

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

**O LIMITE BASHKIRIANO/MOSCOVIANO  
DETERMINADO POR NOVAS OCORRÊNCIAS DE  
CONODONTES NA FORMAÇÃO ITAITUBA, GRUPO  
TAPAJÓS, BACIA DO AMAZONAS, BRASIL:  
IMPLICAÇÕES EM MULTITAXONOMIA E  
BIOCRONOESTRATIGRAFIA**

**MARTIN ANDRÉS LEÓN CAFFRONI**

ORIENTADORA – Prof. Dra. Ana Karina Scomazzon

Porto Alegre, 2023

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

**O LIMITE BASHKIRIANO/MOSCOVIANO  
DETERMINADO POR NOVAS OCORRÊNCIAS DE  
CONODONTES NA FORMAÇÃO ITAITUBA, GRUPO  
TAPAJÓS, BACIA DO AMAZONAS, BRASIL:  
IMPLICAÇÕES EM MULTITAXONOMIA E  
BIOCRONOESTRATIGRAFIA**

**MARTIN ANDRÉS LEÓN CAFFRONI**

ORIENTADORA – Prof. Dra. Ana Karina Scomazzon

BANCA EXAMINADORA

Dr. Guillermo Luis Albanesi – Universidad Nacional de Córdoba

Dra. Valesca Brasil Lemos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dr. Pedro Augusto Santos da Silva – Universidade Federal do Pará

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

Porto Alegre, 2023

### CIP - Catalogação na Publicação

León-Caffroni, Martin Andrés

O LIMITE BASHKIRIANO/MOSCOVIANO DETERMINADO POR  
NOVAS OCORRÊNCIAS DE CONODONTES NA FORMAÇÃO ITAITUBA,  
GRUPO TAPAJÓS, BACIA DO AMAZONAS, BRASIL: IMPLICAÇÕES  
EM MULTITAXONOMIA E BIOCRONOESTRATIGRAFIA / Martin  
Andrés León-Caffroni. -- 2023.

170 f.

Orientadora: Ana Karina Scomazzon.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,  
2023.

1. Limite Bashkiriano-Moscoviano. 2.  
Biocronoestratigrafia. 3. Multitaxonomia. 4. Aparelho  
conodonte. 5. Formação Itaituba. I. Scomazzon, Ana  
Karina, orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) pela oportunidade de desenvolver a pesquisa. E ao pessoal do financeiro PPGGEO, Roberto e Gabriela pela ajuda.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fornecimento da minha bolsa de mestrado.

À minha orientadora, Prof. Dra. Ana Karina Scomazzon, pela oportunidade de conhecer o mundo dos conodontes e sua importância, e por todo o apoio, conselhos e conhecimento compartilhado. Muito agradecimento pelo carinho e acolhimento no laboratório.

À Sara Nascimento, por todos seus ensinamentos, apoio e colaboração na metodologia desta pesquisa, e os momentos de alegria no laboratório.

Ao pessoal do Laboratório LACONF Andrés, Sammya, Amanda, Jordana, Luiza e Breno, pela parceria, as muitas conversas e toda ajuda durante o tempo que tenho estado no Brasil.

Ao Projeto BIOCRONORTE – Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões, que permitiu as pesquisas deste mestrado e pelo apoio na coleta das amostras analisadas.

Ao Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) da UFRGS por disponibilizar a infraestrutura do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e ao Dr. Daniel Triboli Vieira pelo ensinamento, a assistência e o apoio no funcionamento da ferramenta.

À minha família que sempre me oferecem seu apoio e confiança. A minha mãe, Iris por todo o amor e incentivo; ao meu pai, Martin pela dedicação e ajuda, e pelos ensinamentos sobre estruturar trabalhos de pesquisa; aos meus irmãos, Kevin e Sebastián pelo apoio incondicional. Obrigado por tudo.

E, finalmente, gostaria agradecer a quem me acompanhou neste caminho de estudar e pesquisar fora do nosso país, e quem ajudou a tornar essa experiência memorável. Daniela, obrigado por estar ao meu lado.

## RESUMO

Durante o Pensilvaniano - Permiano inferior houve deglaciação do Gondwana isso é marcado na Bacia do Amazonas região norte do Brasil, através da sedimentação da sequência transgressiva-regressiva compreendida nos carbonatos marinhos do Grupo tapajós. Nessa sequência, os depósitos carbonáticos marinhos fossilíferos da Formação Itaituba representam um mar epicontinental de águas calmas e quentes, os quais preservaram faunas abundantes e diversificadas de conodontes, importantes microfósseis marinhos utilizados para determinação de idade e correlações estratigráficas mundiais. Neste trabalho foram estudados conodontes coletados em uma seção de carbonatos da Formação Itaituba, denominada BAS 1, na Mineradora ITACIMPASA, plataforma sul da Bacia do Amazonas. Foram identificados oito gêneros e dezenove espécies: *Declinognathodus*, *Idiognathoides*, *Idioproniodus*, *Idiognathodus*, *Neognathodus*, *Hindeodus*, *Adetognathus* e *Diplognathodus*. Foi possível observar duas associações de conodontes com espécies guias marcadoras do limite Bashkiriano-Moscoviano na Bacia do Amazonas. *Idiognathodus incurvus*, *Declinognathodus marginodosus*, *Neognathodus atokaensis*, *Adetognathus lautus* e *A. spathus* são marcadores do Bashkiriano final, e *Declinognathodus donetzianus*, *Idiognathoides postsulcatus*, *Diplognathodus ellesmerensis* marcam o Moscoviano inicial. Foram identificadas duas biozonas: a Zona *Declinognathodus marginodosus/Neognathodus atokaensis* (Bashkiriano final) e a Zona *Declinognathodus donetzianus/Diplognathodus ellesmerensis* (Moscoviano inicial). Ainda, foi possível identificar pela primeira vez a ocorrência de diferentes elementos ramiformes de *Idioproniodus conjunctus* o que possibilitou o registro e a proposição do primeiro aparelho multielementar de *Idioproniodus* na Bacia do Amazonas. A fauna descrita, o reconhecimento do aparelho de *Idioproniodus* e o estabelecimento das biozonas contribuem significativamente para o refinamento biocronoestratigráfico do Pensilvaniano no Oeste do Gondwana.

Palavras-chaves: Limite Bashkiriano-Moscoviano, biocronoestratigrafia, aparelho conodonte, multitaxonomia, Formação Itaituba, Oeste do Gondwana.

## ABSTRACT

During the Pennsylvanian - Lower Permian, deglaciation of Gondwana occurred, and this is evident in the Amazonas Basin, located in the northern region of Brazil, through the sedimentation of the transgressive-regressive sequence found within the marine carbonates of the Tapajós Group. In this sequence, the fossiliferous marine carbonate deposits of the Itaituba Formation represent an epicontinental sea of calm and warm waters. Which preserved abundant and diversified faunas of conodonts, important marine microfossils used for age determination and global stratigraphic correlations. In this study, conodonts collected from a carbonate section of the Itaituba Formation, designated as BAS 1, in the ITACIMPASA Mine, southern platform of the Amazonas Basin, were examined. Eight genera and nineteen species were identified: *Declinognathodus*, *Idiognathoides*, *Idioprioniodus*, *Idiognathodus*, *Neognathodus*, *Hindeodus*, *Adetognathus*, and *Diplognathodus*. It was possible to observe two conodont assemblages with guide species for the Bashkirian-Moscovian boundary in the Amazonas Basin. *Idiognathodus incurvus*, *Declinognathodus marginodosus*, *Neognathodus atokaensis*, *Adetognathus lautus*, and *A. spathus* mark the late Bashkirian, while *Declinognathodus donetzianus*, *Idiognathoides postsulcatus*, *Diplognathodus ellesmerensis* characterize the early Moscovian. Two biozones were identified: the *Declinognathodus marginodosus/Neognathodus atokaensis* Zone (late Bashkirian) and the *Declinognathodus donetzianus/Diplognathodus ellesmerensis* Zone (early Moscovian). Furthermore, it was possible to identify, for the first time, the occurrence of different ramiform elements of *Idioprioniodus conjunctus*, enabling the recording and proposition of the first multi-element apparatus of *Idioprioniodus* in the Amazonas Basin. The described fauna, the recognition of the *Idioprioniodus* apparatus, and the establishment of biozones significantly contribute to the biochronostratigraphic refinement of the Pennsylvanian in the Western Gondwana.

Keywords: Bashkirian/Moscovian Boundary, biocronostratigraphy, conodont apparatus, multitaxonomy, Itaituba Formation, Western Gondwana.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização e limites da Bacia do Amazonas. Modificado de Wanderley Filho et al. (2006). ..... 20
- Figura 2. Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas. Em vermelho destaque para a Formação Itaituba enfoque deste estudo. Modificado de Cunha et al. (2007). ..... 23
- Figura 3. A. Mapa de localização da Bacia do Amazonas. Modificado de Scomazzon (2004.). B. Mapa geológico da região da plataforma sul, onde a amostragem foi realizada. Modificado de Matsuda et al. (2010). A estrela vermelha indica a localização exata da área estudada. .... 25
- Figura 4. Perfil litoestratigráfico da Seção ITACIMPASA. Modificado de Nascimento et al. (2010). O retângulo vermelho indica o intervalo BAS1 aqui estudado e C1 a C16 representa cada camada coletada. .... 26
- Figura 5. Ponto de coleta Intervalo BAS 1, na mineradora de calcário ITACIMPASA: A, B e C representam estratigraficamente, da base para o topo da seção as Bancadas (afloramentos) 1, 2 e 3 respectivamente. .... 27
- Figura 6. Fotografias dos materiais e instrumentos utilizados nas diferentes técnicas metodológicas utilizadas no estudo dos elementos conodontes nesta pesquisa. A. Prensa hidráulica para britagem de amostras; B, C e D: Preparação de amostras para tratamento químico, B: recipiente com 1,5 litros de água, C: 1kg de amostra triturada, D: 150 ml de ácido acético; E: Capela de exaustão de gases, onde são colocadas as amostras para evitar a contaminação do ar com o gás gerado na reação química; F e G: O material insolúvel resultante do tratamento químico é lavado com água morna e separado por peneiras (G) com aberturas de 20 e 200 mesh; H: Estufa para secagem do material insolúvel resultante; I: Material insolúvel resultante armazenado para triagem; J: Bandejas especiais para triagem; K: Lupa binocular e material utilizado para recuperação dos elementos, como pincéis e células; L: Células onde os elementos conodontes são fixados e separados com base nas amostras, gêneros e estados ontogenéticos; M e N: Stubs com fita de carbono colada(M), onde são montados os elementos conodontes (N) metalizados em ouro e fotografados no

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV); O: MEV do Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) da UFRGS. ....	32
Figura 7. Modelo da evolução dos conodontes, proposto por Bengtson (1976), explica as diferentes estruturas internas dos protoconodontes, paraconodontes e euconodontes como resultado do aumento da cobertura epitelial durante o crescimento. ....	36
Figura 8. Terminologia para os elementos coniformes; A. elementos geniculados. B. elementos não geniculados. Modificada de Sweet (1988). ....	38
Figura 9. Elementos ramiformes e sua orientação; ac: anticúspide; c: cúspide; cb: cavidade basal; d: dentículo; fb: fossa basal; pp: processo posterior; pl: processo lateral; ple: processo lateral externo; pli: processo lateral interno; pp: processo posterior e zmr: zona de margem basal recessiva. Modificado de Sweet (1988). ....	40
Figura 10. Elementos rastrados e sua orientação; c: cúspide; d: dentículo e s: sulco. Modificado de Sweet (1988). ....	41
Figura 11. Elementos pectiniformes estelados e pastinados, e suas orientações; c: cúspide; cb: cavidade basal; d: dentículo; fb: fossa basal; pa: processo anterior; pl: processo lateral; plp: processo lateral primário; pls: processo lateral secundário; pp: processo posterior e zmr: zona de margem basal recessiva Modificado de Sweet (1988). ....	42
Figura 12. Elementos pectiniformes angulados e carminados, e suas orientações. Modificado de Sweet (1988). ....	43
Figura 13. Elementos pectiniformes segminados e suas orientações; c: cúspide; car: carena; cb: cavidade basal; d: dentículo; f: fossa; fb: fossa basal; ll: lâmina livre; pla: plataforma pl: processo lateral e q: quilha. Modificado de Sweet (1988). ....	44
Figura 14. A, B. Associação natural <i>Idioprioniodus</i> e <i>Idiognathodus</i> em um plano de estratificação de materiais do Carbonífero em Bailey Falls (Illinois, EUA). Extraído de Dubois (1943); C. Aglomerado de elementos “Cluster” de Granton Shrimp Bed. Extraído de Aldridge (1987). ....	46



Figura 15. Esquemas de notação e localização dos elementos conodontes em um aparelho septimembrado; A. Modificado de Sweet (1988); B. Modificado de Purnell et al. (2000). ..... 48

Figura 16. A. Comparação de termos na notação convencional e na baseada em sua orientação biológica para o aparelho conodonte da Ordem Ozarkodinida *Gnathodus bilineatus*; B. Orientação biológica dos elementos conodontes em um conodonte ozarkodinida; C. Orientação biológica e anatômica, e notação dos elementos conodontes baseada em sua topologia, sendo: 1. Par estereográfico de um aparelho conodonte ozarkodinida orientado dorsoventralmente e 2. Figura do aparelho ozarkodinida em vista rostrocaudal. Extraído de Purnell et al. (2000). ..... 51

Figura 17. *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell, 1931). A-F, elementos M: A, MP-M 1712; B, MP-M 1711; C, MP-M 1462; D, MP-M 1709; E-F, MP-M 1710; G-M, elementos P1: G, MP-M 1466; H-I, MP-M 1701; J, MP-M 1700; K, MP-M 1467; L-M, MP-M 1697; N-T, elementos P2: N, MP-M 1708; O-P, MP-M 1707; Q, MP-M 1471; R, MP-M 1706; S-T, MP-M 1705; U-Z, elementos S4: U, MP-M 1717; V, MP-M 1715; W, MP-M 1714; X-Z, MP-M 1713; A'-D', elementos S3: A', MP-M 1721; B', MP-M 1720; C', MP-M 1719; D', MP-M 1718; E'-H', elementos S2: E', MP-M 1722; F', MP-M 1724; G', MP-M 1464; H', MP-M 1725; I'-K', elementos S1: I', MP-M 1727; J', MP-M 1726; K', MP-M 1473; L'-P', elementos S0: L', MP-M 1731; M', MP-M 1730; N', MP-M 1729; O', MP-M 1474; P', MP-M 1728. Todos da camada C13 (amostra BAS1-9E), exceto o C, G, K, Q, G', K', e O' da camada C14 (BAS1-3F). Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes. .... 67

Figura 18. Espécies de *Declinognathodus* da seção estudada. A-J, *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovska, 1990, elementos P1: A, MP-M 1484; B, MP-M 1483; C, MP-M 1614; D, MP-M 1611; E, MP-M 1476 F, MP-M 1608; G, MP-M 1602; H, MP-M 1604, I, MP-M 1605; J, MP-M 1607; K, *Declinognathodus*, elemento P2: K, MP-M 1518; L-U, *Declinognathodus marginodosus*, (Grayson, 1984), elementos P1: L, MP-M 1663; M, MP-M 1516; N, MP-M 1637; O, MP-M 1651; P, MP-M 1630; Q, MP-M 1496; R, MP-M 1491; S, MP-M 1635; T, MP-M 1625; U, MP-M 1629; V-X, *Declinognathodus* sp., elementos P1: V, MP-M 1487; W, MP-M 1486; X, MP-M 1620. Todos

provenientes da camada C13 (amostra BAS1-9E), exceto A, B, E, K, M, Q, R, V e W, provenientes da camada C14 (amostra BAS1-3F). Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes..... 73

Figura 19. Espécies de *Idiognathoides* da seção estudada. A-J, *Idiognathoides sinuatus*, (Harris & Hollingsworth), 1933, elementos P1: A, MP-M 1423; B, MP-M 1526; C, MP-M 1536; D, MP-M 1523; E, MP-M 1540 F, MP-M 1413; G, MP-M 1537; H, MP-M 1523, I, MP-M 1535; J, MP-M 1521; K, *Idiognathoides*, elemento P2: K, MP-M 1520; L-P, *Idiognathoides postsulcatus*, Nemyrovska, 1999, elementos P1: L, MP-M 1586; M, MP-M 1432; N, MP-M 1410; O, MP-M 1431; P, MP-M 1587; Q-Z, *Idiognathoides fossatus*, (Branson & Mehl, 1941), elementos P1: Q, MP-M 1583; R, MP-M 1435; S, MP-M 1445; T, MP-M 1555; U, MP-M 1581; V, MP-M 1556; W, MP-M 1573; X, MP-M 1553; Y, MP-M 1571; Z, MP-M 1551. Todos provenientes da camada C13 (amostra BAS1-9E), exceto A, F, K, M, O, R e S (amostra BAS1-3F) e N (amostra BAS1-9F), ambos provenientes da camada C14. Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes..... 77

Figura 20. Espécies de *Idiognathodus*, *Hindeodus*, *Adetognathus*, *Diplognathodus* e *Neognathodus* das seções estudadas. A-C, *Idiognathodus incurvus*, Dunn, 1966, elementos P1: A, MP-M 1379; B, MP-M 1678; C, MP-M 1380; D, e E, *Idiognathodus sinuosus*, Ellison & Graves, 1941, elementos P1: D, MP-M 1664; E, MP-M 1665; F, *Idiognathodus klapperi*, Lane e Straka, 1974, elemento P1: F, MP-M 1677; G-H, *Hindeodus minutus*, Ellison, 1941, elemento P1: G-H, MP-M 1450; I, *Diplognathodus benderi*, Hu et al. 2020b, elemento P1: I, MP-M 1451; J, Forma de transição *Diplognathodus benderi* – *D. ellesmerensis*, Hu et al. 2020b, elemento P1: J, MP-M 1452; K, L, *Diplognathodus ellesmerensis*, Bender, 1980, elementos P1: K, MP-M 1593; L, MP-M 1594; M, e P, *Adetognathus spathus*, (Dunn, 1966), elementos P1: M, MP-M 1397; P, MP-M 1396; N, e O, *Adetognathus lautus*, (Gunnell 1933), elementos P1: N, MP-M 1348; O, MP-M 1351; Q, T e W *Neognathodus atokaensis*, Grayson, 1984, elementos P1: Q, MP-M 1597; T, MP-M 1372; W, MP-M 1374; R, S e X *Neognathodus uralicus*, Nemyrovskaya & Alekseev, 1994, elementos P1: R, MP-M 1598; S, MP-M 1601; X, MP-M 1453; U, V e Y *Neognathodus bassleri*, Harris

& Hollingsworth, 1933, elementos P1: U, MP-M 1406; V, MP-M 1373; Y, MP-M 1595. A, C, N, O, T, W e V (amostra BAS1-3C), e M, P, T e U (amostra BAS1-9C) ambas amostras da camada C11; G, I, J, e X da camada C14 (amostra BAS1-3F), e B, D, E, F, K, L, Q, R, S e Y da camada (amostra BAS1-9E). Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes.....	88
Figura 21. Processos regenerativos de elementos conodontes. A. Cimentação; B. Rejuvenescimento; C. Revestimento; D. Compensação; E. Crescimento de protuberâncias. Modificado de Weddige (1990).....	90
Figura 22. Representações características de patologias identificadas no acervo de elementos conodontes recuperados do intervalo BAS 1 da Seção ITACIMPASA.....	92
Figura 23. Representações características de alterações tafonômicas identificadas no acervo de elementos de conodontes recuperados do intervalo BAS 1 da Seção ITACIMPASA. ....	97
Figura 24. Trajetórias de sedimentação de diferentes tipos de elementos com base em sua morfologia. Modificado de McGoff (1991). ....	99
Figura 25. Morfologias dos elementos conodontes recuperados na camada C11, Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, Formação Itaituba. ....	101
Figura 26. Morfologias dos elementos conodontes recuperados na camada C13, Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, Formação Itaituba. ....	102
Figura 27. Morfologias dos elementos conodontes recuperados na camada C14, Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, Formação Itaituba. ....	103
Figura 28. Representação da quantidade de elementos que compõem o aparelho alimentar de <i>Idioprioniodus</i> na camada C13, dentro do Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, na Formação Itaituba. ....	104
Figura 29. Representação da quantidade de elementos que compõem o aparelho alimentar de <i>Idioprioniodus</i> na camada C14, dentro do Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, na Formação Itaituba. ....	104

Figura 30. A. Índice de Alteração de Cor dos conodontes (IAC), valores de 1 a 5. Modificado de Epstein et al. (1977); B. Índice de Alteração de Cor dos conodontes (IAC), valores de 5 a 8. Modificado de Rejebian et al. (1987).....	105
Figura 31. Fotografias representativas sob lupa binocular das distintas morfologias obtidas na fauna conodonte da seção estudada para a análise do IAC. ....	106
Figura 32. Perfil litoestratigráfico e distribuição estratigráfica das espécies de conodontes do intervalo estudado BAS1, na Seção de ITACIMPASA.....	108
Figura 33. Reconstrução do aparelho multielementar de <i>Idioproniodus conjunctus</i> (Gunnell, 1931), elementos juvenis e gerontes. ....	112
Figura 34. Biozonas da Bacia do Amazonas no Bashkiriano-Moscoviano com base em conodontes. Abreviações: D. ( <i>Diplognathodus</i> ), De. ( <i>Declinognathodus</i> ), I. ( <i>Idiognathodus</i> ), Id. ( <i>Idiognathoides</i> ), N. ( <i>Neognathodus</i> ), Rh. ( <i>Rhachistognathus</i> ), S. ( <i>Streptognathodus</i> ).....	113
Figura 35. Distribuição global da fauna de conodontes aqui estudada, relacionada aos andares Bashkiriano-Moscoviano; Mapa paleogeográfico do Atlas PALEOMAP para ArcGIS. Modificado de Scotese (2014). Dados de conodontes de: ABNP, Bacia do Amazonas Plataforma Norte (Lemos 1992a; Cardoso et al. 2017a), ABSP, Bacia do Amazonas Plataforma Sul (este estudo); AC, Canadá Ártico (Bender 1980); AK, Alasca (Savage & Barkeley 1985); CM, Montanhas Cantábricas, Espanha (van den Boogaard 1983; Blanco-Ferrera et al. 2009); DB, Bacia de Donetz (Nemyrovska 1999; Nemyrovska & Hu 2018); GZ, Guizhou, sul da China (Qi et al. 2016; Hu et al. 2020b); MB, Bacia de Moscou (Alekseev & Goreva 2001); MI, Michigan (Landing & Wardlaw 1981); NM, Novo México (Saelens 2014); NT, Norte de Timan (Goreva & Kossovaya 1997); OK, Oklahoma (Grubbs 1984; Grayson 1984); SK, Coreia do Sul (Lee & Bak 2003); SU, Montanhas do Sul dos Urais (Kulagina et al. 2009; Alekseev et al. 2018); UK, Reino Unido (van den Boogaard & Bless 1985).....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fauna associada e observações de petrografia das amostras do intervalo BAS1.....	27
Tabela 2. Elementos conodontes P1 recuperados, exceto <i>Idioproniodus conjunctus</i> , do intervalo BAS1 estudado na Seção ITACIMPASA. ....	33
Tabela 3. Categorias morfológicas dos elementos conodontes. Modificado de Sweet (1988).....	37
Tabela 4. Terminologia e nomenclatura dos elementos conodontes dependendo da topologia. Modificado de Purnell et al. (2000). ....	52
Tabela 5. Patologias dos elementos conodontes e suas supostas causas. Modificado de Nazarova & Kononova (2020).....	91

## LISTA DE ABREVIações

*A. Adetognathus*

*D. - Diplognathodus*

*De. - Declinognathodus*

*I. – Idiognathodus*

*Id. – Idiognathoides*

*Ip. - Idioprioniodus*

*N. – Neognathodus*

*Rh. -Rhachistognathus*

*S. – Streptognathodus.*

p. ex. – Por exemplo

## SUMÁRIO

SOBRE A ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO .....	17
PARTE I. TEXTO INTEGRADOR.....	18
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	18
CAPÍTULO II. CONTEXTO GEOLOGICO .....	20
BACIA DO AMAZONAS.....	20
FORMAÇÃO ITAITUBA .....	24
LOCALIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO .....	25
CAPÍTULO III. MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
TRABALHO DE CAMPO .....	28
TÉCNICAS DE LABORATÓRIO .....	28
TRABALHO DE ESCRITÓRIO .....	30
CAPÍTULO IV. GENERALIDADES SOBRE OS CONODONTES .....	34
INTRODUÇÃO AOS ESTUDOS DOS CONODONTES.....	34
ESTUDOS NA BACIA DO AMAZONAS BASEADOS EM CONODONTES.....	54
CAPÍTULO V. RESULTADOS .....	60
SISTEMATICA.....	60
TAFONOMIA .....	89
BIOESTRATIGRAFIA .....	108
CAPÍTULO VI. DISCUSSÕES .....	111
RECONSTRUÇÃO MULTIELEMENTAR DE <i>Idioproniodus conjunctus</i> (Gunnell, 1931).....	111
IMPLICAÇÕES DA FAUNA DE CONDONTES .....	112
CAPÍTULO VII. CONCLUSÕES.....	118
CAPÍTULO VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

PARTE II. ARTIGO.....	142
PARTE III. COMPLEMENTOS .....	166
ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO .....	166
ANEXO B – CERTIFICADOS DE APRESENTAÇÕES EM EVENTOS .....	169



## **SOBRE A ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido de acordo com as normas de pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e se estrutura com base na apresentação de artigos publicados em revistas indexadas. Nesse sentido, sua organização compreende as seguintes partes:

### **PARTE I. TEXTO INTEGRADOR**

Esta seção é composta pelos capítulos fundamentais para a realização da segunda parte desta dissertação. O primeiro capítulo é introdutório e consiste em uma síntese do objeto de pesquisa, dos objetivos e da importância do estudo na bacia do Amazonas. O segundo capítulo aborda a localização da área estudada, os materiais e metodologias utilizadas. O terceiro capítulo trata do contexto geológico da região. O quarto capítulo é uma síntese sobre o estudo dos conodontes. O quinto capítulo resume os resultados e a discussão integrativa da pesquisa. O sexto capítulo apresenta as conclusões obtidas e as recomendações para trabalhos futuros. Por fim, o sétimo capítulo é composto pelas referências bibliográficas utilizadas nesta parte da dissertação.

### **PARTE II. ARTIGOS**

O artigo científico, intitulado “**First occurrences of *Idioprioniodus conjunctus* (Gunnell, 1931) from Pennsylvanian carbonate deposits of Amazonas Basin, Brazil: multitaxonomy implications**” foi submetido na revista *Marine Micropaleontology* (classificação Qualis Capes N2).

### **PARTE III. COMPLEMENTOS**

Anexos: tabelas, gráficos e fotografias.

## PARTE I. TEXTO INTEGRADOR

### CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O estudo dos conodontes, microrganismos marinhos, tem ganhado importância desde a descoberta feita por Pander (1856) desses elementos mineralizados que faziam parte do aparelho oral de animais conodontes. Esses organismos paleozoicos têm registros que se estendem do Cambriano ao Triássico onde se extinguem. Desde então, eles têm desempenhado um papel fundamental em diversos campos da pesquisa geológica. Primeiramente, os conodontes são amplamente utilizados em estudos bioestratigráficos como excelentes fósseis indicadores. Eles permitem a correlação e datação detalhada de estratos rochosos, tornando-se ferramentas valiosas para reconstruir a história geológica da Terra. Além disso, a aplicação dos conodontes na prospecção de recursos econômicos é notável, já que eles atuam como indicadores geotérmicos com um amplo espectro de aplicação. Isso é crucial na identificação de áreas de potencial interesse para a indústria (Epstein *et al.*, 1977) (Rejebian *et al.*, 1987). No entanto, os conodontes não se limitam apenas a esses campos. Eles também desempenham um papel importante em estudos paleoecológicos e paleogeográficos, ajudando a reconstruir ecossistemas antigos e os ambientes em que esses organismos habitavam. Recentemente, os conodontes têm sido objeto de investigação em técnicas geoquímicas, com o objetivo de compreender a química das águas em que habitavam e as variações ambientais. Isso amplia ainda mais sua relevância na pesquisa científica contemporânea e demonstra a versatilidade desses fósseis na exploração do passado geológico da Terra.

Por outro lado, o Gondwana foi afetado por eventos geológicos globais associados a períodos de pulsos glaciais durante o Pensilvaniano, resultando em mudanças climáticas e flutuações do nível do mar (Caputo, 1984; Davydov *et al.*, 2012). Esses pulsos estão associados ao deslocamento do Gondwana das altas para as médias latitudes durante a formação do supercontinente Pangea (Matsuda *et al.*, 2010). Na Bacia do Amazonas, os carbonatos marinhos carboníferos do Grupo Tapajós, principalmente da Formação Itaituba, são o resultado dessas flutuações, e eles apresentam uma boa preservação fossilífera e consistência estratigráfica e fornecem evidências da cronoestratigrafia desses

pulsos transgressivos-regressivos relacionados às mudanças paleoambientais que afetaram o Oeste do Gondwana (Caputo, 1984; Cunha et al., 1994).

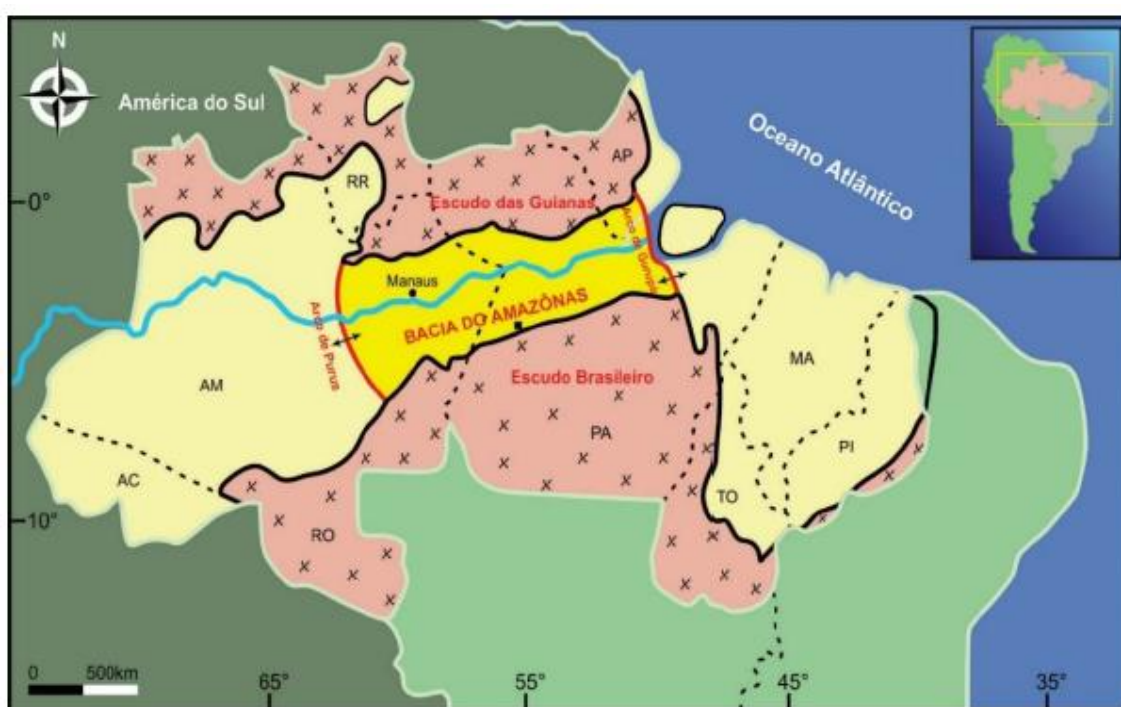
A Formação Itaituba é caracterizada pelo estabelecimento de condições marinhas generalizadas e, em particular, pela transgressão marinha durante o Pensilvaniano na Bacia do Amazonas (Scomazzon et al., 2016; Cunha et al., 2007; Silva et al., 2022). A seção inclui vários litotipos carbonáticos e um rico conteúdo fossilífero composto por uma fauna marinha abundante (Scomazzon e Lemos, 2005; Nascimento et al., 2010; Scomazzon et al., 2016; Moutinho et al., 2016). Associações de conodontes abundantes e diversas fornecem um controle bioestratigráfico confiável (Nascimento et al., 2005; Nascimento et al., 2010; Scomazzon et al., 2016).

Neste estudo, uma porção nomeada Intervalo BAS 1 da Seção ITACIMPASA, seção previamente estudada onde afloram rochas da Formação Itaituba foi novamente amostrada, e os conodontes presentes foram investigados em detalhe. O principal objetivo desta pesquisa foi estudar e analisar os elementos conodontes recuperados de uma seção com 8 metros (Intervalo BAS 1), localizada na borda sul da Bacia do Amazonas, em uma frente de mineração na Mineradora ITACIMPASA. Para alcançar esse objetivo, estabeleceram-se objetivos específicos. Primeiramente, buscou-se determinar a taxonomia de acordo com as normas estabelecidas. Realizaram-se análises multitaxonômicas que permitiram, pela primeira vez, a identificação e compreensão da concepção de um aparelho multielementar na Bacia do Amazonas. Além disso, foi possível identificar espécies pela primeira vez, permitindo a correlação das faunas do Panthalassa no Oeste do Gondwana com as faunas do Paleotethys. Posteriormente, conduziu-se uma análise tafonômica dos espécimes, visando identificar possíveis processos que possam ter afetado os conodontes antes e depois do seu sepultamento. Essas informações serão valiosas para apoiar estudos subsequentes de bioestratigrafia, paleoecologia e paleobiogeografia. Além disso, foram aplicados conceitos de bioestratigrafia ao utilizar espécies índice para identificar e delimitar os andares Bashkiriano/Moscoviano na seção estudada.

## CAPÍTULO II. CONTEXTO GEOLOGICO

### BACIA DO AMAZONAS

A Bacia do Amazonas, situada na região norte do Brasil, encontra-se entre os estados do Amazonas e Pará e é delimitada ao norte pelo Escudo das Guianas, ao sul pelo Escudo Brasileiro, a leste pelo Arco do Gurupá e a oeste pelo Arco do Purus (Cunha et al., 2007; Matsuda et al., 2010). Apresenta uma configuração alongada e estreita na direção OSO-ENE (WSW-ENE), ocupando aproximadamente 500.000 km<sup>2</sup>, onde o curso atual do Rio Amazonas corresponde ao eixo deposicional atual (Cunha et al., 2007) (Figura 1).



**Figura 1.** Localização e limites da Bacia do Amazonas. Modificado de Wanderley Filho et al. (2006).

De acordo com Wanderley Filho (1991) e Cunha et al. (1994), a Bacia do Amazonas é uma bacia intracratônica desenvolvida no Cráton do Amazonas, e o seu preenchimento sedimentar atinge uma espessura de 6 km. É composta por duas principais megassequências com uma discordância regional. A primeira megassequência é do Paleozoico, com preenchimento sedimentar, enquanto a segunda megassequência é do Mesozoico-Cenozoico e contém depósitos tanto sedimentares quanto vulcânicos (Cunha et al., 2007) (Figura 2).

A **megassequência do Paleozoico** compreende quatro sequências de segundo grau representadas pelas sequências Ordoviciano-Devoniano, Devoniano-Tournaisiano, Neoviseano e Pensilvaniano-Permiano segundo Cunha et al. (2007).

A sequência **Ordoviciano-Devoniano** é um registro do início da deposição na sinéclise, e apresenta um caráter pulsante de avanços e recuos do nível do mar. Essa sucessão é representada por depósitos glacio-marinhos que avançaram de leste a oeste e fazem parte do Grupo Trombetas. O Grupo Trombetas é composto por várias formações, incluindo a Formação Autás Mirim, que é caracterizada por camadas de arenitos e folhelhos neríticos. A Formação Nhamundá é composta principalmente por arenitos neríticos e depósitos glaciogênicos. A Formação Pitinga consiste em camadas de folhelhos e diamictitos. A Formação Manacapuru é composta por arenitos e pelitos neríticos, enquanto a Formação Jatapu é constituída por camadas de arenitos e siltitos marinhos parálisos litorâneos.

Após a discordância relacionada à Orogenia Caledoniana, ocorreu na Bacia um novo ciclo sedimentar de natureza transgressivo-regressiva, que resultou na deposição da sequência **Devono-Tournaisiana**. Essa sequência representa um estágio de deposição marinha com episódios glaciais intercalados. Ela é composta por dois grupos distintos: o Grupo Urupadi e o Grupo Curuá. O Grupo Urupadi é constituído pela Formação Maecuru, a qual é composta por camadas de arenitos e pelitos neríticos a deltaicos. Além disso, o Grupo Urupadi inclui a Formação Ererê, que é caracterizada por siltitos, folhelhos e arenitos neríticos e parálisos. O Grupo Curuá, por sua vez, é composto pela Formação Barreirinha, que é constituída por folhelhos negros a cinza escuros, laminados e ricos em fósseis marinhos. A Formação Curiri é outra parte desse grupo e é composta por diamictitos, folhelhos, siltitos e arenitos associados a ambientes glaciais a periglaciais, em relação ao resfriamento climático que ocorreu na Bacia durante o final do Devoniano. Por fim, a Formação Oriximiná, também pertencente ao Grupo Curuá, é formada principalmente por arenitos e siltitos que indicam ambientes marinhos rasos e fluviais.

Posteriormente, a Bacia foi impactada por uma intensa atividade tectônica nas margens da Placa Sul-Americana, resultando na orogenia Acadiana. Esse evento provocou o levantamento e a erosão da Sequência **Devono-Tournaisiana**, originando a discordância que a separa da unidade suprajacente, conhecida como Formação Faro. A Formação Faro representa a sequência Neoviseana e é composta principalmente por arenitos e pelitos que refletem ambientes flúvio-deltaicos e litorâneos, influenciados por tempestades.

A sequência **Pensilvaniano-Permiano** é um ciclo transgressivo-regressivo e resulta de um evento de subsidência, caracterizado por uma incursão marinha vinda do Oeste e uma mudança drástica no clima, causando o afogamento de dunas eólicas na Bacia do Solimões, ultrapassando o Arco do Purus e interconectando as bacias do Solimões e do Amazonas (Caputo, 1984, 2014; Cunha et al. 2007; Matsuda et al., 2010; Silva, 2019). Essa sequência inclui o Grupo Tapajós, que é composto pelas formações Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá. Durante os andares Pensilvanianos e Permianos, ocorreu uma mudança significativa no clima, passando de condições frias para quentes e áridas. Essa mudança provavelmente está relacionada a flutuações do nível do mar, que estão associadas às variações no volume de gelo no Gondwana. O deslocamento dos continentes das altas para as médias latitudes durante os estágios posteriores do desenvolvimento do supercontinente Pangea contribuiu para essas variações (Matsuda et al., 2010; Caputo, 2014).

Após a deposição da megassequência paleozoica, ocorreram eventos magmáticos datados do Triássico e Jurássico, que resultaram na formação de extensas soleiras e diques compostos por rochas básicas na seção paleozoica. A origem desses eventos magmáticos está ligada a um único episódio conhecido como Magmatismo Penatecaua, que está associado à abertura do Oceano Atlântico Central, como apontado por Wanderley-Filho et al. (2009). Antes desse episódio, riftes geológicos, como os de Marajó e Tacutu, foram gerados, conforme observado por Cunha et al. (2007). Concomitantemente ao processo de rifteamento em Marajó, ocorreu a formação da ombreira do rifte a leste da Bacia do Amazonas, que recebeu o nome de Arco de Gurupá. Esse arco geológico interrompeu a conexão da Bacia do Amazonas com a Bacia do Parnaíba e as bacias localizadas no noroeste da África (Caputo, 2014).

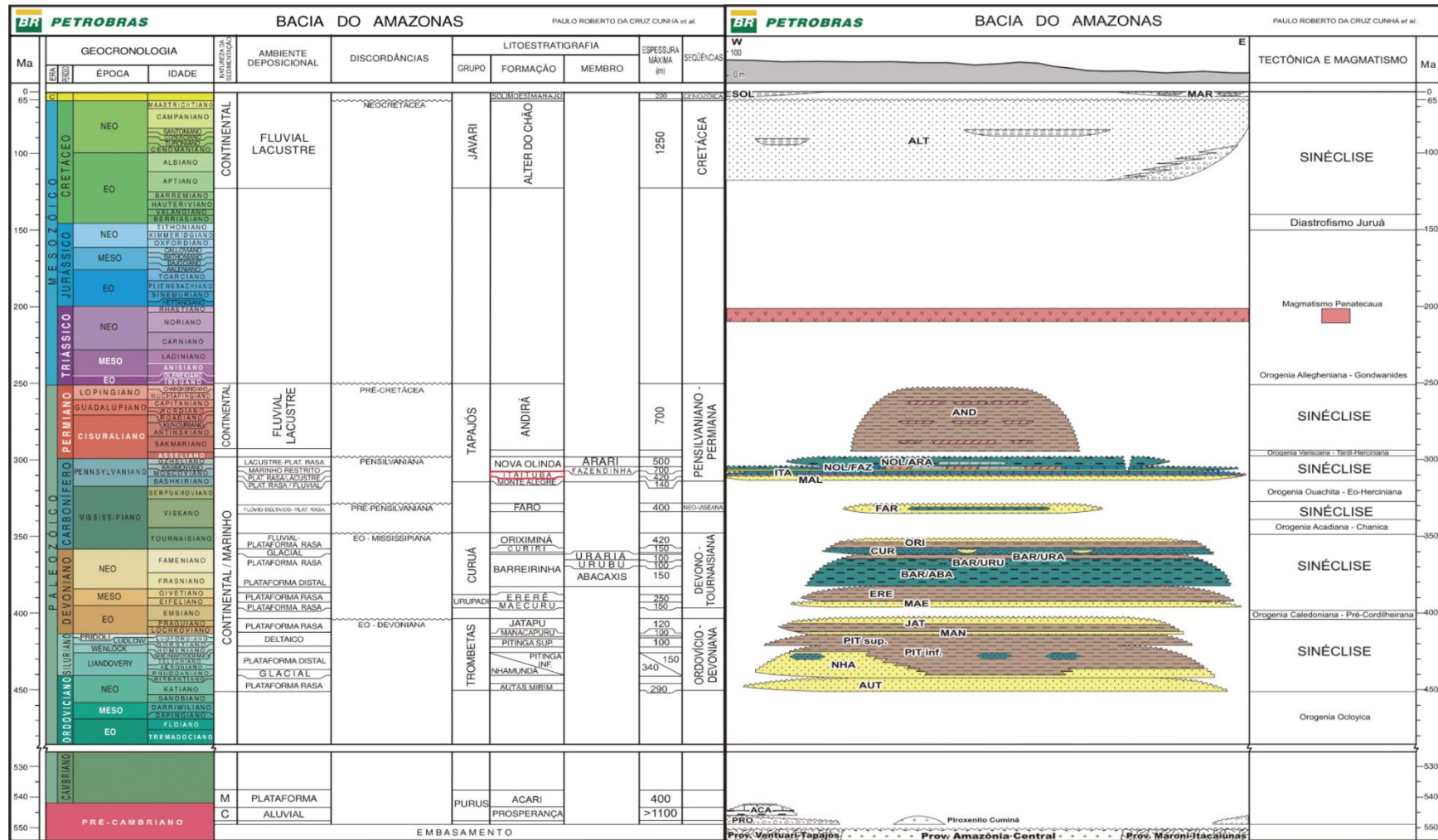


Figura 2. Carta estratigráfica da Bacia do Amazonas. Em vermelho destaque para a Formação Itaipua enfoque deste estudo. Modificado de Cunha et al. (2007).

Após os eventos tectônicos, que ocorreram no final do Mesozoico, uma fase de relaxamento tectônico se estabeleceu, criando uma zona de subsidência propícia para a deposição da **megassequência Mesozoica-Cenozoica**. Essa megassequência é representada pelo Grupo Javari, que inclui a Formação Alter do Chão, caracterizada pela presença de conglomerados, arenitos, argilitos, siltitos e folhelhos. A Formação Marajó é parte desse grupo e é composta principalmente por arenitos formados em ambientes flúvio-deltáicos e fluviais. A Formação Solimões, que corresponde a depósitos de pelitos em ambientes fluviais e lacustres, também faz parte da megassequência. Finalmente, no período Mioceno, após o soerguimento dos Andes, a Bacia começou a ser preenchida por sedimentos provenientes dessa cadeia montanhosa (Cunha et al., 2007).

### **FORMAÇÃO ITAITUBA**

A Formação Itaituba é um depósito amplamente distribuído na Bacia do Amazonas, ocupando cerca de 420 metros de espessura na região do depocentro da bacia (Caputo, 2014). Esta formação é composta por intercalações de carbonatos e evaporitos com camadas siliciclásticas, representando depósitos transgressivos-regressivos. Esses depósitos estão relacionados a um ambiente marinho raso até lagunar associado a uma plataforma de carbonato (Matsuda, 2002; Silva et al., 2015; Moutinho et al., 2016; Neves & Barbosa, 2019; Silva et al., 2022).

As rochas carbonáticas encontradas na Formação Itaituba fornecem evidências de condições nitidamente marinhas na Bacia do Amazonas. A sedimentação de vários litotipos carbonáticos e um rico conteúdo fóssil, incluindo táxons exclusivamente marinhos com uma fauna abundante de foraminíferos bentônicos, conodontes, escolecodontes, ostracodes, briozoários, corais, gastrópodes, bivalves, braquiópodes e trilobitas, entre outros, apoiam esta interpretação (Scomazzon & Lemos, 2005; Nascimento et al., 2010; Scomazzon et al., 2016; Moutinho et al., 2016).

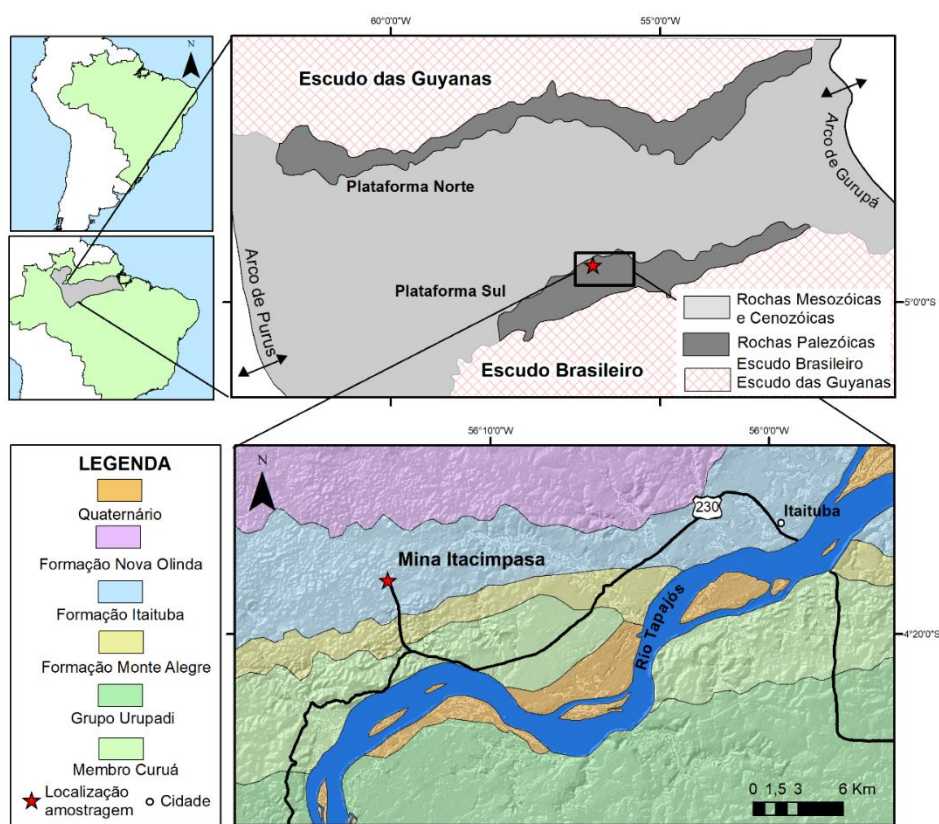
Estudos bioestratigráficos baseados em palinomorfos, foraminíferos fusulinídeos e conodontes têm sido realizados devido ao rico conteúdo fóssil da Formação



Itaituba. Esses estudos posicionaram esta unidade estratigráfica no Bashkiriano superior ao Moscoviano inferior (Morrowano superior ao Atokano) (Lemos & Medeiros, 1996; Altiner & Savini, 1995; Playford & Dino, 2000; Scomazzon, 2004; Scomazzon & Lemos et al., 2005; Scomazzon et al., 2016).

