...passando pelo topo do Arco de Purus...”, “... Faltam conodontes <i>consistentes</i> [...]”, “...ambiente mais oxigenado com <i>diluição siliciclástica</i> [...]”).</p> <p>As conclusões são claras e firmes, e mesmo pela leitura de um não especialista parecem muito bem fundamentadas nos dados apresentados. O manuscrito encontra-se muito bem redigido, e inclusive já está publicado, o que é notável e meritório, especialmente se tratando de uma dissertação.</p>	
Assinatura:	Data: 29/02/2024
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	



## ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

OCORRÊNCIAS DE CONODONTES NO MAR DEVONIANO DA REGIÃO  
AMAZÔNICA, GONDWANA OCIDENTAL: BIOESTRATIGRAFIA E  
PALEOAMBIENTE

Área de Concentração: Paleontologia

Autor: **Jordana Maria Viccari**

Orientadora: Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

Examinador: Dra. Cristina Moreira Felix

Data: 26/02/2024

Conceito: A

### PARECER:

O documento avaliado é objetivo, de fácil leitura, didático e bem apresentado. O título e o resumo estão bem construídos de acordo com a proposta da candidata. A estrutura da dissertação está organizada e de fácil entendimento. O documento está bem ilustrado. A figura 2 carece de uma escala mais detalhada. As figuras referentes às formas de conodontes identificadas nas amostras estão ótimas e bem representativas. Em relação ao conteúdo, os Objetivos estão claros e foram contemplados na investigação. A aplicação da técnica menos destrutiva na abertura das amostras proporcionou um aumento significativo no número de espécimes reconhecidos nas amostras. No que se refere aos materiais utilizados não ficou bem claro a utilização das amostras do afloramento BAS 12 (ainda em análise), sendo citado um espécime de graptolito em estudo. A identificação dos táxons e correlações demonstra o benefício do estudo para aprimoramento das questões paleoambientais no mar Devoniano da região Amazônica. As referências bibliográficas exibem trabalhos clássicos, bem como aqueles mais atuais da área de estudo. Destaca-se que a pesquisa e publicação realizada pela candidata são relevantes cientificamente e ensejam continuidade na exploração desse grupo ainda com ocorrências escassas para as bacias do norte do Brasil.

Assinatura:



Data: 26 de fevereiro de 2024

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

## ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

OCORRÊNCIAS DE CONODONTES NO MAR DEVONIANO DA REGIÃO  
AMAZÔNICA, GONDWANA OCIDENTAL: BIOESTRATIGRAFIA E  
PALEOAMBIENTE

Área de Concentração: Paleontologia

Autor: **Jordana Maria Viccari**

Orientadora: Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

Examinador: Dra. Luciane Profs Moutinho

Data: 29/02/2024

Conceito: A (EXCELENTE)

### PARECER:

Após leitura e avaliação da dissertação da Mestranda Jordana Maria Viccari, teço as seguintes impressões acerca da forma e conteúdo do trabalho:

A leitura foi fluída, com um texto bem elaborado e escrito com coerência e vocabulário apropriado à um trabalho acadêmico/científico.

O texto está bem desenvolvido, apresentando coerência de formatação com introdução, desenvolvimento do tema e conclusões.

A mestranda desenvolve de forma apropriada o que foi definido como objetivos do trabalho, alcançando resultados satisfatórios para os mesmos.

As figuras apresentadas estão coerentes com as temáticas apresentadas no texto, apresentam ótima qualidade gráfica, legendas explicativas e referências. Também, estão adequadamente referenciadas ao longo do texto.

As referências bibliográficas estão atualizadas, demonstrando um esforço da autora em localizar estudos recentes acerca do tema por ela desenvolvido.

Em termos de conteúdo, o título e o resumo estão condizentes com o que foi abordado e discutido na dissertação. Os resultados estão bem apresentados, de forma clara e de fácil entendimento. As discussões são consistentes e estão adequadamente embasadas cientificamente. As conclusões abordam os temas discutidos no texto.

Assinatura:



Data: 29/02/2024

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: