

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

AMANDA PERICOLO DA ROSA

**ANÁLISE HISTOLÓGICA EM ELEMENTOS CONODONTES DAS BACIAS
PALEOZOICAS DO NOROESTE DO GONDWANA**

Porto Alegre, 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

AMANDA PERICOLO DA ROSA

**ANÁLISE HISTOLÓGICA EM ELEMENTOS CONODONTES DAS BACIAS
PALEOZOICAS DO NOROESTE DO GONDWANA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Karina Scomazzon

Supervisora: Dra. Sara Nascimento

Porto Alegre, 2024

CIP - Catalogação na Publicação

da Rosa , Amanda Pericolo
ANÁLISE HISTOLÓGICA EM ELEMENTOS CONODONTES DAS
BACIAS PALEOZOICAS DO NOROESTE DO GONDWANA / Amanda
Pericolo da Rosa . -- 2024.
58 f.
Orientador: Ana Karina Scomazzon.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2024.

1. Elementos conodontes. 2. Análise Histológica. 3.
Lamelas de crescimento . I. Scomazzon, Ana Karina,
orient. II. Título.

AMANDA PERICOLO DA ROSA

**ANÁLISE HISTOLÓGICA EM ELEMENTOS CONODONTES DAS BACIAS
PALEOZOICAS DO NOROESTE DO GONDWANA**

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título Bacharel em Geologia.

Porto Alegre, 15 de janeiro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Erthal

Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Dra. Daiana Boardman

Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Msc. Cristiane Frozza

Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Agradecimentos

Nestes seis anos onde me dediquei à graduação pude me encontrar profissionalmente e me reencontrar como pessoa. A Geologia, curso este que relutei em começar, me proporcionou viver momentos que antes eu não poderia sequer imaginar. Conheci diversas pessoas maravilhosas, fui a lugares incríveis que antes não sonharia em conhecer, adquiri conhecimentos e experiências que com toda certeza agregaram muito no meu crescimento pessoal e profissional. Ao enorme carinho que sinto por todos aqueles que passaram por essa trajetória, incluindo aqueles não citados aqui, mas que sabem de sua importância, venho aqui agradecer.

À minha mãe Carla Pericolo, a minha irmã Gabriele Pericolo, a minha sobrinha Laura, e a minha prima Bianca Pericolo, que sempre acreditaram em mim e me deram forças e todo o apoio possível para que eu chegasse até o final dessa trajetória. Muito obrigada, eu amo vocês.

À minha amiga e irmã, Raíssa, a primeira pessoa a falar comigo no meu primeiro dia de aula, e daquele dia lá em 2018 até o presente momento, me acompanhou e fez parte da minha jornada de crescimento e conhecimento. Muito obrigada por essa incrível amizade e por tudo o que vivemos.

À minha grande amiga, Amandinha, que me acompanha desde antes da geologia. E mesmo com os altos e baixos da vida, estamos aqui, sempre incentivando, motivando e dando o maior suporte e carinho. Amo você.

Aos meus amigos, que o nome do nosso grupo sempre muda de acordo com os eventos que fazemos, Natália, Laís, Adriana, Renata, Laura, Carol, Cássia, Priscila, Jordana, Chris, Lucca, Maurício, Pedro, João e Misa. Vocês são a minha família. Nem se eu escrevesse um livro falando de cada um expressaria todo o amor que sinto, foi pelo apoio e carinho de vocês que consegui chegar até o final dessa loucura que chamamos de geologia. Obrigada por todo o incentivo, risadas, fofocas, festas, churrascos, piadas de humor duvidoso, palavras e gestos amorosos. Eu amo vocês.

Aos amigos que fiz e outros que me aproximei, principalmente pelos trabalhos de campo e fazendo parte da gestão do Centro Acadêmico dos Estudantes de Geologia em 2023, vocês são incríveis e marcaram minha vida para sempre.

À minha orientadora, Ana Karina, pelos ensinamentos, conselhos e por todo o incentivo que me deu desde que entrei para o Laboratório de Conodontes e Foraminíferos. A minha paixão e foco maior sempre foi trabalhar com Paleontologia, e você me deu essa oportunidade que só fez crescer mais ainda meu amor pela área. Dentro da sala 211 do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia foi onde decidi definitivamente o caminho que quero trilhar. À Sara, que sempre veio me falar as