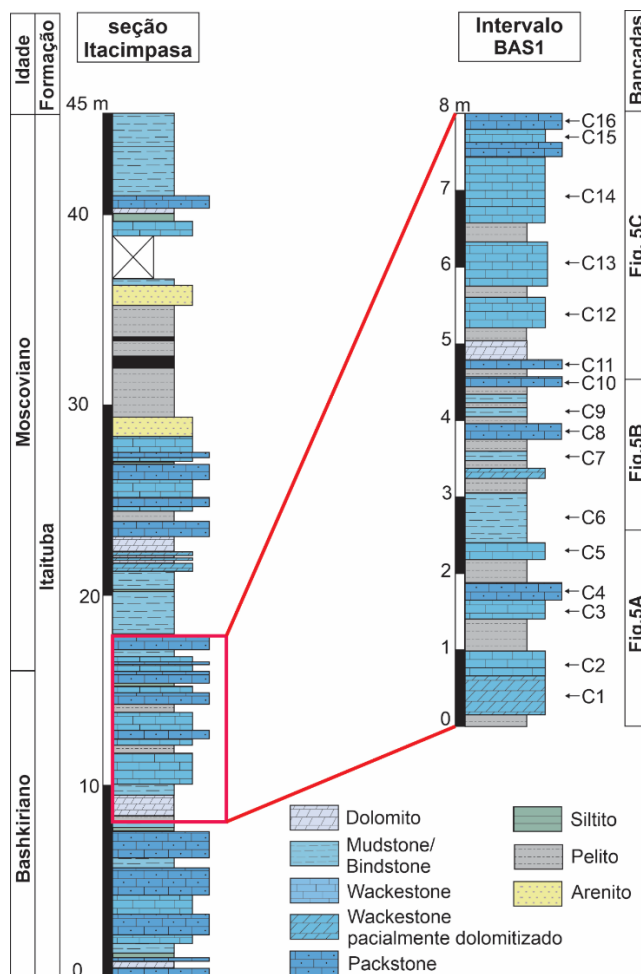
## LOCALIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO

Os carbonatos da Formação Itaituba, localizados na plataforma sul da Bacia do Amazonas, estão expostos de forma proeminente ao longo do rio Tapajós e na Mineradora ITACIMPASA (Figura 3).



**Figura 3.** A. Mapa de localização da Bacia do Amazonas. Modificado de Scomazzon (2004.). B. Mapa geológico da região da plataforma sul, onde a amostragem foi realizada. Modificado de Matsuda et al. (2010). A estrela vermelha indica a localização exata da área estudada.

Estudos anteriores (p. ex. de Matsuda (2002) forneceram uma descrição detalhada do perfil estratigráfico completo da Seção ITACIMPASA, enquanto Nascimento et al. (2004, 2010) e Scomazzon et al. (2016) forneceram uma estrutura bioestratigráfica detalhada para a seção baseada em conodontes. Esta sequência estudada representa um dos afloramentos mais notáveis do sul da Bacia do Amazonas (Figura 4).



**Figura 4.** Perfil litoestratigráfico da Seção ITACIMPASA. Modificado de Nascimento et al. (2010). O retângulo vermelho indica o intervalo BAS1 aqui estudado e C1 a C16 representa cada camada coletada.

O estudo foi realizado na Bacia do Amazonas, mais especificamente em afloramentos na porção sudoeste do Estado de Pará, a 35 km a oeste da cidade de Itaituba, em uma frente de lavra da mineradora de calcário ITACIMPASA (Itaituba Indústria de Cimentos do Pará S/A), com coordenadas geográficas de latitude 4°18'33"S e longitude 56°13'50,9"W (Figura 3).

O ponto de coleta (Intervalo BAS1) são 3 bancadas (afloramentos) compostas por sequências marinhas da Formação Itaituba de idade Bashkiriano/Moscoviano (Atokana) e representam um intervalo da Seção ITACIMPASA que aflora uma sucessão sedimentar carbonífera na plataforma sul da Bacia do Amazonas (Scomazzon, 2004; Nascimento, et al., 2005) (Figura 4; Tabela 1). A coleta foi realizada no mês de dezembro de 2021, organizado e executado como parte do projeto de pesquisa BIOCRO-NORTE

(Biocronoestratigrafia das Bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões), financiado pela empresa PETROBRAS.



**Figura 5.** Ponto de coleta Intervalo BAS 1, na mineradora de calcário ITACIMPASA: A, B e C representam estratigraficamente, da base para o topo da seção as Bancadas (afloramentos) 1, 2 e 3 respectivamente.

**Tabela 1.** Fauna associada e observações de petrografia das amostras do intervalo BAS1.

BANCADAS	AMOSTRAGEM SEÇÃO BAS1				CAMADAS	LITOGEOLOGIA	FAUNA E OBSERVAÇÕES PETROGRAFIA						
3	BAS 1 - 9H				C16	Packstone	Elementos esqueléticos derivados de braquiópodes, equinodermas, ostracodes e pequenos foraminíferos						
	BAS 1 - 9G				C15	Wackstone	Elementos esqueléticos derivados de braquiópodes, equinodermas, ostracodes, bivalves, fragmentos de foraminíferos fusulinídeos e pequenos foraminíferos						
	BAS 1 - 9F		BAS 1 - 3F		C14	Wackstone	Elementos esqueléticos derivados de briozóários, braquiópodes, equinodermas, ostracodes, bivalves, trilobitas e elementos fosfáticos, ocorrem foraminíferos fusulinídeos e pequenos foraminíferos.						
	BAS 1 - 9E		BAS 1 - 3E		C13	Wackstone	Rocha recristalizada. Não foram identificados fósseis.						
	BAS 1 - 4D				C12	Wackstone	Elementos esqueléticos derivados de braquiópodes, equinodermas, ostracodes, bivalves e pequenos foraminíferos.						
	BAS 1 - 9C		BAS 1 - 4C		BAS 1 - 3C		BAS 1 - 2C		BAS 1 - 1C		C11	Packstone	Elementos esqueléticos derivados de briozóários, braquiópodes, ostracodes e corais rugosos, pequenos foraminíferos, pirita, dissolução.
	BAS 1 - 4B		BAS 1 - 3B		BAS 1 - 2B		BAS 1 - 1B		C10	Packstone	Elementos esqueléticos derivados de braquiópodes, equinodermas, ostracodes e bivalves, pirita framboidal.		
	BAS 1 - 9A		BAS 1 - 4A		BAS 1 - 3A		BAS 1 - 2A		BAS 1 - 1A		C9	Mudstone/Bindstone	Elementos esqueléticos de braquiópodes, equinodermas, presença de Anhidrita, Dolomita e Quartzo.
	BAS 1 - 8B				BAS 1 - 8A		C8	Packstone	Elementos esqueléticos derivados de braquiópodes e equinodermas e pequenos foraminíferos.				
	BAS 1 - 8A				BAS 1 - 8A		C7	Mudstone/Bindstone	Mudstone dolomitizado, presença de quartzo subarredondado e pirita framboidal, pequenos foraminíferos.				
2	BAS 1 - 7F		BAS 1 - 5F		C6	Mudstone/Bindstone	Tapete microbial/laminito microbial, camadas de quartzo intercaladas com micrita, relictos bioclásticos associados à braquiópodes.						
	BAS 1 - 7E		BAS 1 - 5E		BAS 1 - 6E		C5	Wackstone	Elementos esqueléticos de briozóários, braquiópodes, equinodermas, bivalves, ostracodes, pequenos foraminíferos, pirita.				
	BAS 1 - 7D		BAS 1 - 5D		BAS 1 - 6D		C4	Packstone	Elementos esqueléticos de briozóários, braquiópodes, ostracodes, equinodermas silicificados, trilobita, foraminíferos fusulinídeos, bivalves.				
1	BAS 1 - 7C		BAS 1 - 5C		BAS 1 - 6C		C3	Wackstone	Elementos esqueléticos de braquiópodes, bivalves, foraminíferos pequenos e fusulinídeos, trilobita, equinodermas, ostracodes.				
	BAS 1 - 7B		BAS 1 - 5B		BAS 1 - 6B		C2	Wackstone	Elementos esqueléticos equinodermas, foraminíferos fusulinídeos, braquiópodes, briozóários, corais rugosos; Grãos de quartzo subarredondados, Pirita.				
	BAS 1 - 7A		BAS 1 - 5A		C1	Wackstone parcialmente dolomitizada	Elementos esqueléticos de braquiópodes, equinodermas e foraminíferos fusulinídeos.						

### **CAPÍTULO III. MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia utilizada para o estudo dos elementos conodontes baseou-se em técnicas específicas de micropaleontologia, já que esses fósseis têm pequeno tamanho, variando de micrômetros a milímetros em alguns casos. Para coletar e analisar esses espécimes fósseis, foram coletadas amostras de campo e, posteriormente, extraídos das rochas utilizando técnicas que envolveram o uso de agentes químicos. Em seguida, os elementos conodontes foram separados, catalogados e fotografados. Esse conjunto de métodos permitiu a realização de um estudo morfológico dos elementos conodontes.

#### **TRABALHO DE CAMPO**

Este estudo foi conduzido em uma área onde pesquisas prévias foram realizadas com ênfase no estudo taxonômico e bioestratigráficos da Formação Itaituba, por meio de um controle de amostragem abrangente verticalmente (Matsuda, 2002), (Nascimento, et al., 2005), (Nascimento, et al., 2010), (Moutinho, 2016) e (Scomazzon, et al., 2016). Essas investigações identificaram pontos de interesse, como as "Pedreira 1 e 2", sendo esta última a zona de estudo no presente trabalho, devido à riqueza e diversidade do registro fóssil, bem como à acessibilidade do local, por esse motivo foi realizada uma amostragem seletiva e detalhada numa seção dessa área.

A seção estudada onde foram realizadas as coletas, nomeada Intervalo BAS 1, possui uma altura de 8 metros, e é dividida em 3 bancadas (Figura 5). Essas coletas consistem em 16 camadas de rochas selecionadas (C1-C16) (ver Figura 4 e Tabela 1), nas quais foram feitas amostragens representativas de 1kg de peso. Em alguns casos, certas camadas que representavam fácies mais favoráveis para a recuperação de conodontes foram amostradas mais de uma vez, com o objetivo de identificar possíveis variações nas associações de conodontes. Ao todo, foram coletadas 39 amostras de carbonatos da Seção ITACIMPASA da Formação Itaituba estudada durante a fase de campo.

#### **TÉCNICAS DE LABORATÓRIO**

As amostras utilizadas para a preparação de lâminas petrográficas e as que seriam submetidas aos processos de recuperação de conodontes foram

selecionadas e catalogadas no Laboratório de Conodontes e Foraminíferos (LACONF) do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A metodologia de recuperação de conodontes empregada neste trabalho foi desenvolvida tendo em conta as orientações de Jeppsson et al., (1999). Foram seguidas uma série de técnicas específicas, que são descritas a seguir:

### **Britagem**

As amostras selecionadas foram pesadas e, em média, foi separado 1 kg de rocha carbonática, que foi posteriormente submetida a um processo de britagem com uma prensa hidráulica, obtendo-se pedaços de aproximadamente 2 cm (Figura 6 e 6C). Este passo é muito importante, pois ao expor mais superfície da rocha, favorece uma maior eficácia do tratamento químico (Jeppsson et al., 1999). Em algumas amostras, optou-se por reduzir o tamanho na britagem para acelerar o processo.

### **Tratamento químico**

A extração dos elementos conodontes foi realizada através da aplicação de um método químico de dissolução da matriz rochosa, que varia de acordo com o tipo de rocha analisada. No presente estudo, as amostras coletadas consistem exclusivamente de rochas carbonáticas, o que levou à escolha da metodologia baseada na dissolução em solução de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) a 10%.

As amostras, previamente trituradas, são transferidas para recipientes com capacidade de 2 litros contendo 1,5 litros de água e 150 ml de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Essa solução é mantida em repouso por um período de 24 a 48 horas dentro de uma capela de exaustão de gases, a fim de permitir que a reação química ocorra completamente. A duração da reação química pode variar de acordo com a composição das amostras (Figura 6B, 6D e 6E).

### **Armazenamento**

O material resultante do tratamento químico foi separado da solução e coletado utilizando duas peneiras com aberturas de 20 e 200 mesh, respectivamente (Figura 6F e 6G). Em seguida, o material foi lavado com água morna para remover partículas argilosas. Se o material coletado na peneira de 20 mesh

ainda apresentasse um tamanho significativo, ele foi devolvido para continuar o processo de tratamento químico, sendo colocado novamente no balde com a solução e adicionando-se mais 50 mililitros de ácido acético para repor o utilizado na reação anterior. Por outro lado, o material fino que ficou retido na peneira de 200 mesh foi seco, armazenado e utilizado na próxima etapa da metodologia (Figura 6H e 6I). Esse processo foi repetido até que a totalidade ou a maioria do carbonato da amostra fosse dissolvida.

## **TRABALHO DE ESCRITÓRIO**

### **Triagem**

O processo de triagem por "picking" foi a etapa do procedimento que leva mais tempo, consistindo em examinar o material insolúvel seco sob uma lupa binocular (Modelo MEIJI EMZ-13TR) para recuperar os elementos de conodontes, bem como a fauna associada, minerais e partículas que representem algum interesse (Figura 6K).

O material a ser triado era colocado em pequenas quantidades em bandejas especiais, que possuem um fundo dividido em quadrículas de 1 cm<sup>2</sup>, dependendo da cor dos conodontes podem ser utilizadas bandejas com fundos pretos ou brancos (Figura 6J).

Os elementos foram recuperados utilizando um pincel umedecido em água e colocados em células para armazenamento de microfósseis, às quais é adicionada uma massa de carbono para que ficaram fixados, mas não presos ao fundo, permitindo uma fácil manipulação. Se o pincel não estiver umedecido, há o risco de o elemento saltar ou se mover bruscamente e ser perdido (Figura 6L).

Foram coletados, os elementos, em células associadas ao nível ou camada de rocha amostrada, e separados de acordo com o táxon em que foram classificados, e distinguindo seu estado ontogenético, se foram juvenis ou gerontes. O material sólido triado é guardado e catalogado com o nome da amostra correspondente.

Esta etapa resultou na recuperação de 1035 elementos conodontes (ver Tabela 2) provenientes da seção estudada da Formação Itaituba, aflorante na borda sul

da Bacia do Amazonas, que foram coletados e estão guardados no Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

### **Fotografias**

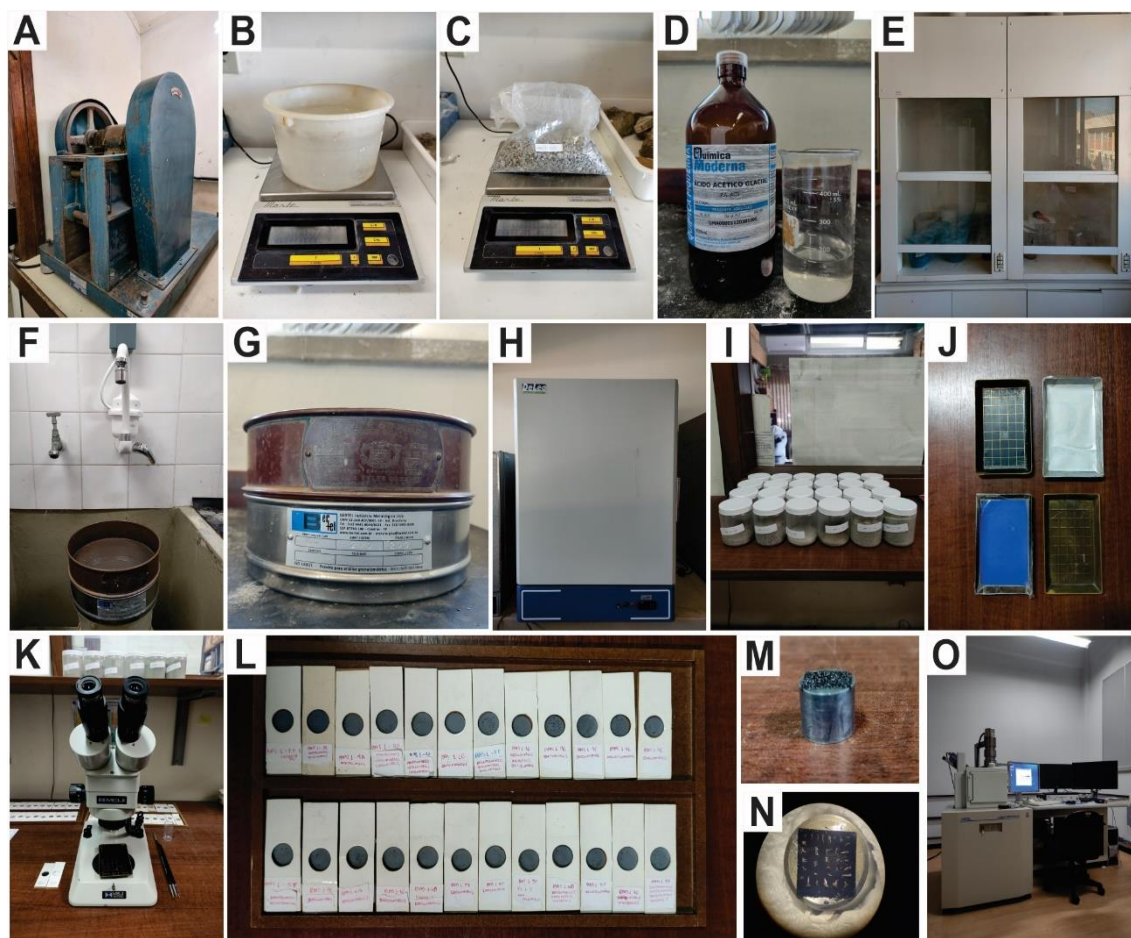
Os elementos conodontes recuperados, uma vez coletados nas células, são fotografados por meio de uma câmera acoplada à lupa binocular. Essas imagens são usadas para o estudo e determinação do Índice de Alteração de Cor dos Conodontes (Ver capítulo de Tafonomia em resultados).

Para a realização do estudo taxonômico e tafonômico, e para a realização das plates, foi necessário fotografar os elementos conodontes representativos dos diferentes táxons, ou aqueles espécimes com características que requerem um estudo detalhado. Por este motivo e devido ao tamanho dos elementos conodontes, e necessário realizar fotografias com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (modelo JEOL JSM-6610LV) do Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) da UFRGS (Figura 6O).

O procedimento para realizar as fotografias no MEV consistiu em, primeiramente, selecionar os elementos conodontes a serem fotografados e aderi-los a uma película de carbono colocada em cilindros metálicos (stubs), sendo estes dois materiais excelentes condutores de eletricidade (Figura 6M e 6N). Posteriormente, foi realizada a metalização dos elementos, por meio de um metalizador que revestiu as amostras com uma camada de ouro, a qual aumentará a condutividade elétrica. Por fim, os stubs metalizados foram introduzidos na câmara a vácuo do MEV, onde se fotografaram os elementos conodontes.

### **Consulta bibliográfica**

A compilação do material bibliográfico utilizado foi desenvolvida ao longo de todo o processo de execução do presente estudo.



**Figura 6.** Fotografias dos materiais e instrumentos utilizados nas diferentes técnicas metodológicas utilizadas no estudo dos elementos conodontes nesta pesquisa. A. Prensa hidráulica para britagem de amostras; B, C e D: Preparação de amostras para tratamento químico, B: recipiente com 1,5 litros de água, C: 1kg de amostra triturada, D: 150 ml de ácido acético; E: Capela de exaustão de gases, onde são colocadas as amostras para evitar a contaminação do ar com o gás gerado na reação química; F e G: O material insolúvel resultante do tratamento químico é lavado com água morna e separado por peneiras (G) com aberturas de 20 e 200 mesh; H: Estufa para secagem do material insolúvel resultante; I: Material insolúvel resultante armazenado para triagem; J: Bandejas especiais para triagem; K: Lupa binocular e material utilizado para recuperação dos elementos, como pincéis e células; L: Células onde os elementos conodontes são fixados e separados com base nas amostras, gêneros e estados ontogênicos; M e N: Stubs com fita de carbono colada (M), onde são montados os elementos conodontes (N) metalizados em ouro e fotografados no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV); O: MEV do Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) da UFRGS.





## **CAPÍTULO IV. GENERALIDADES SOBRE OS CONODONTES**

Os animais conodontes são microvertebrados que viveram no Paleozoico, que possuem peças biomineralizadas de Apatita (fosfato de cálcio) como parte do seu aparelho alimentar, sendo as únicas peças fossilizadas desse organismo. São organismos estritamente marinhos e são encontrados em depósitos desde o Cambriano até sua extinção no Triássico. Esses microfósseis têm sido e continuam sendo peças-chave para estudos de bioestratigrafia, servindo como fósseis-guia ao longo da era paleozoica, devido à sua ampla ocorrência global e grande variação morfológica ao longo do tempo.

Além disso, eles têm uma grande importância como indicadores das condições paleoecológicas em que viviam. Essas características foram aprofundadas com outras ferramentas como a Geoquímica, utilizando esses elementos para a obtenção de dados geoquímicos que possibilitam a correlação regional e mundial dos mares paleozoicos e a análise da composição da água do mar, auxiliando em estudos paleoambientais e paleogeográficos.

Nas bacias paleozoicas do Brasil, como Solimões, Amazonas, Parnaíba, Acre e Paraná, a Bacia do Amazonas é, até o momento, a mais estudada em relação a esses microorganismos. O período do Pensilvaniano apresenta a maior riqueza e variedade de gêneros encontrados e analisados, com foco principalmente na bioestratigrafia, devido às condições ambientais favoráveis para ocorrência e preservação.

A terminologia utilizada neste trabalho para discutir o organismo completo dos conodontes é tratada como 'animal conodonte'. Dessa forma, ao se referir às peças biomineralizadas fossilizadas que compreendem o aparelho alimentar desses organismos, utiliza-se o termo 'elementos conodontes'.

## **INTRODUÇÃO AOS ESTUDOS DOS CONODONTES**

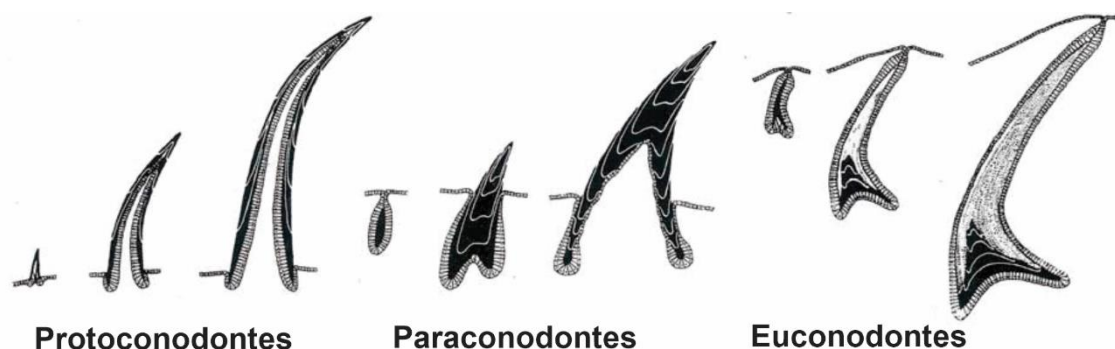
Os primeiros achados de elementos conodontes foram publicados por Christian Heinrich Pander em 1856. Ele descobriu materiais do Ordoviciano e Siluriano da Estônia, bem como do Carbonífero da bacia de Moscou, que continham elementos semelhantes aos dentes de um grupo de peixes do Paleozoico até

então desconhecidos e sem um grupo análogo com o qual compará-los e denominou-os como "*Conodonten*".

Os animais conodontes, de acordo com Sweet (1988), são um grupo extinto de cordados primitivos exclusivamente marinhos. São organismos de corpo mole, alongados, comprimidos bilateralmente e simétricos, assemelhando-se a enguias, com olhos grandes e a presença de estruturas preservadas, como a notocorda e os miômeros. Eles podiam atingir tamanhos de até 5 centímetros de comprimento.

A única parte mineralizada desses organismos são peças ornamentadas com dentículos que fazem parte de um conjunto que seria seu aparelho alimentar. Inicialmente, essas peças foram determinadas como compostas de carbonato de cálcio, de acordo com Pander (1856). No entanto, estudos posteriores realizados por Stauffer & Plummer (1932) concluíram que a composição seria de fosfato de cálcio. Mais tarde, Pietzner et al. (1968) determinaram a composição mineralógica dessas peças como "francolita", um tipo de apatita carbonática onde íons de OH e CO<sub>3</sub> são substituídos por fosfato. Eles também identificaram 39 elementos traço, como neodímio, que têm sido importantes em estudos geoquímicos para a interpretação da paleoecologia dos mares onde esses animais viveram (Sweet, 1988).

Reconhecem-se elementos cônicos e fosfáticos no registro fóssil desde o Precâmbrico-Câmbrico, com uma crescente diversidade morfológica no Câmbrico. Bengtson (1976) classificou esses elementos em três grupos: protoconodontes, paraconodontes e euconodontes, com base em diferenças internas, especialmente na cobertura epitelial em crescimento. Ele propôs que os euconodontes, o foco desta compilação bibliográfica, evoluíram a partir dos paraconodontes, que, por sua vez, se originaram dos protoconodontes. Los euconodontos o "conodontes verdaderos" (Figura 7) presentan un rango estratigráfico que se extiende desde el Câmbrico medio hasta el Triásico superior.



**Figura 7.** Modelo da evolução dos conodontes, proposto por Bengtson (1976), explica as diferentes estruturas internas dos protoconodontes, paraconodontes e euconodontes como resultado do aumento da cobertura epitelial durante o crescimento.

### Morfologia dos elementos conodontes

A morfologia externa dos elementos conodontes é variada. Inicialmente, foram agrupados em categorias morfológicas principais, conforme Sweet (1988) e mostrado na Tabela 3. Atualmente, são amplamente reconhecidas três categorias morfológicas principais: cônicas, ramificadas e pectinadas. Sweet (1988) propôs essa classificação, presente no Volume W do *Treatise on Invertebrate Paleontology* (Clark et al., 1981), e introduziu um quarto grupo morfológico, os elementos rastrados.

### Elementos Coniformes

Na literatura, esses elementos também são conhecidos como cones simples ou cones. Eles consistem em duas partes (Pander, 1856): uma base mais ou menos expandida que envolve uma cavidade basal subcônica e uma cúspide sólida com um eixo longo, reto ou curvo, que termina em uma ponta ou ápice (Sweet, 1988). Esses elementos também podem ser distinguíveis por uma margem anterior convexa e uma margem posterior côncava. Para descrevê-los, eles são orientados com o ápice da cúspide para cima e a margem superior da base na horizontal.

Dentro dessa categoria, existem dois grupos subordinados de elementos coniformes:

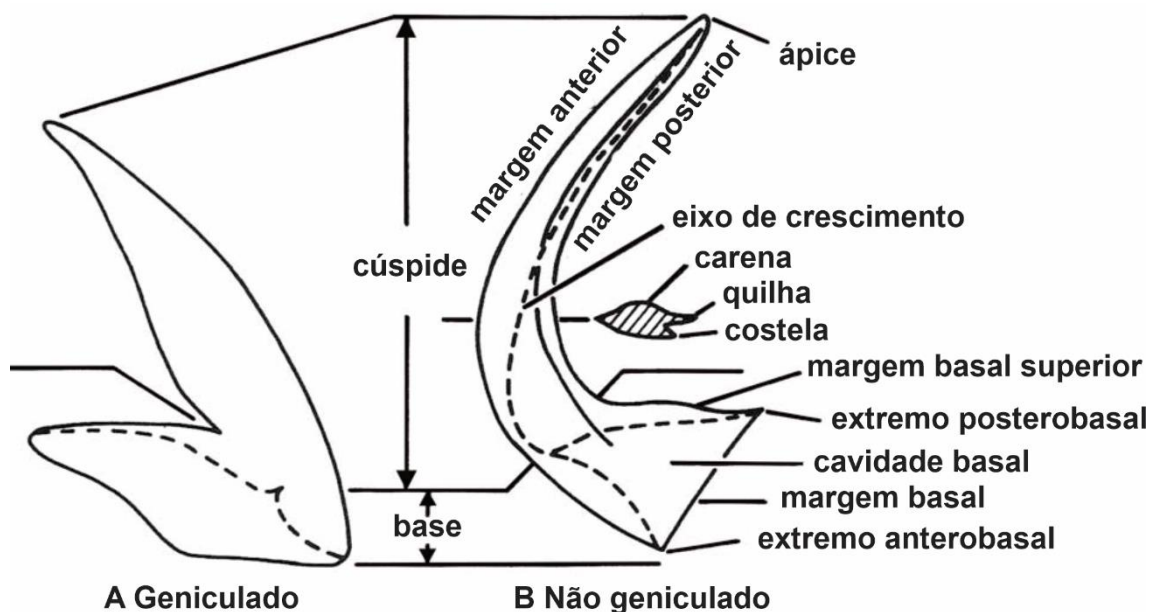
- **Geniculados:** Aqueles em que a margem posterior da cúspide e a borda superior da base formam um ângulo agudo (Figura 8A).

- **Não Gencilados:** Aqueles que apresentam uma transição suave entre a margem posterior da cúspide e a borda superior da base (Figura 8B).

Além disso, dependendo da relação da cúspide com a base, a primeira pode ser descrita como proclinada, ereta, reclinada ou recurvada.

**Tabela 3.** Categorias morfológicas dos elementos conodontes. Modificado de Sweet (1988).

Categoria	Subcategoria 1	Subcategoria 2	Figura
Elementos coniformes	Geniculados		Figura 8A
	Não Gencilados		Figura 8B
Elementos ramiformes	Alados		Figura 9A
	Tertiopedados		Figura 9B
	Digirados	Breviformes	Figura 9C, 9D
		Extensiformes	Figura 9E, 9F
	Bipennados		Figura 9G, 9H
	Dolabrados		Figura 9I, 9J
	Quadrirramados		Figura 9K
Elementos rastrados			Figura 10
Elementos pectiniformes	Estelados		Figura 11A
		Esteliplanados	Figura 11B
		Esteliescafados	Figura 11C
	Pastinados		Figura 12D
		Pastiniplanados	Figura 12E
		Pastiniescafados	Figura 12F
	Carminados		Figura 12C
		Carminiplanados	Figura 12D
		Carminiescafados	Figura 12E
	Angulados		Figura 12A
		Anguliplanados	Figura 12B
		Segminados	
	Segiminiplanados		Figura 13B
	Segminiescafados		Figura 13C
	Bisegminiescafados		Figura 13D
Trisegminiescafados	Figura 13E		



**Figura 8.** Terminologia para os elementos coniformes; A. elementos geniculados. B. elementos não geniculados. Modificada de Sweet (1988).

### Elementos Ramiformes

Esses elementos também foram chamados de barras e são caracterizados porque pelo menos uma das bordas da base se estende na direção "anterior", "posterior" ou "lateral", afastando-se da cúspide, para formar estruturas chamadas processos, cujas margens superiores geralmente são denticuladas, embora não necessariamente (Sweet, 1988). Para que um elemento seja chamado de ramiforme, pelo menos um desses processos deve ser denticulado em sua margem superior.

Os elementos individuais na borda serrilhada do processo são chamados de denticulos e podem ser menores, iguais ou maiores em comprimento e largura do que a cúspide. Portanto, os processos podem ser classificados como denticulados ou adenticulados.

Para determinar o tipo de processo, seja "anterior", "posterior" ou "lateral", é necessário orientar o elemento. Sua orientação é semelhante à dos elementos coniformes, com o ápice da cúspide para cima e a margem superior da base, que é congruente com a margem côncava da cúspide (a margem posterior), na horizontal. Dessa forma, podemos distinguir os diferentes processos:

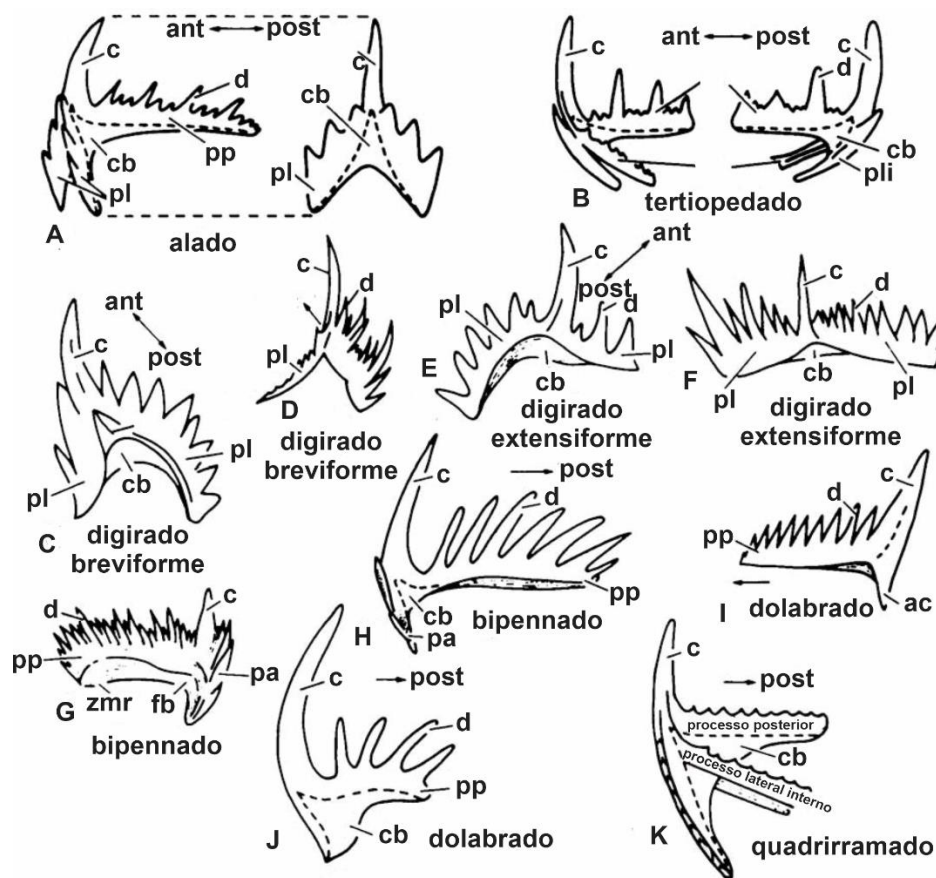
- O processo "**anterior**" é aquele que está em continuidade com o lado convexo da cúspide.
- O processo "**posterior**" é aquele que está em continuidade com o lado côncavo da cúspide.
- Os processos "**laterais**" são as extensões da base em direção aos lados do elemento.

Dentro deste grupo, reconhecemos sete tipos morfológicos principais:

- **Ramiformes Alados:** São elementos simétricos com um plano de simetria lateral (Figura 9A). Eles não possuem um processo "anterior", mas têm um processo "posterior" e processos "laterais" em cada lado da cúspide. Os processos "laterais" geralmente se dirigem "aboralmente", formando uma estrutura arqueada característica que é chamada de arco "anterior" quando vista de frente ou de trás, com a cúspide no topo. O processo "posterior" pode ser longo e denticulado em alguns casos, enquanto em outros é curto e sem denticulos.
- **Ramiformes Tertio pedados:** Possuem um processo "posterior" geralmente longo e denticulado, bem como processos "laterais" em ambos os lados da cúspide, que não estão simetricamente dispostos em relação a ela (Figura 9B).
- **Ramiformes Digirados:** São comparáveis aos elementos alados e tertio pedados em número e orientação dos processos, mas são individualmente assimétricos. Os processos "laterais" têm desenvolvimento igual e suas extremidades distais se curvam em direções opostas. Sweet (1988) aponta que dentro deste último tipo podem ser distinguidos elementos digirados breviformes, cujos processos geralmente são mais curtos e cuja curvatura "anterior" ou "posterior" começa a partir do ponto de junção com a cúspide (Figura 9C, 9D), e elementos digirados extensiformes, que apresentam processos "laterais" longos que geralmente se afastam da cúspide antes de curvar "anterior" ou "posteriormente" em sua parte distal (Figura 9E, 9F).
- **Ramiformes Bipennados:** São elementos que têm apenas dois processos, um "anterior" e um "posterior" em relação à cúspide (Figura

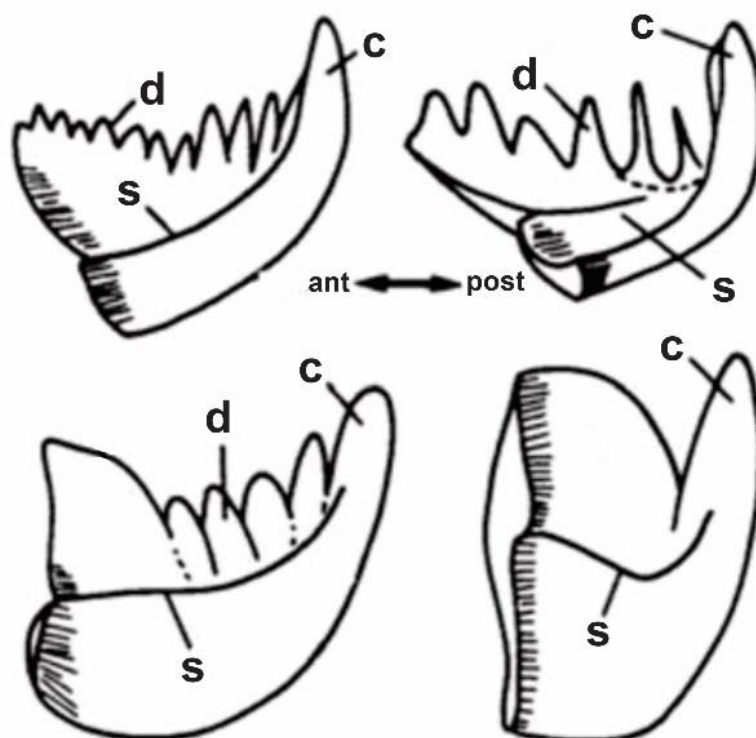
9G, 9H). O processo "posterior" geralmente é mais longo que o "anterior", e em muitos desses elementos, ele pode ser curvo ou desviado "lateralmente". Geralmente, o processo "anterior" não possui dentículos, e em poucos exemplares, o processo "anterior" é denticulado e o "posterior" não.

- **Ramiformes Dolabrados:** Eles possuem apenas um processo 'posterior' e, geralmente, apresentam uma forma pontiaguda quando vistos lateralmente (Figura 9I, 9J). Também podem exibir uma projeção na parte anterior da margem basal, conhecida como anticúspide.
- **Ramiformes Quadriramados:** São elementos ramiformes com quatro processos, "anterior", "posterior" e um processo "lateral" em cada lado da cúspide (Figura 9K). São relativamente pouco comuns.



**Figura 9.** Elementos ramiformes e sua orientação; ac: anticúspide; c: cúspide; cb: cavidade basal; d: dentículo; fb: fossa basal; pp: processo posterior; pl: processo lateral; ple: processo lateral externo; pli: processo lateral interno; ppi: processo lateral interno; pp: processo posterior e zmr: zona de margem basal recessiva. Modificado de Sweet (1988).





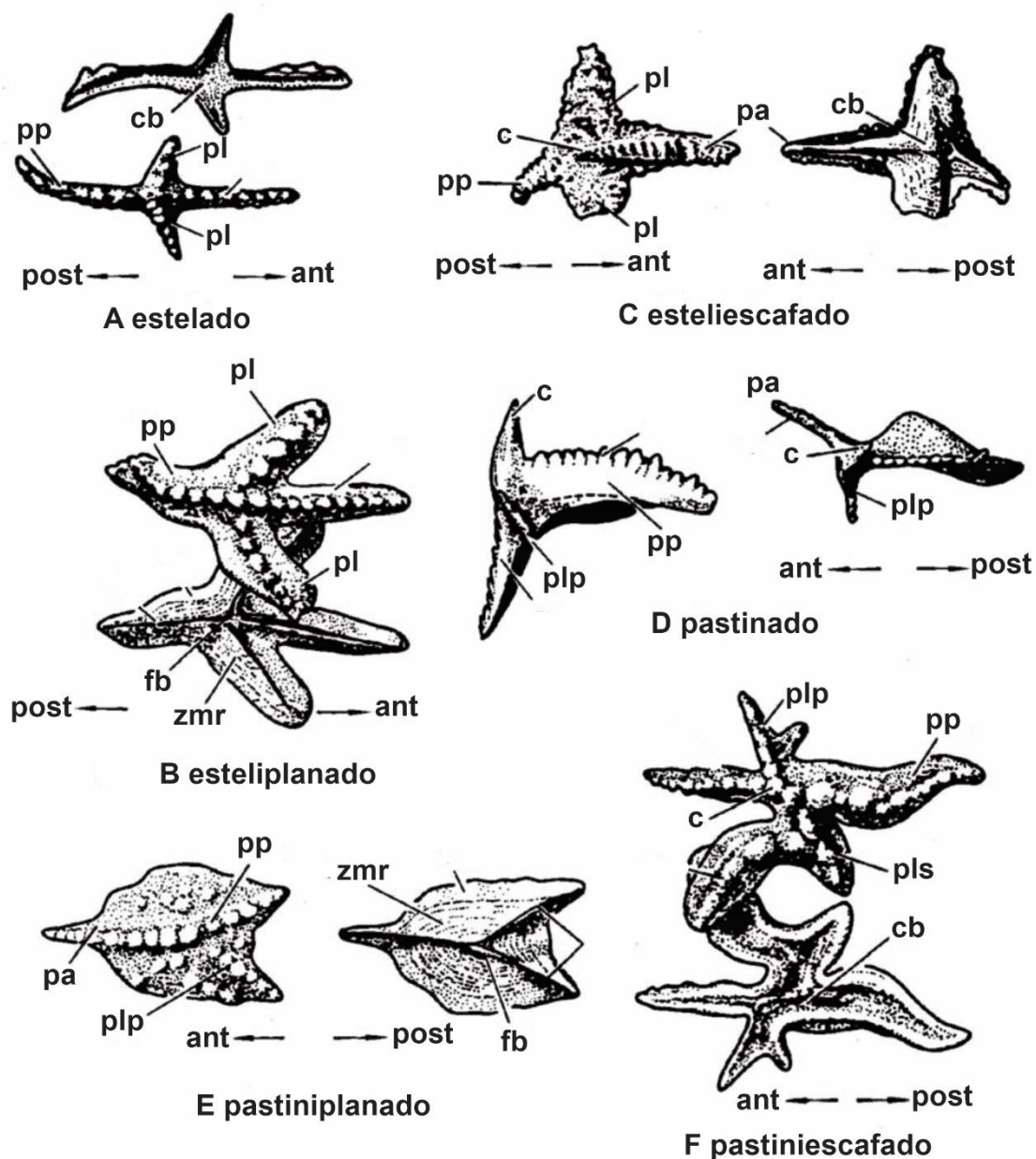
**Figura 10.** Elementos rastrados e sua orientação; c: cúspide; d: denticulo e s: sulco. Modificado de Sweet (1988).

### Elementos Rastrados

Sweet (1988) menciona que precisou criar esse termo para descrever uma morfologia que não havia sido descrita na literatura existente. Essencialmente, esses elementos são coniformes e não possuem estruturas comparáveis aos processos dos elementos ramiformes típicos, mas desenvolvem denticulos na margem côncava ou posterior da cúspide (Figura 10).

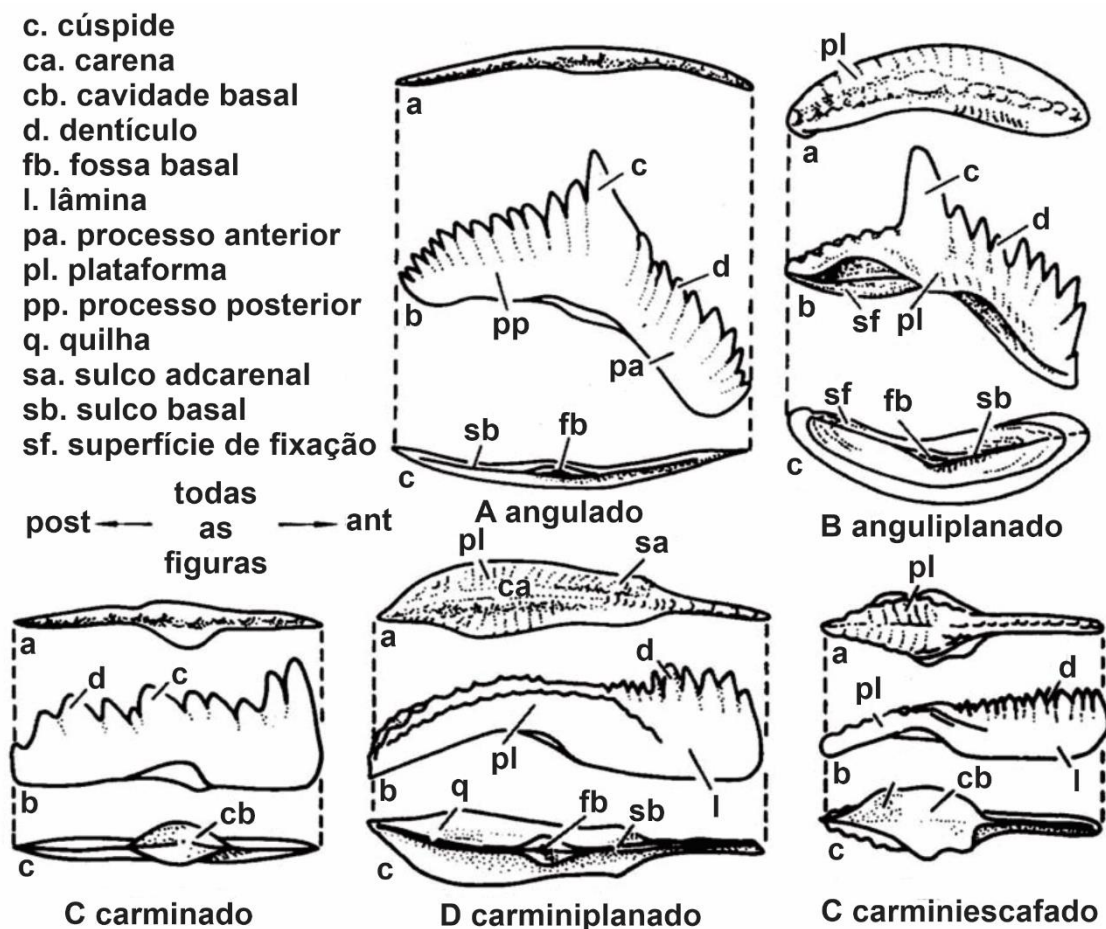
### Elementos Pectiniformes

Esses elementos também são conhecidos como laminares ou em forma de plataforma. Como observado por Sweet (1988), em diferentes estudos, notou-se que esses elementos ocupavam posições semelhantes em seus respectivos aparelhos (a posição P), de modo que para os pesquisadores desse grupo, parecia incongruente continuar reconhecendo as duas categorias anteriores e, portanto, decidiram agrupá-los sob um único termo.



**Figura 11.** Elementos pectiniformes estelados e pastinados, e suas orientação; c: cúspide; cb: cavidade basal; d: dentículo; fb: fossa basal; pa: processo anterior; pl: processo lateral; plp: processo lateral primário; pls: processo lateral secundário; pp: processo posterior e zmr: zona de margem basal recessiva Modificado de Sweet (1988).

Os elementos em forma de lâmina apresentam uma cúspide que está posicionada sobre o ápice da cavidade basal e um ou vários processos que se estendem para longe da cúspide. Esses processos costumam ser comprimidos "lateralmente" e também tendem a ser mais altos do que os processos dos elementos ramiformes.



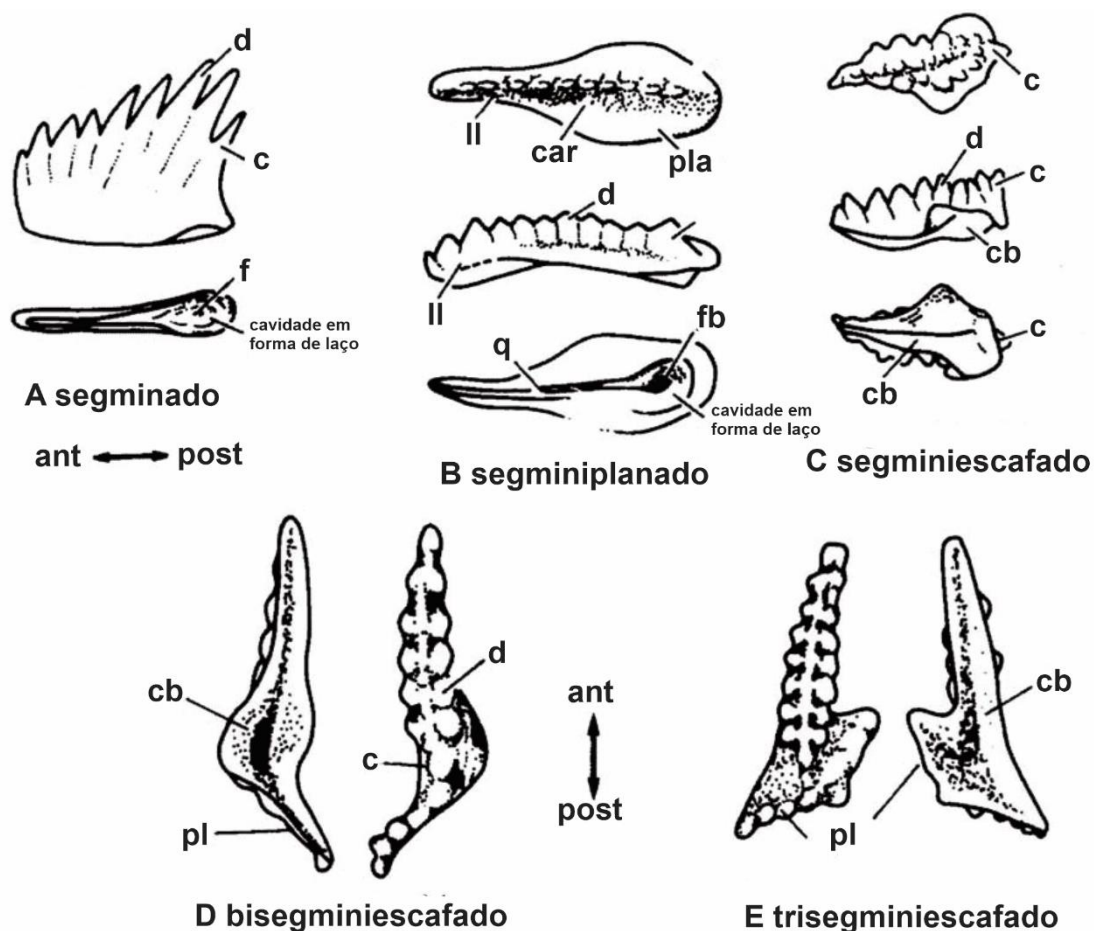
**Figura 12.** Elementos pectiniformes angulados e carminados, e suas orientações. Modificado de Sweet (1988).

Podemos distinguir entre processos primários, se projetam a partir da cúspide e sua parte inferior está ocupada por uma extensão da cavidade ou fossa basal, e processos secundários, se são extensões dos primeiros e se conectam a eles em qualquer ponto, exceto na extremidade proximal.

Esses elementos em forma de lâmina podem ser divididos em cinco categorias:

- **Pectiniformes Estelados:** apresentam pelo menos quatro processos primários - um processo "anterior", um "posterior" e dois "laterais" (Figura 11A-11C). Também podem apresentar processos secundários.
- **Pectiniformes Pastinados:** possuem três processos primários - "anterior", "posterior" e "lateral" (Figura 11D-11F).
- **Pectiniformes Carminados:** esses elementos têm dois processos primários - um "anterior" e um "posterior" (Figura 12C-12E). Seu eixo longitudinal, quando visto lateralmente, é reto.

- **Pectiniformes Angulados:** também possuem dois processos primários - "anterior" e "posterior", mas o eixo longitudinal, quando visto lateralmente, está arqueado abaixo da cúspide (Figura 12A, 12B).
- **Pectiniformes Segminados:** têm apenas um processo, que é "anterior", com a cúspide na extremidade "posterior". Podem ter um ou vários processos "laterais", com os sufixos -bi e tri, dependendo do número de processos (Figura 13).



**Figura 13.** Elementos pectiniformes segminados e suas orientações; c: cúspide; car: carena; cb: cavidade basal; d: dentículo; f: fossa; fb: fossa basal; ll: lâmina livre; pla: plataforma pl: processo lateral e q: quilha. Modificado de Sweet (1988).

Os elementos de plataforma são compostos por extensões laterais, que variam em desenvolvimento. A parte ventral "anterior" deste elemento pectiniforme é chamada de "lâmina", enquanto a parte dorsal "posterior" é conhecida como "plataforma". A lâmina pode ser livre se não apresentar nenhum tipo de extensão lateral, ou fixa se for distinta do restante do elemento devido a extensões laterais mais estreitas do que as da plataforma.

As cinco formas análogas para os elementos de plataforma são nomeadas utilizando as cinco categorias definidas para os elementos pectiniformes laminados (estelados, pastinados, carminados, angulados e segminados), além de um sufixo que faz referência ao tipo de junção que existe na base do elemento, entre a coroa e o corpo basal.

Se o elemento de plataforma apresentar uma ampla cavidade basal que ocupa toda ou grande parte da base, ele é chamado de "escafado". Por outro lado, se o que estiver presente na base for uma fossa basal localizada sob a cúspide e uma área ampla que a rodeia com uma margem basal recessiva, ele é chamado de "planado". Dessa forma, teremos elementos esteliplanados e esteliescafados, carminiplanados e carminiescafados, etcétera.

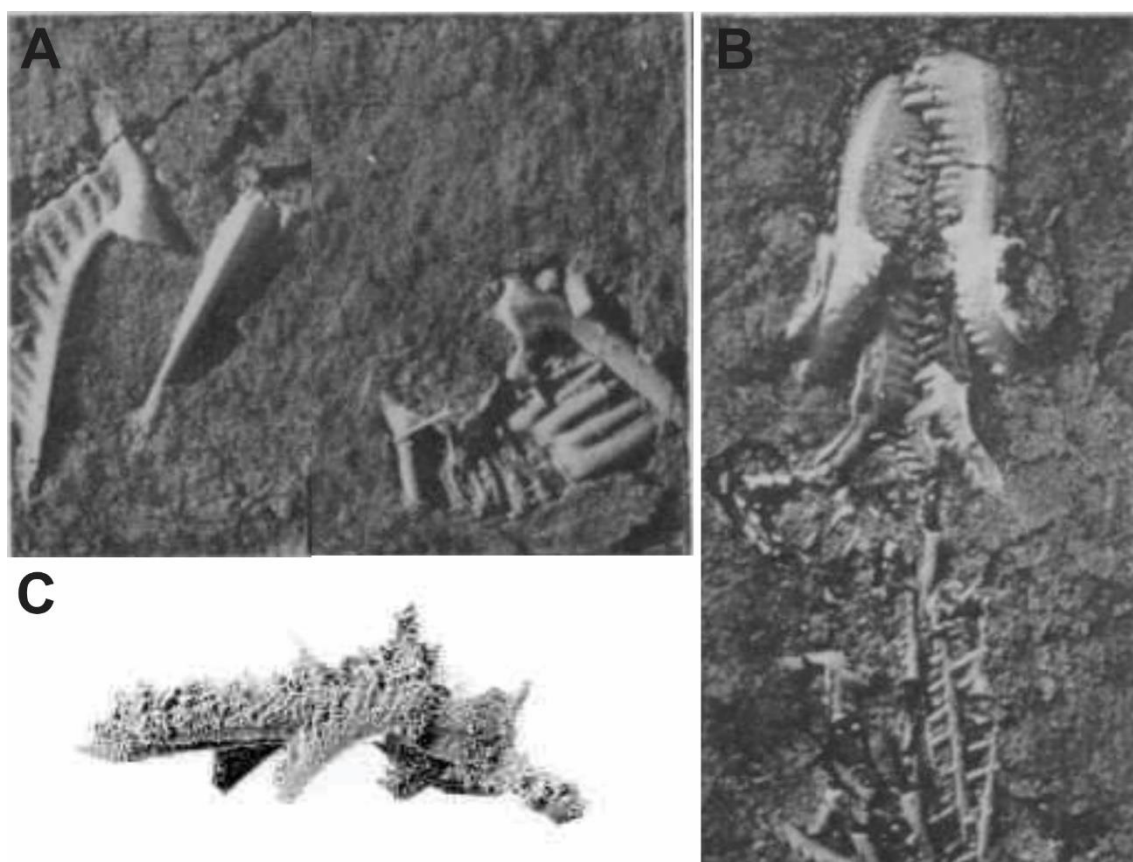
### **Morfotaxonomia e Taxonomia Multielementar**

Pander (1856) tinha dúvidas se um mesmo indivíduo apresentava elementos conodontes de um único tipo morfológico ou se poderiam ser de morfologias diferentes. Devido a essa incerteza, ele decidiu classificar os elementos discretos com base em sua forma individual. Essa abordagem diagnóstica foi chamada de morfotaxonomia.

Alguns pesquisadores (Hinde, 1879; Schmidt, 1934; Scott, 1934), como mencionado por Sweet (1988), observaram que em associações naturais encontradas em camadas estratificadas, os elementos discretos apresentavam diferentes morfologias, e em algumas delas, até encontraram padrões de distribuição e orientação (Figura 14A, 14B). Esses autores interpretaram cada associação natural como pertencente a um único indivíduo que continha elementos representando diferentes tipos morfológicos.

Em 1964, Rexroad & Nicoll publicaram os primeiros estudos baseados em aglomerados de elementos "clusters", que são associações naturais formadas por elementos conodontes adjacentes no sedimento que se fundiram durante a diagênese (Figura 14C). Nos aglomerados de elementos "clusters", uma parte ou a totalidade do aparelho conodonte pode estar representada, e são obtidos após o tratamento químico da rocha.

Outros autores, como Walliser (1964) e Bergström & Sweet (1966), estudaram associações ou grupos recorrentes. Essas são associações de elementos com uma morfologia específica que podem ser consistentemente reconhecidas em grandes coleções de elementos discretos, e muitos pesquisadores as consideraram semelhantes às observadas em associações naturais. A análise de aglomerados de elementos “clusters” e associações recorrentes proporcionou novos argumentos aos pesquisadores que começaram a defender uma taxonomia baseada na natureza multielementar do aparelho conodonte.



**Figura 14.** A, B. Associação natural *Idioprioniodus* e *Idiognathodus* em um plano de estratificação de materiais do Carbonífero em Bailey Falls (Illinois, EUA). Extraído de Dubois (1943); C. Aglomerado de elementos “Cluster” de Granton Shrimp Bed. Extraído de Aldridge (1987).

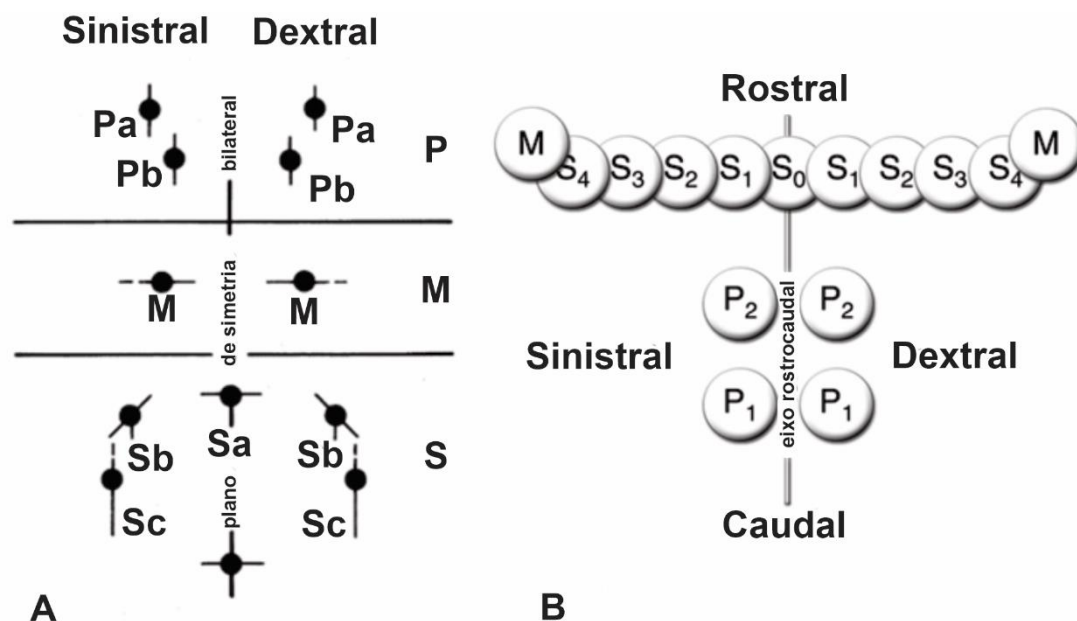
Bergström & Sweet (1966), Schopf (1966) e Webers (1966) demonstraram que a morfotaxonomia era inadequada do ponto de vista biológico. Eles argumentaram que muitos nomes específicos estavam sendo estabelecidos com base na forma de elementos discretos, quando, na realidade, por meio de estudos de associações naturais, aglomerados de elementos “clusters” e associações recorrentes, ficou comprovado que muitos desses elementos,

identificados como espécies diferentes, faziam parte de um aparelho multielementar pertencente a uma única espécie biológica.

Nesta etapa de transição entre as bases taxonômicas e a adaptação à taxonomia multielementar, que foi adotada sempre que o material permitia, nas publicações observa-se que os aparelhos conodontes que anteriormente tinham elementos de diferentes táxons eram considerados pertencentes a uma única espécie. Os elementos que os compunham eram designados pelo nome genérico que tinham seguido do sufixo "-iforme" ou "-ido". Por exemplo, o aparelho multielementar de *Gnathodus*, composto por vários elementos que anteriormente eram chamados de *Hibbardella* ou *Hindeodella* de acordo com a morfotaxonomia, passou a ser chamado de "hibbardeliforme" ou "hibardélido" com a taxonomia multielementar, de acordo com muitos autores. Durante este período, foram propostas diversas classificações de tipo multielementar, como indicado por Rhodes & Austin (em Clark et al., 1981) e Sweet (1988).

Por exemplo, Sweet (1970) e Jeppsson (1971) reconheceram dois tipos de aparelhos multielementares cada um, enquanto Lindström (1973) distinguiu até 4 tipos de aparelhos com base no número e tipo de elementos morfológicos diferentes presentes. Sweet & Bergström (1972) sugeriram dividir os aparelhos multielementares de táxons conhecidos do Ordovícico em 3 grupos diferentes com base se eram compostos apenas por elementos coniformes, elementos ramiformes ou uma mistura de elementos ramiformes e de plataforma (Sweet, 1988).

Klapper & Phillip (1971) propuseram a primeira classificação multielementar para conodontes do Devoniano, na qual reconstruíram quatro tipos de aparelhos conodontes a partir de coleções de elementos discretos. Não apenas propuseram um esquema que descrevia a composição dos aparelhos quanto ao tipo de elementos, mas também tentaram reconhecer as posições homólogas de diferentes tipos de elementos conodontes de diferentes aparelhos por meio de uma série de símbolos. Com essa nova abordagem multielementar, a taxonomia dos gêneros *Icriodus*, *Polygnathus* e *Ozarkodina* foi revisada, e com base na reconstrução dos aparelhos, foram definidos quatro novos gêneros: *Parapolygnathus*, *Cryptotaxis*, *Delotaxis* e *Pedavis*.



**Figura 15.** Esquemas de notação e localização dos elementos conodontes em um aparelho septimembrado; A. Modificado de Sweet (1988); B. Modificado de Purnell et al. (2000).

Sweet & Schönalub (1975) e Sweet (1988), com base nos padrões de orientação dos elementos conodontes observados em várias associações naturais, estabeleceram um modelo estrutural em duas dimensões do aparelho conodonte (Figura 14A). Neste modelo, os elementos conodontes ocupam uma série de posições com base em sua morfologia (elementos e posições P, M e S), e nele são identificadas e ordenadas as formas homólogas das diferentes espécies.

Merril et al. (1990) determinaram que os elementos que compõem os aparelhos conodontes fornecem informações sobre a hierarquia taxonômica com base em sua categoria (P, M ou S) e sobre a capacidade de evolução dos elementos conodontes pertencentes às diferentes categorias. Em geral, os elementos da categoria S fornecem informações a nível de família e são os mais conservadores em termos de capacidade de evolução; os da categoria M informam a nível genérico, com uma capacidade de evolução ligeiramente maior do que os S; por fim, os elementos da categoria P informam a nível específico e apresentam uma capacidade de evolução muito rápida. Devido a isso, muitos autores concentram suas pesquisas a nível específico, utilizando apenas os elementos que ocupam as posições P, tornando assim, por vezes, difícil obter informações taxonômicas sobre os demais elementos que compõem o aparelho conodonte.



## **Terminologia e nomenclatura com base na posição do elemento no aparelho conodonte**

As associações naturais e os aglomerados de elementos “clusters” não apenas foram fundamentais para a substituição da morfotaxonomia pela taxonomia multielementar como base taxonômica no grupo fóssil dos conodontes, mas também para os estudos paleobiológicos sobre a arquitetura dos aparelhos conodontes e a posição dos elementos discretos dentro deles.

Diferentes modelos estruturais foram propostos, mas o modelo de Sweet & Schönlaub (1975) foi o que mais aceitação teve por parte dos pesquisadores deste grupo fóssil. Neste modelo, eles descreveram as posições dos elementos discretos para aparelhos com seis elementos de morfologia diferente, de modo que a terminologia proposta pelos autores pudesse ser aplicada também a aparelhos compostos por um número menor ou maior de tipos morfológicos de conodontes.

Sweet (1988) também propôs que os aparelhos conodontes deveriam ser descritos, em uma primeira aproximação, como unimembrados ou multimembrados, com base no número de tipos morfológicos de elementos discretos que apresentassem. No caso de serem multimembrados, deveria ser indicada por meio de um prefixo a quantidade de elementos morfológicos diferentes presentes, por exemplo: bimembrados, trimembrados, até septimembrados.

Na Figura 15A, é apresentado em duas dimensões o modelo estrutural proposto por Sweet e Schönlaub (1975). Os autores basearam sua reconstrução no fato de que os elementos discretos que constituem os aparelhos conodontes da maioria das espécies identificadas em associações naturais completas podem ser divididos em três categorias principais designadas pelas letras P, M e S. Os elementos S estariam localizados na parte anterior do aparelho conodonte (perto do orifício atribuído à boca), os elementos M estariam em uma posição intermediária e os elementos P estariam na parte posterior. Para Sweet (1988):

- **Elementos ou posições P:** derivam do termo "pectinate" (com forma de pente). Essas posições geralmente são ocupadas em associações naturais por elementos pectiniformes ou ramiformes especializados.

Geralmente, os aparelhos são compostos por dois elementos P distintos, que foram denominados elementos "Pa" e "Pb".

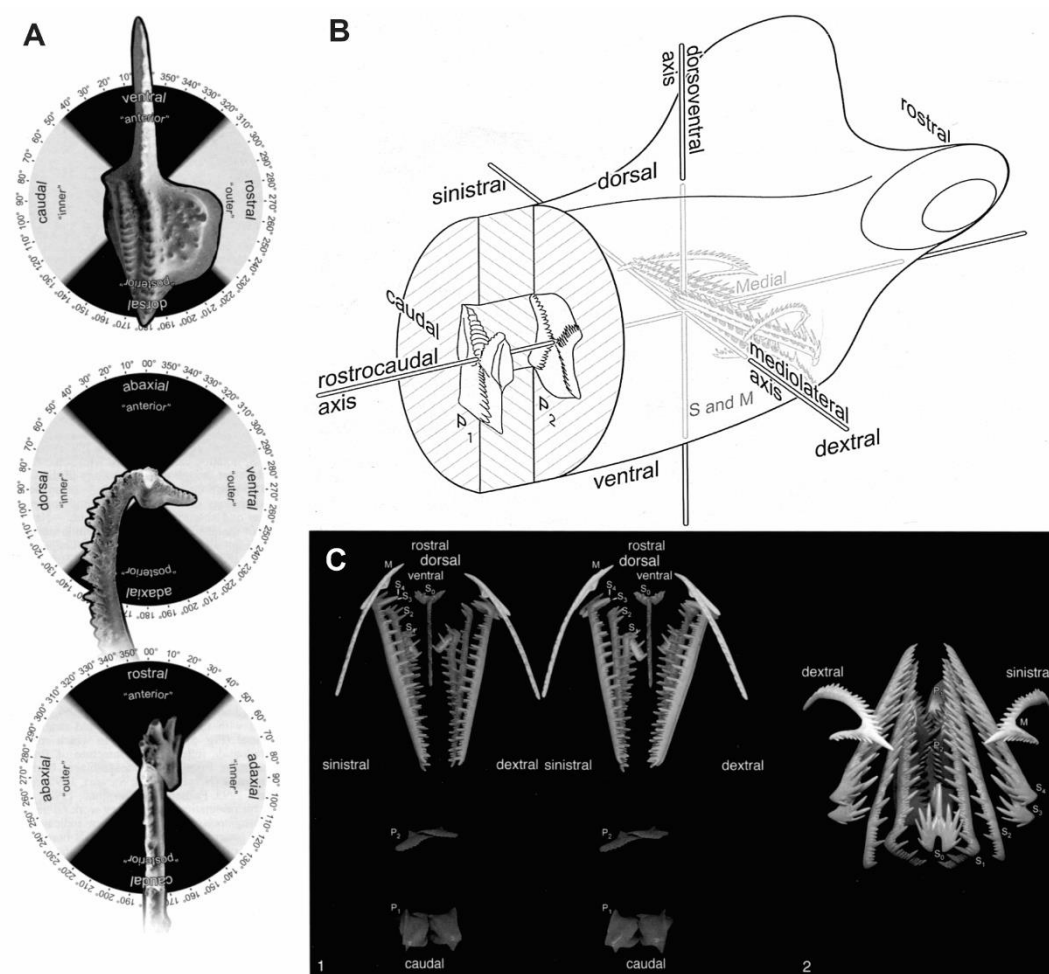
- **Elementos ou posições M:** derivam do termo "makeliforme" (com forma pontiaguda). São ocupadas por um par de elementos ramiformes, que podem ser dolobrados arqueados, bipennados ou digirados breviformes, ou por elementos coniformes geniculados.
- **Elementos ou posições S:** podem inicialmente ser ocupados por quatro elementos morfológicos distintos, que foram designados como "Sa", "Sb", "Sc" e "Sd". As posições "Sa" são ocupadas por elementos coniformes ou ramiformes alados; as "Sb" por elementos ramiformes digirados ou tertioapedados; e as "Sc" por elementos ramiformes bipennados ou dolobrados. Os elementos dessas três posições podem formar séries de transição simétricas. A posição "Sd" não precisa estar ocupada necessariamente em todos os aparelhos, mas nos aparelhos septimembrados, é ocupada por elementos ramiformes quadrirramados.

Nos aparelhos conodontes, muitos de seus componentes estão dispostos em pares simétricos em relação a um plano de simetria bilateral. Devido a isso, Sweet (1988) indicou que um aparelho septimembrado poderia ser composto por até catorze elementos discretos correspondentes a sete tipos morfológicos distintos, embora o número de elementos pudesse ser reduzido para treze se um deles fosse ramiforme alado e simétrico em si mesmo.

A descoberta de um maior número de associações naturais permitiu um melhor conhecimento multielemental dos aparelhos conodontes, tanto em relação à sua orientação quanto à dos elementos que os compõem, bem como à posição que esses elementos ocupam nos aparelhos. Isso permitiu que Purnell et al. (2000) propusessem o conceito de "homologia baseada na topologia," e não na morfologia, como era comum.

De acordo com esse conceito, as homologias não devem ser baseadas na semelhança morfológica, porque, como afirmam Purnell et al. (2000), se considerarmos o aparelho conodonte de táxons que não pertencem à ordem Ozarkodinida, as posições P não são ocupadas por elementos pectiniformes de

plataforma (comuns nesse grupo), mas sim por elementos ramiformes bipennados, como é o caso do aparelho conodonte do gênero *Kladognathus*.



**Figura 16.** A. Comparação de termos na notação convencional e na baseada em sua orientação biológica para o aparelho conodonte da Ordem Ozarkodinida *Gnathodus bilineatus*; B. Orientação biológica dos elementos conodontes em um conodonte ozarkodinida; C. Orientação biológica e anatômica, e notação dos elementos conodontes baseada em sua topologia, sendo: 1. Par estereográfico de um aparelho conodonte ozarkodinida orientado dorsoventralmente e 2. Figura do aparelho ozarkodinida em vista rostrocaudal. Extraído de Purnell et al. (2000).

Com base no exposto anteriormente, Purnell et al. (2000) formalizaram o esquema 'PMS' de Sweet & Schönlaub (1975). Os elementos na posição S seriam localizados na parte rostral (anterior). Os elementos M não ocupariam uma posição intermediária ou central no aparelho conodonte, mas seriam colocados na parte rostral (anterior), lateral e/ou dorsal em relação aos elementos S que ocupariam a posição mais externa. Por fim, os elementos P

seriam localizados caudalmente (na parte posterior) em relação aos elementos na posição S e um pouco mais dorsalmente (Figura 15B e Figura 16).

**Tabela 4.** Terminologia e nomenclatura dos elementos conodontes dependendo da topologia. Modificado de Purnell et al. (2000).

Posição do elemento	termo convencional	Posição relativa à cúspide	Orientação biológica correta
P	Anterior (baseado na cúspide e a cavidade basal)	Anterior	Ventral
	Posterior (baseado na cúspide e a cavidade basal)	Posterior	Dorsal
	Interno (baseado na curvatura)	Interno	Caudal
	Externo (baseado na curvatura)	Externo	Rostral
	Superior (oral)		Oral ou adaxial
	Inferior (aboral)		Aboral ou abaxial
M	Anterior (baseado na cúspide e a cavidade basal)	Anterior	Abaxial ou lateral
	Posterior (baseado na cúspide e a cavidade basal)	Posterior	Adaxial ou medial
	Interno (baseado na curvatura)	Interno	Dorsal
	Externo (baseado na curvatura)	Externo	Ventral
	Superior (oral)		Rostral
	Inferior (aboral)		Caudal
S	Anterior (baseado na cúspide e a cavidade basal)	Anterior	Rostral
	Posterior (baseado na cúspide e a cavidade basal)	Posterior	Caudal
	Interno (baseado na curvatura)	Interno	Adaxial, medial ou interno
	Externo (baseado na curvatura)	Externo	Abaxial, lateral ou externo
	Superior (oral)		Oral ou dorsal
	Inferior (aboral)		Aboral ou ventral
Termo	Definição		
Rostral	pertencente ou próximo à extremidade anterior, frontal ou da cabeça		
Caudal	pertencente ou próximo à extremidade posterior, distal ou cauda		
Dorsal	pertencente a ou próximo às costas ou superfície superior		
Ventral	pertencente ou próximo ao abdômen ou superfície inferior		
Medial	pertencente ou próximo ao plano sagital		
Lateral	pertencente ou próximo ao lado ou lateral		
Adaxial	perto do eixo rostrocaudal		
Abaxial	distante do eixo rostrocaudal		

Ao mesmo tempo, esses autores denotam os elementos conodontes das posições P e S com um sub-índice numérico para indicar sua localização específica dentro delas. Dessa forma, os elementos das posições P são

numerados da parte caudal para a rostral, enquanto os elementos nas posições S são numerados do eixo rostrocaudal para a parte externa, exceto o elemento S0, que seria localizado na metade. A determinação de cada elemento em relação à sua posição é independente de sua morfologia. Em táxons onde os elementos que ocupam as posições S3 e S4 são muito semelhantes e é difícil diferenciá-los a partir da associação natural, Purnell et al. (2000) sugerem usar a notação S3/4.

Purnell et al. (2000) também propuseram uma terminologia para a notação anatômica, bem como a orientação dos elementos conodontes que possuem processos com denticulos de acordo com o esquema 'PMS', com base em um melhor entendimento da posição biológica do aparelho conodonte e dos elementos dentro dele (Figura 16 e Tabela 4).

Como indicado por Purnell et al. (2000), a terminologia  $Pn-Sn$  é definida para expressar homologia com base na topologia e só pode ser usada em táxons dos quais existe evidência topológica direta (ou seja, obtida a partir de associações naturais). Para táxons cujo aparelho conodonte seja desconhecido, eles recomendam continuar usando o esquema "PMS" de Sweet & Schönlaub (1975) e a terminologia de Sweet (1988) para expressar analogia, embora não necessariamente homologia. Para evitar confusão sobre esse assunto, os primeiros autores sugerem colocar as notações entre aspas (por exemplo, "Pa", "Pb").

## ESTUDOS NA BACIA DO AMAZONAS BASEADOS EM CONODONTES

O primeiro estudo sobre conodontes em Brasil foi realizado na Bacia da Amazonas, por Fúlvaro (1965), descrevendo a presença desses fósseis provenientes de cinco afloramentos ao longo das margens do Rio Tapajós, na Formação Itaituba, Bacia do Amazonas. Ele datou as rochas sedimentares descritas como carboníferas, com base na identificação de *Idiognathodus* cf. *acutus*. Tempo depois, Araújo & Rocha-Campos (1969) analisaram quatro testemunhos de sondagem correspondentes a calcários da Formação Itaituba. Através da análise de conodontes, eles também indicaram que essas rochas pertenciam ao período Carbonífero. Tengan et al. (1976) analisaram os conodontes das Formações Itaituba e Nova Olinda, identificando gêneros como *Cavusgnathus*, *Idiognathodus*, *Gnathodus* e *Streptognathodus*. Eles compararam esses achados com conodontes de idades correspondentes à eo-mesopensilvaniana nos Estados Unidos, o que equivale ao Bashkiriano inferior e ao Bashkiriano superior-Moscoviano inferior. Além de dados bioestratigráficos, também inferiram aspectos paleoecológicos, relacionando essas descobertas a faunas de ambientes marinhos rasos e quentes.

Rocha-Campos & Archangelsky (1986) realizaram um estudo sobre as rochas Carboníferas na América do Sul. Na época do Carbonífero, a região que hoje abriga o território brasileiro estava separada em dois domínios: Tethyano e Gondwana. A Bacia do Amazonas foi associada ao domínio Tethyano, com faunas comparáveis às do Midcontinent Americano. Rocha-Campos et al. (1988) realizou pela primeira vez no Brasil o Índice de Alteração de Cor em Conodontes (IAC). Eles o determinaram em amostras de subsuperfície e de afloramentos das Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda. O IAC variou de 1 a 5, conforme a classificação de Epstein et al. (1997), aumentando do centro da bacia para suas margens. Lemos & Medeiros (1989) estudaram conodontes presentes em carbonatos marinhos durante fases transgressivas com salinidade normal na Bacia do Amazonas. Eles notaram que esses microfósseis estavam restritos a essas fases transgressivas, diminuindo em abundância em direção à parte superior da sequência carbonífera e ausentes nas fases regressivas, que foram causadas pelo isolamento da bacia e pela precipitação de evaporitos. Com base nos conodontes *Rhachistognathodus muricatus*, *Neognathodus symmetricus* e

*Idiognathodus suberectus*, eles inferiram a idade do Bashkiriano inferior para o topo da Formação Monte Alegre e a base da Formação Itaituba. Além disso, com base em *Diplognathodus orphanus-Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus*, eles estabeleceram a idade atokana (Andar Norte-Americano) para a porção média-superior da Formação Itaituba.

Lemos (1990a; b), estudou as sequências carboníferas nas Bacias do Amazonas e Solimões. Com base nos conodontes, foram identificadas três biozonas na seção carbonífera: a Zona *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathodus muricatus* na Formação Monte Alegre e na parte inferior da Formação Itaituba, datando do Bashkiriano inferior; a Zona *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis* na parte média e superior da Formação Itaituba, com idade de Bashkiriano superior-Moscoviano inferior; e a Zona *Streptognathodus elongatus/Idiognathodus ellisoni* na base da Formação Nova Olinda, com idade Gzheliana. Lemos (1992a; b) conduziu estudos taxonômicos em conodontes nas Bacias do Amazonas e Solimões, concluindo que, com base nas associações encontradas, os estratos analisados pertenciam ao período Pensilvaniano. Lemos & Medeiros (1996a) analisaram os conodontes em amostras de subsuperfície para identificar o limite Morrowano/Atokano. Com base nas formas encontradas, estabeleceram duas zonas de associação relacionadas ao Pensilvaniano: a Zona *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathodus muricatus* na Formação Itaituba, datando do Bashkiriano inferior, e a Zona *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis*, associados a *Idiognathodus magnificus* na Formação Itaituba, com idade de Bashkiriano superior-Moscoviano inferior. Observou-se que o limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas está na parte inferior da Formação Itaituba.

Neis (1996) com base em quatro poços distribuídos ao longo das plataformas Norte e Sul da Bacia do Amazonas, definiu duas novas biozonas para a Formação Itaituba: a Zona *Rhachistognathodus muricatus/Idiognathoides ouachitensis*, com idade de Bashkiriano inferior, e a Zona *Diplognathodus spp.*, com idade de Bashkiriano superior-Moscoviano inferior. Silva & Lemos (1996) estudaram ciclos sedimentares na Formação Itaituba com base em conodontes, identificando o terço inferior da formação (Sintema I) como pertencente ao

Bashkiriano inferior e o terço médio-superior (Sintema II) como do Bashkiriano superior-Moscoviano inferior. Scomazzon (1999) estudou afloramentos da plataforma sul da Bacia do Amazonas, correspondentes à porção superior da Formação Monte Alegre e à Formação Itaituba. A autora estabeleceu três zonas de intervalo local: a Zona *Idiognathodus sinuosus-Rhachistognathodus muricatus* para o Bashkiriano inferior, a Zona *Idiognathodus klapperi-Streptognathodus parvus* para o Bashkiriano e a Zona *Idiognathodus claviformis-Idiognathodus incurvus* para o Moscoviano superior.

Lemos & Scomazzon (2001) identificaram o limite Morrowano/Atokano na porção média da Formação Itaituba, usando amostras de subsuperfície. Além disso, documentaram o limite Atokano/Desmoinesiano no topo da Formação Itaituba e na parte inferior da Formação Nova Olinda. Três biozonas foram reconhecidas: a Zona *Neognathodus symmetricus/Rhachistognathus muricatus* com idade de Bashkiriano inferior, a Zona *Diplognathodus orphanus/Diplognathodus coloradoensis* com idade de Bashkiriano superior-Moscoviano inferior e a Zona *Idiognathodus claviformis/Idiognathodus incurvus* atribuída a uma idade Moscoviano superior-Kasimoviano inferior. Nascimento et al. (2005) estudou os conodontes encontrados nas pedreiras da plataforma sul da bacia, na Seção ITACIMPASA, às margens do Rio Tapajós, focando na porção inferior da Formação Itaituba. Eles identificaram os gêneros *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Neognathodus roundyi*, *N. atokaensis*, *N. medadulimus*, *N. bassleri*, *Diplognathodus coloradoensis*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus* e *Idioprioniodus* sp. Além disso, propuseram uma zona de ocorrência para *Idiognathoides sinuatus* e uma subzona para *Neognathodus roundyi*. Foi sugerida uma idade do Bashkiriano superior ao Moscoviano inferior com base nos gêneros de conodontes *Neognathodus atokaensis* e *Idiognathodus incurvus*.

Scomazzon & Lemos (2005) analisaram trinta e nove amostras de quatro poços localizados na calha central e nas plataformas Sul e Norte da Bacia do Amazonas. As autoras identificaram a presença de *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus* e a primeira ocorrência de *D. ellesmerensis* na Formação Itaituba, sugerindo assim uma idade de Bashkiriano superior-Moscoviano inferior. Nascimento et al. (2009) realizaram uma integração de dados de conodontes



com dados palinológicos obtidos da mesma seção aflorante da Formação Itaituba, nas pedreiras às margens do Rio Tapajós, nomeada Seção ITACIMPASA, na plataforma Sul da Bacia do Amazonas. A associação de conodontes incluiu *Idiognathodus incurvus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Adetognathus lautus*, *Hindeodus minutus*, *Diplognathodus coloradoensis*, *D. orphanus* e *D. ellesmerensis*. A associação de palinomorfos envolveu *Costatascyclus crenatus*, *Protohaploxypinus amplus*, *Spelaeotriletes arenaceus*, *S. triangulus*, *Meristocarpus explicatus*, *Striomonosaccites incrassatus* e *Meristocarpus sp. B*, indicando uma idade de Bashkiriano superior-Moscoviano inferior.

Nascimento et al. (2010a) descrevem a primeira descoberta dos gêneros *Ellisonia*, *Gondolella* e *Ubinates* na Formação Itaituba, com base em estudos nos afloramentos próximos ao Rio Tapajós e uma pedreira de calcário, a nomeada Seção ITACIMPASA. Esses gêneros desempenham um papel crucial como indicadores paleoambientais, fornecendo informações sobre a profundidade da lâmina de água, salinidade e energia do ambiente. Em outro estudo, Nascimento et al. (2010b) baseados em estudos em cinco afloramentos, que compõe a Seção ITACIMPASA, na porção inferior da Formação Itaituba, na região Sul da Bacia do Amazonas. Eles propuseram a existência de duas zonas de amplitude taxonômica: a zona *Rhachistognathodus muricatus* e a zona *Diplognathodus orphanus*, bem como uma zona de associação composta por *Idiognathodus incurvus*, *Neognathodus atokaensis* e *Neognathodus medadultimus*. A presença de *Neognathodus atokaensis*, *Diplognathodus orphanus* e *Idiognathodus incurvus* sugere uma idade de Bashkiriano superior-Moscoviano inferior para esses estratos. Além disso, eles estabeleceram cronoestratigraficamente o limite entre o Morrowano e o Atokano.

Cardoso et al. (2015a) analisaram amostras de subsuperfície da Formação Barrerinha, localizada na Bacia do Amazonas, correspondente ao Devoniano superior. Eles identificaram uma associação que inclui *Cryptotaxis sp. A*, *Mehlina gradata*, '*Ozarkodina*' aff. *sannemanni*, *Polygnathus sp.* e, possivelmente, *Prioniodina sp.* Essas descobertas sugerem uma idade Frasniano Tardio para esta formação. Além disso, Cardoso et al. (2015b) determinaram o Índice de Alteração de Cor (CAI) para elementos conodontes do Frasniano na Formação

Barrerinha e também para elementos pertencentes ao Pensilvaniano no Grupo Tapajós, ambos na Bacia do Amazonas.

Scomazzon et al. (2016) apresentaram uma análise bioestratigráfica baseada em conodontes e a paleoecologia das rochas carbonáticas do Pensilvaniano na porção marinha do Grupo Tapajós. Na fauna de conodontes identificou gêneros como *Idiognathoides sinuatus* e *Neognathodus symmetricus* na Formação Monte Alegre, e *Idiognathodus incurvus*, *Diplognathodus coloradoensis* e *Neognathodus bassleri* nas Formações Itaituba e Monte Alegre. Eles propuseram uma zona de amplitude taxonômica local, a zona *Idiognathodus incurvus* na Formação Itaituba e na parte inferior da Formação Nova Olinda, e uma subzona de amplitude taxonômica local para *Diplgnathodus coloradoensis* na Formação Itaituba. Essas descobertas sugerem uma idade Bashkiriano tardio-Moscoviano. Cardoso et al. (2017b) realizaram um estudo sobre os conodontes presentes nas Formações Monte Alegre, Itaituba e Nova Olinda na Bacia do Amazonas. Suas análises paleontológicas sistemáticas se concentraram em gêneros como *Adetognathus*, *Diplognathodus*, *Idiognathodus*, *Idiognathoides*, *Neognathodus* e *Streptognathodus*. Com base nos resultados obtidos desses gêneros, eles sugeriram a possibilidade de uma conexão ocasional entre a Bacia do Amazonas e o oeste do Paleotethys durante o Baskiriano inferior.

Koester et al. (2021) identificaram e analisaram os valores derivados de carbonatos, conodontes e braquiópodes de formações geológicas como as Formações Itaituba e Nova Olinda fornecendo informações relacionadas à assinatura isotópica da composição da água do mar durante o Pensilvaniano Médio. Eles também demonstram a relação da proveniência da erosão continental de rochas antigas enriquecidas em Sr e Nd radiogênicos no mar epeirico de Itaituba-Piauí durante este intervalo de tempo na Bacia do Amazonas.

Finalmente, Mantilla et al. (2022) com base no reconhecimento de diferentes táxons de *Neognathodus*, estabeleceram quatro biozonas: as zonas de intervalo *N. symmetricus-N. bassleri*, *N. bassleri-N. symmetricus* e *N. atokaensis-N. bassleri*, relacionadas às formações Monte Alegre, Itaituba e à porção inferior da

formação Nova Olinda, respectivamente, e a zona de intervalo do táxon *N. atokaensis* na Formação Itaituba, representando a sequência marinha do Bashkiriano médio ao Moscoviano médio.

A Bacia do Amazonas continua sendo uma das regiões mais pesquisadas, no Brasil, em relação aos conodontes, com um foco particular no período Pensilvaniano. Os estudos se concentram no Grupo Tapajós, onde são estudados os andares Bashkiriano e o Moscoviano. Esses estudos têm revelado que as condições ambientais durante esse período eram extremamente favoráveis para a ocorrência e preservação desses organismos.

## **CAPÍTULO V. RESULTADOS**

### **SISTEMATICA**

Os elementos conodontes foram inicialmente descobertos em 1856 por Christian Henrich Pander e foram registrados e classificados com base em sua morfologia individual. Cada espécime isolado era descrito como um gênero ou espécie distinta. No entanto, no século XX, ocorreram avanços significativos na compreensão dos conodontes. As primeiras assembleias naturais de elementos conodontes, conhecidas como aglomerados de elementos “clusters”, foram identificadas por Hermann Schindt na Alemanha e Harold Scott nos Estados Unidos.

No início, essas assembleias enfrentaram alguma resistência devido à suspeita de que algumas delas fossem, na verdade, restos fecais de predadores dos animais conodontes. No entanto, à medida que assembleias naturais semelhantes foram descobertas repetidamente em diferentes locais, os pesquisadores confirmaram a natureza multielemental desses elementos. Isso levou à gradual substituição da sistemática anterior pela classificação multielemental.

Com a descoberta dessas assembleias, ficou claro que diferentes morfotipos de elementos conodontes coexistiam no mesmo conjunto, conhecido como aparelho alimentar. Desde então, a definição dos conodontes passou a depender da composição e estrutura desse aparelho multielemental. A reconstrução desses aparelhos é baseada na distribuição geográfica e estratigráfica comum das associações de elementos, na presença de formas na mesma camada e na ocorrência dos elementos fusionados em resíduos insolúveis.

Este estudo se concentra em novas evidências de espécies de conodontes, que têm importância bioestratigráfica, multitaxonômica e paleoambiental assim como primeiras descrições de espécies previamente não identificadas e descritas na Seção ITACIMPASA da Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil.

Esta seção fornece descrições multielementar de aparelhos conodontes a partir de reconstruções conhecidas de associações naturais previamente descritas, bem como espécies definidas estritamente pelos elementos P1. A notação anatômica dos elementos conodontes é baseada em (Purnell, 2000).

Todos os espécimes descritos e mencionados estão depositados no Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil.

Filo **CHORDATA** Bateson, 1886

Subfilo **VERTEBRATA** Cuvier 1812

Classe **CONODONTA** Pander, 1856

Subclasse **EUCONODONTA** Janvier, 1996

Ordem **PRIONIODINIDA** Sweet, 1988

Família **PRIONIODINIDAE** Bassler, 1925

Gênero ***Idioprioniodus*** Gunnell, 1933

**Espécie tipo.** *Idioprioniodus cornutus* (Stauffer & Plummer, 1932) por designação (Merrill et al, 1987).

**Diagnose.** Aparelho seximembrado a septimembrado, composto por elemento P1 extensiforme digirado, elemento P2 digirado breviforme, elemento M dolabrado, elemento S0 alado, elemento S1 dolabrado, elemento S2 digirado breviforme, elementos S3-S4 bipennados; todos os elementos, exceto S0, apresentam um par simétrico. (Chauffe & Nichols, 1995; Purnell, 2002).

***Idioprioniodus conjunctus***, (Gunnell, 1931)

Figura 17.

1931 *Prioniodus conjunctus* Gunnell, p. 247, pl. 29, fig. 7 (M element).

1931 *Prioniodus lexingtonensis* Gunnell, p. 246, pl. 29, fig. 4 (S3 element).

1931 *Prioniodus tridentatus* Gunnell, p. 246, pl. 29, fig. 3 (S2 element).

1931 *Prioniodus clarki* Gunnell, p. 247, pl. 29, fig. 8 (P2 element).

1931 *Prioniodus bidentatus* Gunnell, p. 247-248, pl. 29, fig. 6 (S1 element).

1931 *Prioniodus missouriensis* Gunnell, p. 247, pl. 29, fig. 9 (S0 element).

1933 *Idioprioniodus typus* Gunnell, p. 265, pl. 31, fig. 47 (S4 element).

- 1941 *Lonchodina ponderosa* Ellison, p. 116, pl. 20, fig.37-39 (P1 element).
- 1981 "*Idioproniodus conjunctus*" (Gunnell), Landing; Wardlaw: 1258, pl 1, fig. 13-17, 22, 24, 25.
- 1991 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Brown et al.: Fig 7, 23-29.
- 1999 *Idioproniodus* sp., Scmazzon: 133, e. 2, 2.
- 1993 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Rexroad: Fig 4, 1-14.
- 2004 *Idioproniodus* sp. Scmazzon: 145, pl. 2, 12.
- 2005 *Idioproniodus* sp., Nascimento et al.: 197, fig 2, G.
- 2010b *Idioproniodus* sp., Nascimento et al.: 249, fig 5, I, S, T.
- 2011 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Pope et al.: 231, pl 1, fig. 2-3.
- 2013 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Brown et al.: 114-115, pl. 1, 1-3.
- 2016 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Nestell; Wardlaw & Pope: 101, pl 1, fig.1-8.
- 2016 *Idioproniodus* sp., Scmazzon et al.: 39, fig 1, 12.
- 2018 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Medina: 340-341, I.1, 6-17; I.2, 1-9.
- 2018 DE – *Ligonodina roundyi* (Hass, 1953), Nemyrovska & Hu: 122-123, fig. 12,j
- 2018 DE - *Roundya* sp., Nemyrovska & Hu: 122-123, fig. 12, n.
- 2018 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Nemyrovska & Hu: 122-123, fig. 12, i.

**Material.** 28 elementos P1, 20 elementos P2, 10 elementos M, 28 elementos S4, 13 elementos S3, 31 elementos S2, 14 elementos S1, and 12 elementos S0 da Seção ITACIMPASA, Formação Itaituba, Bashkiriano-Moscoviano (ver Tabela 2).

**Diagnose multielementar.** O aparelho alimentar desta espécie é composto por 15 elementos conodontes. Os elementos M apresentam uma forma dolabrada diferenciada. Os elementos P1 (x2) são digirados extensiformes, enquanto os elementos P2 (x2) são digirados breviformes. Os elementos S4 (x2) são bipennados, e os elementos S3 (x2) são digirados breviformes, mas de menor

tamanho em comparação com os elementos P2. Os elementos S2 (x2) são digirados extensiformes, maiores e têm orientações diferentes dos processos em comparação com o elemento P1. Adicionalmente, os elementos S1 (x2) são dolabrados, e o elemento S0 (x1) é alado.

**Descrição. M:** Dolabrado, cúspide massiva de altura média e lanceolada, com margem anterior reta ou convexa. Possui uma depressão na margem posterior em seu contato com a cavidade basal até quase o final da cúspide, gerando a forma de lança. A cúspide projeta-se aboral e anteriormente, gerando uma anticúspide triangular sem a presença de dentículos. O processo posterior é curvado aboralmente, começando com o primeiro dentículo sobre a estrutura cúspide-cavidade basal e inclinando-se para a parte externa, permitindo ver a região aboral do processo. Geralmente, nos elementos recuperados, o processo está incompleto e os dentículos quebrados, sendo possível identificar somente o primeiro dentículo, que é recurvado e pontiagudo. Portanto, o número total de dentículos do processo posterior é desconhecido. Os dentículos do processo posterior das formas geronticas evidenciam-se fundidos na base. A cavidade basal é grande e alargada, situando-se abaixo da cúspide e do primeiro dentículo, estendendo-se tanto para a anticúspide quanto para o processo posterior, formando neste último um sulco pronunciado que se estreita.

**P1:** Digirado extensiforme, apresenta uma cúspide plana na vista oral, com uma seção elipsoidal e margens quilhadas. Devido ao seu tamanho e estrutura, os processos dos elementos recuperados estão quebrados perto da região da cúspide. O processo anterior tem uma barra espessada que se estreita na parte mais anterior, com 6-8 dentículos triangulares e curvados posteriormente discretos. O processo lateral posterior é caracterizado por ter uma barra espessada com um sulco longitudinal que se estende até o seu final, com até 8-9 dentículos que se desenvolvem perpendicularmente à barra, sendo discretos em tamanhos e pontiagudos, alguns dos quais estão fundidos na base. Ambos os processos exibem padrões de desgaste e danos superficiais nas partes superiores dos dentículos, assim como nas cúspides, semelhantes ao elemento P2. Na vista aboral a cavidade basal é globular, e nos processos é evidente a continuação da cavidade basal como um sulco que se estende até as áreas mais distais.

**P2:** Digirado breviforme, apresenta uma cúspide longa de tamanho médio e maior espessura do que o elemento S3, ligeiramente inclinada para trás da base até o ápice, formando uma concavidade contínua em vistas laterais. Estende-se em uma cavidade basal globular, profunda e sub-arredondada que se projeta como um sulco em direção aos seus processos. Possui processos anterior e lateral-posterior que formam um ângulo de 90° entre seus eixos de crescimento. A maioria dos processos está fragmentada, impedindo a identificação de seus dentículos. Este elemento apresenta padrões de desgaste e danos superficiais nas porções superiores da cúspide e dos dentículos.

**S4:** Bipennado, reto, maciço, cúspide grande lanceolada de uma seção subelíptica com margens laterais quilhadas. Além de inclinada para trás, a cúspide está girada em direção ao seu processo anterior e possui uma depressão na parte de trás entre a cúspide e o início do processo posterior. Na vista lateral, ela é côncava na sua porção basal, endireitando-se gradualmente em direção ao ápice. Possui um processo anterior que gira e inclina para dentro, dando a impressão de ser um processo lateral, uma característica distintiva deste elemento. Desenvolve até três dentículos subarredondados com tamanhos iguais e margens quilhadas. Também possui um processo posterior do tipo barra de seção retangular, que está quebrado na maioria dos espécimes, com apenas o primeiro dentículo pequeno, triangular e inclinado posteriormente identificado. A grande cavidade basal é larga, com margens sinuosas, e projetadas para ambos os lados do elemento. Ela é mais proeminente no lado externo e continua em direção aos processos na forma de um sulco pronunciado.

**S3:** Digirado breviforme, cúspide fina e alongada de tamanho médio, com forma lanceolada na base e uma seção elipsoidal no ápice devido às suas margens quilhadas. Na vista lateral, apresenta uma concavidade na base, seguida de retidão em direção ao ápice. Está girada e inclinada posteriormente, com a parte posterior voltada para o processo lateral-posterior, fazendo com que as margens quilhadas nas porções basais estejam orientadas para os lados laterais da cúspide. Estende-se como uma cavidade basal globular assimétrica e inclinada anteriormente e continua como um sulco na margem basal dos processos. Possui um processo anterior que tende a se orientar lateralmente na porção basal e um processo lateral-posterior que forma um ângulo de 120° com seus



eixos de crescimento. Os espécimes recuperados estão quebrados, o que impede a identificação da quantidade e forma dos dentículos dos processos.

**S2:** Digirado extensiforme, cúspide achatada e lanceolada de altura média com margens quilhadas, inclinada posteriormente. Sua parte basal é côncava e sua parte superior está levemente voltada para o seu processo lateral anterior. Essa flexão é característica deste elemento. No processo anterior, foi possível identificar os dois primeiros dentículos que são lanceolados e aumentam em altura e espessura da cúspide em direção à porção mais anterior. No processo posterior-lateral, também foram identificados os dois primeiros dentículos, ambos quebrados, com o primeiro dentículo posicionado na zona anterior-lateral da cúspide, representando uma zona de fragilidade, uma vez que a maioria dos elementos recuperados está quebrada nesta região. Cavidade basal globosa, ligeiramente alargada abaixo da cúspide, formando um sulco que se estreita abaixo de ambos os processos. Em perfil, observa-se que a cavidade apresenta uma flexão, conferindo à sua parte basal uma forma sigmoidal.

**S1:** Dolabrado, a cúspide é pequena e lanceolada, com uma seção elipsoidal devido às suas margens quilhadas. É caracterizada por não ser o maior dentículo do elemento, mas é reconhecida por estar acima da cavidade basal, que se estende externamente em direção à região anterior na forma de um dentículo triangular maciço bem desenvolvido, conhecido como anticúspide. A cúspide é inclinada posteriormente em direção à anticúspide e, na sua porção superior, está ligeiramente torcida em direção ao processo posterior. Nos espécimes estudados, o processo posterior está quebrado. A forma e o número total de dentículos no processo posterior são desconhecidos. A cavidade basal é globosa, fechada e projetada internamente. Ela se estende anteriormente com uma superfície lobulada exposta sob a anticúspide e na forma de um sulco em direção ao processo posterior.

**S0:** Alado, cúspide robusta de grande altura. Na vista frontal, é reta, enquanto na vista lateral, curva-se posteriormente em sua zona basal até o meio, onde se endireita até o final da cúspide, formando uma concavidade pronunciada em sua porção basal. Possui margens laterais quilhadas na projeção dos eixos de crescimento do processo e, na zona basal posterior, devido à morfologia da

cavidade, apresenta uma depressão que se estende na forma de um sulco e desaparece antes do meio da cúspide. Os processos laterais estão localizados no mesmo plano perpendicular ao processo posterior. A maioria dos elementos tem processos quebrados na área de sutura com a cúspide, no entanto, o primeiro dentículo de cada um deles foi identificado. Eles são alongados, discretos em tamanho em comparação com a cúspide, com uma seção elipsoidal devido a suas margens quilhadas, e ligeiramente inclinado posteriormente. A cavidade basal é pronunciada, globosa e triangular devido ao ângulo dos eixos de crescimento, e estende-se na forma de um sulco ao longo da margem basal dos três processos.

**Discussão.** Esta espécie pode ser distinguida de *Idioprioniodus cornutus*, a espécie-tipo do gênero, pela presença do elemento S1 em seu aparelho. A presença do elemento lexingtonensiforme (aqui denominado S2, Figura 17E'-17H') nesta reconstrução diferencia da espécie *Idioprioniodus healdi*, de acordo com a revisão do gênero por Chauffe & Nichols (1995).

A reconstrução apresentada aqui é semelhante à de Nestell et al. (2016), no entanto, existem algumas distinções na nomenclatura. Na reconstrução deles, o elemento P1 é referido como "*conjunctus*" dolabrado (que aqui é identificado como elemento M, Figura 17A-17F), o elemento "*ponderosa*" extensiforme digirado é designado como M (referido como P1 nesta reconstrução, Figura 17G-17M), e o elemento "*clarki*" é reconhecido como S3 (referido como P2 aqui, Figura 17N-17T).

**Distribuição estratigráfica mundial.** Pensilvaniano (Bashkiriano - Moscovoviano inferior) na América do Norte, Bacia de Donets na Ucrânia, e na zona Cantábrica na Espanha.

**Ocorrência.** Camadas C4 (Bashkiriano superior) e C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas



**Figura 17.** *Idioprioniodus conjunctus* (Gunnell, 1931). A-F, elementos M: A, MP-M 1712; B, MP-M 1711; C, MP-M 1462; D, MP-M 1709; E-F, MP-M 1710; G-M, elementos P1: G, MP-M 1466; H-I, MP-M 1701; J, MP-M 1700; K, MP-M 1467; L-M, MP-M 1697; N-T, elementos P2: N, MP-M 1708; O-P, MP-M 1707; Q, MP-M 1471; R, MP-M 1706; S-T, MP-M 1705; U-Z, elementos S4: U, MP-M 1717; V, MP-M 1715; W, MP-M 1714; X-Z, MP-M 1713; A'-D', elementos S3: A', MP-M 1721; B', MP-M 1720; C', MP-M 1719; D', MP-M 1718; E'-H', elementos S2: E', MP-M 1722; F', MP-M 1724; G', MP-M 1464; H', MP-M 1725; I'-K', elementos S1: I', MP-M 1727; J', MP-M 1726; K', MP-M 1473; L'-P', elementos S0: L', MP-M 1731; M', MP-M 1730; N', MP-M 1729; O', MP-M 1474; P', MP-M 1728. Todos da camada C13 (amostra BAS1-9E), exceto o C, G, K, Q, G', K', e O' da camada C14 (BAS1-3F). Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes.

Ordem **OZARKODINIDA** Dzik, 1976

Família **GNATHODONTIDAE** Sweet, 1988

Gênero ***Declinognathodus*** Dunn, 1966

**Espécie tipo.** *Cavusgnathus nodulifera* Ellison & Graves, 1941, de acordo com a primeira descrição (identificação), do início do Pensilvaniano (Morrowano ao início do Atokano) da América do Norte.

**Diagnose.** Carminiescafado, elementos P1 simetricamente emparelhados sinistral e dextral com uma plataforma alongada e estreita que é decorada por nódulos e/ou costelas transversais. A lâmina livre se une à plataforma em posição medial e se estende dorsalmente como uma carena. A carena geralmente declina rostralmente e se funde com a metade rostral da plataforma. Exceto em *De. praenoduliferus* e *De. lateralis*, a parte ventral da plataforma rostral suportada de um nódulo a uma fileira de nódulos formando um parapeito reduzido e diferenciado da carena em todos os elementos. O parapeito caudal e a plataforma rostral (carena e parapeito rostral) podem ser separados por um sulco ou unidos por costelas transversais em diferentes graus.

***Declinognathodus marginodosus*** (Grayson, 1984)

Figura 18L-18U.

1978 *Declinognathodus noduliferus* Nemirovskaya in Kozitskaya *et al.*:30, pl. 25, figs 10-14 (non cet.).

1981 *Declinognathodus noduliferus inaequalis* Méndez & Menéndez-Álvarez: fig.3.1.

1981 *Declinognathodus noduliferus noduliferus* Méndez & Menéndez-Álvarez: fig. 3.2.

1984 *Idiognathoides marginodosus* Grayson: 50, pl. 1, figs 3-4, 7, 9-11, 13-14 (non-figs 16, 18 = *Idiognathoides sulcatus*); pl. 2 figs 8, 9, 17 (non-fig. 4 = *Id. sulcatus*).

- 1984 *Declinognathodus noduliferus* Goreva: pl. 1, figs 14, 17-21.
- 1990 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya: 42, pl. 1, figs 5-11.
- 1990 "*Declinognathodus*" *marginodosus* Grayson *et al.*: 365, pl. 1, fig. 28 (non cet.).
- 1992 *Declinognathodus noduliferus*, Lemos: 126, l. 3, figs 2, 3, 6, 7.
- 1992 *Declinognathodus marginodosus* Sutherland & Grayson: pl. 2, fig. 11.
- 1993 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya & Alekseev: pl. 3, figs 5-6.
- 1994 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya & Alekseev: pl. 1, figs 9-10.
- 1999 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya: 54, pl. 2, figs 2, 8, 11-12, 17.
- 1999 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya *et al.*: fig. 3.8.
- 1999 *Declinognathodus noduliferus*, Scomazzon: 131, e. 1, 1-2.
- 2001 *Declinognathodus marginodosus* Alekseev & Goreva in Makhlina *et al.*: 117. pl. 13, figs 21-25; pl. 14, figs 4-6.
- 2009 *Declinognathodus marginodosus* Kulagina *et al.*: pl. 8, fig. 1.
- 2010 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya *et al.*: fig. 3.2.
- 2016 *Declinognathodus marginodosus* Qi *et al.*: figs. 9D-9F, 9K.
- 2017 *Declinognathodus marginodosus* Hu *et al.*: figs 4R, 4S.
- 2017 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya: pl. 2 figs 20-21
- 2018 *Declinognathodus marginodosus* Nemyrovskaya & Hu: 116, Fig 9. A-J.

**Material.** 256 elementos P1.

**Diagnose.** A plataforma é alongada e estreita, afunilando-se em direção à extremidade dorsal pontiaguda. Uma carena curta se estende para baixo até o parapeito rostral, fundindo-se com ele na porção ventral da plataforma. A parte ventral do parapeito rostral é reduzida e consiste em um único nódulo ou uma crista curta que está isolada do restante do parapeito e da carena. A ranhura mediana é larga e profunda.

**Descrição. P1:** apresenta uma morfologia carminiescafada com a lâmina livre inserida no ponto médio da plataforma e declinando para se fundir com o quarto ventral da plataforma em forma de uma carena bem diferenciada. O parapeito rostral é reduzido na região ventral, apresentando um nódulo desenvolvido e, em alguns espécimes, uma pequena crista longitudinal isolada da estrutura parapeito-carena. Ambos os parapeitos são diferenciados por nódulos espaçados.

**Observações.** Esta espécie difere da espécie similar *Declinognathodus donetzianus* por não ter nódulos inclinados na expansão rostral da plataforma. Também difere da espécie *De. noduliferus* por apresentar uma redução no parapeito rostral ocupado por um nódulo ou crista, uma carena diferenciada e nódulos espaçados nos parapeitos. Os espécimes documentados na região norte da Bacia do Amazonas (Lemos 1992b, pl. 3, fig. 2-3, 6-7) apresentam características semelhantes aos nossos espécimes, com um parapeito rostral reduzido, o que é típico desta espécie. Semelhante aos morfotipos de *De. marginodosus* da Bacia de Donets, na Ucrânia (Nemyrovska 2018), alguns espécimes exibem nódulos ou costelas que não estão completamente isolados do parapeito e, em alguns casos, podem até se fundir com ele. No entanto, podem ser observadas morfologias onde a crista isolada continua como pequenos nódulos discretos ao longo do parapeito rostral (Figura 18P, 18R, 18T-18U).

**Distribuição estratigráfica mundial.** A parte mais superior do Bashkiriano até o Moscoviano inferior da Europa e Ásia. Parte superior do Morrowano até o Atokano da América do Norte.

**Ocorrência.** Camadas C6 (Bashkiriano superior) e C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas

***Declinognathodus donetzianus*** Nemirovskaya, 1990

Figura 18A-J.

1984 *Declinognathodus noduliferus*, Goreva: pl. 1, figs 15b, 16, 22-23 (non cet.).

1985 *Idiognathoides tuberculatus*, van den Boogaard & Bless: pl. 8, fig. 8 (non cet.).

1985 *Idiognathoides sulcatus*, Savage & Barkelly: 1467, figs 10.1-10.4, 10.9-10.12 (non cet.).

1990 *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovskaya: 40, pl. 1, figs 1-4.

1992b *Declinognathodus noduliferus*, Lemos: 126, l. 3, fig. 1.

1999 *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovskaya: 53, pl. 2, figs 7, 9, 14.

1999 *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovskaya: *et al.*, fig. 3.2.

2001 *Declinognathodus donetzianus*, Alekseev & Govera: 116, pl. 13, fig. 26; pl. 14, figs 9-11.

2006. *Declinognathodus donetzianus*, Pazukhin *et al.*: p. 18, fig. 1.

2009 *Declinognathodus donetzianus*, Kulagina *et al.*: pl. 8, figs 2-3.

2010 *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovskaya *et al.*: fig. 3.2.

2012 *Declinognathodus donetzianus*, Work *et al.*: fig. 8.1.

2017 *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovskaya: pl. 2, figs 22-23.

2018 *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovskia: 116, figs 9J-M, Q.

**Material.** 49 elementos P1.

**Diagnose.** Os elementos P1 possuem formato de seta, sendo alongados e estreitos. A carena é curta e inclina-se em direção ao parapeito rostral, ocupando um quarto ventral da plataforma. Este parapeito está reduzido a vários nós. O nó ou nós ventrais são paralelos ao eixo do elemento, enquanto os nós restantes declinam rostralmente e são posicionados quase perpendicularmente ou em um ângulo agudo em relação ao eixo da plataforma.

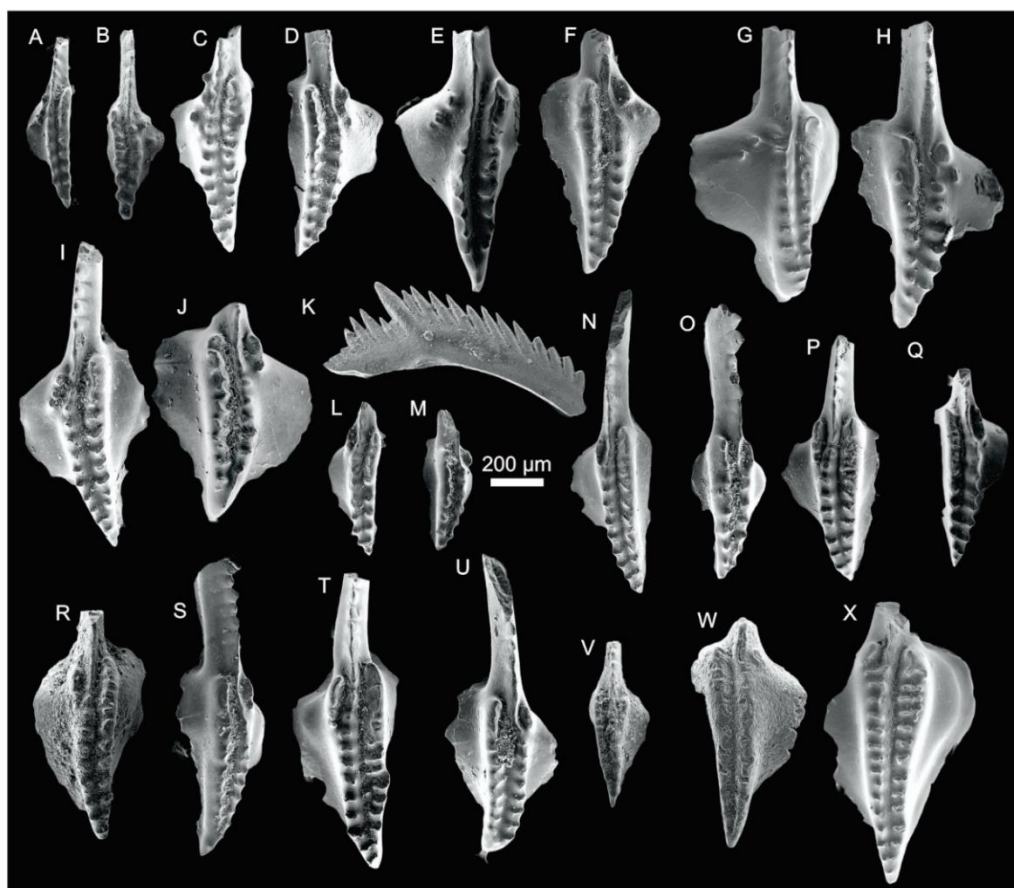
**Descrição. P1:** morfologia carminiescafada, onde a lâmina livre se conecta à plataforma em sua porção central, formando uma pequena carena que se inclina em direção ao parapeito rostral no quarto ventral da plataforma. Um ou dois nódulos ventrais são paralelos ao eixo do elemento, enquanto os demais nódulos se desviam externamente na expansão rostral da plataforma, quase perpendicularmente ao eixo do elemento. Tipicamente, quando há mais de dois nós ventrais, eles podem se fundir, enquanto os nós desviados tendem a ser discretos. A carena, além de curta, apresenta nodosidade e pode se fundir em certos espécimes. Ambos os parapeitos exibem nódulos, embora o parapeito rostral tenha menos nódulos em comparação com o parapeito caudal, e o espaçamento entre os nódulos de ambos os parapeitos aumenta em direção à região dorsal.

**Discussão.** A principal diferença desta espécie em relação a *Declinognathodus marginodosus* e outras espécies do gênero é a notável redução do parapeito rostral devido à deflexão angular bem marcada em direção ao eixo longitudinal do elemento, bem como a presença de nós adicionais desviados na porção rostral da plataforma. Este espécime em particular foi documentado anteriormente no norte da Bacia do Amazonas durante análises de testemunhos de poços de sequências carboníferas das bacias do Amazonas e Solimões no norte do Brasil (Lemos 1992b, pl. 3, fig. 1). Espécimes de *De. donetzianus* da Bacia de Donetz, na Ucrânia, especificamente das seções Malo-Mykolaivka, Pashenna Valley e Zolota Valley (2018, Nemyrovskia), apresentam características semelhantes às encontradas na fauna da Bacia do Amazonas (Figura 18A-J).



**Distribuição estratigráfica mundial.** Pensilvaniano Médio, parte inferior do Moscoviano, da Rússia (Sinclinal de Moscou, sul dos Urais, região do Volga-Urais), Ucrânia (Bacia de Donetz), da Grã-Bretanha, e a parte superior do Atokano da América do Norte (Alaska).

**Ocorrência.** Camadas C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas.



**Figura 18.** Espécies de *Declinognathodus* da seção estudada. A-J, *Declinognathodus donetzianus*, Nemyrovska, 1990, elementos P1: A, MP-M 1484; B, MP-M 1483; C, MP-M 1614; D, MP-M 1611; E, MP-M 1476 F, MP-M 1608; G, MP-M 1602; H, MP-M 1604, I, MP-M 1605; J, MP-M 1607; K, *Declinognathodus*, elemento P2: K, MP-M 1518; L-U, *Declinognathodus marginodosus*, (Grayson, 1984), elementos P1: L, MP-M 1663; M, MP-M 1516; N, MP-M 1637; O, MP-M 1651; P, MP-M 1630; Q, MP-M 1496; R, MP-M 1491; S, MP-M 1635; T, MP-M 1625; U, MP-M 1629; V-X, *Declinognathodus* sp., elementos P1: V, MP-M 1487; W, MP-M 1486; X, MP-M 1620. Todos provenientes da camada C13 (amostra BAS1-9E), exceto A, B, E, K, M, Q, R, V e W, provenientes da camada C14 (amostra BAS1-3F). Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes.

Gênero *Idiognathoides* Harris & Hollingsworth, 1933

**Espécie tipo.** *Idiognathoides sinuata* (Harris & Hollingsworth, 1933) de acordo com a primeira designação, do Pensilvaniano inferior (Morrowan) da América do Norte.

**Diagnose.** Elemento P1 carminiescafado, é uma lâmina lateral que é independente e compreende quase metade do comprimento total do elemento. Em certas instâncias, ela se estende como uma carena defletida, submergindo com o parapeito ou terminando contra ele. Essa estrutura apresenta parapeitos com costelas transversais e uma depressão central entre eles.

*Idiognathoides postsulcatus*, Nemyrovska, 1999.

Figura 19L-19P.

1964 *Gnathodus opimus* Igo & Koike: 189, pl. 28, figs 15-17 (only).

1965 *Gnathodus opimus* Igo & Koike: 89, pl. 9, figs 1-3 (only).

1980 *Gnathodus opimus* sensu lato Morphotype 1 Bender: p. 12-13, pl. 2, figs 8-9, 15-16, 23-24, 29-31, 34, 38.

1981 *Idiognathoides sulcatus sulcatus* Méndez & Menéndez-Álvarez: fig. 3.7.

1984 *Idiognathoides marginodosus* morphotype C Grayson: 50, pl. 1, figs 16, 18; pl. 2, fig. 19; pl. 3, figs 4, 10, 12, 14; pl. 4, figs 16, 21, 23.

1985 *Idiognathoides sulcatus* van den Boogaard & Bless: 150, fig. 9: 6-7.

1985 *Idiognathoides sulcatus* Savage & Barkeley: 1467-1469, fig. 10: 5-8 (only).

1994 *Idiognathoides sulcatus* Nemyrovska & Alekseev: pl. 1, fig. 19 (only).

1999 *Idiognathoides postsulcatus* Nemyrovska: 68, pl. 3, figs 9, 18.

1999 *Idiognathoides postsulcatus* Nemyrovska: *et al.*, fig. 3.3.

2016 *Idiognathoides postsulcatus* Qi et al.: figs 11K-11M.

2017 *Idiognathoides postsulcatus* Hu et al.: figs 5F- 5G.

2017 *Idiognathoides postsulcatus* Nemyrovskaya: pl. 2, figs 18, 19.

2018 *Idiognathoides postsulcatus* Nemyrovskaya: 119, Fig 10D.

**Material.** 24 elementos P1.

**Diagnose.** Os elementos P1 têm parapeitos nodulares longos de altura igual, com um sulco estreito e raso entre eles. Os nódulos dos parapeitos estão espaçados de forma compacta, e ambos os lados da plataforma são convexos de forma assimétrica.

**Descrição. P:** morfologia carminiescafada, tanto sinistrais quanto dextrais são retos, estreitos e alongados, com parapeitos longos de tamanho igual separados por um sulco fino e raso. Os parapeitos são ornamentados com nódulos levemente espaçados. A plataforma do elemento é assimetricamente convexa em ambos os lados, com maior convexidade na área ventral.

**Discussão.** Difere das espécies *Idiognathoides sinuatus* e *I. fossatus* pela presença de nódulos em seus longos parapeitos e pela convexidade assimétrica em sua plataforma. Os elementos dextrais de *I. postsulcatus*, ilustrados em Nemyrovskaya, 2017, da Bacia de Donetz, apresentam morfologias muito semelhantes às nossas (Figura 19L-N).

**Distribuição estratigráfica mundial.** Moscoviano inferior da Bacia de Donetz, Ucrânia, Urais, Rússia (Nemirovskaya & Alekseev, 1994), Calcários de Omi e Akioishi, Japão (Igo & Koike, 1964). Nas Montanhas Cantábricas, Espanha (Méndez & Menéndez-Álvarez, 1981), Atokano de América do Norte no Ártico Canadense (Bender, 1980), e nas Montanhas Arbuckle, Oklahoma (Grayson, 1984), assim também na Formação Klavak do Alaska (Savage & Barkeley, 1985), e Bashkiriano superior e Moscoviano inferior da Europa Ocidental (van den Boogaard & Bless, 1985) e da China (Qi et al., 2016; Hu et al., 2017).

**Ocorrência.** Camadas C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas.

***Idiognathoides fossatus*** (Branson & Mehl, 1941)

Figura 19Q-19R, 19S-19Z

1941 *Polygnathus fossata* Branson & Mehl: 103, pl. 19, figs 27-28.

1984 *Idiognathoides ouchitensis* Grayson: p. 50, pl. 3, figs 13, 15.

1994 *Idiognathoides fossatus* (Branson & Mehl) Nemyrovskaya & Alekseev: pl. 2, figs 4-5.

2005 *Idiognathoides sinuatus* (Harris & Hollingsworth) Nascimento et al.: p.197, Fig 2.B.

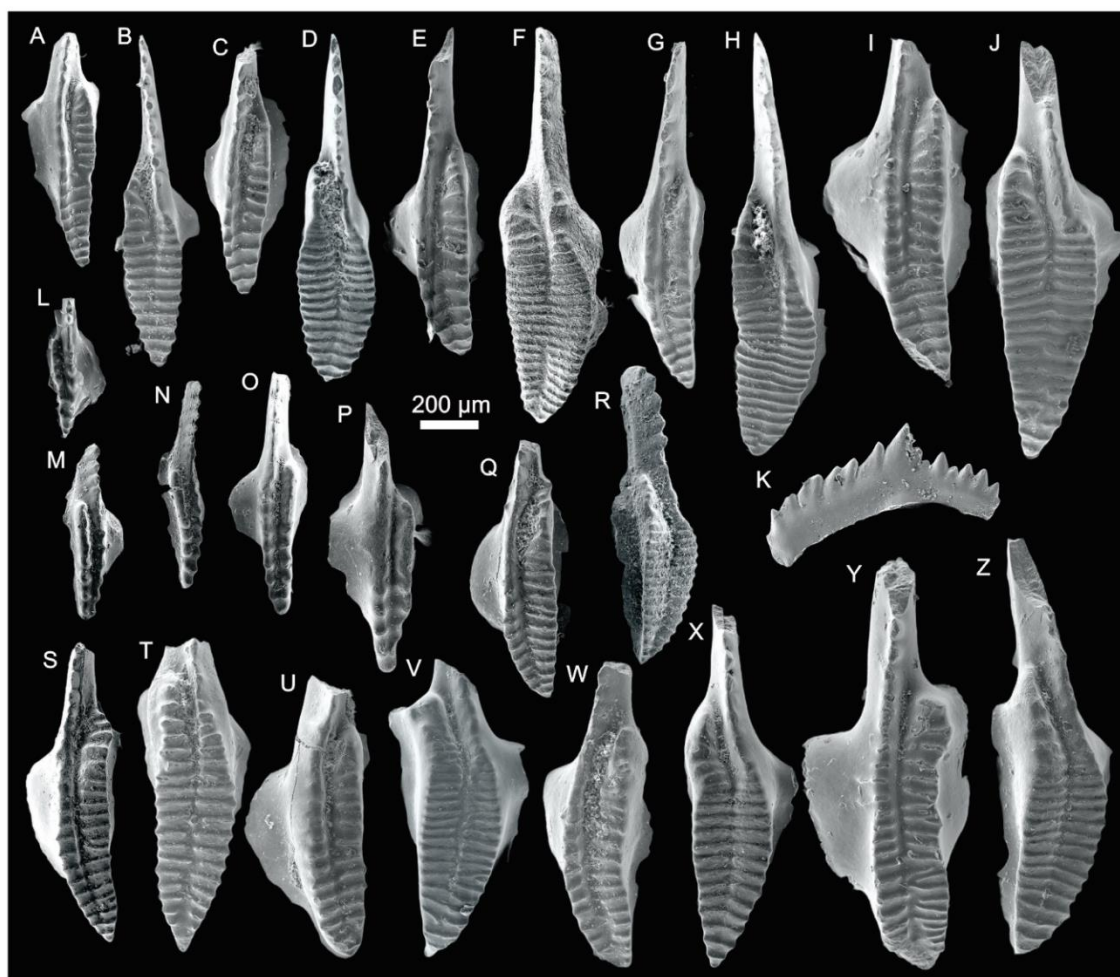
2016 *Idiognathoides sinuatus* (Harris & Hollingsworth) Scomazzon et al.: p. 35, Fig 10.14.

2017 *Idiognathoides fossatus* (Branson & Mehl) Nemyrovskaya: p. 309, pl. 2, fig 10.

2018 *Idiognathoides fossatus* (Branson & Mehl) Nemyrovskaya: p.118, fig 10. k-m.

**Diagnose.** Elementos principalmente em forma de cunha, com uma extremidade posterior pontiaguda. Plataforma coberta por costelas paralelas transversais. Um sulco mediano profundo e largo pressiona as costelas e geralmente as divide na parte anterior da plataforma; tornando-se raso em direção à extremidade posterior da plataforma; as 2-3 últimas costelas transversais podem ser contínuas.

**Descrição. P:** Morfologia carminiescafada, com a lâmina livre encontrando-se com a plataforma, tanto no lado direito quanto esquerdo, como uma carena defletindo de forma diagonal e submergindo ao parapeito rostral na porção ventral da plataforma. Os parapeitos, sendo o rostral de menor comprimento do que o ventral, os dois são ornamentando com costelas interrompidas por uma depressão ou sulco alcançando o final dorsal da plataforma. A plataforma apresenta uma morfologia convexa nas margens rostrais e concava na porção ventral das margens dorsais, e observa-se a presença de abas laterais.



**Figura 19.** Espécies de *Idiognathoides* da seção estudada. A-J, *Idiognathoides sinuatus*, (Harris & Hollingsworth), 1933, elementos P1: A, MP-M 1423; B, MP-M 1526; C, MP-M 1536; D, MP-M 1523; E, MP-M 1540; F, MP-M 1413; G, MP-M 1537; H, MP-M 1523; I, MP-M 1535; J, MP-M 1521; K, *Idiognathoides*, elemento P2: K, MP-M 1520; L-P, *Idiognathoides postsulcatus*, Nemyrovskaya, 1999, elementos P1: L, MP-M 1586; M, MP-M 1432; N, MP-M 1410; O, MP-M 1431; P, MP-M 1587; Q-Z, *Idiognathoides fossatus*, (Branson & Mehl, 1941), elementos P1: Q, MP-M 1583; R, MP-M 1435; S, MP-M 1445; T, MP-M 1555; U, MP-M 1581; V, MP-M 1556; W, MP-M 1573; X, MP-M 1553; Y, MP-M 1571; Z, MP-M 1551. Todos provenientes da camada C13 (amostra BAS1-9E), exceto A, F, K, M, O, R e S (amostra BAS1-3F) e N (amostra BAS1-9F), ambos provenientes da camada C14. Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes.

**Discussão.** Difere da espécie *Idiognathoides sinuatus* pela continuidade do sulco que interrompe os parapeitos até o final dorsal da plataforma y pela carena submergindo-se de forma reta ao parapeito rostral no caso de *Id. Sinuatus*. Difere da espécie *Id. postsulcatus* pela presença de nódulos espaçados neste espécimen.

**Distribuição estratigráfica mundial.** Parte superior do Bashkiriano superior e no Moscoviano inferior da Europa Oriental, Urais e Ásia Central. Além disso, eles são encontrados no Pensilvaniano inferior (Atokano) da América do Norte.

**Ocorrência.** C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas.

Gênero *Neognathodus* Dunn, 1970

**Espécie tipo.** *Polygnathus bassleri* Harris & Hollingsworth, 1933

Aparelho seximembrado ou septimembrado. Elemento P1 com morfologia carminiescafada, cuja lâmina livre longa, maior do que a metade do comprimento do elemento, encontra-se centralmente ou subcentralmente à plataforma. A plataforma é ligeiramente reduzida ou ausente na borda externa. Parapeitos ou costelas transversais acompanham um ou ambos os lados da plataforma. A carena se estende até a extremidade posterior do elemento ou próximo a ela.

*Neognathodus uralicus* Nemyrovska & Alekseev, 1994

Figura 20R, 20S, 20X

**Diagnose.** A plataforma do elemento P1 é maciça, de forma subtriangular, longa com uma extremidade posterior pontiaguda. A carena é muito mais baixa que os parapeitos em seu terço anterior. Ela se torna mais alta, mais larga e mais nodular em direção à extremidade posterior, onde se desvia para o parapeito externo e quase se funde com sua parte reduzida. Os parapeitos são proeminentes em sua parte anterior e cobertos por costelas curtas e distintas ao longo de todo o comprimento. Os parapeitos são separados da carena por sulcos estreitos que se tornam mais profundos na parte anterior da plataforma.

**Descrição. P1:** O elemento possui uma morfologia carminiescafada, sendo triangular e alongado, com a lâmina livre do mesmo tamanho que a plataforma. A lâmina livre entra na plataforma e forma uma carena nodosa de altura menor do que os parapeitos na porção ventral da plataforma. Em direção à porção mais dorsal, a carena aumenta em tamanho e espessura dos nódulos, e se desvia em direção ao parapeito rostral (externo), fundindo os nódulos da porção reduzida do parapeito até se fundirem completamente na porção mais dorsal da

plataforma. Os parapeitos são grandes, elevados e ornamentados com costelas de diferentes tamanhos e são diferenciados por sulcos que são mais profundos na parte ventral da plataforma.

**Discussão.** Difere da espécie *N. atokaensis* pela altura da carena na porção ventral da plataforma e pelo seu desvio e fusão em direção ao parapeito rostral (externo). Difere da espécie *N. medadultimus* nos parapeitos mais robustos e por ser mais espesso na porção mais dorsal da plataforma, bem como pela carena ser pequena e mais profunda na porção ventral e mais proeminente na porção mais dorsal da plataforma. Assim também difere da espécie *N. bassleri* por apresentar um parapeito reduzido e a carena desviada.

**Distribuição estratigráfica mundial.** Moscoviano inferior na Seção Askyn, Sul dos Urais (Nemyrovska & Alekseev, 1994), Atokano no sul de Midcontinent, América do Norte (Barrick, 2013).

**Ocorrência.** Camadas C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas.

Família **CAVUSGNATHIDAE** Austin & Rhodes, in Robison, 1981

Gênero ***Adetognathus*** Lane, 1967

**Espécie tipo.** *Cavusgnathus lautus* Gunnell, 1933.

**Diagnose.** Conodonte com um aparelho multielementar seximembrado, no qual o elemento P1 é carminiescafado; Pb é angulado; M é dolabrado; Sa é alado, e Sc é bipennado, de dois tipos.

***Adetognathus spathus*** (Dunn, 1966)

Figura 20M, 20P.

1966 *Cavusgnathus spatha* n.sp. Dunn: p. 1297, 1299, pl. 145, figs 3, 7, 8.

1967 *Adetognathus lauta* (Gunnell); Lane: pl. 121, figs 4, 5.

1970 *Adetognathus spathus* (Dunn); Dunn: p. 327, pl 61, figs 11-13

1970 *Adetognathus lautus* (Gunnell); Thompson: p. 1044-1045, pl. 139, figs 21-23.

1970 *Adetognathus gigantus* (Gunnell); Thompson: p. 1044, pl. 139, fig 26.

1971 *Cavusgnathus lautus* Gunnell; Merrill & King: pl. 75, fig 25.

1974 *Adetognathus spathus* (Dunn); Lane & Straka: p. 65-66, fig 38: 5, 9, 16-19.

1991 *Adetognathus spathus* (Dunn); Morrow & Webster: pl. 1, figs 12-16, pl. 2, figs 1-4.

1996 *Adetognathus spathus* (Dunn); Krumhardt, Harris & Watts: p. 33, pl. 1, figs 16-20, 25, 26.

2010b *Adetognathus lautus* (Gunnell); Nascimento: p. 249, fig 5, z.

**Material.** 12 elementos P1.

**Diagnose.** A lâmina livre reta e comprimida lateralmente une-se à plataforma na posição lateral externa, continuando posteriormente como parapeito externo; parapeito externo convexo para fora, mas em alguns exemplares reto na parte anterior da plataforma, formando um contorno sinuoso; parapeito interno convexo; parapeitos ornamentados com costelas transversais paralelas e regularmente espaçadas que se tornam obsoletas na calha; os parapeitos se fundem perto da extremidade posterior da plataforma.

**Descrição. P1:** São elementos de morfologia carminiescafada, com a lâmina livre fixa e fusionada ao lado rostral da plataforma e continuando como parapeito rostral, esse parapeito tem margens retas na porção ventral da plataforma e sendo convexa no extremo dorsal. O parapeito ventral tem margens convexas. Os parapeitos apresentam ornamentação de costelas que somem no meio da plataforma, e eles se fusionam perto da porção mais dorsal da plataforma, gerando uma forma de ponta de seta ou espátula em vista lateral.

**Discussão.** Difere da espécie *Adetognathus lautus* e outras espécies na fusão dos parapeitos perto da porção mais dorsal da plataforma.

**Distribuição estratigráfica mundial.** Lane e Straka (1974) indicaram uma idade Morrowan para a espécie em Oklahoma. De acordo com Krumhardt et al. (1996), *A. spathus* tem uma distribuição que vai do mais recente Chesteriano (base da subzona *muricatus* superior) até pelo menos o Pensilvaniano Superior no Alaska.



Na Serra Água Verde, *A. spathus* apareceu pela primeira vez no início do Pensilvaniano.

**Ocorrência.** Camadas C6, C8, C9 e C11 (Bashkiriano superior) e C13 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas.

Família **SWEETOGNATHIDAE** Ritter, 1986

Gênero ***Diplognathodus*** Kozur & Merrill *in* Kozur, 1975

**Espécie tipo.** *Spathognathodus coloradoensis* Murray & Chronic, 1965, de acordo com a primeira descrição, do Pensilvaniano (Desmoinesiano) da América do Norte.

**Diagnose.** Elemento P1 carminado. Lâmina livre com o mesmo comprimento da carena, parcial ou completamente fundida à carena, na plataforma. Cavidade basal com contorno subelíptico, com a parte mais profunda localizada na plataforma.

***Diplognathodus benderi*** Hu, Hogancamp, Lambert, Qi & Chen, 2020

Figura 20I, 20J.

1974 *Spathognathodus orphanus* Merrill; Igo: 235, pl. 2, figs ?10, 11, 13.

1980 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Bender: 9, pl. 4, fig. 18 (only).

1984 *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Grubbs: 69, pl. 1, fig. 4 (only).

1984 *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Grayson: 48, pl. 2, fig. 24 (only).

1985 *Diplognathodus coloradoensis* (Murray & Chronic); Savage & Barkeley: 1473, fig. 12.13–16 (only).

1992b *Diplognathodus orphanus*, Lemos: 127, l. 3, fig 5.

2009 *Diplognathodus orphanus* (Murray & Chronic); Nascimento *et al.*: fig. 4G.

- 2010b *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Nascimento *et al.*: fig. 5M.
- 2010b *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Nascimento *et al.*: fig. 5N.
- 2010 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Qi *et al.*: pl. 4, figs 14, 15, 21, 24 (only).
- 2014 *Diplognathodus* sp. 1 Saelens: 46, fig. 19.18 (only).
- 2014 *Diplognathodus* sp. 2 Saelens: 47, fig. 19.17 (only).
- 2016 *Diplognathodus* aff. *ellesmerensis* Bender; Qi *et al.*: fig. 7C.
- 2016 *Diplognathodus* aff. *orphanus* (Merrill); Qi *et al.*: fig. 7F.
- 2017 *Diplognathodus orphanus* (Merrill) s.l.; Thompson and Lambert: pl. 1, fig. 4, pl. 2, figs 5–7.
- 2017a *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Cardoso *et al.*: 81, fig. 4.14–15.
- 2017a *Diplognathodus* aff. *orphanus* (Merrill); Cardoso *et al.*: 92, fig. 4.16 (only).
- 2017b *Diplognathodus orphanus* (Merrill) Cardoso *et al.*: pl. 1, fig. 6 (only).
- 2018 *Diplognathodus* aff. *ellesmerensis* Bender; Alekseev *et al.*: fig. 2B–D, F–M (only).
- 2020b *Diplognathodus benderi* Hu, *et al.*: 16, Fig 10L-M, R-U.

**Material.** 2 elementos P1.

**Diagnose.** O elemento P1 pequeno é carminado e consiste em uma lâmina e uma plataforma convexa, com vários pequenos dentículos localizados em um entalhe “notch” entre eles. A lâmina é ligeiramente mais alta do que a plataforma.

**Descrição. P1:** é de morfologia carminada, de tamanho pequeno, composto por uma lâmina livre e uma plataforma, ambos ornamentados com dentículos, com

um entalhe “notch” central contendo dois ou três dentículos finos. A plataforma é convexa, subelíptica e alongada em vista lateral, com nódulos arredondados (4-5) formando uma carena. A lâmina livre é ligeiramente mais alta do que a plataforma, com seis dentículos altos e orientados verticalmente fundidos na base e lateralmente comprimidos.

**Discussão.** De acordo com Hu et al., (2020), esta espécie difere de *Diplognathodus orphanus* pela presença de um entalhe “notch” com 2 ou 3 pequenos dentículos. Também difere de sua espécie descendente *D. ellesmerensis* pelo tamanho diferente entre a lâmina livre e a plataforma. Além disso, *D. benderi* pode ser distinguido de ambas as espécies por sua plataforma convexa. Formas de transição entre esta espécie e *D. ellesmerensis* (Figura 20J) são caracterizadas pela perda da convexidade da plataforma e pela diferenciação de tamanhos entre a plataforma e a lâmina, especialmente perceptível na área do entalhe “notch”, devido ao crescimento do dentículo dorsal proclinado (inclinado dorsalmente) da lâmina livre, o que contrasta com *D. benderi*, onde os dentículos na lâmina são mais retos.

**Distribuição estratigráfica mundial.** Na idade Dalaun inferior no Sul da China; no Solontsian (Vereian), Sul dos Urais, Rússia; no Atokano da América do Norte e do Sul; e nos Calcários de Akiyoshi (Atokano) do sudoeste do Japão.

**Ocorrência.** Camadas C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas

***Diplognathodus ellesmerensis* Bender, 1980**

Fig. 20K, 20L.

1980 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender: 9, pl. 4, figs 5–7, 11, 15–17, 19–21, 23–25 (only).

1981 *Diplognathodus coloradoensis* (Murray & Chronic); Landing & Wardlaw: 1257, pl. 1, figs 6, 9, 10 (only).

1983 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; van den Boogaard: 23, pl. 1, fig. a.

- 1984 *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Grayson: 48, pl. 2, fig. 25 (only).
- 1984 *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Grubbs: 69, pl. 1, fig. 3 (only).
- 1985 *Diplognathodus coloradoensis* (Murray & Chronic); Savage & Barkeley: 1473, fig. 12.9–12 (only).
- 1990 *Diplognathodus? ellesmerensis* Bender; von Bitter & Merrill: pl. 1, figs L, M.
- 1992b *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Lemos: pp. 127– 128, pl. 3, figs 4, 5.
- 1997 *Diplognathodus* sp. nov. A Goreva & Kossovaya: pl. 3, figs 6–8.
- 1999 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Nemyrovska, pl. 11, figs 14, 15
- 1999 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Nemyrovska *et al.*: fig. 6.6.
- 2001 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Alekseev & Goreva in Makhlina *et al.*: p. 116, pl. 14, fig. 17; pl. 17, fig. 21.
- 2002 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Wang & Qi: pl. 1, fig. 8.
- 2002 *Diplognathodus* cf. *D. ellesmerensis* Bender; Méndez: pl. 1, fig. 7.
- 2003 *Diplognathodus orphanus* Merrill; Lee & Bak: pl. 1, figs 13, ?14.
- 2003 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Wang & Qi: pl. 4, figs 6, 7.
- 2004 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Wang *et al.*: pl. 3, fig. 8.
- 2005 *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Scomazzon & Lemos: fig. ?2C, D.
- 2005 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Scomazzon & Lemos: fig. 2E, F.
- 2007 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Nemyrovska in Fohrer *et al.*: figs 15.2, 15.4, 15.7.

- 2007 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Qi *et al.*: fig. 9.1–2.
- 2008 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Qi: p. 65, pl. 21, fig. 15–16.
- 2010 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Qi *et al.*: pl. 4, figs 17, 18 (only).
- 2014 *Diplognathodus* sp. 2 Saelens: p. 47, fig. 19.13–15 (only).
- 2016 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Hu: pl. 10, figs 3–4; fig. 10.C1–C4.
- 2016 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Qi *et al.*: fig. 7A–B.
- 2016 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Scomazzon *et al.*: fig. 10.27–10.31.
- 2017 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Nemyrovskaya: pl. 3, figs 10–11.
- 2017 *Diplognathodus orphanus* (Merrill) s.l.; Thompson & Lambert: pl. 1, fig. 4.
- 2017a *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Cardoso *et al.*: p. 81, fig. 4.13.
- 2017a *Diplognathodus* aff. *orphanus* (Merrill); Cardoso *et al.*: p. 82, fig. 4.16 (only).
- 2017b *Diplognathodus orphanus* (Merrill); Cardoso *et al.*: pl. 1, fig. 7 (only).
- 2017b *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Cardoso *et al.*: pl. 1, fig. 11.
- 2018 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Nemyrovskaya & Hu: p. 121, fig. 12G, H.
- 2018 *Diplognathodus* aff. *ellesmerensis* Bender; Alekseev *et al.*: fig. 2E (only).
- 2018 *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Alekseev *et al.*: fig. 2M, N.
- 2020a *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Hu *et al.*: fig. 7.17.

2020b *Diplognathodus ellesmerensis* Bender; Hu *et al.*: fig. 10 A-K.

**Material.** 2 elementos P1.

**Diagnose.** Elemento P1 carminado pequeno, composto por uma lâmina alta, uma plataforma baixa (“cup”) e um entalhe com vários pequenos dentículos entre eles. A lâmina é muito mais alta do que a plataforma.

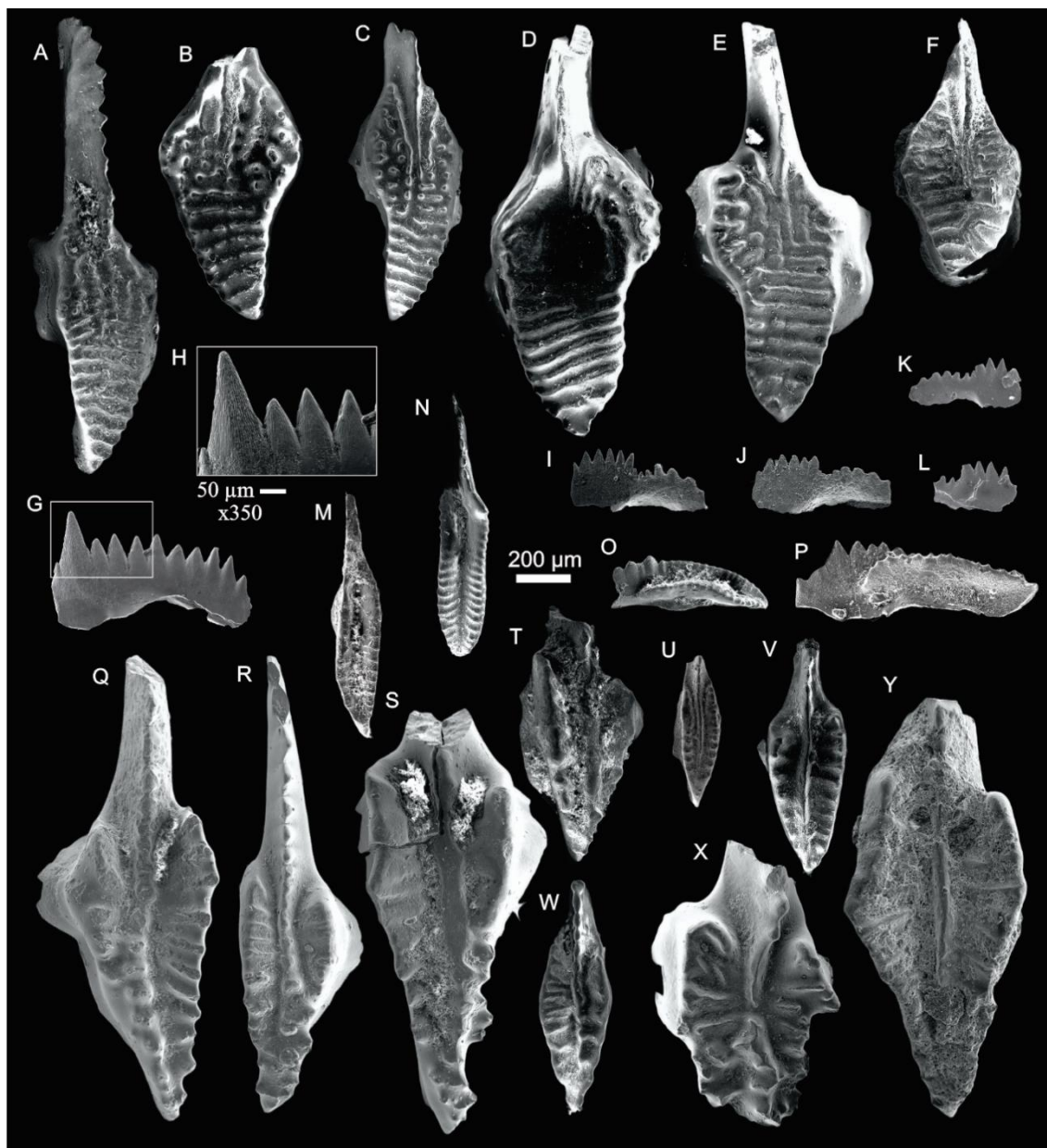
**Descrição. P1:** São elementos de morfologia carminada, pequenos e compostos por uma lâmina livre e uma plataforma em forma de copo. Tanto a lâmina quanto a plataforma são adornadas com dentículos, com a lâmina sendo lateralmente comprimida. Em vista lateral, o elemento P1 parece reto e ligeiramente arqueado. A lâmina é aproximadamente duas vezes mais alta do que a plataforma e consiste em 4-5 dentículos subtriangulares com bases fundidas. Esses dentículos aumentam de altura dorsalmente, com os 1-2 dentículos mais dorsais sendo os mais altos e proclinados, enquanto os dentículos ventrais são os menores. Um entalhe “notch” com dois dentículos finos, está localizado entre a lâmina e a plataforma. A plataforma é baixa e ligeiramente arqueada a plana, exibindo 4-5 dentículos formando uma carena. Esses dentículos são menos comprimidos do que os da lâmina e discretamente fundidos nas bases.

**Discussão.** De acordo com Bender (1980), Qi *et al.* (2016) e Hu *et al.* (2020b), esta espécie difere de outras espécies por ter 1-2 dentículos proclinados na lâmina dorsal, sendo o mais dorsal o mais alto. Além disso, a plataforma parece relativamente plana em vista lateral, e a lâmina é duas vezes mais alta que a plataforma. Essas características são observadas em nossos espécimes (Figura 20K, 20L); no entanto, a ocorrência deste gênero em nosso estudo é limitada em comparação com outros gêneros. Essa escassez pode ser atribuída às condições paleoambientais ou de preservação da bacia, provavelmente influenciadas pelo tamanho dos elementos. Nossos espécimes se assemelham às formas típicas identificadas em Hu *et al.* (2020b), e nenhuma forma avançada foi encontrada no intervalo estudado.

**Distribuição estratigráfica mundial.** *Diplognathodus ellesmerensis* tem uma distribuição ampla. É comum no Atokano da América do Norte, Ártico Canadense e Moscoviano inferior da Europa e Ásia (Sinclinal de Moscou e Urais da Rússia;

Bacia de Donetz da Ucrânia; Montanhas Cantábricas da Espanha e Sul da China).

**Ocorrência.** Camadas C13 e C14 (Moscoviano inferior) do Intervalo BAS 1 da parte basal da Seção ITACIMPASA na Bacia do Amazonas.



**Figura 20.** Espécies de *Idiognathodus*, *Hindeodus*, *Adetognathus*, *Diplognathodus* e *Neognathodus* das seções estudadas. A-C, *Idiognathodus incurvus*, Dunn, 1966, elementos P1: A, MP-M 1379; B, MP-M 1678; C, MP-M 1380; D, e E, *Idiognathodus sinuosus*, Ellison & Graves, 1941, elementos P1: D, MP-M 1664; E, MP-M 1665; F, *Idiognathodus klapperi*, Lane e Straka, 1974, elemento P1: F, MP-M 1677; G-H, *Hindeodus minutus*, Ellison, 1941, elemento P1: G-H, MP-M 1450; I, *Diplognathodus benderi*, Hu et al. 2020b, elemento P1: I, MP-M 1451; J, Forma de transição *Diplognathodus benderi* – *D. ellesmerensis*, Hu et al. 2020b, elemento P1: J, MP-M 1452; K, L, *Diplognathodus ellesmerensis*, Bender, 1980, elementos P1: K, MP-M 1593; L, MP-M 1594; M, e P, *Adetognathus spathus*, (Dunn, 1966), elementos P1: M, MP-M 1397; P, MP-M 1396; N, e O, *Adetognathus lautus*, (Gunnell 1933), elementos P1: N, MP-M 1348; O, MP-M 1351; Q, T e W *Neognathodus atokaensis*, Grayson, 1984, elementos P1: Q, MP-M 1597; T, MP-M 1372; W, MP-M 1374; R, S e X *Neognathodus uralicus*, Nemyrovskaya & Alekseev, 1994, elementos P1: R, MP-M 1598; S, MP-M 1601; X, MP-M 1453; U, V e Y *Neognathodus bassleri*, Harris & Hollingsworth, 1933, elementos P1: U, MP-M 1406; V, MP-M 1373; Y, MP-M 1595. A, C, N, O, T, W e V (amostra BAS1-3C), e M, P, T e U (amostra BAS1-9C) ambas amostras da camada C11; G, I, J, e X da camada C14 (amostra BAS1-3F), e B, D, E, F, K, L, Q, R, S e Y da camada (amostra BAS1-9E). Seção ITACIMPASA (intervalo BAS1), Formação Itaituba, Bacia do Amazonas, Brasil; Aumento de 110 vezes.



## TAFONOMIA

Parte fundamental de um estudo paleontológico é a análise dos processos que podem ter atuado nos organismos preservados, desde a sua produção até serem recuperados e estudados. Fornecendo dados e informações que podem ser úteis em estudos posteriores de bioestratigrafia, paleoecologia e paleogeografia.

Esses processos que afetam as peças, na maioria das vezes, são gerados na fase bioestratinômica, onde os organismos começam seu processo de se tornarem fósseis antes de serem enterrados e/ou durante a fosildiagenese, produzindo as alterações tafonômicas. No entanto, existem processos que podem ocorrer durante a vida do animal conodontes, chamadas patologias e efeitos da atividade funcional, os quais podem ser confundidos com essas alterações.

### Patologias

São traumas ou modificações produzidas em vida, as quais são evidenciadas por meio de processos regenerativos próprios dos organismos conodontes. (Weddige, 1990), a partir de estudos com conodontes do Devoniano, interpretou e indicou essas funções regenerativas que seriam responsáveis por produzir as diferentes patologias:

**Cimentação:** processo em que as fraturas, rachaduras e fissuras nos elementos conodontes produzidos em vida foram cimentadas pelo revestimento de lâminas de apatita. As bordas são suavizadas e arredondadas, deixando uma cicatriz (Figura 21A).

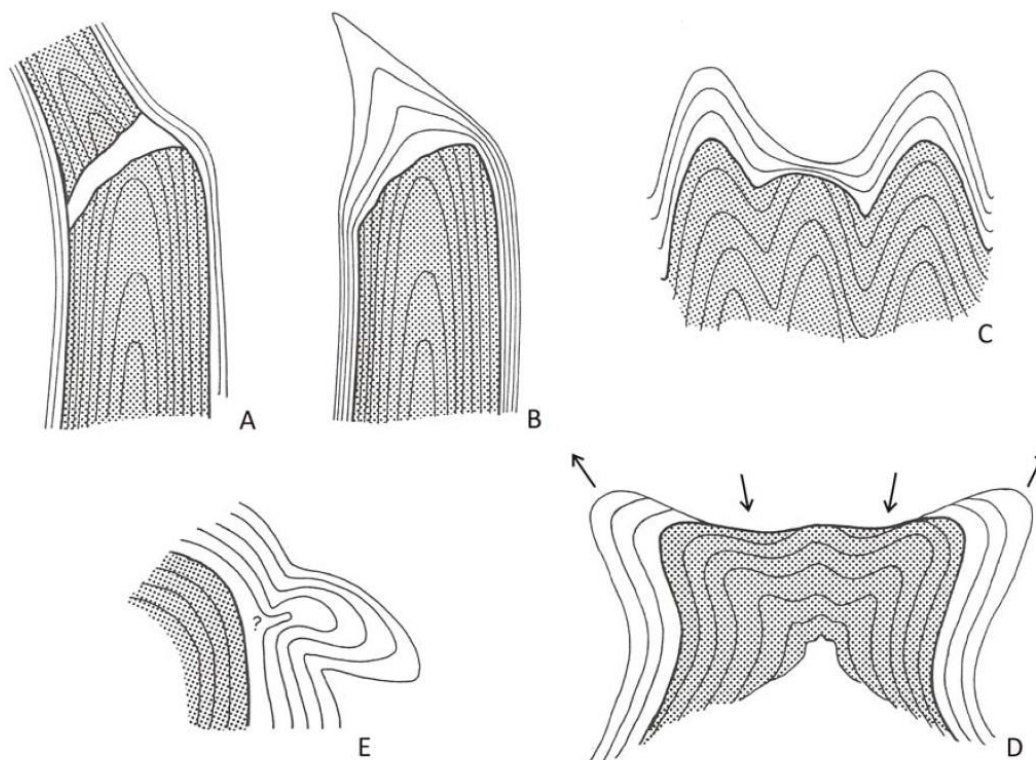
**Regeneração:** está relacionado com a regeneração de dentículos ou cúspides fraturadas, que são recobertas novamente por lâminas de apatita, a parte renovada é de menor tamanho que o dente em geral e apresenta uma cicatriz também, onde ocorreu a fratura (Figura 21B).

**Revestimento:** neste caso, a restauração do dentículo ou cúspide quebrados não ocorre, por isso, as bordas são arredondadas e recobertas por lâminas de apatita (Figura 21C).

**Compensação:** ocorre quando há mudanças na ornamentação, seja por funções de alimentação ou objetos estranhos, o que gera uma modificação

na morfologia original, gerando crescimentos anômalos nas partes adjacentes afetadas (Figura 21D).

**Crescimento de protuberâncias:** certas cristas, protuberâncias e formas similares em elementos conodontes que não se relacionam com os caracteres morfológicos originais, implicam uma atividade localizada de tecidos mineralizados (Figura 21E).



**Figura 21.** Processos regenerativos de elementos conodontes. A. Cimentação; B. Rejuvenescimento; C. Revestimento; D. Compensação; E. Crescimento de protuberâncias. Modificado de Weddige (1990).

Dessa forma, identificando as ações regenerativas que podem ocorrer nos elementos conodontes, as patologias podem ser associadas a essas (Tabela 5).

Foram identificadas 7 patologias nesta análise realizada nos elementos conodontes recuperados do Intervalo estudado:

**Diminutio:** Weddige (1990) descreve a Diminutio, uma condição em conodontes onde fragmentos quebrados diminuem de tamanho durante a regeneração. Isso ocorre porque a parte quebrada é perdida, exigindo um rápido crescimento do fragmento danificado para alcançar o tamanho dos fragmentos intactos. Embora

haja um crescimento acelerado dos fragmentos danificados devido ao preenchimento mais rápido do espaço vazio com camadas de apatita, esse crescimento não é suficiente para atingir o tamanho esperado devido ao contínuo crescimento dos fragmentos intactos.

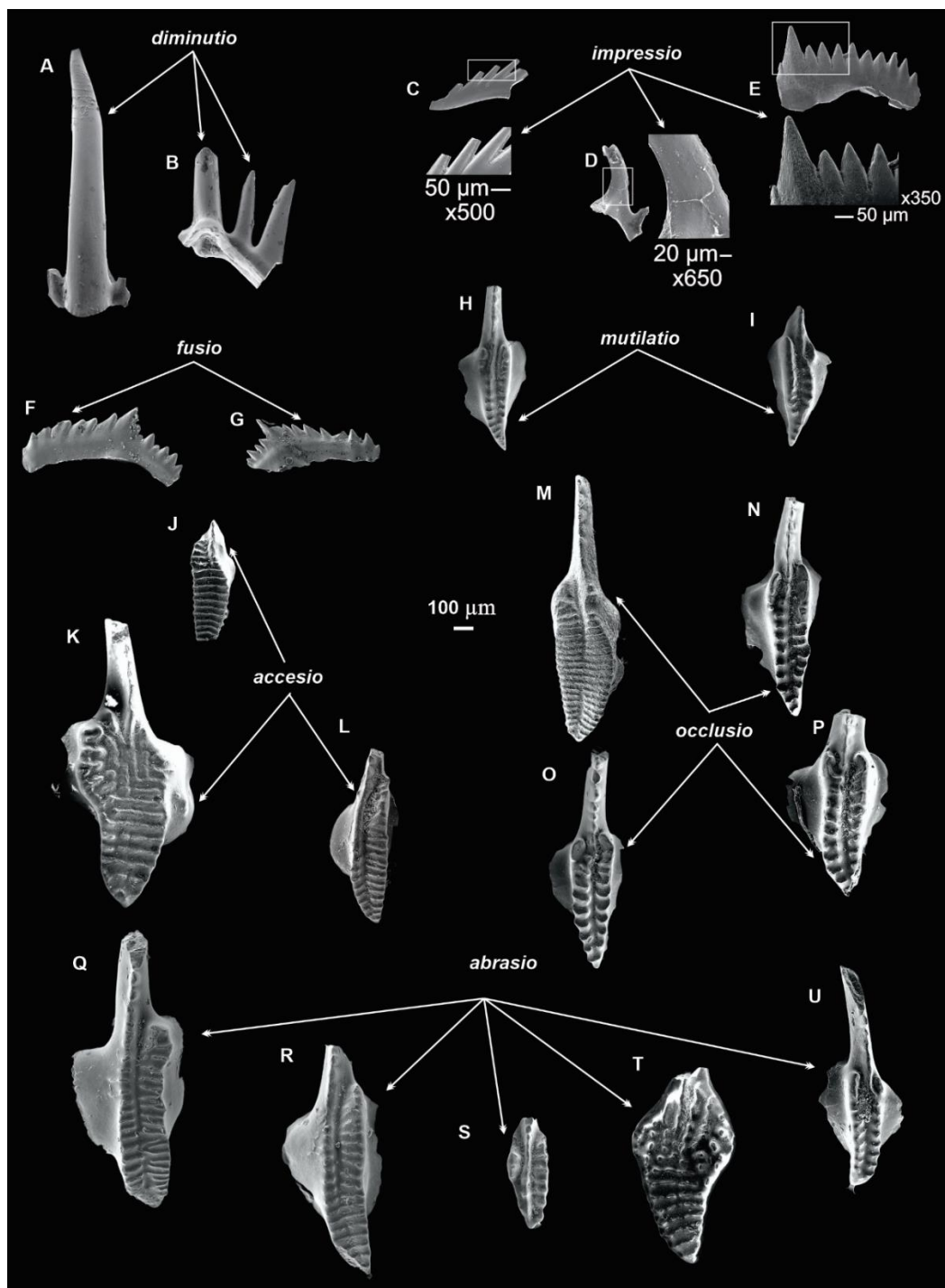
Na coleção recuperada, esta patologia é evidenciada em alguns elementos ramiformes da espécie *Idioprioniodus conjunctus*, onde as partes superiores das cúspides e denticulos estão quebradas e apresentam rápida regeneração das camadas de apatita (Figura 22A, 22B).

**Tabela 5.** Patologias dos elementos conodontes e suas supostas causas. Modificado de Nazarova & Kononova (2020).

Grupo genético	Suposta causa da patologia		Tipo de patologia
Lesões	Danos mecânicos de tecido duro	Seguido de regeneração	<i>Diminutio, Fractio, Fusio, Perforatio, Remotio, Transpositio</i>
		Sem regeneração	<i>Deflectio, Impressio</i>
Patologias propriamente ditas	Perturbação do crescimento normal dos tecidos duros		<i>Caudatio, Duplicatio of Pa-elements, Mutilatio, Oclusio, Suppressio, Teratio</i>
	Mudanças genéticas (herdadas)		<i>Accessio, Decompositio, Duplicatio, of I-elements, Jugatio</i>
	Doenças		<i>Accessio, Caudatio, Decompositio, Deformatio, Duplicatio of Pa-elements, Mutilatio</i>
Envelhecimento e desgaste	Resultados do funcionamento normal e desgaste dos elementos		<i>Abrasio, Depressio</i>

**Impressio:** A patologia da *impressio* (indentação) identificada por Weddige (1990) consiste na compressão da plataforma ou na presença de indentações e impressões sobre ela. Weddige, (1990) presumiu que esta patologia era causada pela trituração de alimentos que continham fragmentos duros, possivelmente os elementos conodontes de um conodonte menor.

Na coleção estudada está evidenciado nos elementos P1 e P2 do aparelho alimentar de *Idioprioniodus*, bem como nos elementos P1 de *Hindeodus minutus* e nos elementos P2 da família Gnathodontidae (Figura 22C-22E).



**Figura 22.** Representações características de patologias identificadas no acervo de elementos conodontes recuperados do intervalo BAS 1 da Seção ITACIMPASA.

**Fusio:** A patologia *fusio* (Fusão), também descrita por Weddige (1990), é distintamente manifestada nos elementos Pb. Consiste na fusão do denticulo em

regeneração com os dentículos vizinhos para formar um único dentículo mais amplo. O mecanismo subjacente a esta patologia é semelhante ao proposto para *Diminutio*, caracterizado pelo crescimento mais rápido do dentículo quebrado. Os dentículos dos elementos Pb estão em contato próximo, e se um único dentículo se quebra, o espaço livre sobre ele está em continuidade com o espaço sobre os dentículos vizinhos, de modo que todo o espaço pode ser preenchido com camadas contínuas de apatita.

Esta patologia está caracteristicamente representada na coleção estudada nos elementos P2 da família Gnathodontidae onde os dentículos se fundem formando dentículos maiores (Figura 22F, 22G).

**Mutilatio?** A patologia *mutilatio* (malformação), descrita por Weddige (1990) em exemplares individuais, manifesta-se como uma alteração na forma da plataforma, na ausência de desgaste e danos visíveis. A patologia provavelmente é causada por danos ao tecido mole que proporcionava o crescimento da extremidade posterior da plataforma.

Esta patologia foi identificada em dois exemplares da espécie *Declinognathodus marginodosus* devido à ausência do parapeito ventral na porção dorsal da plataforma (Figura 22H, 22I).

**Accessio:** A patologia *accessio* (adição) descrita por Weddige (1990) manifesta-se como o surgimento de elementos morfológicos adicionais individuais. Esses elementos são adicionados à ornamentação normal e não exercem efeitos pronunciados na forma e função geral de um elemento. Geralmente, eles são representados por dentículos e tubérculos individuais isolados (Figura 22J- 22L).

**Occlusio:** A patologia *occlusio* (fechamento) foi descrita por Weddige (1990). Parte das costelas necessárias para o contato com o elemento emparelhado não se desenvolve na parte anterior do elemento conodonte nessa patologia. Não são observadas manifestações de lesões e regeneração. Essa patologia aparentemente é causada por algumas perturbações no tecido mole que mantém o crescimento dos elementos morfológicos. A má formação de um elemento em um par de contato leva à má formação do outro.

Esta patologia foi identificada principalmente nas costelas de elementos dos gêneros *Declinognathodus* e *Idiognathoides*, onde se observa má formação das costelas tanto na porção ventral quanto dorsal da plataforma (Figura 22M- 22P).

**Abrasio:** A patologia *Abrasio* (abrasão) descrita por Weddige (1990) consiste no alisamento da escultura e abrasão da superfície superior de um elemento. Weddige supôs que essa patologia fosse pós-morte, mas, se fosse o caso, a abrasão não se limitaria à superfície superior da plataforma, mas ocorreria em todos os lados do elemento.

Esta patologia é comum nos elementos pataformados da família *Gnathodontidae*, onde há desgaste das superfícies superiores dos nódulos e costelas, e difere da alteração tafonômica da abrasão por gerar superfícies arredondadas e lisas nas laterais da plataforma (Figura 22Q- 22U).

### **Alterações tafonômicas**

#### **Biodegradação**

Consiste na decomposição da matéria orgânica de restos orgânicos pela atividade de diferentes agentes. Os agentes mais comuns são os organismos necrófagos, detritívoros e decompositores, que incluem bactérias, fungos, algas, protozoários e nematoides. A decomposição pode ocorrer na fase bioestratinômica ou na fase fosildiagenética.

No caso dos animais conodontes, os registros de conservação são muito escassos, o que dificulta o estudo dos detalhes de suas partes não mineralizadas (Briggs et al., 1983), (Gabbott et al., 1995).

No entanto, não são apenas os agentes decompositores que podem causar alterações nos elementos conodontes. Também existem registros de conodontes sendo alimento de organismos predadores, que realizam a biodegradação dos elementos conodontes (Purnell & Donogue, 1998).

Nesta análise não foram encontradas evidências dessa alteração, uma vez que os elementos não se encontram em associação natural, e foram estudados como elementos isolados e discretos.

### **Deformação mecânica (dm)**

Compreendem qualquer mudança de forma, tamanho ou estrutura dos elementos estudados, devido à presença de algum esforço mecânico. Esses esforços normalmente são causados pela profundidade de enterramento, a carga dos sedimentos, bem como pelas características próprias deles, que determinam a resistência à deformação.

Os elementos, dependendo da deformação, podem dobrar, quebrar ou apresentar fissuras e rachaduras características. Normalmente, os elementos mais propensos a essas alterações são os elementos conodontes ramiformes com cúspides e dentículos geralmente quebrados, bem como os elementos pectiniformes que apresentam lâminas livres dobradas com dentículos quebrados ou desarticuladas de suas plataformas.

De acordo com os estudos realizados por (Jeppsson, 2005), os processos de extração de conodontes também geram em grande parte essa alteração tafonômica, encontrando-se partes de um mesmo elemento quebrado e apresentando bordas de fratura pronunciadas e sem desgastes.

A maioria dos elementos recuperados apresenta esta alteração, apresentando elementos ramiformes incompletos, com cúspides e processos quebrados, e nos elementos pectiniformes, encontrando suas lâminas quebradas e na maioria dos casos desconectadas na sutura dos elementos da plataforma, que poderiam estar associados tanto a esforços mecânicos quanto o processo de extração dos elementos conodontes nas metodologias empregadas, isso dependendo das bordas, os elementos que apresentam revestimento mineral representa fraturamento por causa da fosildiagenese (Figura 23F, 23G) . Porém, também foram analisados esforços mecânicos que geraram rupturas sem desconexão das peças, e em alguns casos suturas provavelmente geradas por dissolução (Figura 23A-23G, 23J-23M).

### **Abrasão (ab)**

As partículas que são transportadas por agentes como a água e o vento geram um desgaste mecânico dos elementos conservados, devido ao atrito entre eles. Como resultado, as superfícies dos elementos podem estar polidas ou

arredondadas e, em alguns casos, as ornamentações podem estar desgastadas, essa alteração é gerada normalmente na fase bioestratinômica (Fernandez-lopez, 2000).

No trecho estudado, a maior parte dos elementos condontes com esta presença de alteração tafonômica estão associados a litologias Packstone, relacionadas a condições de alta energia, gerando margens arredondadas e ornamentações suavizadas. (Figura 23O, 23S-23Y).

### **Dissolução (dis)**

Ocorre quando a estabilidade química dos componentes dos elementos conservados é alterada, dependendo de múltiplos fatores como a composição mineral do fóssil e sua microestrutura, o pH do sistema, a temperatura, profundidade de fossilização e a taxa de sedimentação. Essa dissolução afeta diretamente os elementos conodontes tanto na fase bioestratinômica como na fase de fosildiagênese, mesmo sendo de uma composição química de maior estabilidade que outros fósseis como os carbonáticos ou aragoníticos (Fernandez-Lopez, 2000).

A dissolução, nos elementos recuperados e analisados, pode ser evidenciada como sutura de fraturas causadas por deformação mecânica (Figura 23B, 23I, 23J, 23L), ou como modificações negativas no elemento, na forma de buracos (Figura 23M, 23N, 23R, 23T, 23X).

### **Bioerosão? (be)**

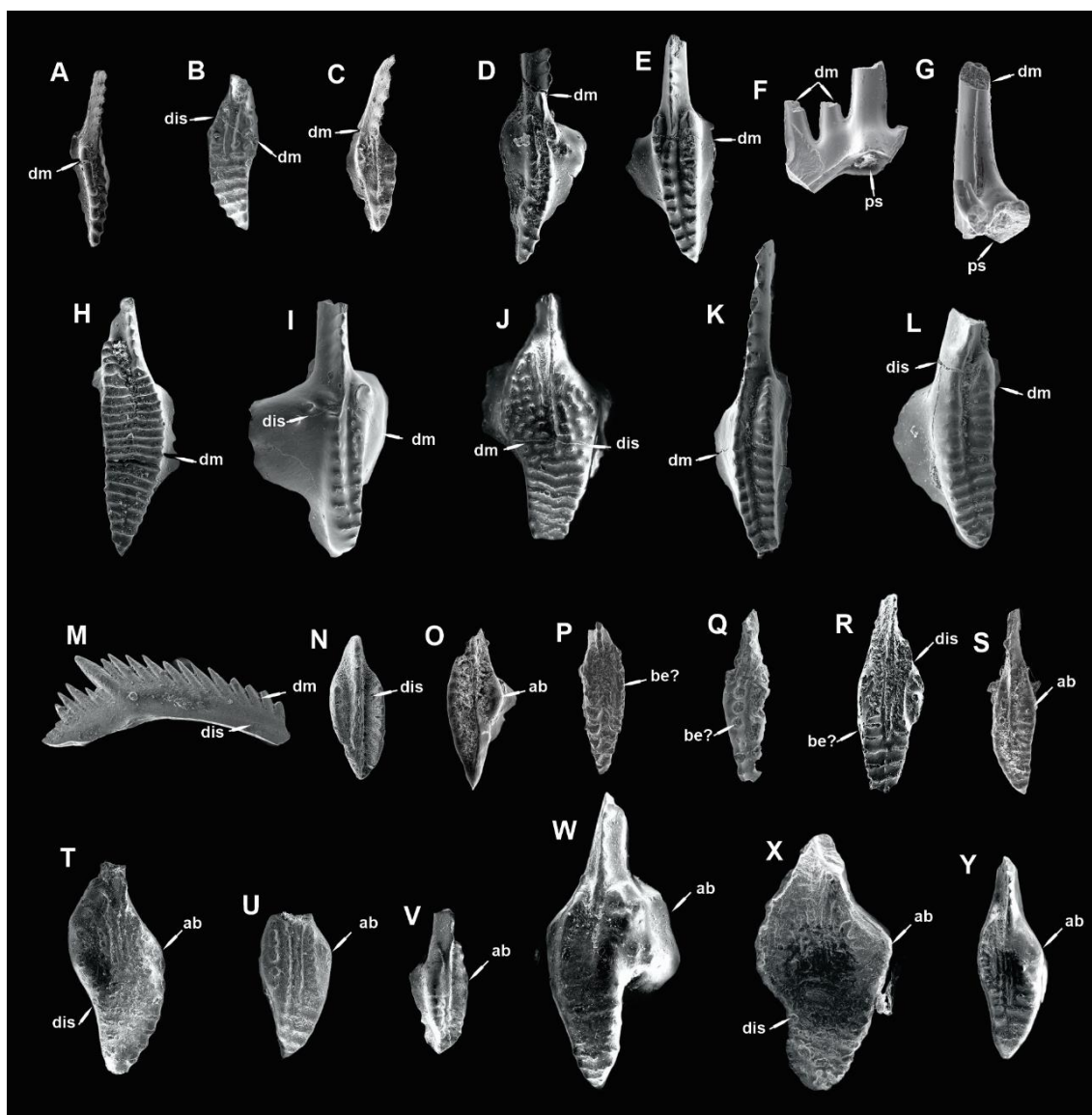
Durante a fase bioestratinômica, organismos que a partir de atividades mecânicas ou a utilização de agentes químicos, ácidos orgânicos ou enzimas produto de seu metabolismo, perfuram e degradam restos minerais e tecidos resistentes, produzindo alterações características.

Nos elementos conodontes, essas alterações foram discutidas pela primeira vez por (Rohon & Zittel, 1886) considerando-as cavidades geradas por parasitas. Além disso, (Königshof & Glaub, 2004) estudaram essas microestruturas ou "microborings" em conodontes desde o Ordoviciano até o Carbonífero, determinando tipos de estruturas em função da morfologia. Identificaram que esses arranjos, estudados nos elementos conodontes, também se encontravam



nos substratos de rocha, os quais eram gerados por icnotaxons já estudados e observados, permitindo realizar análises ecológicas da zona na qual poderiam ter sido geradas essas alterações.

É difícil identificar esse tipo de alteração tafonômica visto que poderia gerar modificações semelhantes às de dissolução, porém, no acervo estudado foram encontrados 3 exemplares que apresentam intensa deterioração e padrão irregular de furos, considerando-os provavelmente bioerodidos quando afetados por ácidos orgânicos ou enzimas de digestão (Figura 23P-23Q).



**Figura 23.** Representações características de alterações tafonômicas identificadas no acervo de elementos de conodontes recuperados do intervalo BAS 1 da Seção ITACIMPASA.

### **Preenchimento sedimentar (ps)**

As cavidades presentes nos elementos preservados podem estar preenchidas por partículas sedimentares ou por cimentos que precipitaram dentro delas. Esses processos ocorrem tanto na fase bioestratinômica quanto na fosildiagenética.

Nos elementos conodontes, a única cavidade que pode ser suscetível de estar preenchida ou cimentada é a cavidade basal da coroa, uma vez que ocorre a perda do corpo basal (Figura 23F, 23G).

### **Desarticulação, transporte e soterramento**

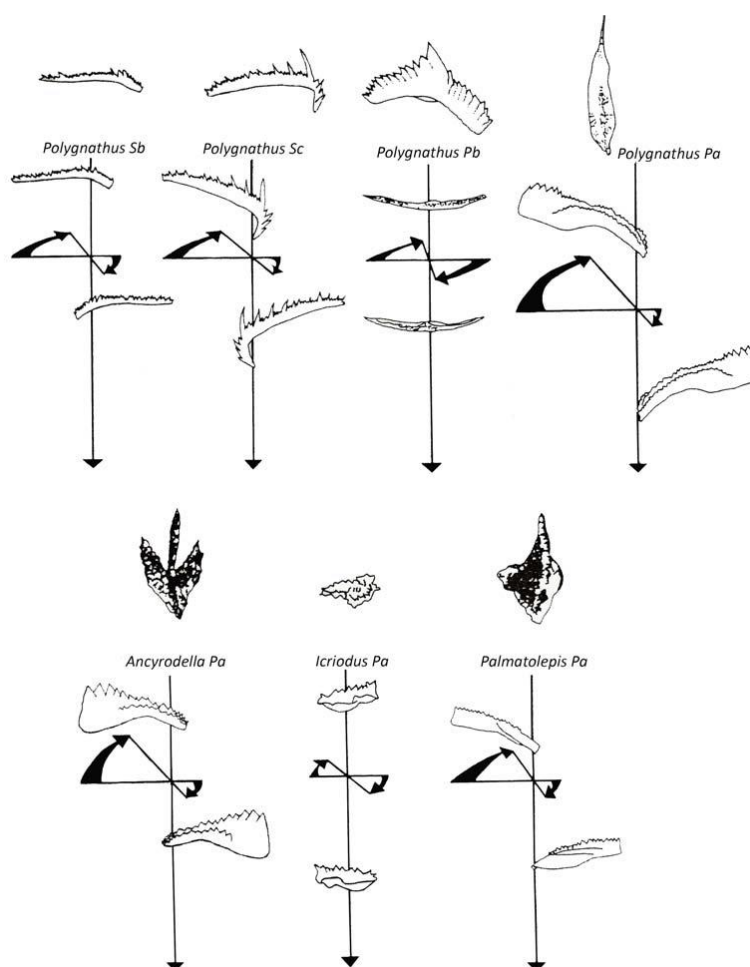
Após a necrólise (morte e decomposição) seguem-se os processos bioestratinômicos de desarticulação, transporte e soterramento dos restos, os elementos conodontes geralmente são encontrados com suas peças mineralizadas isoladas e são propensos a ser deslocados pela energia do ambiente até adquirir uma posição estável.

Os elementos conodontes tendem a mudar sua posição mecânica após a produção devido à energia do ambiente externo. Vários estudos sobre conodontes têm observado uma superrepresentação de certas morfologias (P1 comumente) ou formas juvenis em determinados níveis, o que não corresponde às associações naturais. Foram propostas explicações biológicas para isso, como a mudança frequente de elementos pectiniformes e alterações no aparelho conodonte durante o desenvolvimento ontogenético.

Investigações experimentais realizadas na década de 1990 analisaram o comportamento hidrodinâmico dos elementos conodontes em meios aquáticos. Descobriu-se que diferentes morfologias têm trajetórias de sedimentação distintas e velocidades de queda variáveis, o que poderia afetar a composição das associações de conodontes e distorcer análises paleobiológicas e paleoecológicas (p. ex. a análise feita por McGoff, (1991), de hidrodinâmica concluindo que os elementos P sedimentam muito mais rápido do que os elementos ramiformes Figura 24).

Por exemplo, elementos ramiformes e coniformes foram encontrados para se moverem mais facilmente do que os pectiniformes, o que poderia levar a uma

acumulação de elementos pectiniformes em certos ambientes. Isso poderia levar a erros na interpretação da abundância relativa de táxons em associações fósseis. O comportamento hidrodinâmico dos elementos conodontes é uma causa importante da superrepresentação de certos tipos de elementos e da formação de biofacies mistas devido ao transporte em ambientes marinhos rasos ou de plataforma.



**Figura 24.** Trajetórias de sedimentação de diferentes tipos de elementos com base em sua morfologia. Modificado de McGoff (1991).

### Desarticulação

Os elementos conodontes da presente coleção são recuperados como elementos discretos e não em uma associação natural ou como aglomerados de elementos "clusters", o que implica que os aparelhos conodontes dos diferentes conodontes estão desarticulados. Isso ocorre principalmente devido ao

transporte lateral em ambiente aquático. O tratamento químico a que são submetidos para sua extração também pode explicar por que os elementos são encontrados isolados individualmente e não como uma associação ou aglomerados de elementos "clusters".

### **Transporte e soterramento**

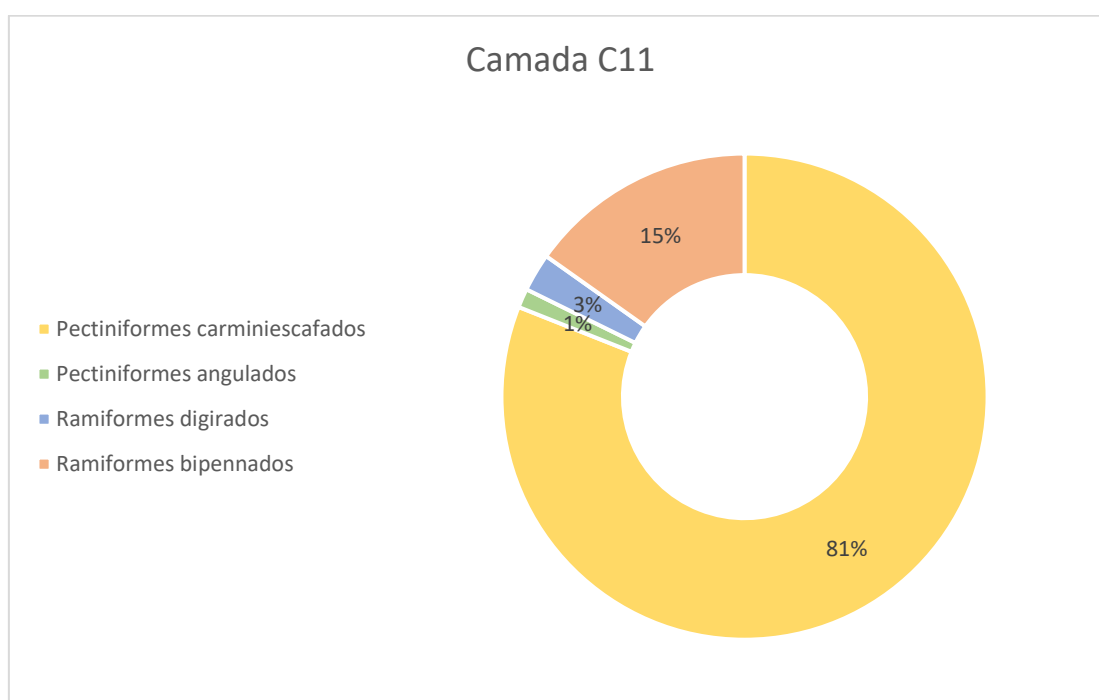
Na coleção recuperada do Intervalo BAS 1, existem camadas em que não foram recuperados elementos conodontes ou, no caso, uma quantidade mínima deles, enquanto em outros níveis, há uma grande quantidade de elementos conodontes. O primeiro evento é considerado associado ao transporte lateral dos espécimes, enquanto no segundo evento, é importante avaliar se a associação recuperada é considerada típica desse ambiente específico ou, pelo contrário, não representa o ambiente devido a transporte e seleção. Dos níveis analisados, apenas as camadas C11, C13 e C14 forneceram um número elevado de exemplares, o que permite avaliar o fator de transporte.

A camada C11 é aquela que permitiu recuperar o menor número de exemplares entre as três amostras com o maior número de espécimes escolhidas para a análise de transporte. Os elementos conodontes desta camada estão relacionados aos gêneros *Idiognathodus*, *Negonathodus* e *Adetognathus* e se caracterizam por uma representação escassa ou nula de elementos ramiformes. A maior porcentagem de elementos recuperados consiste em pectiniformes carminiescafados, considerados os elementos mais resistentes nos aparelhos desses gêneros, como é representado na Figura 25, além disso esses elementos carminiescafados comumente exibem alterações tafonômicas principalmente de abrasão (ab) e dissolução (ds).

Essa camada é de litologia Packstone e apresenta uma fauna associada maiormente de braquiópodes, ostracodes, bivalves, equinodermos em menor quantidade e alguns foraminíferos. Além disso, os bioclastos mostram evidências de fragmentação, o que sugere um ambiente de alta energia, o que explicaria a baixa quantidade de elementos conodontes preservados, e aqueles que foram preservados exibem evidências de alterações tafonômicas devido ao intenso transporte. A baixa representação de elementos ramiformes também

estaria associada a esse ambiente estressante, que não é propício para a preservação ideal dessas formas consideradas mais frágeis.

Os gêneros *Idiognathodus* e *Neognathodus* são considerados ecologicamente neríticos, vivendo na parte superior das águas marinhas, e podem estar registrados em todas as partes da bacia. No entanto, o gênero *Adetognathus* é considerado um gênero nectobentônico que habita zonas de alta energia e alta salinidade (Higgins, 1981), geralmente associadas a regiões próximas. Isso indicaria que, apesar da presença de um transporte intenso identificado, a fauna de conodontes identificada é considerada típica desses ambientes.

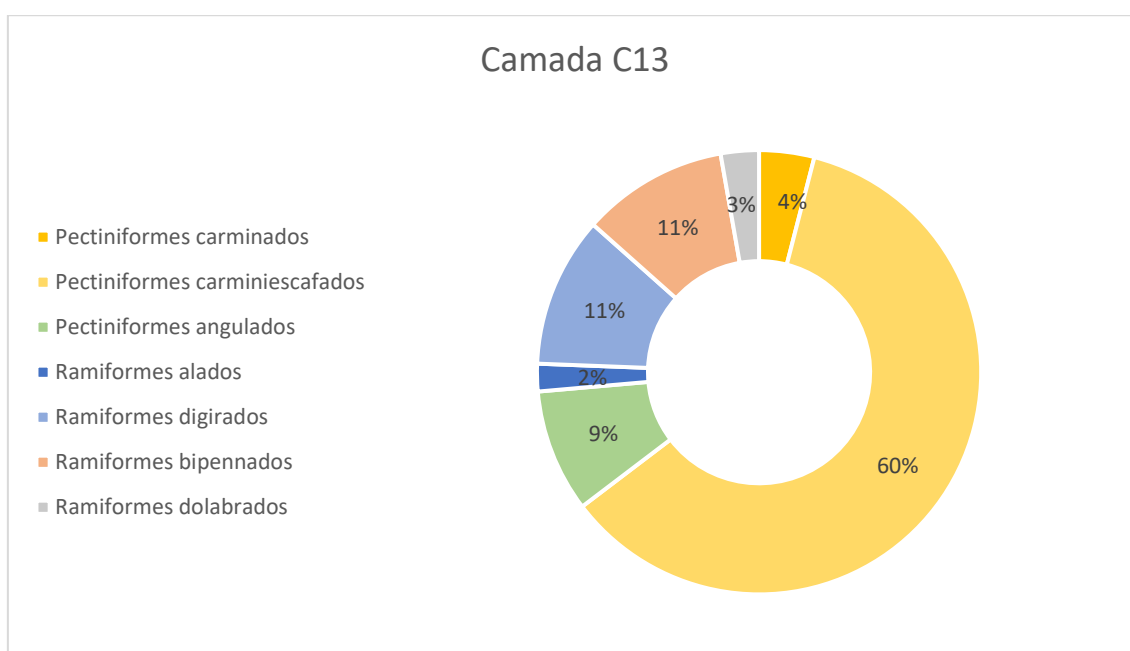


**Figura 25.** Morfologias dos elementos conodontes recuperados na camada C11, Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, Formação Itaituba.

As camadas C13 e C14 representam os níveis com o maior número de exemplares recuperados, com 5 a 6 vezes mais espécimes coletados do que na camada C11. Dentro dessas camadas, os táxons *Declinognathodus*, *Idiognathoides* e *Idioprioniodus* são os mais abundantes, enquanto *Idiognathodus*, *Hindeodus*, *Neognathodus* são menos abundantes e *Diplognathodus* é escasso.

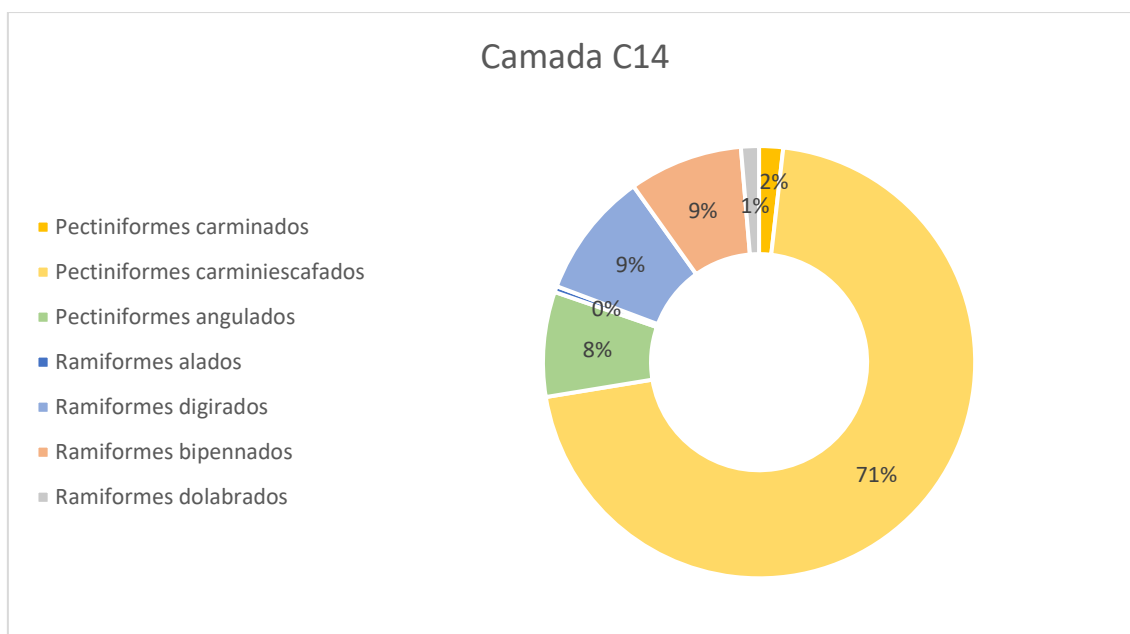
Nas Figura 26 e Figura 27, são representados os percentuais de tipos morfológicos, dos quais podemos observar que os elementos pectiniformes

carminiescafados que ocupam as posições P1 nos táxons *Declinognathodus*, *Idiognatoides*, *Idiognathodus* e *Neognathodus*, são as formas mais abundantes. As segundas formas mais representadas são as formas ramiformes bipennadas e digiradas, principalmente relacionadas aos elementos P e S2/S4 no aparelho alimentar do táxon *Idioprioniodus*, e em menor proporção os elementos S bipennados da família Gnathodontidae (p. ex., *Declinognathodus*, *Idiognatoides*, *Idiognathodus* e *Neognathodus*). A terceira forma mais representada na associação consiste em pectiniformes angulados, relacionados aos elementos P2 da família Gnathodontidae. As formas menos representadas estão associadas a formas pectiniformes carminadas típicas dos elementos P1 de *Hindeodus* e *Diplognathodus*, e em menor proporção, as formas ramiformes dolabradas e aladas representadas pelos elementos M, S1 e S0 no aparelho alimentar do táxon *Idioprioniodus*.



**Figura 26.** Morfologias dos elementos conodontes recuperados na camada C13, Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, Formação Itaituba.

As camadas C13 e C14 são de litologia Wackestone, caracterizadas por um conteúdo faunal que inclui equinodermos, trilobitas, foraminíferos, ostracodes e bivalves. A presença de alguns desses táxons nessas camadas (p. ex. trilobitas), indica ambientes mais distais do que a camada C13, relacionados a condições de menor energia. A maioria dos elementos recuperados nessas camadas não apresenta alterações tafonômicas de abrasão ou dissolução.

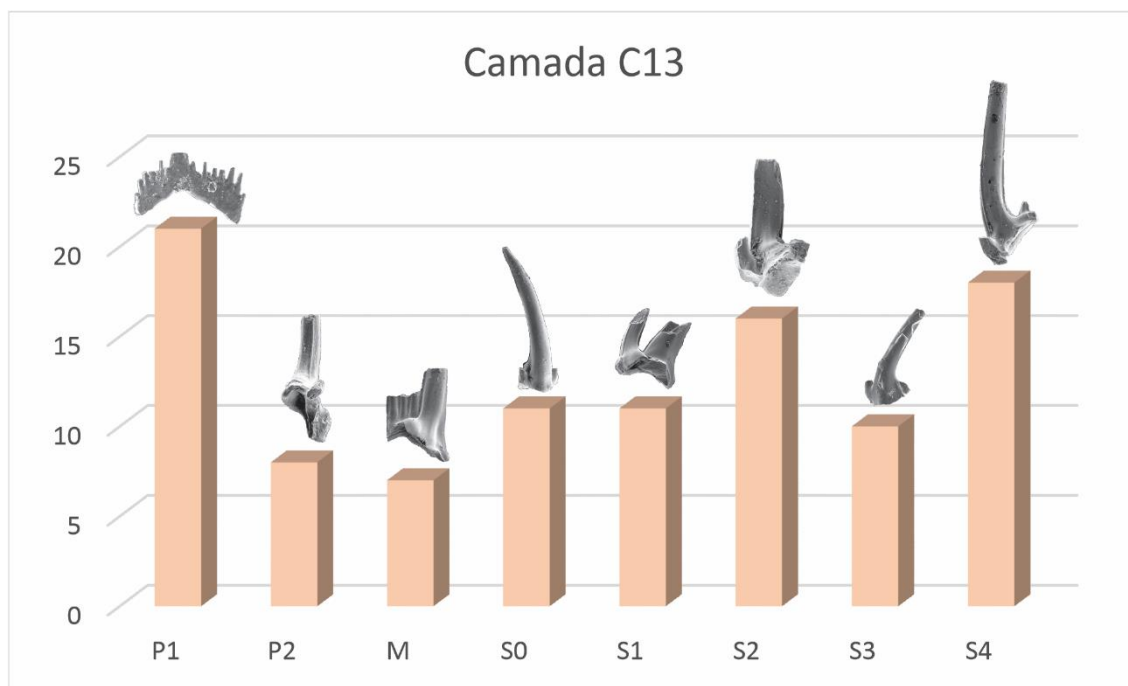


**Figura 27.** Morfologias dos elementos conodontes recuperados na camada C14, Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, Formação Itaituba.

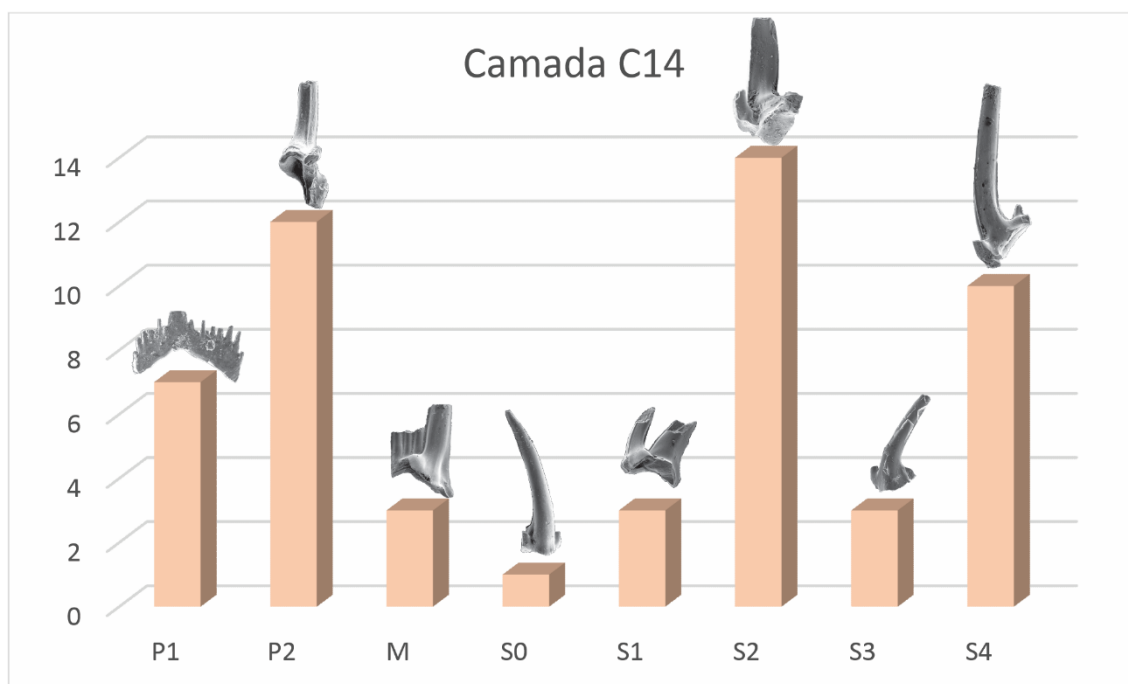
No entanto, na associação de conodontes recuperados, observa-se uma superrepresentação de elementos P1 com morfologia pectiniforme carminiescafada e uma baixa representação de elementos ramiformes. Além disso, são identificadas alterações tafonômicas de deformação mecânica (dm) e dissolução (ds) nas suturas, o que indica que o ambiente ainda estava sujeito a transporte e seleção das formas mais estáveis e rígidas dos aparelhos conodontes.

Os gêneros *Declinognathodus*, *Idiognathoides* e *Idioproniodus* são considerados ecologicamente táxons de ambientes pelágicos (Higgins, 1981), associados a condições marinhas de baixa energia e zonas distais. Portanto, apesar de apresentarem evidências claras de transporte e seleção na associação coletada, esses táxons estão relacionados ao ambiente em que são encontrados.

Com essas informações, fica claro que os elementos ramiformes podem ter sofrido um maior transporte na fauna coletada. Portanto, a partir da recuperação do aparelho conodonte completo do gênero *Idioproniodus*, que é composto inteiramente por elementos ramiformes, foi analisado quais elementos são mais propensos a sofrer essa alteração. As Figura 28 e Figura 29 mostram diagramas com as quantidades dos elementos que compõem o aparelho deste gênero.



**Figura 28.** Representação da quantidade de elementos que compõem o aparelho alimentar de *Idioprioniodus* na camada C13, dentro do Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, na Formação Itaituba.



**Figura 29.** Representação da quantidade de elementos que compõem o aparelho alimentar de *Idioprioniodus* na camada C14, dentro do Intervalo BAS1 da Seção ITACIMPASA, na Formação Itaituba.

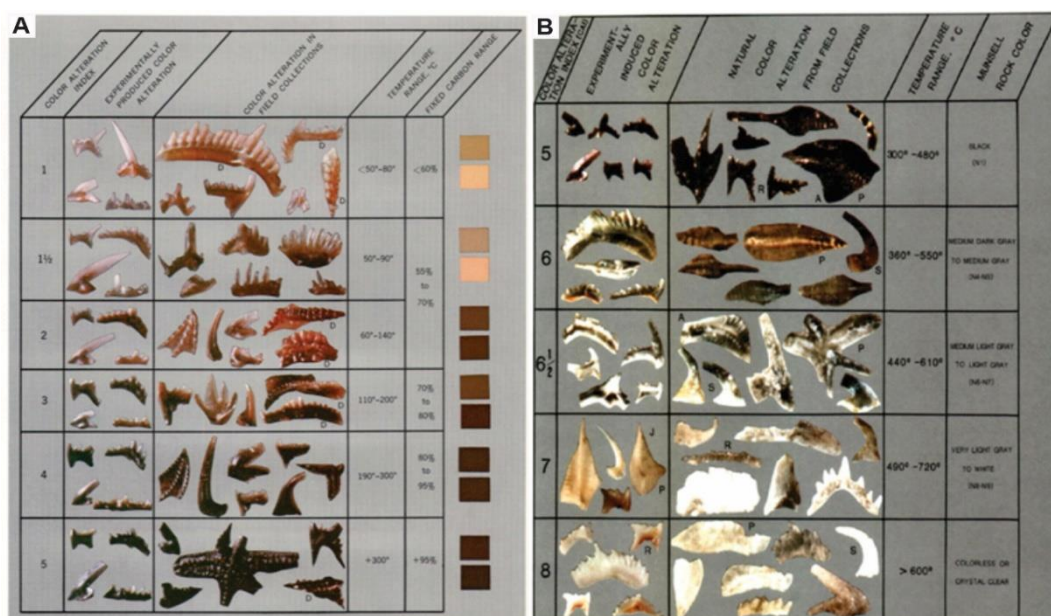
A partir disso, foi identificado que os elementos com maior representatividade na associação coletada estão localizados nas posições P e S2/S4. Isso ocorre



porque esses elementos são mais robustos e compactos, o que lhes confere maior estabilidade em relação ao transporte no ambiente. Além disso, em comparação com outros elementos ramiformes de outros táxons presentes na associação, os elementos ramiformes de *Idioprioniodus* são mais bem preservados devido ao fato de suas formas também serem mais robustas e estarem mais desenvolvidas, mesmo em estágios juvenis.

## IAC

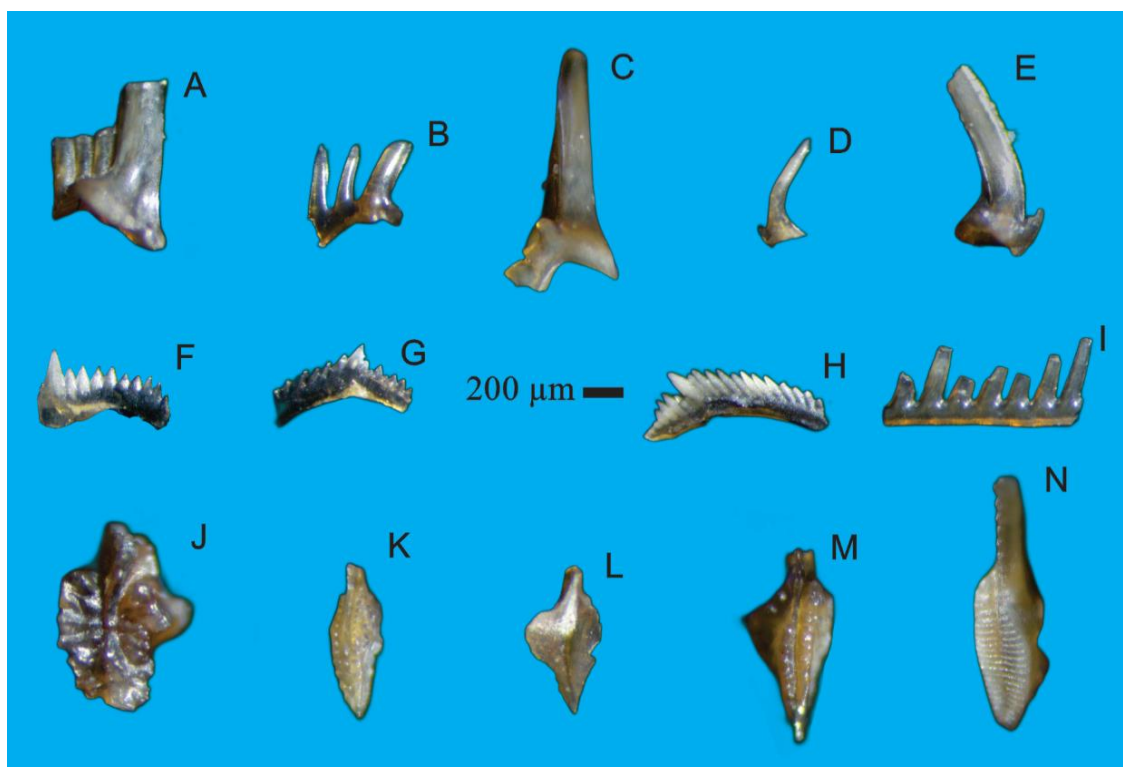
Como já foi discutido anteriormente, os elementos conodontes são formados por camadas de apatita acrecionadas concentricamente e estão separadas por camadas mais finas de matéria orgânica. Com o aumento da temperatura, essas camadas de matéria orgânica se enriquecem em carbono durante a fossilização, resultando em variações de cor nas estruturas dos elementos conodontes.



**Figura 30.** A. Índice de Alteração de Cor dos conodontes (IAC), valores de 1 a 5. Modificado de Epstein et al. (1977); B. Índice de Alteração de Cor dos conodontes (IAC), valores de 5 a 8. Modificado de Rejebian et al. (1987).

As variações de cor dos elementos conodontes foram interpretadas por Epstein et al., (1977) associando que elas estariam vinculadas com o grau de maturação da matéria orgânica que continham e, por sua vez, identificaram que a cor se relacionava com a intensidade e duração da exposição à temperatura.

A partir de estudos de pirólise, estabeleceram que essa mudança de cor, causada pela carbonificação, era progressiva e acumulativa, permitindo determinar a temperatura máxima a que a rocha que engloba os elementos pôde estar exposta, gerando assim o Índice de Alteração de Cor (CAI, Conodont Alteration Index), estabelecendo valores que variam de faixas de cor desde o amarelo claro ou âmbar se não apresentam alteração, até o marrom ou preto se apresentam alteração notável (Figura 30A).



**Figura 31.** Fotografias representativas sob lupa binocular das distintas morfologias obtidas na fauna conodonte da seção estudada para a análise do IAC.

Posteriormente, Rejebian et al., (1987) adicionaram outros intervalos mais elevados de alteração, variando do preto passando por cores brancas até cores translúcidas (Figura 30B). IAC é uma ferramenta importante para a avaliação da história térmica de uma rocha e pode ser usado para reconstruir a história geológica da região em que foram encontrados os elementos conodontes.

Com base em análises comparativas com as tabelas de Índice de Alteração de Cor (IAC) geradas por Epstein et al. (1977) e Rejebian et al. (1987), juntamente com fotografias sob uma lupa binocular de elementos característicos da fauna coletada (Figura 31), foi determinado que os valores de IAC da associação

recuperada do Intervalo BAS 1 da Seção ITACIMPASA estão na faixa entre 1,5 e 2, com temperaturas entre 50°C e 140°C. Esses valores estão de acordo com os identificados nos estudos de IAC e história térmica da Bacia do Amazonas de Cardoso et al. (2015b), onde é determinado um valor de IAC para a Formação Itaituba de 2 a 3.

### **Estados de preservação**

Os elementos preservados podem ser encontrados em três estados mecânicos de preservação: acumulação, ressedimentação ou reelaboração (Fernández-López 1999, 2000; Fernández-López et al., 2002).

#### **Acumulação**

Processo de transferência de informações paleobiológicas da biosfera para a litosfera. Este estado mecânico dos elementos pode ser alterado pela remoção, ou seja, pela ressedimentação ou reelaboração. Os elementos da seção estudada foram encontrados em sua área de produção devido à evidência de estágios de ontogenia nas faunas coletadas, e em algumas camadas (p. ex. C13 e C14) uma elevada presença de elementos juvenis.

#### **Ressedimentação tafonômica**

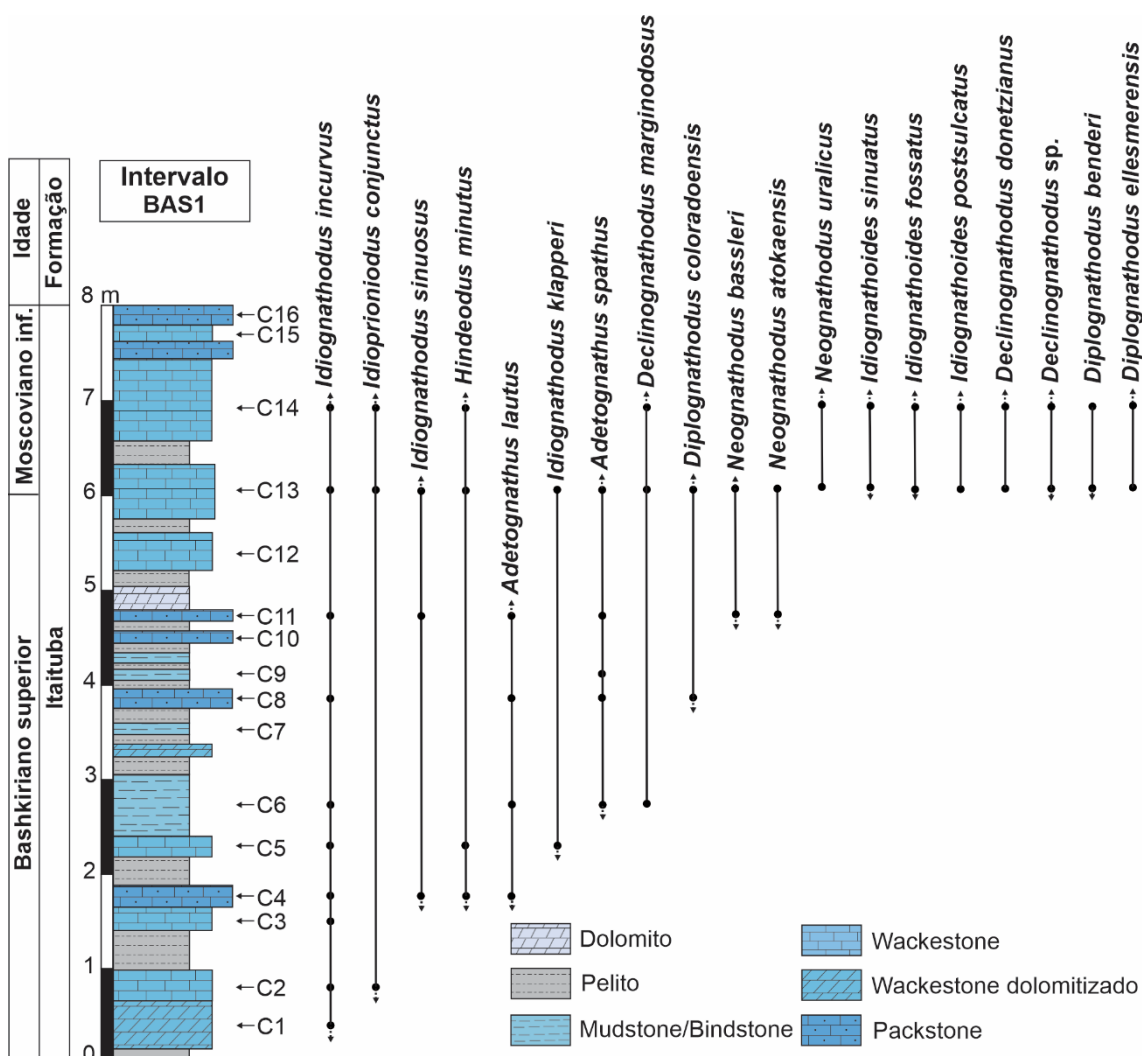
Ocorre na fase bioestratinômica. É o deslocamento dos elementos acumulados antes de seu sepultamento. Todos os espécimes neste estudo estão ressedimentados, uma vez que não foram encontrados conjuntos de conodontes completos.

#### **Reelaboração tafonômica**

Este processo ocorre na fase fosildiagenética e consiste na desenterração e deslocamento de elementos preservados, que estavam previamente acumulados ou ressedimentados. Nenhuma evidência deste estado foi encontrada na fauna coletada, considerando que todas as espécies identificadas ocorreram em intervalos de tempo iguais.

## BIOESTRATIGRAFIA

A partir da seção analisada (Intervalo BAS 1), foram recuperados 1035 elementos de 19 espécies conodontes identificáveis, pertencentes a 8 gêneros (Figura 32). A análise da distribuição das espécies conodontes na seção, permitiu distinguir duas associações faunísticas e o reconhecimento de duas zonas conodontes do tipo "taxon range", sendo possível a identificação neste intervalo do limite Bashkiriano/Moscoviano.



**Figura 32.** Perfil litoestratigráfico e distribuição estratigráfica das espécies de conodontes do intervalo estudado BAS1, na Seção de ITACIMPASA.

Nas camadas C4, C6, C8 e C11, é registrada a associação faunística dos gêneros *Idiognathodus*, *Adetognathus* e *Neognathodus* dominando, com ocorrências de espécies que incluem *Idiognathodus incurvus*, *I. sinuosus*, *Adetognathus lautus*, *A. spathus*, *Neognathodus bassleri*, *N. atokaensis*, e

ocorrências raras de *Declinognathodus marginodosus* e *Diplognathodus coloradoensis* (ver Tabela 2). Essas espécies foram encontradas em packstones, que consistem principalmente de braquiópodes, bivalves, gastrópodes, ostrácodes, e secundariamente de foraminíferos.

Por outro lado, nas camadas C13 e C14, uma associação de conodontes diferente, dominada pelos gêneros *Declinognathodus*, *Idiognathoides* e *Idioproniodus*, foi registrada em camadas compostas por wackestones com um alto conteúdo faunístico de trilobites, foraminíferos, equinodermas, briozoários e braquiópodes. Essas associações incluem espécies de conodontes como *Declinognathodus donetzianus*, *De. marginodosus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Id. fossatus*, *Id. postsulcatus*, *Idioproniodus conjunctus*, *Hindeodus minutus*, *Idiognathodus incurvus*, *I. sinuosus*, *Neognathodus uralicus*, *N. atokaensis*, e ocorrências raras de *I. klapperi*, *Declinognathodus sp.*, *Diplognathodus ellesmerensis*, *D. benderi* e *D. coloradoensis* (ver Tabela 2).

Com base nesta associação faunística recuperada do intervalo BAS 1 da Seção ITACIMPASA (Figura 32), propõe-se duas biozona:

#### **Zona *Declinognathodus marginodosus*/*Neognathodus atokaensis***

A zona é definida pelo seu limite inferior marcado pelo aparecimento de *Declinognathodus marginodosus*, e seu limite superior marcado pelo desaparecimento da espécie *Neognathodus atokaensis* e com a primeira ocorrência de *Declinognathodus donetzianus* e *N. uralicus*.

Dentro deste intervalo, as espécies *Idiognathodus incurvus*, *Adetognathus lautus* e *A. spathus* dominam, enquanto as ocorrências das espécies *Neognathodus bassleri*, *Diplognathodus coloradoensis* e *Hindeodus minutus* são raras.

A zona se estende das camadas C6 até a camada C13, correspondendo ao Bashkiriano superior (Atokano médio), e o limite superior desta zona marca o limite Bashkiriano/Moscoviano na seção.

#### **Zona *Declinognathodus donetzianus*/*Diplognathodus ellesmerensis***

O limite inferior desta zona é definido pelo aparecimento de *Declinognathodus donetzianus* e *Diplognathodus ellesmerensis* (descendente direto de *De.*

*marginodosus*), bem como pela primeira ocorrência de *Idiognathoides postsulcatus* e *Neognathodus uralicus*.

As espécies *Declinognathodus marginodosus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Id. fossatus*, *Idioprioniodus conjunctus* e *Idiognathodus incurvus* predominam neste intervalo, enquanto as espécies *Diplognathodus benderi*, *D. coloradoensis*, *Hindeodus minutus*, *Idiognathodus klapperi*, *I. sinuosus* e *Adetognathus spathus* são raras.

Esta zona abrange as camadas C13 e C14, correspondendo ao Moscoviano inferior (Atokiano médio/superior), sendo que o limite inferior desta zona marca o limite Bashkiriano/Moscoviano na seção.

## CAPÍTULO VI. DISCUSSÕES

### RECONSTRUÇÃO MULTIELEMENTAR DE *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell, 1931)

Os conodontes coletados do intervalo BAS 1 são caracterizados pela presença numerosa e significativa dos gêneros conodontes *Declinognathodus*, *Idiognathoides* e *Idioproniodus*, isso possibilitou identificar uma grande quantidade de diferentes elementos ramiformes do gênero *Idioproniodus*, levando à identificação da espécie *Idioproniodus conjunctus*, e permitindo a reconstrução do seu aparelho alimentar baseado nesses elementos discretos.

O *Idioproniodus* é frequentemente encontrado na seção estudada em wackestones com alto conteúdo faunístico de conodontes, principalmente dos gêneros *Idiognathoides*, *Declinognathodus* e *Diplognathodus*, e geralmente está associado a ambientes de baixa energia relacionados a configurações distais. Isso sugere uma correlação entre a ocorrência dessa espécie e mudanças climáticas, bem como períodos de elevação do nível do mar.

O aparelho de *Ip. conjunctus* identificado e reconstruído aqui, é composto por 15 elementos que incluem seis pares únicos de elementos: P1, P2, M, S4, S3, S2 e S1, bem como um elemento S0 bilateralmente simétrico não emparelhado (Figura 33). Os morfotipos de *Ip. conjunctus* aqui documentados exibem morfologias distintas em seus espécimes juvenis e adultos. Nos morfotipos juvenis, eles apresentam processos denticulados alongados, pontiagudos e delgados, enquanto nos morfotipos adultos, esses processos tornam-se mais robustos com estruturas robustas e dentículos que podem ter bases fundidas ou coalescentes, como observado nos elementos M (Figura 17A-17E).

Nos elementos P recuperados, há evidências de padrões de desgaste e danos superficiais, que também foram observados em espécimes de *Idioproniodus* de faunas do Pensilvaniano na Bacia de Michigan (Landing e Wardlaw, 1981; Nestell et al., 2016). Esses padrões de desgaste e danos superficiais são identificados em ozarkodinídeos em estudos conduzidos por Purnell e Jones (2012). Eles são considerados pelos autores, como estruturas resultantes da oclusão dos elementos P devido à abrasão com alimentos e sedimentos durante o ato de corte ou mastigação. É provável que essas estruturas no aparelho de

*Idioproniodus* tenham desempenhado funções semelhantes (Figura 17H-17I, 17L-17M, 17O-17P).



**Figura 33.** Reconstrução do aparelho multielementar de *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell, 1931), elementos juvenis e gerontes.

Neste estudo, concorda-se com a nomenclatura proposta por Purnell et al. (2002), na qual o elemento digirado extensiforme maior é designado como S2, o elemento bipennado como S4, o elemento S1 como um elemento dolabrado com uma anticúspide bem desenvolvida e o elemento S0 como elemento alado não emparelhado. No entanto, é importante observar que a presença do elemento digirado breviforme como elemento S3 na reconstrução aqui apresentada, conforme relatado também na América do Norte por Nestell et al. (2016), difere das reconstruções anteriores de *Ip. conjunctus*, que geralmente descrevem uma série bipennada de elementos S3-S4.

Essa nova documentação de *Idioproniodus* oferece valiosas percepções iniciais sobre o papel ecológico de *Ip. conjunctus* na região. Além disso, representa a primeira tentativa de reconstrução multielementar de espécies conodonte dentro da Bacia do Amazonas.

### IMPLICAÇÕES DA FAUNA DE CONDONTES

A fauna conodonte coletada da seção estudada é representada por duas associações conodontes características e pela ocorrência de espécies com alto valor paleoecológico e biocronoestratigráfico. A primeira associação ocorre na parte basal até o meio da seção (C1-C11) e está associada a faunas de conodontes de ambientes de alta energia e fácies de água rasa ocorrendo em litologias de packstones comumente. Consiste principalmente das espécies



*Idiognathodus incurvus*, *I. sinuosus*, *Adetognathus lautus*, *A. spathus*, *Neognathodus bassleri*, e *N. atokaensis*. Vale ressaltar que nesta faixa da seção, também ocorrem *Idioprioniodus conjunctus* (C2), *Hindeodus minutus*(C4-C5), *Declinognathodus marginodosus* (C6) e *Diplognathodus coloradoensis* (C8), sugerindo flutuações do nível do mar na seção (Figura 32).

Idade	Formação	Neis (1996)	Scomazzon (1999)	Lemos & Scomazzon (2001)	Nascimento et al. (2010)	Scomazzon et al. (2016)	Cardoso et al. (2017b)	Mantilla et al. (2022)	Este trabalho
Moscoviano	Nova Olinda								
	Itaituba	<i>Diplognathodus</i> spp.	<i>I. claviformis-I. incurvus</i>	<i>I. claviformis-I. incurvus</i>	<i>D. orphanus.</i>	<i>I. incurvus.</i>	<i>I. itaitubensis</i>		
Bashkiriano	Itaituba		<i>I. klapperi-S. parvus</i>	<i>D. orphanus-D. coloradoensis.</i>	<i>I. incurvus-N. atokaensis-N. medadultimus</i>		<i>D. coloradoensis</i>	<i>D. ellesmerensis</i>	<i>N. atokaensis-N. medadultimus.</i>
		<i>Rh. muricatus-Id. Ouchitensis</i>	<i>Rh. muricatus-I. sinuosus.</i>		<i>Rh. muricatus</i>	<i>N. symmetricus</i>		<i>N. atokaensis.</i>	<i>De. marginodosus-N. Atokaensis</i>
	Monte Alegre			<i>Rh. muricatus-N. symmetricus</i>			<i>N. symmetricus</i>	<i>N. bassleri-N. symmetricus</i>	
								<i>N. symmetricus-N. bassleri.</i>	

**Figura 34.** Biozonas da Bacia do Amazonas no Bashkiriano-Moscoviano com base em conodontes. Abreviações: D. (*Diplognathodus*), De. (*Declinognathodus*), I. (*Idiognathodus*), Id. (*Idiognathoides*), N. (*Neognathodus*), Rh. (*Rhachistognathus*), S. (*Streptognathodus*).

Esta associação é semelhante a faunas previamente relatadas na Formação Itaituba e está relacionada à Zona de Assembléia de *I. incurvus*, *atokaensis* e *N. medadultimus* (Nascimento et al., 2010b) e dentro da zona de “taxon range” de *Idiognathodus incurvus* (Scomazzon et al., 2016). Essas biozonas são correlacionadas com a biozona de “taxon range” de *Neognathodus atokaensis* (Mantilla et al., 2022), sugerindo um intervalo de idade Bashkiriano superior (Atokiano médio) (Figura 34).

A segunda associação é caracterizada pela presença de *Declinognathodus marginodosus*, *De. donetzianus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Id. fossatus*, *Id. postsulcatus*, *Idioprioniodus conjunctus*, *Declinognathodus sp.*, *Diplognathodus ellesmerensis*, *D. benderi* e *D. coloradoensis*, nas camadas C13-C14 de litologia

wackestones, essa fauna é característica de ambientes mais distais e de condições de baixa energia.

Essa associação faunística está relacionada à Zona de Intervalo de Taxon Range de *Diplognathodus orphanus* identificada nos estudos bioestratigráficos da Seção ITACIMPASA por Nascimento et al. (2010b), bem como à Zona de Intervalo de *Diplognathodus ellesmerensis* proposta por Cardoso et al. (2017b) e à Zona de Intervalo de *Neognathodus atokaensis-N. bassleri* estabelecida por Mantilla et al. (2020), com base na análise bioestratigráfica da Bacia do Amazonas (Figura 34). A associação aqui relatada, com a primeira aparição na seção de *Declinognathodus donetzianus*, *Idiognathoides postsulcatus* e *Diplognathodus ellesmerensis* na camada C13, sugere uma idade moscoviana para este intervalo, marcando o limite inferior do Moscoviano no intervalo estudado.

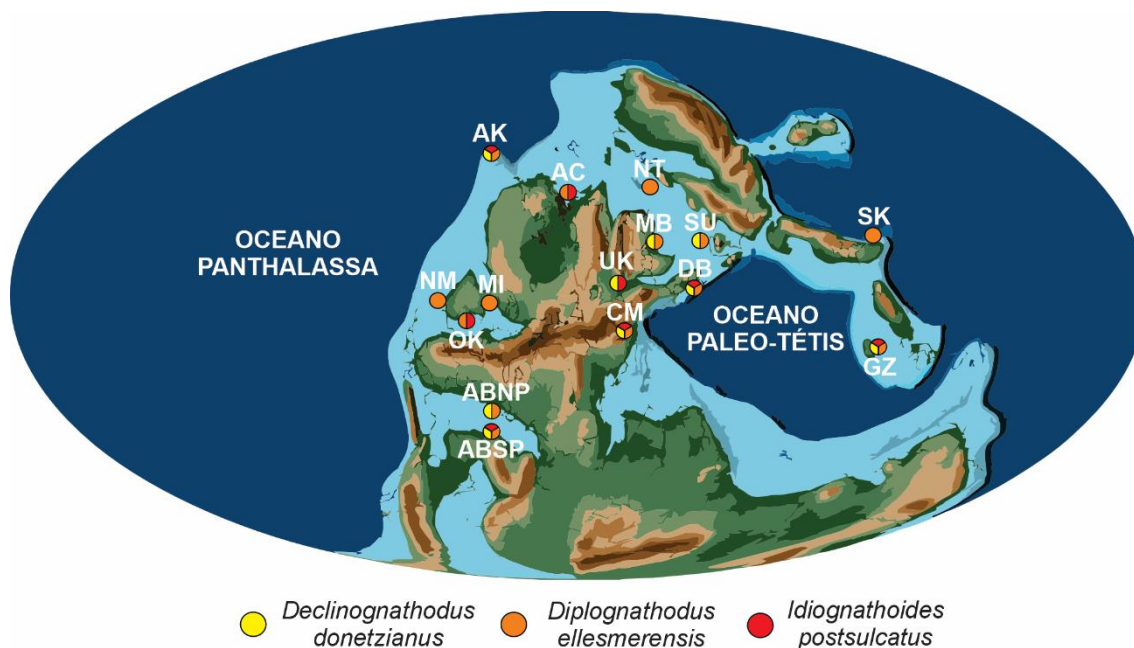
Uma fauna semelhante de *Declinognathodus* é relatada em estudos na Bacia do Amazonas baseados em poços (p. ex. Lemos, 1992b, L3, fig.1-3,6-7), onde espécimes ilustrados com morfologias semelhantes a *Declinognathodus donetzianus* e *De. marginodosus* estão relacionados ao seu ancestral, *De. noduliferus*.

Além disso, espécimes de *Diplognathodus benderi* foram documentados no estudo da Seção ITACIMPASA conduzido por Nascimento et al. (2010b, Fig. 5M-N). Por outro lado, *D. ellesmerensis* é identificado pela primeira vez na seção, embora tenha sido relatado anteriormente em outras regiões da Bacia do Amazonas (Lemos, 1992b; Scomazzon & Lemos, 2005; Scomazzon et al., 2016; Cardoso et al., 2017a; Cardoso et al., 2017b).

Faunas descritas e mencionadas neste trabalho são documentadas em outras regiões do mundo, tanto nas bacias do oceano Panthalassa quanto em regiões no oceano Paleo-Tétis, onde as espécies de grande importância estratigráfica, *Declinognathodus donetzianus*, *Idiognathoides postsulcatus* e *Diplognathodus ellesmerensis*, têm uma distribuição ampla (Figura 35).

Na região da Bacia de Donetz, na Ucrânia, Nemyrovska (1999; 2017) estabelece duas linhagens de conodontes que tem sido proposta como indicadoras potenciais para definir o limite inferior do Moscoviano: *Declinognathodus*

*marginodosus-De. donetzianus* e *Idiognathoides sulcatus sulcatus-Id. postsulcatus*.



**Figura 35.** Distribuição global da fauna de conodontes aqui estudada, relacionada aos andares Bashkiriano-Moscoviano; Mapa paleogeográfico do Atlas PALEOMAP para ArcGIS. Modificado de Scotese (2014). Dados de conodontes de: ABNP, Bacia do Amazonas Plataforma Norte (Lemos 1992a; Cardoso et al. 2017a), ABSP, Bacia do Amazonas Plataforma Sul (este estudo); AC, Canadá Ártico (Bender 1980); AK, Alasca (Savage & Barkeley 1985); CM, Montanhas Cantábricas, Espanha (van den Boogaard 1983; Blanco-Ferrera et al. 2009); DB, Bacia de Donetz (Nemyrovskaya 1999; Nemyrovskaya & Hu 2018); GZ, Guizhou, sul da China (Qi et al. 2016; Hu et al. 2020b); MB, Bacia de Moscou (Alekseev & Goreva 2001); MI, Michigan (Landing & Wardlaw 1981); NM, Novo México (Saelens 2014); NT, Norte de Timan (Goreva & Kossovaya 1997); OK, Oklahoma (Grubbs 1984; Grayson 1984); SK, Coreia do Sul (Lee & Bak 2003); SU, Montanhas do Sul dos Urais (Kulagina et al. 2009; Alekseev et al. 2018); UK, Reino Unido (van den Boogaard & Bless 1985).

Além da Bacia de Donetz, a linhagem *Declinognathodus marginodosus-De. donetzianus* também é relatada na transição Bashkiriano-Moscoviano das regiões dos Urais e do Volga, na Rússia (Kulagina et al., 2009; Sungatullina, 2014), e espécies de *Declinognathodus donetzianus* foram registradas na base do andar Moscoviano em sua área tipo (Alekseev & Goreva in Makhlina et al., 2001).

Por outro lado, a linhagem *Idiognathoides sulcatus sulcatus-Id. postsulcatus* e a ocorrência de *D. ellesmerensis* são documentadas em rochas de idades

bashkiriano/moscoviano inferior no sul da China (Qi et al., 2016; Hu et al., 2017) e na Espanha registradas na seção San Antolin-La Huelga, embora os espécimes não sejam ilustrados nesse trabalho (Blanco-Ferrera et al., 2009).

Em síntese, isso indica que esses espécimes além de ter uma distribuição global, fornecem evidências de idades Moscovianas e estão sendo avaliados como marcadores para a limite Bashkiriano/Moscoviano.

As zonas aqui propostas abrangem uma associação de conodontes que mostra correlações com as faunas de *Neognathodus*, *Declinognathodus* e *Adetognathus* encontradas no Atokano medio nas províncias de Midcontinent na América do Norte (Lane & Straka, 1974; Grayson, 1984).

Assim como também com as faunas de *Declinognathodus*, *Idiognathoides* e *Diplognathodus* do Bashkiriano superior e Moscoviano inferior das províncias do Paleó-Tetis como no caso da Bacia de Donetz (Nemyrovskaya, 1999, 2017; Nemyrovskaya & Hu, 2018). Essas zonas estão caracterizadas pelos aparecimentos evolutivos das espécies *Declinognathodus marginodosus* e *De. donetzianus* dentro da linhagem *De. noduliferus-De. marginodosus-De. donetzianus*. Essa linhagem tem sido extensivamente estudada e documentada em regiões do Paleó-tétis, como as bacias de Donetz em Nemyrovskaya (1990, 1999, 2017; Nemyrovskaya & Hu, 2018), e nos Urais do Sul (Groves and Task Group, 2010; Kulagina et al., 2009).

Alem disso, *Declinognathodus donetzianus* é um táxon proposto para ser considerado como um marcador para definir o BMB (Limite Bashkiriano-Moscoviano), Ponto e Seção do Estratotipo Global (GSSP) no Alekseev & Task Group, (2013, 2014).

Adicionalmente, também é observada na seção estudada, a aparição da espécie *Diplognathodus ellesmerensis* dentro da linhagem *D. benderi-D. ellesmerensis*. Essa linhagem foi estudada por Hu et al. (2020b), na seção de Naqing, no sul da China, usando morfometria baseada em "landmarks". Com base em suas descobertas, eles recomendam que o Ponto e Seção do Estratotipo Global (GSSP) do BMB seja estabelecido usando essa linhagem.

A biozonação relacionada à delimitação do BMB (Limite Bashkiriano-Moscoviano) na Bacia do Amazonas ainda está em discussão e não foi formalmente estabelecida e aceita. No entanto, essas novas evidências das espécies dos gêneros *Declinognathodus*, *Idiognathoides* e *Diplognathodus* enfatizam que a Formação Itaituba possui um registro substancial da evolução faunística dos conodontes do período pensilvaniano. Portanto, representa uma área de significativo interesse biocronoestratigráfico para esse período.

## CAPÍTULO VII. CONCLUSÕES

Este trabalho representa um estudo de conodontes coletados em uma seção de carbonatos da Formação Itaituba, e constitui uma ampliação e refinamento na análise das associações de conodontes da Bacia do Amazonas. Foi realizada uma análise no intervalo BAS 1, da Seção ITACIMPASA, localizados na borda sul da bacia. Foram examinadas 39 amostras de 16 camadas diferentes, com amostragens de 1 kg. Através de uma série de metodologias, foi possível a extração e recuperação de um total de 1035 elementos conodontes identificáveis.

No intervalo da seção estudada, foram identificados oito gêneros: *Declinognathodus*, *Idiognathoides*, *Idioproniodus*, *Idiognathodus*, *Hindeodus*, *Neognathodus*, *Adetognathus* e *Diplognathodus*. Além disso, foram identificadas 19 espécies dentro desses táxons de conodontes. Adicionalmente, foi possível reconhecer os diferentes elementos conodontes da espécie multielementar *Idioproniodus conjunctus*, sendo a primeira reconstrução de um aparelho conodonte na Bacia do Amazonas.

Na análise tafonômica da associação de conodontes estudada, foram reconhecidas diversas patologias em vários espécimes, incluindo *Diminutio*, *Impressio*, *Fusio*, *Mutilatio*, *Acessio*, *Occlusio* e *Abrasio*. Além disso, a partir da análise das alterações tafonômicas, foi determinado que todos os elementos conodontes estudados estão ressedimentados e sofreram transporte. Isso se deve ao fato de que não foram identificados aparelhos conodontes completos que indicassem uma associação natural ou aglomerados de elementos "clusters"; em vez disso, foram encontrados como elementos discretos. No entanto, foi observado que, apesar do transporte, os elementos são considerados típicos e autóctones dos ambientes em que são encontrados.

Além disso, foram identificadas outras alterações tafonômicas, como a seleção de elementos mais estáveis, como resultado do transporte a que as associações de conodontes foram submetidas (p. ex., abundância de elementos pectiniformes carminiescafados em relação aos elementos ramiformes). Também foram identificadas deformações mecânicas na forma de desconexão de lâminas livres e fraturas em plataformas, polimento das ornamentações e

fraturas devido à abrasão, e dissolução tanto em forma de modificações negativas quanto na forma de suturas em fraturas. Em alguns casos, foram identificadas evidências de possível bioerosão. Finalmente, foi realizada a avaliação do IAC da associação de conodontes estudada, observando-se valores entre 1,5 e 2, o que indica temperaturas de 50°C a 140°C.

A análise da distribuição dos conodontes no intervalo estudado permitiu reconhecer 2 associações de conodontes características e 2 biozonas: Na porção inferior do intervalo estudado até a camada C11, foi registrada uma associação onde predominam os gêneros *Idiognathodus*, *Adetognathus* e *Neognathodus*, com ocorrências de espécies que incluem *Idiognathodus incurvus*, *I. sinuosus*, *Adetognathus lautus*, *A. spathus*, *Neognathodus bassleri*, *N. atokaensis*, e ocorrências raras de *Declinognathodus marginodosus* e *Diplognathodus coloradoensis*. Esta associação está correlacionada com faunas do Bashkiriano superior.

Por outro lado, nas camadas C13 e C14 foi identificada a associação de conodontes dominada pelos gêneros *Declinognathodus*, *Idiognathoides* e *Idioproniodus*. Essa associação inclui espécies de conodontes como *Declinognathodus donetzianus*, *De. marginodosus*, *Idiognathoides sinuatus*, *Id. fossatus*, *Id. postsulcatus*, *Idioproniodus conjunctus*, *Hindeodus minutus*, *Idiognathodus incurvus*, *I. sinuosus*, *Neognathodus uralicus*, *N. atokaensis*, e ocorrências raras de *I. klapperi*, *Declinognathodus sp.*, *Diplognathodus ellesmerensis*, *D. benderi* e *D. coloradoensis*. Esta associação está correlacionada com faunas do Moscoviano inferior.

Foi identificada a zona ***Declinognathodus marginodosus/Neognathodus atokaensis***, definida pelo seu limite inferior, marcado pela primeira aparição de *Declinognathodus marginodosus*, e seu limite superior, marcado pela última aparição da espécie *Neognathodus atokaensis*, bem como pela primeira aparição das espécies *Declinognathodus donetzianus*, *Idiognathoides postsulcatus*, *Diplognathodus ellesmerensis* e *N. uralicus* no intervalo estudado.

Também foi identificada a zona ***Declinognathodus donetzianus/Diplognathodus ellesmerensis***, que é definida pela primeira ocorrência de *Diplognathodus ellesmerensis* e *Declinognathodus donetzianus*

(descendente direto de *De. Marginodosus*), bem como pela primeira ocorrência de *Idiognathoides postsulcatus* e *Neognathodus uralicus* no intervalo estudado.

O limite superior da zona *Declinognathodus marginodosus/Neognathodus atokaensis* e o limite inferior da zona *Declinognathodus donetzianus/Diplognathodus ellesmerensis* representam conjuntamente o limite Bashkiriano/Moscoviano no intervalo BAS 1 e, conseqüentemente, na Seção ITACIMPASA.

A fauna de conodontes identificada neste estudo possui um valor paleobiogeográfico significativo. Não apenas foram encontradas formas previamente correlacionadas em estudos anteriores na Bacia do Amazonas com faunas da província do Midcontinent, como espécies dos gêneros *Neognathodus*, *Idiognathodus* e *Adetognathus*, mas também foram identificadas pela primeira vez formas típicas das províncias do Paleo-Tetis, como as espécies *Declinognathodus donetzianus*, *De. marginodosus*, *Idiognathoides postsulcatus*, *Diplognathodus ellesmerensis* e *D. benderi*. Isso abre novas discussões sobre a conexão e correlação dessas faunas nessas regiões, juntamente com as faunas de Oeste do Gondwana registradas nas rochas da Bacia do Amazonas.



## CAPÍTULO VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Alekseev, A.S., & Goreva, N.V.** (2001). Chapter 9. Conodonts. In: *Middle Carboniferous of Moscow Syncline (southern part). Volume 2. Biostratigraphy* (eds. Makhlina, M.Kh., Alekseev, A.S., Goreva, N.V., Goryunova, R.V., Isakova, T.N., Kossovaya, O.L., Lazarev, S.S., Lebedev, O.A. & Shkolin, A.A.). Scientific World, Moscow, 113-140. (In Russian).

**Alekseev, A.S., & Task group** (2013). Report of the Task Group to establish a GSSP close to the existing Bashkirian-Moscovian boundary. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, 30, 39–42.

**Alekseev, A.S., & Task group** (2014). Report of the Task Group to establish a GSSP close to the existing Bashkirian-Moscovian boundary. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, 31, 33–36.

**Alekseev, A. S., Kulagina, E. I., Kononova, K. I., Zhuravleva, N. D., & Nikolaeva, S. V.** (2018). Joint occurrence of conodonts *Declinognathodus donetzianus* and *Diplognathodus ellesmerensis* close to Bashkirian-Moscovian boundary in the Basu section, South Urals, Russia. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, 34, 39–42.

**Altiner, D., & Savini, R.** (1995). Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimoes basins (North Brazil). *Revue de paleobiologie*, 14(2), 417-453.

**Araújo, J. S., Rocha-Campos, A. C.** (1969). Conodonts from the Itaituba Formation (Pennsylvanian) at well PEST-2-AM Amazon Basin. *Ciência e Cultura*, v. 21, n. 2, p. 221-228.

**Barrick, J. E., Lambert, L. L., Heckel, P. H., Rosscoe, S. J., & Boardman, D. R.** (2013). Midcontinent Pennsylvanian conodont zonation. *Stratigraphy*, 10(1–2), 55-72.

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

**Bateson, W.** (1886). The ancestry of the Chordata. *Quarterly Journal of Microscopical Sciences*, 26: 535-571. <https://doi.org/10.1242/jcs.s2-26.104.535>

**Bender, K.P.** (1980). *Lower and Middle Pennsylvanian conodonts from the Canadian Arctic Archipelago*. Geological Survey of Canada, Ottawa, Paper, 79-15.

**Bengtson, S.** (1976). The structure of some Middle Cambrian conodonts, and the early evolution of conodont structure and function. *Lethaia*, 9: 185-206.

**Bergstrom, S.M., & Sweet, W.C.** (1966). Conodonts from the Lesington Limestone (Middle Ordovician) of Kentucky and its lateral equivalent in Ohio and Indiana. *Bulletin of American Paleontology*, 50: 271-441.

**Blanco-Ferrera, S., Sanz-López, J., Villa, E., & Bahamonde, J.** (2009). Distribución de conodontos en el intervalo del límite Bashkiriense/Moscoviense (Pensilvaniense, Carbonífero) en la sección de San Antolín-La Huelga (Zona Cantábrica). *XXV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología y simposios de los proyectos PICG*, 493(499), 140-143. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3363.9526>

**Branson, E.B. & Mehl, M.G.** (1941c). New and little known Carboniferous conodont genera. *Journal of Paleontology*, 15: 971-106.

**Briggs, D.E.G., Clarkson, E.N.K. & Aldridge, R.J.** (1983). The conodont animal. *Lethaia*, 16: 114.

**Brown, L. M., Rexroad, C. B., Eggert, D. L., & Horowitz, A. S.** (1991). Conodont paleontology of the Providence Limestone Member of the Dugger Formation (Pennsylvanian, Desmoinesian) in the southern part of the Illinois Basin. *Journal of Paleontology*, 65(6), 945-957. <https://doi.org/10.1017/S0022336000033266>

**Brown, L. M., Rexroad, C. B., and Zimmerman, A. N.** (2013). Conodont biostratigraphy of the Porvenir Formation (Pennsylvanian, Desmoinesian) in the south eastern Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. *Mountain Geologist*, 50: 99-119

**Caputo, M.V.** (1984). Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology, and paleogeography of Northern basins of Brazil. Ph.D. These. The University of California, Santa Barbara, p. 583.

**Caputo, M.V.** (2014). Estratigrafia, Tectônica e Magmatismo. Belém: UFPA.

**Cardoso, C. N., Sanz-López, J., Blanco-Ferrera, S., Lemos, V. B., & Scomazzon, A. K.** (2015a). Conodont color alteration index and upper Paleozoic thermal history of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 64, 139-151.

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

**Cardoso, C. N., Sanz-Lopez, J., & Blanco-Ferrera, S.** (2017a). Pennsylvanian conodonts from the Tapajos Group (Amazonas Basin, Brazil). *Geobios*, 50, 75–95. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2017.02.004>

**Cardoso, C. N., Sanz-Lopez, J., & Blanco-Ferrera, S.** (2017b). Pennsylvanian conodont zonation of the Tapajos Group (Amazonas Basin Brazil). *Stratigraphy*, 14, 35–58. <http://dx.doi.org/10.29041/strat.14.1-4.35-58>

**Chauffe, K., & Nichols, P.** (1995). Differentiating evolution from environmentally induced modifications in Mid-Carboniferous conodonts. *Palaeontology*, 38(4): 875-895.1-31.

**Clark, D.L., Sweet, W.C., Bergstron, S.M., Klapper, G., Austin, R.L., Rhodes, F.H.T., Muller, K.J., Ziegler, W., Lindstrom, M., Muller, J.F. & Harris, A.G.** (1981). Conodonta. *En: Robison, R. A. (ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W Miscellanea Supplement 2.* Geological Society of America & University of Kansas. 220 p.

**Costa, A. C. D. C., Macambira, M. J., da Silva, P. A., Pereira, E., & Nogueira, A. C.** (2021). Paleoenvironment, chemostratigraphy, and age of Pennsylvanian

carbonate platform succession of the Amazonas basin, northern Brazil, Uruará region. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103192. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103192>

**Cunha, P. R. C., Gonzaga, F.G., Coutinho, L. F. C., & Feijó, F. J.** (1994). Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências Petrobras* 8 (1), 47–55p.

**Cunha, P., Melo, J., & Silva, O.** (2007). Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15(2).

**Cuvier, G.** (1812). *Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes: où l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du globe paroissent avoir détruites* (Vol. 4). Deterville.

**Davydov, V. I., Korn, D. K., Schmitz, M. D., Gradstein, F. M., & Hammer, Ø.** (2012). The carboniferous period. In *The geologic time scale 2012* (pp. 603-651).

**Dunn, D. L.** (1966). New Pennsylvanian platform conodonts from southwestern United States. *Journal of Paleontology*, 1294-1303.

**Dunn, D.L.** (1970a). Middle Carboniferous conodonts from western United States and phylogeny of the platform group. *Journal of Paleontology*, 44: 312342.

**Dzik, J.** (1976). Remarks on the evolution of Ordovician conodonts. *Acta Palaeontologica Polonica*, 21(4).

**Ellison, S.** (1941). Revision of the Pennsylvanian conodonts. *Journal of Paleontology*, 107-143.

**Ellison, S.P. Jr. & Graves, R.W.** (1941). Lower Pennsylvanian (Dimple Limestone) conodonts of the Marathon Region, Texas. *Missouri University School of Mines and Metallurgy, Bulletin of Technical Services*, 14: 113.

**Epstein, A.G., Epstein, J.B., & Harris, L.D.** (1977). Conodont color alteration index to organic metamorphism. *United States Geological Survey Professional Paper*, 995: 127.

**Fernandez-Lopez, S.** (2000). *Temas de Tafonomía* Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid. 167 p.

**Fohrer, B., Nemyrovska, T. I., Samankassou, E., & Ueno, K.** (2007). The Pennsylvanian (Moscovian) Izvarino section, Donets Basin, Ukraine: a multidisciplinary study on microfacies, biostratigraphy (conodonts, foraminifers, and ostracodes), and paleoecology. *The Paleontological Society, Memoir*, 69, 1-85.

**Fúlfaro, V. J.** (1965). Conodontes do Calcário Itaituba do Carbonífero do Rio Tapajós, Estado do Pará. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. 14, n. 1/2, p. 29-40.

**Gabbot, S.E., Aldridge, R.J. & Theron, J.N.** (1995). A giant conodont with preserved muscle tissue from the Upper Ordovician of South Africa. *Nature*, 374: 800803.

**Goreva, N.V.** (1984). Moscovian conodonts of the Moscow Syncline. In: *Paleontological Characteristic of the Types and Key Sections of the Moscow Syncline* (ed. Menner, V.V.). Moscow State University Press, Moscow, 44-122 (in Russian).

**Goreva, N. V., & Kossovaya, O. L.** (1997). Biostratigraphy of the Carboniferous deposits, the Northern Timan. *Prace-Panstwowego Instytutu Geologicznego*, 157, 127-139.

**Grayson Jr., R.C.** (1984). Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) conodonts from the northeastern margin of the Arbuckle Mountains southern Oklahoma, 136, 41-63. In: Sutherland, P.K. & Manger, W.L. (eds.) *The Atokan Series (Pennsylvanian) and Its Boundaries: A Symposium*. Oklahoma Geological Survey Bulletin, The university of Oklahoma, Norman.

**Grayson Jr., R.C., Merrill, G.K., & Lambert, L.L.** (1990). Carboniferous gnathodontid conodont apparatuses: evidence of a dual origin for Pennsylvanian taxa. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 118, 353-396.

**Groves, J. and Task Group** (2010). Report of the Task Group to establish GSSP close to the existing Bashkirian-Moscovian boundary. Newsletter on Carboniferous Stratigraphy, 28: 34–36.

**Grubbs, R. K.** (1984). Conodont platform elements from the Wapanucka and Atoka Formations (Morrowan–Atokan) of the Mill Creek Syncline central Arbuckle Mountains, Oklahoma. 65–79. In: Sutherland, P.K. & Manger, W.L. (eds.) *The Atokan Series (Pennsylvanian) and Its Boundaries: A Symposium*. Oklahoma Geological Survey Bulletin, The university of Oklahoma, Norman. 136, 198 pp.

**Gunnell, F. H.** (1931). Conodonts from the Fort Scott Limestone of Missouri. *Journal of Paleontology*, 5: 244-252.

**Gunnell, F. H.** (1933). Conodonts and fish remains from the Cherokee, Kansas City, and Wabaunsee Groups of Missouri and Kansas. *Journal of Paleontology*, 7: 261-297.

**Harris, R. W., & Hollingsworth, R.V.** (1933). New Pennsylvanian conodonts from Oklahoma. *American Journal of Science*, 25, 193-204.

**Hass, W. H.** (1953). Conodonts of the Barnett Formation. Geological Survey Professional Paper, 243, 69-94.

**Higgins, A.C.** (1981). The distribution of conodonts in relation to the paleogeography of late Visean Namurian Time. *En: Neale, J.W. & Brasier, M.D.* (eds.), *Microfossils from recent and fossil shelf seas*. Ellis Horwood Limited, Chichester. pp 3751.

**Higgins, A. C., & Wagner-Gentis, C. H. T.** (1982). Conodonts, goniatites and the biostratigraphy of the earlier Carboniferous from the Cantabrian Mountains, Spain. *Palaeontology*, 25:313-350.

**Hu, K. Y.** (2016). Early–Middle Pennsylvanian conodonts of South China and their global correlation. Unpublished doctoral dissertation, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 289 pp. (in Chinese, with English summary).

**Hu, K. Y., Qi, Y. P., Wang, Q.L., Nemyrovska, T. I., & Chen, J. T.** (2017). Early Pennsylvanian conodonts from the Luokun section of Luodian, Guizhou, South China. *Palaeoworld*, 26, 64-82. <https://doi.org/10.1016/j.palwor.2015.12.003>

**Hu, K., Qie, W. K., & Wang, Q. L.** (2020a). Carboniferous conodont zonation of China. *Newsletters on Stratigraphy*, 53, 141–190.

**Hu, K., Hogancamp, N. J., Lambert, L. L., Qi, Y., & Chen, J.** (2020b). Evolution of the conodont *Diplognathodus ellesmerensis* from *D. benderi* sp. nov. at the Bashkirian–Moscovian (Lower–Middle Pennsylvanian) boundary in South China. *Papers in Palaeontology*, 6(4), 627-649. <https://doi.org/10.1002/spp2.1309>

**Igo, H., & Koike, T.** (1964). 466. Carboniferous conodonts from the omi limestone, niigata prefecture. Central japan (studies of asian conodonts, part i). In *Transactions and proceedings of the Paleontological Society of Japan. New series* (Vol. 1964, No. 53, pp. 179-193). Palaeontological society of japan. [https://doi.org/10.14825/prpsj1951.1964.53\\_179](https://doi.org/10.14825/prpsj1951.1964.53_179)

**Igo, H., & Koike, T.** (1965). 490. Carboniferous conodonts from yobara, akiyoshi limestone, japan studies of asiatic conodonts, part ii. In *Transactions and proceedings of the Paleontological Society of Japan. New series* (Vol. 1965, No. 59, pp. 83-91). Palaeontological society of japan. [https://doi.org/10.14825/prpsj1951.1965.59\\_83](https://doi.org/10.14825/prpsj1951.1965.59_83)

**Igo, H.** (1974). Some Upper Carboniferous conodonts from the Akiyoshi Limestone, Southwest Japan. *Bulletin of Tokyo Gakugei University*, 26, 230-8.

**Janvier, P.** (1996). The dawn of the vertebrates: characters versus common ascent in the rise of current vertebrate phylogenies. *Palaeontology*, 39: 259-287.

**Jeppsson, L., Anehus, R. & Fredholm, D.** (1999). The optimal acetate buffered acetic acid technique for extracting phosphatic fossils. *Journal of Paleontology*, 73: 964-972.

**Klapper, G. & Phillip, G.M.** (1971). Devonian conodont skeletal apparatuses and their vicarious skeletal elements. *Lethaia* 4: 429-452.

**Koester, E., Scomazzon, A. K., Kawashita, K., Macambira, M. J. B., Moutinho, L. P., Nascimento, S., Lemos, V. B., Nogueira, A. C., Silva, P. A., & Mantilla, A. F. R.** (2021). Sr–Nd isotopic constraints on carbonates, conodonts, and brachiopods of Early-Middle Pennsylvanian Itaituba and Nova Olinda formations, Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 112, 103532.

**Konigshof, P. & Glaub, I.** (2004). Traces of microboring organisms in Palaeozoic conodont elements. *Geobios*, 37: 416-424.

**Kozitskaya, R. I., Kossenko, Z. A., Lipnjagov, O. M., & Nemirovskaya, T. I.** (1978). *Konodonty karbona Donetskogo basseina. (Carboniferous conodonts of the Donets Basin.)* Kiev: Izdatel'stvo "Naukova Dumka", 138 pp. (in Russian).

**Kozur, H.** (1975). Beiträge zur Mikrofauna permotriadischer Schichtfolgen. Teil II: Neue Conodonten aus dem Oberperm und der basalen Trias von Nord- und Zentraliran. *Geologische und Paläontologische Mitteilungen, Innsbruck*, 5(3), 1-23.

**Krumhardt, A.P., Harris, A.G. and Watts, K.F.,** (1996). Lithostratigraphy, Microlithofacies, and Conodont Biostratigraphy and Biofacies of the Wahoo Limestone (Carboniferous), Eastern Sadlerochit Mountains, Northeast Brooks Range, Alaska. USGS Professional Paper, 1568:1–81.

**Kulagina, E. I., Pazukhin, V. N., & Davydov, V. I.** (2009). Pennsylvanian biostratigraphy of the Basu River section with emphasis on the Bashkirian-Moscovian transition. In: *Carboniferous type sections in Russia and potential global stratotypes*. Proceedings of the International Field Meeting "The historical type sections, proposed and potential GSSPs of the Carboniferous in Russia." Southern Urals Session. Ufa–Sibai, 13-18 August, 2009 (eds. Puchkov, V.N., Kulagina, E.I., Nikolaeva, S.V. & Kochetova, N.N.). Design Polygraph Service, Ltd., Ufa, 34-63 (in Russian and English).



**Lane, H.R.** (1967). Uppermost Mississippian and Lower Pennsylvanian conodonts from the type Morrowan region, Arkansas. *Journal of Paleontology*, 41: 920–942.

**Lane, H. R., & Straka, J. J.** (1974). *Late Mississippian and Early Pennsylvanian conodonts, Arkansas and Oklahoma* (Vol. 152). Geological Society of America.

**Landing, E. D., & Wardlaw, B. R.** (1981). Atokan conodonts from the Pennsylvanian outlier of the Michigan Basin. *Journal of Paleontology*, 1251-1269.

**Lee, J. D., & Bak, Y. S.** (2003). Conodont biostratigraphy of the Hongjeom Formation in Bundeokchi section, Yeongweol. *Journal-paleontological society of korea*, 19, 21-28.

**Lemos, V. B.** (1990a). Assembléias de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas. 1990. 259f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

**Lemos, V. B.** (1990b). Upper Carboniferous Conodonts from the Amazon and Solimões Basins, Brazil. In: LATIN AMERICAN CONODONT SYMPOSIUM, 1. 1990. Córdoba, AR, Resúmenes... Córdoba: ANC, p. 105-106. (Project 271).

Lemos, V. B. 1992a. Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões. *Taxonomia - Parte I. Pesquisas*, v. 19, n. 1, p. 75-93.

**Lemos, V. B.** (1992b). Conodontes do Carbonífero das Bacias do Amazonas e Solimões *Taxonomia-Part II. Pesquisas em Geociências*, 19(2), 120-131.

**Lemos, V. B.; Medeiros, R. A.** (1989). Transgressões e Regressões Cíclicas e Ocorrência de Conodontes no Morrowano e Atokano na Bacia do Amazonas. In: Simpósio de Marcos Estratigráficos, 2., Curitiba, PR, 1989. Anais...Curitiba: SBP., v. 2, p. 961-969.

**Lemos, V. B.; Medeiros, R. A.** (1996a). O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com Base em Conodontes. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, v. 10, n. 1/4, p. 165-173.

**Lemos, V. B.; Medeiros, R. A.** (1996b). Conodontes do Carbonífero Inferior da Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, v. 10, n. 1/4, p. 55-60.

**Lemos, V. B., & Scomazzon, A. K.** (2001). Carboniferous biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil, based on conodonts. *Ciência Técnica Petróleo*, 20, 131-138.

**Lindstrom, M.** (1955). Conodonts from the lowermost Ordovician strata of south central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholms Förhandlingar*, 76: 517604.

**Lindstrom, M.** (1973). On the affinities of conodonts. En: F.H.T. Rhodes (ed.), *Conodont palaeozoology, Geological Society of America Special Paper*, 141: 85102.

**Mantilla, A. F. R., Scomazzon, A. K., Nascimento, S., dos Santos Alvarenga, R., Lemos, V. B., & de Souza, P. A.** (2022). The conodont genus *Neognathodus* Dunn, 1970, lower to middle Pennsylvanian, Amazonas Basin, Western Gondwana: biostratigraphic and paleoenvironmental analysis. *Geobios*, 75, 17-40.

**Matsuda, N.** (2002). *Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite on the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazonas Basin, Northern Brazil* (Unpublished doctoral dissertation, Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo).

**Matsuda, N., Winter, W., Wanderley Filho, J., & Cacela, A. M.** (2010). O Paleozoico da borda sul da Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(11), 123-152.

**Mcgoff, H.J.** (1991). The hidrodinamics of conodonts elements. *Lethaia*, 24: 235247.

**Medina V. P.** (2018). Conodontos del Carbonífero de la Meseta Central y de la Cuenca de Tindouf (Marruecos). Doctoral dissertation, Universidad Complutense

de Madrid, España. E-prints Complutense Repository:  
<https://eprints.ucm.es/id/eprint/49301/>

**Méndez, C. A., & Menéndez-Álvarez, J. R.** (1981). Conodontos del Bashkiriense superior y Moscoviense inferior en una sección de la Cordillera Cantábrica (NW de España). *Trabajos de Geología*, 11, 129-134.

**Méndez, C. A.** (2002). Carboniferous conodonts of the Ponga and Picos de Europa units (Cantabrian Zone, North Spain). In García-López, S. and Bastida, F. (eds). *Palaeozoic conodonts from northern Spain, Eighth International Conodont Symposium held in Europe: North Spain field trip* (June, 2002). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Cuadernos del Museo Geominero, 1, 438 pp.

**Metcalfe, I.** (1981). Conodont zonation and correlation of the Dinantian and early Namurian strata of the Craven Lowlands of northern England. *Report of the Institute of Geological Sciences*, 80/10: 170.

**Merrill, G. K.** (1972). Taxonomy, phylogeny, and biostratigraphy of Neognathodus in Appalachian Pennsylvanian rocks. *Journal of Paleontology*, 817-829.

**Merrill, G. K.** (1973). Pennsylvanian nonplatform conodont genera, I: Spathognathodus. *Journal of Paleontology*, 289-314.

**Merrill, G.K. & King, C. W.** (1971). Conodonts from the Lowest Pennsylvanian Rocks of Northwestern Illinois. *Journal of Paleontology*, 45:645–664.

**Merrill, G.K., Grayson, R.C. & Mosley, J.K.** (1987a). Restudy of the localities and conodont faunas of Stauffer & Plummer, 1932. 2345. *En: Grayson, R. C., Merrill, G. K. & Miller, J. F., Early and Late Paleozoic conodont faunas of the Llano uplift region, central Texas— biostratigraphy, systematic boundary relationships, and stratigraphic importance, a guidebook, 21st Annual Meeting of the South Central Section of the Geological Society of America*. Baylor University and Geological Society of America, Waco, Texas. pp 2347.

**Merrill, G.K., Von Bitter, P.H. & Grayson, R.C.** (1990). The generic concept in conodont palaeontology—growth, changes and developments in the last two decades. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 118: 397-408.

**Morrow, J.R. & Webster, G. D.** (1991). Carbonate microfacies and related conodont biofacies, Mississippian-Pennsylvanian boundary strata, Granite Mountain, Westcentral Utah. *Brigham Young University Geology Studies*, 37:99–124.

**Moutinho, L. P., Scomazzon, A. K., Nascimento, S., & Lemos, V. B.** (2016). Taphofacies of Lower-Middle Pennsylvanian marine invertebrates from the Monte Alegre and Itaituba formations, part of the outcropped marine sequence of the Tapajós Group (Southern Amazonas Basin, Brazil)—regional palaeoecological models. *Journal of South American Earth Sciences*, 70, 83-114. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.05.003>

**Murray, F. N., & Chronic, J.** (1965). Pennsylvanian conodonts and other fossils from insoluble residues of the Minturn Formation (Desmoinesian), Colorado. *Journal of Paleontology*, 594-610.

**Nascimento, S., Scomazzon, A. K., Moutinho, L. P., Lemos, V. B., & Matsuda, N. S.** (2005). Conodont biostratigraphy of the Lower Itaituba formation (Atokan, Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil. *Revista brasileira de paleontologia*. Vol. 8, n. 3, 193-202.

**Nascimento, S., Smaniotto, L. P., Souza, P. A., Lemos, V. B., & Scomazzon, A. K.** (2009). Biochronostratigraphy (conodonts and palynology) from a selected strata of the Itaituba Formation (Pennsylvanian of the Amazonas Basin) at Itaituba, Pará State, Brazil. *Pesquisas em Geociências*, 36(1), 37-47.

**Nascimento, S., Lemos, V. B., Scomazzo, A. K., Matsuda, N. S., & da Silva, C. P.** (2010a). First occurrence of *Ellisonia*, *Gondolella* and *Ubinates* (Conodonts) in Itaituba Formation, Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *Gaea: Journal of Geoscience*, 6(2), 56.

**Nascimento, S., Scmazzon, A. K., Lemos, V. B., moutinho, L. P., & Matsuda, N. S.** (2010b). Bioestratigrafia e paleoecologia com base em conodontes em uma seção de carbonatos marinhos do Pensilvaniano inferior, Formação Itaituba, borda sul da Bacia do Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 37(3), 243-256.

**Nazarova, V. M., & Kononova, L. I.** (2020). Paleopathology: occurrence of anomalies in the elements of Devonian conodonts. *Paleontological Journal*, 54, 743-756.

**Neis, P.A.**, 1996. Resultados Biocronoestratigráficos das Associações de Conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas. Unpublished Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 138p.

**Nemirovskaya, T.I.** (1990). The latest representatives of the Genus *Declinognathodus* (conodonts) in the boundary sediments of the Bashkirian and Moscovian stages of the Donbass basin Carboniferous. *Paleontologicheskii Zbornik*, 27, 39-43 (in Russian).

**Nemyrovska, T. I.** (1999). Bashkirian conodonts of the Donetsk basin, Ukraine. *Scripta Geologica*, 119, 1-115.

**Nemyrovska, T. I.** (2017). Late Mississippian–middle Pennsylvanian conodont zonation of Ukraine. *Stratigraphy*, 14(1-4), 299-318. <http://dx.doi.org/10.29041/strat.14.1-4.299-318>

**Nemirovskaya, T.I. & Alekseev, A.S.** (1993). Konodonty bashkirskogo yarusa razreza Askyn (Gornaya Bashkiriya) (Conodonts of the Bashkirian Stage of the Askyn section (Mountainous Bashkiriya)). —Byull. MOIP, Geol., 68, 1: 65-86.

**Nemirovskaya, T.I., & Alekseev, A.S.** (1994). Bashkirian conodonts of Askyn section (Mountain Bashkiriya). *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, 68, 65-86 (in Russian).

**Nemirovskaya, T.I., & Alekseev, A.S.** (1995). The Bashkirian conodonts of the Askyn Section, Bashkirian Mountains, Russia. *Bulletin of the Belgium Geological Society*, 103, 109-133.

**Nemyrovskaya, T.I., & Hu, K.** (2018). Conodont association of the Bashkirian-Moscovian boundary interval of the Donets Basin, Ukraine. [Asociaciones de conodontos de la transición Bashkiriense-Moscoviense de la Cuenca del Donets, Ucrania]. *Spanish Journal of Palaeontology*, 33 (1), 105-128. <http://dx.doi.org/10.7203/sjp.33.1.13245>

**Nemyrovskaya, T. I., Perret-Mirouse, M. F., & Alekseev, A.** (1999). On Moscovian (Late Carboniferous) conodonts of the Donets Basin, Ukraine. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 214, 169-194.

**Nemyrovskaya, T. I., Matsunaga, M., & Ueno, K.** (2010). Conodont and fusuline composite biostratigraphy across the Bashkirian-Moscovian boundary in the Donets Basin, Ukraine: the Malo-Nikolaevka section. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, 28, 60-66.

**Nestell, M. K., Wardlaw, B. R., & Pope, J. P.** (2016). A well-preserved conodont fauna from the Pennsylvanian Excello Shale of Iowa, USA. *Micropaleontology*, 62(2), 93-114. <http://dx.doi.org/10.47894/mpal.62.2.01>

**Neves, K. M. M., & Barbosa, V. P.** (2019). Caracterização paleoambiental a partir de microfácies carbonáticas da Formação Itaituba (Pensilvaniano Inferior da Bacia do Amazonas), no município de Itaituba (PA). *Pesquisas em Geociências*, 46(2). <https://doi.org/10.22456/1807-9806.95467>

**Pander, C. H.** (1856). *Monographie der fossilen Fische des silurischen Systems der russisch-baltischen Gouvernements*. St. Petersburg: Akademie Wissenschaften, 91 pp.

**Pazukhin, V. N., Alekseev, A. S., Goreva, N. V., & Kulagina, E. I.** (2006). Discovery of potential Bashkirian-Moscovian boundary marker conodont *Declinognathodus donetzianus* in South Urals. *Newsletter on Carboniferous stratigraphy*, 24, 18-19.

**Playford, G., & Dino, R.** (2000). Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil. *Palaeontographica Abteilung B*, 1-46.

**Pietzner, H., Vahl, J., Werner, H. & Ziegler, W.** (1968). Zur chemischen Zusammensetzung und Mikromorphologie der Conodonten, *Palaeontographica*, 128: 115-152.

**Pope, J. P., Pronina–Nestell, G. P., Nestell, M. K., & Barrick, J. E.** (2011). A remarkable Middle Pennsylvanian microfossil assemblage from the Excello Shale Member, Mouse Creek Formation, south–central Iowa, USA. In *Proceedings of the Sixth International Conference “Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology* (pp. 230-233).

**Purnell, M. A., & Von Bitter, P. H.** (1996). Bedding-plane assemblages of *Idioprioniodus*, element locations, and the Bauplan of prioniodinid conodonts, p. 48. In J. Dzik (ed.), *Sixth European conodont symposium*, Abstracts. Instytut Paleobiologii PAN, Warszawa.

**Purnell, M.A. & Donoghue, P.C.J.** (1998). Skeletal architecture, homologies and taphonomy of ozarkodinid conodonts. *Palaeontology*, 41(1): 57-102.

**Purnell, M. A., & Von Bitter, P. H.** (1992). Blade-shaped conodont elements functioned as cutting teeth. *Nature*, 359(6396), 629-631.  
<http://dx.doi.org/10.1038/359629a0>

**Purnell, M. A., & Jones, D.** (2012). Quantitative analysis of conodont tooth wear and damage as a test of ecological and functional hypotheses. *Paleobiology*, 38(4), 605-626. <http://dx.doi.org/10.2307/41684303>

**Purnell, M. A., Donoghue, P. C., & Aldridge, R. J.** (2000). Orientation and anatomical notation in conodonts. *Journal of Paleontology*, 74(1), 113-122.  
<http://dx.doi.org/10.1017/S0022336000031292>

**Purnell, M., Donoghue, P., Aldridge, R., & Von Bitter, P. H.** (2002). Natural assemblages of *Idioprioniodus* (Conodontata, Vertebrata) and the first three-dimensional skeletal model of a prioniodinid conodont. In *Strata, Série 1*,

*Abstracts of the Eighth International Conodont Symposium held in Europe* (Vol. 12, p. 100).

**Qi, Y. P.** (2008). *Conodont biostratigraphy of the Naqing section: Candidate GSSP for both the base of the Serpukhovian and Moscovian stages, Luosu, Luodian, Guizhou, South China*. Unpublished doctoral dissertation, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 157 pp. (in Chinese, with English summary).

**Qi, Y. P., Wang, Z. H., Wang, Y., Ueno, K., and Wang, X. D.** (2007). Stop 1: Nashui section. 8–16. In Wang, Y., Ueno, K. and Qi, Y. P. (eds). *Pennsylvanian and lower Permian carbonate successions from shallow marine to slope in Southern Guizhou. Guidebook for Field Excursion C3 of the XVI-International Congress on the Carboniferous and Permian*, Nanjing, China. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Nanjing, 70 pp.

**Qi, Y. P., Lambert, L. L., Barrick, J. E., Groves, J. R., Wang, Z. H., Hu, K. Y., & Wang, X. D.** (2010). New interpretation of the conodont succession of the Naqing (Nashui) section: candidate GSSP for the base of the Moscovian Stage, Luosu, Luodian, Guizhou, South China. 65–77. In Wang, X. D., Qi, Y. P., Groves, J. R., Barrick, J. E., Nemirovskaya, T. I., Ueno, K. and Wang, Y. (eds). *Carboniferous carbonate succession from shallow marine to slope in Southern Guizhou. Guide Book for Field Excursion of the SCCS Workshop on GSSPs of the Carboniferous System*. Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Nanjing, 149 pp.

**Qi, Y. P., Lambert, L. L., Nemyrovska, T. I., Wang, X. D., Hu, K. Y., & Wang, Q. L.** (2016). Late Bashkirian and early Moscovian conodonts from the Naqing section, Luodian, Guizhou, south China. *Palaeoworld*, 25(2), 170-187.

**Rejebian, V.A., Harris, A.G. & Huebner, J.S.** (1987). Conodont color and textural alteration: An index to regional metamorphism, contact metamorphism, and hydrothermal alteration. *Geological Society of America Bulletin*, 99: 471-479.



**Rexroad, C. B.** (1993). Conodonts from coal balls in the Springfield Coal Member of the Petersburg Formation (Desmoinesian, Pennsylvanian) in southern Indiana. In *Proceedings of the Indiana Academy of Science* (Vol. 102, No. 1-2, pp. 83-92).

**Ritter, S. M.** (1986). Taxonomic revision and phylogeny of post-Early Permian crisis *bisselli-whitei* Zone conodonts with comments on late Paleozoic diversity. *Geol et Paleontology*, 20, 139-165.

**Robison, R.A.** (1981). *Treatise on invertebrate paleontology, part W, Miscellanea, supplement 2, Conodonta*. Lawrence: Geological Society of America and University of Kansas, 202pp.

**Rocha-Campos, A. C., Archangelsky, S.** (1986). South America. In: Wagner, R. H., Prins, W., Granatos, J. F. (Ed.). *The Carboniferous of the World II, Australia, Indian Subcontinent, South Africa, South America & North Africa*. IUGS Publication, Instituto Geológico y Marino de España, Madrid, v. 20, p. 175-272.

**Rocha-Campos, A.C., Pedrão, E., Lemos, V.B.** (1988). Indices de Alteração de Cor (IAC) de Conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas. In: Congresso Argentino de Paleontologia y Bioestratigrafia, 4., Mendoza, ARm 1986. Resúmenes. Mendoza: p.235-236.

**Rohon, J.V. & Zittel, K.A.V.** (1886). *Über Conodonten*. Sitzungsbericht königlich bayerische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Physikalische Classe, 1886: 108-136.

**Saelens, A. K.** (2014). Conodont biostratigraphy of the Red House Formation (Middle Pennsylvanian) south-central New Mexico. Master's thesis, Texas Tech University, Lubbock, 94 pp. Texas Digital Library - University Libraries – UNT <https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/58826/SAELENS-THESIS-2014.pdf?sequence=1>

**Savage, N. M., & Barkeley, S. J.** (1985). Early to middle Pennsylvanian conodonts from the Klawak Formation and the Ladrones Limestone, southeastern Alaska. *Journal of Paleontology*, 1451-1475.

**Scomazzon, A.K.** (1999). Refinamiento bioestratigráfico, com base em conodontes, no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, Região do Tapajós. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

**Scomazzon, A. K.** (2004). Estudo de conodontes em carbonatos marinhos do Grupo Tapajós, pensilvaniano inferior com aplicação de isótopos de Sr e Nd neste intervalo. Doctoral dissertation, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. LUME Repository <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12720>

**Scomazzon, A. K., & Lemos, V. B.** (2005). Diplognathodus occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. *Revista brasileira de paleontologia*. Vol. 8, n. 3 (2005), p. 203-208. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2005.3.04>

**Scomazzon, A. K., Moutinho, L. P., Nascimento, S., Lemos, V. B., & Matsuda, N. S.** (2016). Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group, Early-Middle Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 65, 25-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2015.11.004>

**Schmidt, H., & Müller, K. J.** (1964). Weitere Funde von Conodonten-Gruppen aus dem oberen Karbon des Sauerlandes. *Paläontologische Zeitschrift*, 38, 105-135.

**Scotese, C. R.** (2014). Atlas of Permo-Carboniferous Paleogeographic Maps (Mollweide Projection), Maps 53–64, Volumes 4, The Late Paleozoic, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Evanston, IL. <https://doi.org/10.13140/2.1.1837.8244>

**Silva, O. B. & Lemos, V. B.** (1996). Controle dos Ciclos Sedimentares na Distribuição Estratigráfica dos Conodontes do Pensilvaniano (Fm. Itaituba) - Bacia do Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5. Belém, PA, 1966. Anais... Belém: SBG. p. 199- 202.

**Silva, P. A. S.** (2019). O mar epicontinental Itaituba na região central da Bacia do Amazonas: paleoambiente e correlação com os eventos paleoclimáticos e

paleoceanográficos do Carbonífero. Doctoral dissertation, Universidade Federal do Para, Belém, Brazil. p. 140. UFPA Repository <http://repositorio.ufpa.br/handle/2011/10774>

**Silva, P. A. S., Afonso, J. W. L., Soares, J. L., & Nogueira, A. C. R.** (2015). Depósitos de plataforma mista, Neocarbonífero da Bacia do Amazonas, região de Uruará, estado do Pará. *Geologia USP. Série Científica*, 15(2), 79-98. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i2p79-98>

**Silva, P. A. S., Nogueira, A. C. R., Soares, J. L., Bandeira, J., Scomazzon, A. K., Nascimento, S., Moutinho, L. P., & Dias, S. K.** (2022). Pennsylvanian mixed siliciclastic-carbonate deposits of the Amazonas basin, North of Brazil: The record of an epicontinental sea in Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 114, 103691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103691>

**Stauffer, C., & Plummer, H.** (1932). Texas Pennsylvanian conodonts and their stratigraphic relation. *University of Texas Bulletin*, 3201: 13-50.

**Sungatullina, G.** (2014). Determination of the Bashkirian–Moscovian boundary in the Volga region via conodont species *Declinognathodus donetzianus* Nemirovskaya. *Geological Magazine*, 151(2), 299-310.

**Sutherland, P. K., & Grayson Jr, R. C.** (1992). Morrowan and Atokan (Pennsylvanian) biostratigraphy in the Ardmore Basin, Oklahoma. In *Recent Advances in Middle Carboniferous Biostratigraphy—A Symposium*. Oklahoma Geological Survey Circular (Vol. 94, No. 181, pp. 81-99).

**Sweet, W. C.** (1988). *Morphology, Taxonomy, Paleoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum*. New York: Oxford University Press, Monographs on Geology and Geophysics 10, 212 pp.

**Sweet, W.C., & Bergstrom, S.M.** (1972). Multielement taxonomy and Ordovician conodonts. *Geologica et Palaeontologica* SB 1: 2942.

**Sweet, W.C., & Schonlaub, H.P.** (1975). Conodonts of the genus *Oulodus* Branson & Mehl, 1933. *Geologica et Palaeontologica*, 9: 4159.

**Tengan, C., Shimabukuru, S., Rocha-Campos, A. C.** (1976). Conodontes Carboníferos do poço FB-ST-1-AM Bacia do Amazonas, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Ouro Preto, MG, 1976. Anais. Ouro Preto: SBG. p. 365.

**Thompson, T. L.** (1970). Lower pennsylvanian conodonts from mcdonald county, missouri. *Journal of Paleontology*, 1041-1048.

**Thompson, T. L., & Lambert, L. L.** (2017). Atokan (Middle Pennsylvanian) conodonts from laterally restricted pre-Cherokee units of southwestern Missouri. *Stratigraphy*, 14(1).

**Van Den Boogaard, M.** (1983). On some occurrences of *Diplognathodus* in Carboniferous strata of Western Europe and North Africa. *Scripta Geologica*, 69, 19-28.

**Van den Boogaard, M., & Bless, M. J. M.** (1985). Some conodont faunas from the Aegiranum marine band. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 88: 133–154.

**Von Bitter, P. H.** (1972). *Environmental control of conodont distribution in the Shawnee Group (Upper Pennsylvanian) of eastern Kansas*. University of Kansas. Paleontological Contributions 59, 105 pp.  
<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fhdl.handle.net%2F1808%2F3834>

**Von Bitter, P. H., & Merrill, G. K.** (1990). Effects of variation on the speciation and phylogeny of *Diplognathodus*. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 118, 105-129.

**Wanderley Filho, J. R.** (1991). Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. Master's thesis, Universidade Federal do Para, Belém, Brazil. UFPA Repository <http://repositorio.ufpa.br/handle/2011/11738>

**Wanderley Filho, J. R., Travassos, W. A. S., & Alves, D. B.** (2006). The diabase in the Amazonian Paleozoic basins-hero or villain. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 14, 177-184.

**Wanderley-Filho, J. R., Eiras, J. F., da Cruz Cunha, P. R., & van der Ven, P. H.** (2009). The Paleozoic Solimões and Amazonas basins and the Acre foreland basin of Brazil. *Amazonia: Landscape and Species Evolution: A look into the past*, 29-37.

**Wang, Z. H., & Qi, Y. P.** (2002). Report on the Pennsylvanian conodont zonation from the Nashui section of Luodian, Guizhou, China. *Newsletter on Carboniferous Stratigraphy*, 26, 29–33.

**Wang, Z. H., & Qi, Y. P.** (2003). Upper Carboniferous (Pennsylvanian) conodonts from South Guizhou of China. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 109, 379-397.

**Wang, Z. H., Qi, Y. P., Wang, X. D., & Wang, Y. J.** (2004). Restudy of the Upper Carboniferous (Pennsylvanian) strata from Nashui of Luodian, Guizhou. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 21, 111-129 (in Chinese with English abstract).

**Weddige, K.** (1990). Pathological conodonts. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 118: 563589.

**Work, D. M., Mason, C. E., & Boardman, D. R.** (2012). Pennsylvanian (Atokan) ammonoids from the Magoffin Member of the Four Corners Formation, eastern Kentucky. *Journal of Paleontology*, 86(3), 403-416.  
<http://dx.doi.org/10.2307/41480204>

**PARTE II. ARTIGO****First occurrences of *Idioprioniodus conjunctus* (Gunnell, 1931) from Pennsylvanian carbonate deposits of Amazonas Basin, Brazil, multitaxonomy implications**

Martin Andrés León-Caffroni<sup>1,\*</sup>, Ana Karina Scomazzon<sup>1</sup>, Sara Nascimento<sup>1</sup>, Sanmya Karolyne Rodrigues Dias<sup>1</sup>, Andrés Felipe Rojas Mantilla<sup>1</sup>, Paulo Alves de Souza<sup>1</sup>

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

\* - Corresponding author (geocaffroni@gmail.com – M. A. León-Caffroni)

**Abstract**

This study reports a conodont fauna of the genus *Idioprioniodus* from marine Pennsylvanian deposits in the Amazonas Basin, located in northern Brazil, resulting from a marine ingression event. The Tapajos Group represents a transgressive-regressive sequence associated with the Gondwanan deglaciation during the Pennsylvanian through the Early Permian. The Itaituba Formation, a unit within the Tapajos Group, is characterized as an epicontinental sea with warm waters, and its fossiliferous carbonate deposits are rich in conodonts. In this study, a section of the Itaituba Formation, known as the Itacimpasa Section, located in the southern part of the Amazonas Basin platform, was investigated. The lower portion of this Section, referred to as the BAS 1 Interval, was sampled, revealing a marine ingression event between the Late Bashkirian and Early Moscovian, represented by conodont genera *Idioprioniodus*, *Idiognathoides*, *Declinognathodus*, and *Diplognathodus*. The analyzed samples made it possible to identify *Idioprioniodus conjunctus* for the first-time. Moreover, due to the significant number of ramiform elements, it was possible to register and propose the first multielement apparatus of *Idioprioniodus* in the Amazonas Basin. The recognition of the *Idioprioniodus conjunctus* and its apparatus makes a valuable contribution to the understanding of the ecological role and multitaxonomic aspects of these conodont genera in the basin.

**Key-words:** multitaxonomy, conodont apparatus, *Idioprioniodus*, Itaituba Formation.

## Introducción

The Amazonas Basin was affected by events related to glacial pulses during the Pennsylvanian period, which resulted in climate changes and sea-level fluctuations (Caputo, 1984; Davydov et al., 2012). This process is related to the movement of Gondwana from high latitudes to middle latitudes during the formation of the supercontinent Pangea (Matsuda et al., 2010). The Tapajos Group records these glacial pulses in the Amazonas Basin. Specifically, the Itaituba Formation within this group preserves marine Carboniferous carbonate deposits, which exhibit valuable fossil preservation and provide chronostratigraphic evidence of transgressive-regressive cycles related to paleoenvironmental changes that affected Western Gondwana (Caputo, 1984; Cunha et al., 1994).

The Itaituba Formation in the Amazonas Basin is characterized by the establishment of widespread marine conditions, especially during the Pennsylvanian period (Scomazzon et al., 2016; Cunha et al., 2007; Silva et al., 2022). This formation includes various carbonates lithotypes and a rich fossil content composed of abundant marine fauna (Scomazzon and Lemos, 2005; Nascimento et al., 2010; Scomazzon et al., 2016; Moutinho et al., 2016). Several conodont studies, primarily focusing on P1 elements, have provided reliable biostratigraphic control in this context (Neis, 1996; Scomazzon, 1999; Lemos and Scomazon, 2001; Nascimento et al., 2010; Scomazzon et al., 2016; Cardoso et al., 2017b; Mantilla et al., 2022).

Until the present study, there has been no discussion of multitaxonomy or attempts to reconstruct apparatuses for conodonts from the Itaituba Formation or the Amazon Basin. Here is reported, in addition to the identification for the first time of the species *Idioprioniodus conjunctus* (Gunnell, 1931), the description and proposal of its feeding apparatus, on carbonates of Itaituba Formation, from the BAS 1 interval sampled in the lower part of Itacimpasa Section. Being the first proposal apparatus reconstruction of a conodont taxon in the Itaituba Formation and in the Amazonas Basin.

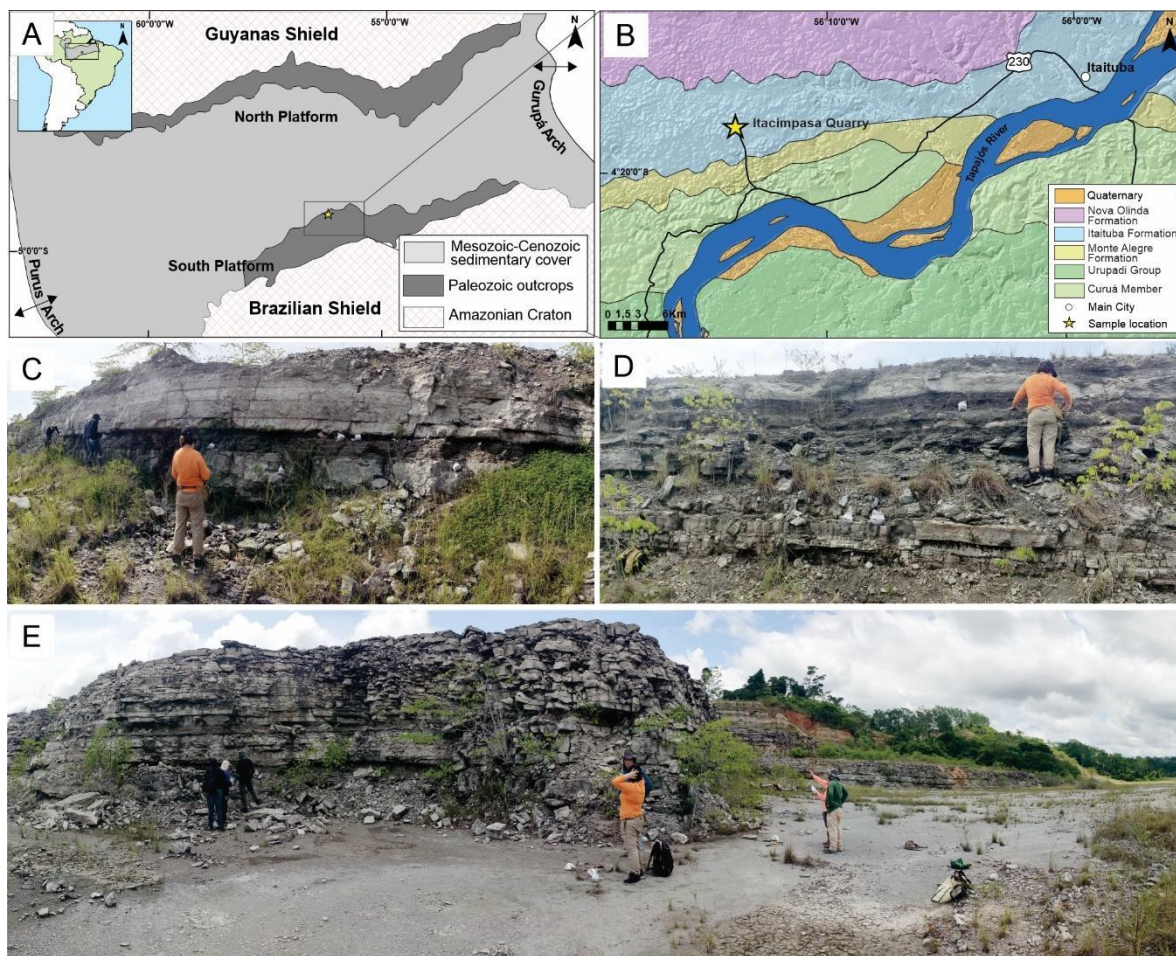
## Geological setting

The Amazonas Basin situated in the northern region of Brazil and is bordered to the north by the Guyanas Shield, to the south by the Brazilian Shield, to the east by the Gurupá Arch, and to the west by the Purus Arch (Cunha et al., 2007; Matsuda et al., 2010). Administratively it is located between the states of Amazonas and Pará. It has an elongated and narrow configuration in the WSW-ENE direction, occupying approximately 500,000 km<sup>2</sup>, where the current stream of the Amazonas River corresponds to the actual depositional axis (Cunha et al., 2007).

According to Wanderley Filho (1991) and Cunha *et al.* (1994), the Amazonas Basin is an intracratonic basin developed on the Amazonas Craton, and its sedimentary filling reaches a thickness of 6 km. It consists of two major sequences with a regional unconformity. The first sequence is Paleozoic with sedimentary filling, while the second sequence is Mesozoic-Cenozoic and contains both sedimentary and volcanic deposits (Cunha et al., 2007). The Paleozoic sequence comprises four second-order sequences represented by the Ordovician-Devonian, Devonian-Tournaisian, Viséan, and Pennsylvanian-Permian sequences. The Pennsylvanian-Permian sequence is a transgressive-regressive cycle and comes due to a subsidence event, characterized by a marine incursion from the west and a drastic climate change, causing the drowning of aeolian dunes in the Solimões Basin, exceeding the Purus Arch and interconnecting the Solimões and Amazonas basins (Caputo, 1984; Caputo and Silva, 1990; Cunha et al., 1994; Matsuda et al., 2010; Silva, 2019).

This sequence includes the Tapajós Group, which consists of the Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda, and Andira formations. A significant climatic shift occurred during the Pennsylvanian and Permian stages, transitioning from cold to hot and arid conditions. This change is likely related to sea level fluctuations, which are associated with ice volume variations on Gondwana. The shifting of continents from high to mid-latitudes during the later stages of the Pangea supercontinent's development contributed to these variations (Matsuda *et al.*, 2010; Caputo, 2014).



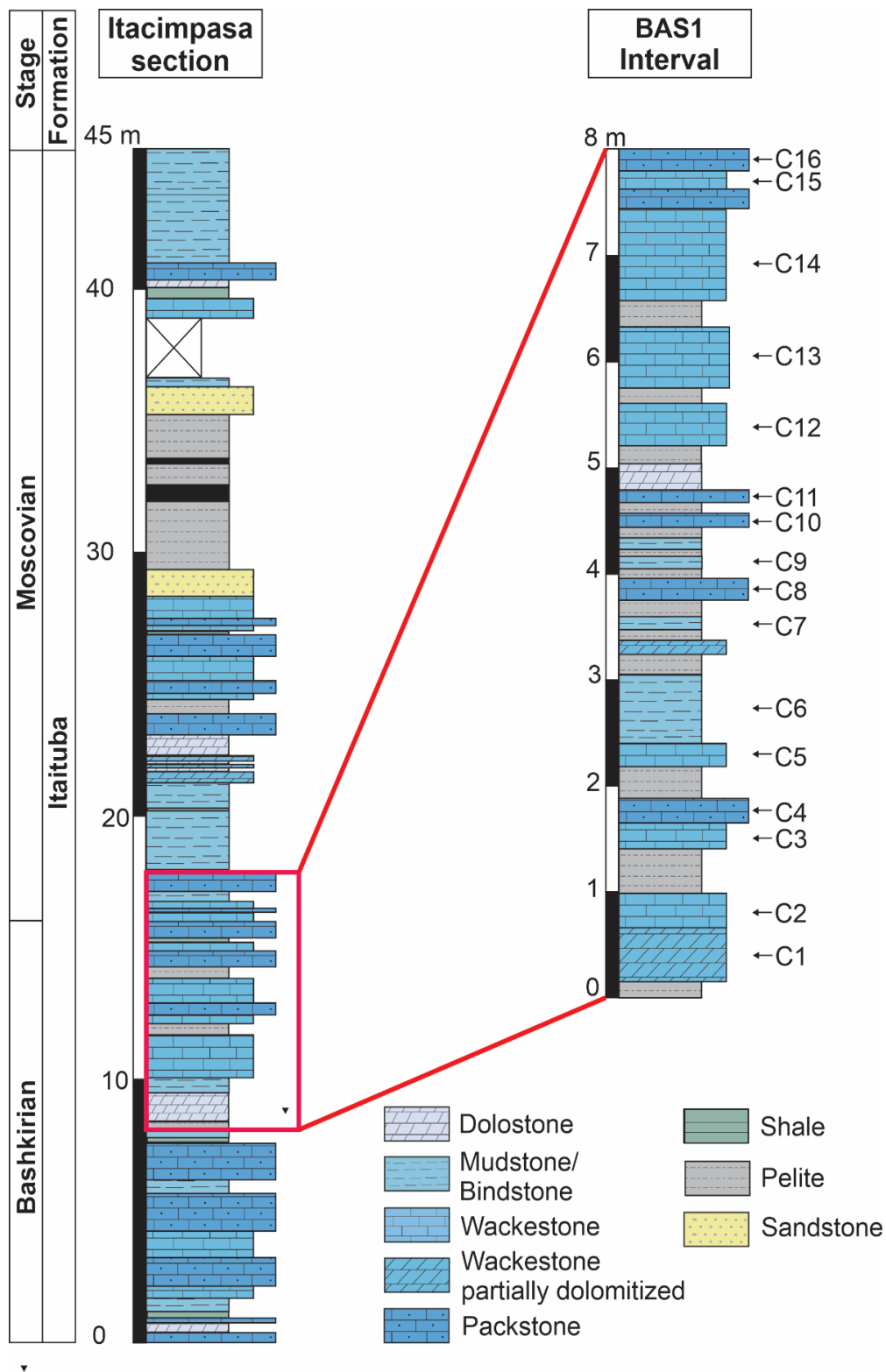


**Figure 1.** A. On above left South America with Brazil in green. In detail location map of the Amazonas Basin (rectangle with yellow star - Itacimpasa Quarry), modified from Scmazzon (2004). B. Geological map of the southern platform region, where the sampling took place, modified from Matsuda et al. (2010). The yellow star indicates the exact location of the Itacimpasa Quarry. C-E. Studied outcrops from the Itacimpasa section, named as interval BAS 1.

The Itaituba Formation, 420 m-thick in the basin's depocenter region, is a widespread in the Amazonas Basin, (Caputo, 2014). This formation is composed of intercalations of carbonates and evaporites with siliciclastic layers, representing transgressive-regressive deposits. These deposits are related to a shallow marine to-lagoon environment associated with a carbonate platform (Matsuda, 2002; Silva et al., 2015; Moutinho et al., 2016; Neves and Barbosa, 2019; Silva et al., 2022). The carbonate rocks of the Itaituba Formation indicate

clearly marine conditions in the Amazonas Basin. The sedimentation of various carbonate lithotypes and a rich fossil content, including exclusively marine taxa with an abundant fauna of benthic foraminifera, conodonts, scolecodonts, ostracods, bryozoans, corals, gastropods, bivalves, brachiopods, and trilobites, among others, support this interpretation (Scomazzon and Lemos, 2005; Nascimento et al., 2010; Scomazzon et al., 2016; Moutinho et al., 2016). Biostratigraphic studies based on palynomorphs, fusulinid foraminifera, and conodonts have been also carried out in the Itaituba Formation. These studies have positioned this stratigraphic unit in the upper Bashkirian to lower Moscovian (upper Morrowan to Atokan (Lemos and Medeiros, 1996; Altiner and Savini, 1995; Playford and Dino, 2000; Scomazzon and Lemos et al., 2005; Scomazzon et al., 2016).

The carbonates of the Itaituba Formation, located in the southern platform of the Amazonas Basin, are prominently exposed along the Tapajós River and at the Itacimpasa quarry (Fig. 1). Previous studies by Matsuda (2002) have provided a detailed description of the complete stratigraphic profile of the Itacimpasa section, while Nascimento et al. (2005, 2010) and Scomazzon et al. (2016) have provided a detailed biostratigraphic framework for the section based on conodonts. This studied sequence represents one of the most remarkable outcrops in the southern Amazonas Basin (Fig. 2).



**Figure 2.** Lithostratigraphic profile of the Itacimpasa Section modified from Nascimento et al. (2010). The red box indicates the BAS1 interval studied herein and C1 to C16 representing each collected bed.





## Results

### Systematic palaeontology

This section provides multielement conodont apparatus description. The anatomical notation of conodont elements is based on (Purnell et al., 2000). All specimens described and mentioned are deposited at the Departamento de Paleontologia e Estratigrafia at the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brazil.

Phylum **Chordata** Bateson, 1886

Subphylum **Vertebrata** Cuvier 1812

Class **Conodonta** Pander, 1856

Subclass **Euconodonta** Janvier, 1996

Order **Prioniodinida Sweet, 1988**

Family **Prioniodinidae** Bassler, 1925

Genus ***Idioprioniodus*** Gunnell, 1933

### Type species.

*Idioprioniodus cornutus* (Stauffer & Plummer, 1932) by designation (Merrill et al., 1987).

### Diagnosis.

Seximembrate to septimembrate apparatus consisting of P1 extensiform digyrate element (ponderosiform or geniculate), P2 breviform digyrate element (clarkiform), M dolabrate element (neoprioniodontid), S0 alate element, S1 dolabrate element, S2 breviform digyrate element, S3-S4 bipennate elements; all elements except for S0 exhibit a symmetrical pair (Chauffe & Nichols, 1995; Purnell, et al., 2002).

***Idioprioniodus conjunctus*** (Gunnell, 1931)

Fig. 3.

1931 *Prioniodus conjunctus* Gunnell, p. 247, pl. 29, fig. 7 (M element).

- 1931 *Prioniodus lexingtonensis* Gunnell, p. 246, pl. 29, fig. 4 (S3 element).
- 1931 *Prioniodus tridentatus* Gunnell, p. 246, pl. 29, fig. 3 (S2 element).
- 1931 *Prioniodus clarki* Gunnell, p. 247, pl. 29, fig. 8 (P2 element).
- 1931 *Prioniodus bidentatus* Gunnell, p. 247-248, pl. 29, fig. 6 (S1 element).
- 1931 *Prioniodus missouriensis* Gunnell, p. 247, pl. 29, fig. 9 (S0 element).
- 1933 *Idioproniodus tpus* Gunnell, p. 265, pl. 31, fig. 47 (S4 element).
- 1941 *Lonchodina ponderosa* Ellison, p. 116, pl. 20, fig.37-39 (P1 element).
- 1981 "*Idioproniodus conjunctus*" (Gunnell), Landing and Wardlaw: 1258, pl 1, fig. 13-17, 22, 24, 25.
- 1991 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Brown et al.: Fig 7, 23-29.
- 1993 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Rexroad: Fig 4, 1-14.
- 1999 *Idioproniodus* sp., Scmazzon: 133, e. 2, 2.
- 2004 *Idioproniodus* sp. Scmazzon: 145, pl. 2, 12.
- 2005 *Idioproniodus* sp., Nascimento et al.: 197, fig 2, G.
- 2010 *Idioproniodus* sp., Nascimento et al.: 249, fig 5, I, S, T.
- 2011 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Pope et al.: 231, pl 1, fig. 2-3.
- 2013 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Brown et al.: 114-115, pl. 1, 1-3.
- 2016 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Nestell et al.: 101, pl 1, fig.1-8.
- 2016 *Idioproniodus* sp., Scmazzon et al.: 39, fig 1, 12.
- 2018 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Medina: 340-341, I.1, 6-17; I.2, 1-9.
- 2018 DE – *Ligonodina roundyi* (Hass, 1953), Nemyrovskaya and Hu: 122-123, fig. 12, j
- 2018 DE - *Roundya* sp., Nemyrovskaya and Hu: 122-123, fig. 12, n.
- 2018 *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell), Nemyrovskaya and Hu: 122-123, fig. 12, i.

**Material.**

28 P1 elements, 20 P2 elements, 10 M elements, 28 S4 elements, 13 S3 elements, 31 S2 elements, 14 S1 elements, and 12 S0 elements from the Itacimpassa section, Itaituba Formation, Bashkirian-Moscovian (see Table 1).

**Multielement diagnosis.**

The feeding apparatus of this species is composed of 15 conodont elements. The M elements exhibit an indistinct dolabrate shape. The P1 elements (x2) are extensiform digyrate, while the P2 elements (x2) are breviform digyrate. The S4 elements (x2) are bipennate, and the S3 elements (x2) are breviform digyrate, but smaller in size compared to the P2 elements. The S2 elements (x2) are extensiform digyrate, larger and have different orientations of the processes compared to the P1 element. Additionally, the S1 elements (x2) are dolabrate, and the S0 element (x1) is alate.

**Description.**

M: Dolabrate, wide cusp of medium height, lanceolate in shape, with a straight or convex anterior margin and a depression in the posterior margin where it contacts the basal cavity, giving it a spear-like appearance. The cusp projects aborally and anteriorly, creating a triangular anticusp without any denticles. The posterior process is aborally curved and starts with the first denticle over the basal cusp-cavity structure, sloping outward to allow visibility of the process's aboral region. In recovered elements, the process is usually incomplete, and the denticles are broken. Only the first, curved and pointed denticle can be identified, so the total number of denticles of the posterior process is unknown. In gerontic forms, the denticles of the posterior process are fused at the base and coalescent with the cusp. The sub-triangular basal cavity is large and enlarged, lying below the cusp and the first denticle, extending to the anticusp and the posterior process where it forms a pronounced groove that narrows distally.

P1: Extensiform digyrate, it features a flat cusp in the oral view, with an ellipsoidal section and keeled margins. Due to their size and structure, the processes of the recovered elements are broken near the cusp region. The anterior process has a thickened bar that narrow at the most anterior portion, with 6-8 triangular and



posteriorly curved discrete denticles. The posterior lateral process is characterized by having a thickened bar with a longitudinal groove that extends to its end, with up to 8-9 denticles that develop perpendicularly to the bar, being discrete in size and sharp-pointed, some of which are fused at the base. Both processes display patterns of wear and surface damage on the upper parts of the denticles, as well as in the cusps, similar to the P2 element. The basal cavity is like a small cup. In the aboral view of the processes, the basal cavity's continuation as a groove extending to the most distal areas is evident.

P2: Breviform digyrate, a long cusp of medium size and greater thickness than the S2 element, is slightly tilted backward from the base to the apex, forming a continuous concavity in lateral views. It extends into a globular, deep, and sub-rounded basal cavity that projects as a groove toward its processes. It has anterior and lateral-posterior processes that form an angle of 90° between their growth axes. Most of the processes are broken, preventing the identification of their denticles. This element presents patterns of wear and surface damage in the upper portions of the cusp and denticles.

S4: Bipennate, straight, massive, lanceolate cusp of great height and a sub-elliptical section with keeled lateral margins. In addition to tilting backward, the cusp is rotated towards its anterior process and has a depression at the back between the cusp and the beginning of the posterior process. In lateral view, it is concave at its basal portion, gradually straightening towards the apex. It has an anterior process that rotates and leans inward, giving the impression of being a lateral process, a distinctive feature of this element. It develops up to three subrounded denticles with equal sizes and keeled margins. It also has a posterior process of rectangular section type bar, which is broken in most specimens, with only its first small, triangular, and posteriorly inclined denticle identified. The large basal cavity is wide, with sinuous margins, and projected to both sides of the element. It is more prominent on its outer side and continues towards the processes in the form of a pronounced groove.

S3: Breviform digyrate, thin and elongated cusp of medium size, lanceolate shape at the base, and an ellipsoidal section at the apex due to its keeled margins. In the lateral view, it has a concavity at the base, then straight towards the apex. It

is rotated and tilted posteriorly, with the posterior part facing the lateral-posterior process, causing the keeled margins in the basal portions to be oriented towards the lateral sides of the cusp. It extends as a globular basal cavity that is asymmetrical and anteriorly inclined and continues as a groove in the basal margin of the processes. It has an anterior process that tends to laterally orient itself in the basal portion, and a lateral-posterior process that forms an angle of  $120^\circ$  with its growth axes. The recovered specimens are broken, preventing identification of the quantity and shape of the process denticles.

S2: Extensiform Digyrate, flattened and lanceolate cusp of medium height with keeled margins, posteriorly inclined. Its basal part is concave and its upper part is slightly turned towards its anterior lateral process. This flexion is characteristic of this element. In the anterior process, it was possible to identify the first two denticles that are lanceolate and grow in height and thickness from the cusp toward the most anterior portion. In the posterior-lateral process, the first two denticles were also identified, both broken and with the first denticle positioned in the anterior-lateral zone of the cusp, representing a zone of fragility since most of the recovered elements are broken in this region. Globose basal cavity, slightly widened below the cusp, forming a groove that narrows below both processes. In profile, it is observed that the cavity presents a flexion, giving its basal portion a sigmoidal shape.

S1: Dolabrate, cusp is small and lanceolate, with an ellipsoidal section due to its keeled margins. It is characterized by not being the largest denticle in the element, but it is recognized for lying above the basal cavity, which extends externally towards the anterior region in the form of a well-developed massive triangular denticle, known as the anticusp. The cusp is posteriorly inclined towards the anticusp, and in its upper portion, it is slightly twisted towards its posterior process. In the studied specimens, the posterior process is broken. The shape and total number of denticles in the posterior process are unknown. The basal cavity is globular, closed, and projected internally. It extends anteriorly with a lobed surface exposed beneath the anticusp and in the form of a groove towards the posterior process.

S0: Alate, robust cusp of great height. In the frontal view, it is straight, while in the lateral view, it is curved posteriorly in its basal zone until the middle, where it straightens out to the end of the cusp, forming a pronounced concavity in its basal portion. It has keeled lateral margins in the projection of the process growth axes and, in the posterior basal zone, due to the morphology of the cavity, it presents a depression that extends in the form of a groove and disappears before the middle of the cusp. The lateral processes are located in the same plane perpendicular to the posterior process. Most of the elements have broken processes in the suture area with the cusp, however, the first denticle of each of them was identified. They are elongated, discreet in size compared to the cusp, with an ellipsoidal section due to the tapering of their margins, and slightly inclined posteriorly. The basal cavity is pronounced, globular, and triangular due to the angle of the growth axes, and extends in the form of a groove along the basal margin of the three processes.

#### **Ocurrence.**

In the Amazon Basin the species range from the Upper Bashkirian to the lower part of the Moscovian, occurring in the C4 layer (Upper Bashkirian), and C13 and C14 layers (Lower Moscovian) of the BAS 1 Interval from basal part of the Itacimpassa Section.

#### **Remarks.**

This species can be distinguished from *Idioproniodus cornutus*, the type species of the genus, by the presence of the S1 element in its apparatus. The presence of the lexingtonensiform element (S2 element herein, Fig. 3E'-H') in this reconstruction differentiates it from the species *Idioproniodus healdi*, according to the genus revision by Chauffe and Nichols, (1995). Herein reconstruction is similar to that of Nestell *et al.* (2016), however, there are some difference in the nomenclature. In their reconstruction, the P1 element is referred as the dolabrate "*conjunctus*" (which here is identified as M, Fig. 3A-F), the extensiform digyrate "*ponderosa*" element is designated as M (referred to as P1 in this reconstruction, Fig. 3G-M), and the "*clarki*" element is recognized as the S3 (referred to as P2 herein, Fig. 3N-T).



**Figure 3.** *Idioprioniodus conjunctus* Gunnell, 1931. A-F, M elements: A, MP-M 1712; B, MP-M 1711; C, MP-M 1462; D, MP-M 1709; E-F, MP-M 1710; G-M, P1 elements: G, MP-M 1466; H-I, MP-M 1701; J, MP-M 1700; K, MP-M 1467; L-M, MP-M 1697; N-T, P2 elements: N, MP-M 1708; O-P, MP-M 1707; Q, MP-M 1471; R, MP-M 1706; S-T, MP-M 1705; U-Z, S4 elements: U, MP-M 1717; V, MP-M 1715; W, MP-M 1714; X-Z, MP-M 1713; A'-D', S3 elements: A', MP-M 1721; B', MP-M 1720; C', MP-M 1719; D', MP-M 1718; E'-H', S2 elements: E', MP-M 1722; F', MP-M 1724; G', MP-M 1464; H', MP-M 1725; I'-K', S1 elements: I', MP-M 1727; J', MP-M 1726; K', MP-M 1473; L'-P', S0 elements: L', MP-M 1731;

M', MP-M 1730; N', MP-M 1729; O', MP-M 1474; P', MP-M 1728. All from bed C13 (sample BAS1-9E), except C, G, K, Q, G', K', and O' from bed C14 (BAS1-3F). Itacimpasa section (interval BAS1), Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil; Bashkirian-Moscovian, Early to Middle Pennsylvanian. X110.

### Discussion and conclusions

The widespread marine transgressive-regressive event, responsible for the conodont faunal ingression documented within the studied interval of the Itacimpasa section, is characterized by the presence of the *Idioproniodus*, *Idiognathoides*, *Declinognathodus*, and *Diplognathodus* conodont genera. This event led to the first-ever identification of the species *Idioproniodus conjunctus*, enabling the description of its feeding apparatus.

It is commonly found in wackstones with high faunal conodont content (*Idiognathoides*, *Declinognathodus*, and *Diplognathodus* commonly) in the Basin, associated with low-energy environments related to distal settings, indicating the occurrence of this species in relation to climatic changes and periods of sea-level rise.

The composition and architecture of *Ip. conjunctus* have been and continue to be a subject of debate. The documented apparatus configuration in this study is based on the interpretations of Chauffe and Nichols (1995), as it is considered the most up to date comprehensive review of the genus. Additionally, the composition proposed by Purnell et al. (2002) in their analyses of natural assemblages in North America and Europe was taken into account.

The apparatus of *Ip. conjunctus* is composed of 15 elements, which include six single pairs of elements: P1, P2, M, S4, S3, S2, and S1, as well as one unpaired bilaterally symmetrical S0 element (Fig. 3). Morphotypes of *Ip. conjunctus* here documented exhibit distinct morphologies in their juvenile and adult specimens. In juvenile morphotypes, they display elongated, pointed, and slender denticulate processes, while in adult morphotypes, these processes become more robust with thickened structures and denticles that may have fused or coalesced bases, as observed in the M elements (Fig. 3A-E). In the P elements, there is evidence of patterns of wear and surface damage, which have also been observed in *Idioproniodus* specimens from Pennsylvanian faunas in the Michigan Basin

(Landing, and Wardlaw, 1981; Nestell et al., 2016). These wear patterns and surface damage are identified on ozarkodinids in studies conducted by Purnell and Jones (2012). They are considered structures resulting from the occlusion of P elements due to abrasion with food and sediment during the act of cutting or masticating. It is likely that these structures in the apparatus of *Idioproniodus* served similar functions (Fig. 3H-I, L-M, O-P).

In this paper, we are in agreement with the nomenclature proposed by Purnell et al. (2002) wherein is designated the larger extensiform digyrate element as S2, the bipennate element as S4, the S1 element as a dolabrate element with a developed anticusp, and the S0 element as an alate element. However, it is important to note that the presence of the breviform digyrate S3 element in the herein reconstruction, as reported in North America by Nestell et al. (2016), differs from previous reconstructions of *Ip conjunctus*, which typically describe a bipennate series of S3-S4 elements.

This new documentation of *Idioproniodus* and its multitaxonomy offers invaluable initial insights into the feeding behavior and ecological role of *Ip. conjunctus* in the region. It also represents the first attempt at reconstructing a conodont taxon apparatus within the Amazonas Basin.

#### **CRedit authorship contribution statement**

**Martin Andrés León-Caffroni:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Software, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Ana Karina Scomazzon:** Writing – review & editing, Methodology, Investigation, Formal analysis, Conceptualization. **Sara Nascimento:** Writing – review & editing, Methodology, Investigation, Data curation. **Sanmya Karolyne Rodrigues Dias:** Writing – review & editing, Investigation. **Andrés Felipe Rojas Mantilla:** Writing – review & editing, Investigation. **Paulo Alves de Souza:** Investigation, Funding acquisition.

### **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 to funding provided by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and support by BIOCRO NORTE Project, UFRGS-PETROBRAS [IAP 00803]. Thanks to the BIOCRO NORTE project group for the contributions and discussions.

### **References**

- Altiner, D., Savini, R., 1995. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimoes basins (North Brazil). *Revue de paleobiologie*, 14(2), 417-453.
- Bassler, R. S., 1925. Classification and stratigraphic use of the conodonts. *Geological Society of America Bulletin*, 36: 218-220.
- Bateson, W., 1886. The ancestry of the Chordata. *Quarterly Journal of Microscopical Sciences*, 26: 535-571. <https://doi.org/10.1242/jcs.s2-26.104.535>
- Brown, L. M., Rexroad, C. B., Zimmerman, A. N., 2013. Conodont biostratigraphy of the Porvenir Formation (Pennsylvanian, Desmoinesian) in the south eastern Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. *Mountain Geologist*, 50: 99–119
- Brown, L. M., Rexroad, C. B., Eggert, D. L., Horowitz, A. S., 1991. Conodont paleontology of the Providence Limestone Member of the Dugger Formation (Pennsylvanian, Desmoinesian) in the southern part of the Illinois Basin. *Journal of Paleontology*, 65(6), 945-957. <https://doi.org/10.1017/S0022336000033266>
- Caputo, M.V., 1984. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology, and paleogeography of Northern basins of Brazil. Ph.D. These. The University of California, Santa Barbara, 583 p.

- Caputo, M.V. (2014). *Estratigrafia, Tectônica e Magmatismo*. Belém: UFPA.
- Caputo, M. V., Silva, O. D., 1990. Sedimentação e tectônica da Bacia do Solimões. *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares. PETROBRAS, Rio de Janeiro*, 169-193.
- Chauffe, K., Nichols, P., 1995. Differentiating evolution from environmentally induced modifications in Mid-Carboniferous conodonts. *Palaeontology*, 38(4): 875-895.1-31.
- Cunha, P. R. C., Gonzaga, F.G., Coutinho, L. F. C., Feijó, F. J., 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências Petrobras* 8 (1), 47–55.
- Cunha, P., Melo, J., Silva, O., 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências Petrobras*, 15(2).
- Cuvier, G., 1812. *Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes: où l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du globe paroissent avoir détruites* (4).
- Davydov, V. I., Korn, D. K., Schmitz, M. D., Gradstein, F. M., Hammer, Ø., 2012. The carboniferous period. In *The geologic time scale 2012* (pp. 603-651).
- Ellison, S., 1941. Revision of the Pennsylvanian conodonts. *Journal of Paleontology*, 107-143.F
- Gunnell, F. H., 1931. Conodonts from the Fort Scott Limestone of Missouri. *Journal of Paleontology*, 5: 244-252.
- Gunnell, F. H. , 1933. Conodonts and fish remains from the Cherokee, Kansas City, and Wabaunsee Groups of Missouri and Kansas. *Journal of Paleontology*, 7: 261-297.
- Janvier, P., 1996. The dawn of the vertebrates: characters versus common ascent in the rise of current vertebrate phylogenies. *Palaeontology*, 39: 259-287.
- Landing, E. D., Wardlaw, B. R., 1981. Atokan conodonts from the Pennsylvanian outlier of the Michigan Basin. *Journal of Paleontology*, 1251-1269.



Lemos, V. B., Scmazzon, A. K., 2001. Carboniferous biochronostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil, based on conodonts. *Ciência Técnica Petróleo*, 20, 131-138.

Lemos, V.B., Medeiros, R. A., 1996. Conodontes do Carbonífero Inferior da bacia do Amazonas. *Boletim de geociências da PETROBRAS*, 10(1-4), 55-60.

Matsuda, N., 2002. *Carbonate sedimentation cycle and origin of dolomite on the Lower Pennsylvanian intracratonic Amazonas Basin, Northern Brazil* (Unpublished doctoral dissertation, Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo).

Matsuda, N., Winter, W., Wanderley Filho, J., Cacela, A. M., 2010. O Paleozoico da borda sul da Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 18(11), 123-152.

Medina V. P., 2018. Conodontos del Carbonífero de la Meseta Central y de la Cuenca de Tindouf (Marruecos). Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid, España. E-prints Complutense Repository: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49301/>

Merrill, G.K., Grayson, R.C., Mosley, J.K., 1987. Restudy of the localities and conodont faunas of Stauffer & Plummer, 1932. 23-45. In: Grayson, R. C., Merrill, G. K. & Miller, J. F., Early and Late Paleozoic conodont faunas of the Llano uplift region, central Texas– biostratigraphy, systematic boundary relationships, and stratigraphic importance, a guidebook, 21st Annual Meeting of the South Central Section of the Geological Society of America. Baylor University and Geological Society of America, Waco, Texas. 23-47.

Moutinho, L. P., Scmazzon, A. K., Nascimento, S., Lemos, V. B., 2016. Taphofacies of Lower-Middle Pennsylvanian marine invertebrates from the Monte Alegre and Itaituba formations, part of the outcropped marine sequence of the Tapajós Group (Southern Amazonas Basin, Brazil)—regional palaeoecological models. *Journal of South American Earth Sciences*, 70, 83-114. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.05.003>

Nascimento, S., Scomazzon, A. K., Moutinho, L. P., Lemos, V. B., Matsuda, N. S., 2005. Conodont biostratigraphy of the Lower Itaituba formation (Atokan, Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil. *Revista brasileira de paleontologia*. Vol. 8, n. 3, 193-202.

Nascimento, S., Scomazzon, A. K., Lemos, V. B., moutinho, L. P., Matsuda, N. S., 2010. Bioestratigrafia e paleoecologia com base em conodontes em uma seção de carbonatos marinhos do Pensilvaniano inferior, Formação Itaituba, borda sul da Bacia do Amazonas, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 37(3), 243-256.

Neis, P.A., 1996. Resultados Biocronoestratigráficos das Associações de Conodontes da Formação Itaituba, Carbonífero Superior (Pensilvaniano), da Bacia do Amazonas. Unpublished Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 138p.

Nemyrovska, T.I., Hu, K., 2018. Conodont association of the Bashkirian-Moscovian boundary interval of the Donets Basin, Ukraine. [Asociaciones de conodontos de la transición Bashkiriense-Moscoviense de la Cuenca del Donets, Ucrania]. *Spanish Journal of Palaeontology*, 33 (1), 105-128. <http://dx.doi.org/10.7203/sjp.33.1.13245>

Nestell, M. K., Wardlaw, B. R., Pope, J. P., 2016. A well-preserved conodont fauna from the Pennsylvanian Excello Shale of Iowa, USA. *Micropaleontology*, 62(2), 93-114. <http://dx.doi.org/10.47894/mpal.62.2.01>

Neves, K. M. M., Barbosa, V. P., 2019. Caracterização paleoambiental a partir de microfácies carbonáticas da Formação Itaituba (Pensilvaniano Inferior da Bacia do Amazonas), no município de Itaituba (PA). *Pesquisas em Geociências*, 46(2). <https://doi.org/10.22456/1807-9806.95467>

Pander, C. H., 1856. *Monographie der fossilen Fische des silurischen Systems der russisch-baltischen Gouvernements*. St. Petersburg: Akademie Wissenschaften, 91 p.

Playford, G., Dino, R., 2000. Palynostratigraphy of upper Palaeozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin, Brazil. *Palaeontographica Abteilung B*, 1-46.

Pope, J. P., Pronina–Nestell, G. P., Nestell, M. K., Barrick, J. E., 2011. A remarkable Middle Pennsylvanian microfossil assemblage from the Excello Shale Member, Mouse Creek Formation, south–central Iowa, USA. In *Proceedings of the Sixth International Conference “Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology* (pp. 230-233).

Purnell, M. A., Donoghue, P. C., Aldridge, R. J., 2000. Orientation and anatomical notation in conodonts. *Journal of Paleontology*, 74(1), 113-122. <http://dx.doi.org/10.1017/S0022336000031292>

Purnell, M., Donoghue, P., Aldridge, R., Von Bitter, P. H., 2002. Natural assemblages of Idioprioniodus (Conodonts, Vertebrata) and the first three-dimensional skeletal model of a prioniodinid conodont. In *Strata, Série 1, Abstracts of the Eighth International Conodont Symposium held in Europe*, 12, p. 100.

Purnell, M. A., Jones, D., 2012. Quantitative analysis of conodont tooth wear and damage as a test of ecological and functional hypotheses. *Paleobiology*, 38 (4), 605-626. <http://dx.doi.org/10.2307/41684303>

Rexroad, C. B., 1993. Conodonts from coal balls in the Springfield Coal Member of the Petersburg Formation (Desmoinesian, Pennsylvanian) in southern Indiana. In *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 102, (1-2),. 83-92.

Scomazzon, A.K., 1999. Refinamiento bioestratigáfico, com base em conodontes, no Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, Região do Tapajós. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil.

Scomazzon, A. K., 2004. Estudo de conodontes em carbonatos marinhos do Grupo Tapajós, pensilvaniano inferior com aplicação de isótopos de Sr e Nd neste intervalo. Doctoral dissertation, Universidade Federal de Rio Grade do Sul, Porto Alegre, Brazil. LUME Repository <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12720>

Scomazzon, A. K., Lemos, V. B., 2005. Diplognathodus occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. *Revista brasileira de paleontologia*. 8, (3), 203-208. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2005.3.04>

Scomazzon, A. K., Moutinho, L. P., Nascimento, S., Lemos, V. B., Matsuda, N. S., 2016. Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group, Early-Middle Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 65, 25-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2015.11.004>

Silva, P. A. S., Afonso, J. W. L., Soares, J. L., Nogueira, A. C. R., 2015. Depósitos de plataforma mista, Neocarbonífero da Bacia do Amazonas, região de Uruará, estado do Pará. *Geologia USP. Série Científica*, 15(2), 79-98. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i2p79-98>

Silva, P. A. S., 2019. O mar epicontinental Itaituba na região central da Bacia do Amazonas: paleoambiente e correlação com os eventos paleoclimáticos e paleoceanográficos do Carbonífero. Doctoral dissertation, Universidade Federal do Para, Belém, Brazil. p. 140. UFPA Repository <http://repositorio.ufpa.br/handle/2011/10774>

Silva, P. A. S., Nogueira, A. C. R., Soares, J. L., Bandeira, J., Scomazzon, A. K., Nascimento, S., Moutinho, L. P., Dias, S. K., 2022. Pennsylvanian mixed siliciclastic-carbonate deposits of the Amazonas basin, North of Brazil: The record of an epicontinental sea in Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 114, 103691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103691>

Stauffer, C., Plummer, H., 1932. Texas Pennsylvanian conodonts and their stratigraphic relation. *University of Texas Bulletin*, 3201: 13-50.

Sweet, W. C., 1988. *Morphology, Taxonomy, Paleoecology and Evolutionary History of a Long-Extinct Animal Phylum*. New York: Oxford University Press, Monographs on Geology and Geophysics 10, 212 p.

Wanderley Filho, J. R., 1991. Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua relação com o embasamento. Master's thesis, Universidade Federal do Para, Belém, Brazil. UFPA Repository <http://repositorio.ufpa.br/handle/2011/11738>

## PARTE III. COMPLEMENTOS

### ANEXO A – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO

27/9/23, 17:57

Gmail - MARMIC-D-23-00067 - Confirming your submission to Marine Micropaleontology



Martin Andrés León Caffroni &lt;geocaffroni@gmail.com&gt;

#### MARMIC-D-23-00067 - Confirming your submission to Marine Micropaleontology

1 mensaje

Marine Micropaleontology &lt;em@editorialmanager.com&gt;

31 de agosto de 2023, 21:57

Responder a: Marine Micropaleontology &lt;support@elsevier.com&gt;

Para: MARTIN ANDRÉS LEÓN-CAFFRONI &lt;geocaffroni@gmail.com&gt;

\*This is an automated message.\*

First occurrences of *Idioproniodus conjunctus* (Gunnell, 1931) from Pennsylvanian carbonate deposits of Amazonas Basin, Brazil: multitaxonomy implications

Dear Mr LEÓN-CAFFRONI,

We have received the above referenced manuscript you submitted to Marine Micropaleontology. It has been assigned the following manuscript number: MARMIC-D-23-00067.

To track the status of your manuscript, please log in as an author at <https://www.editorialmanager.com/marmic/>, and navigate to the "Submissions Being Processed" folder.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,  
Marine Micropaleontology

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>

FAQ: How can I reset a forgotten password?

[https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/28452/supporthub/publishing/kw/editorial+manager/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/kw/editorial+manager/)

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, then you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated Scientific Managing Editor, a tool assisted recommendation, or a combination. For more details see the journal guide for authors.

#AU\_MARMIC#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

*In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Remove my information/details). Please contact the publication office if you have any questions.*

## Marine Micropaleontology

### First occurrences of *Idiopriionodus conjunctus* (Gunnell, 1931) from Pennsylvanian carbonate deposits of Amazonas Basin, Brazil: multitaxonomy implications --Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	
<b>Article Type:</b>	VSI: Conodonts
<b>Keywords:</b>	multitaxonomy; conodont apparatus; <i>Idiopriionodus</i> ; Itaituba Formation
<b>Corresponding Author:</b>	MARTIN ANDRÉS LEÓN-CAFFRONI Federal University of Rio Grande do Sul Porto Alegre, RS BRAZIL
<b>First Author:</b>	MARTIN ANDRÉS LEÓN-CAFFRONI
<b>Order of Authors:</b>	MARTIN ANDRÉS LEÓN-CAFFRONI Ana Karina Scomazon Sara Nascimento Sanmya Karolyne Rodrigues Dias Andrés Felipe Rojas Mantilla Paulo Alves de Souza
<b>Manuscript Region of Origin:</b>	South America
<b>Abstract:</b>	This study reports a conodont fauna of the genus <i>Idiopriionodus</i> from marine Pennsylvanian deposits in the Amazonas Basin, located in northern Brazil, resulting from a marine ingression event. The Tapajos Group represents a transgressive-regressive sequence associated with the Gondwanan deglaciation during the Pennsylvanian through the early Permian. The Itaituba Formation, a unit within the Tapajos Group, is characterized as an epicontinental sea with warm waters, and its fossiliferous carbonate deposits are rich in conodonts. In this study, a section of the Itaituba Formation, known as the Itacimpasa Section, located in the southern part of the Amazonas Basin platform, was investigated. The lower portion of this section, referred to as the BAS 1 Interval, was sampled, revealing a marine ingression event between the late Bashkirian and early Moscovian, represented by conodont genera <i>Idiopriionodus</i> , <i>Idiognathoides</i> , <i>Declinognathodus</i> , and <i>Diplognathodus</i> . The analyzed samples made it possible to identify <i>Idiopriionodus conjunctus</i> for the first-time. Moreover, due to the significant number of ramiform elements, it was possible to register and propose the first multielement apparatus of <i>Idiopriionodus</i> in the Amazonas Basin. The recognition of the <i>Idiopriionodus conjunctus</i> and its apparatus makes a valuable contribution to the understanding of the ecological role and multitaxonomic aspects of these conodont genera in the basin.
<b>Suggested Reviewers:</b>	Guillermo L. Guillermo National University of Cordoba galbanesi@arnet.com.ar Geologist, conodontologist, experience in sedimentology, biostratigraphy, stratigraphy.  Valquíria Porfírio Barbosa Federal University of Amazonas valquiriapb@ufam.edu.br Geologist, Micropaleontologist, experience in paleontology, microfossils, Amazonian fossils.  Oscar Florencio Gallego National University of the Northeast osflogallego@gmail.com Micropaleontologist, experience in fossils and microfossils of South America.  Jaime Fernandes Eiras Petrobras

eiras.jaime.49@gmail.com  
Exploration blocks in the Solimões and Amazonas Basins, Tectonics, Sedimentation,  
Stratigraphy, Sequence Stratigraphy, Petroleum Systems, Geochemistry, and Seismic  
Interpretation.



## ANEXO B – CERTIFICADOS DE APRESENTAÇÕES EM EVENTOS

**Nome: Martin León Caffroni, Sara Nascimento e Ana Karina Scomazzon**

**ENCONTRO REGIONAL DE PALEONTOLOGIA – XXIII PALEO PR/SC / I SIMPÓSIO DO LONTRAS**

**CONTEÚDO/TEMAS:**

Apresentação em banner: ASSOCIAÇÃO DE ELEMENTOS CONODONTES DA ESPÉCIE *Idioproniodus conjunctus* GUNNELL, 1931, PRESERVADOS EMCARBONATOS DE IDADE PENNSILVANIA NA FORMAÇÃO ITAITUBA, ESTADO DO PARÁ, BRASIL

**CARGA HORÁRIA: 10H**



Registro sob nº 1732/274103122022. Para verificar a autenticidade acesse: [www.unc.br/inscricoes/validar\\_certificado\\_palestrante](http://www.unc.br/inscricoes/validar_certificado_palestrante)



**Universidade do Contestado - UnC**  
Campus Universitário de Mafra

# Certificado

Certificamos que **Martin León Caffroni, Sara Nascimento e Ana Karina Scomazzon** apresentou trabalho na forma de banner, intitulado **ASSOCIAÇÃO DE ELEMENTOS CONODONTES DA ESPÉCIE *Idioproniodus conjunctus* GUNNELL, 1931, PRESERVADOS EM CARBONATOS DE IDADE PENNSILVANIA NA FORMAÇÃO ITAITUBA, ESTADO DO PARÁ, BRASIL**, no evento ENCONTRO REGIONAL DE PALEONTOLOGIA - XXIII PALEO PR/SC / I SIMPÓSIO DO LONTRAS, realizado pela Universidade do Contestado Campus Mafra, entre os dias 01 e 03 de dezembro de 2022. Totalizando 10 horas.

Mafra/SC, 03 de dezembro de 2022.

Prof. Pollyana Weber da Maia Pawlowytsch  
Diretora de Campus

UnC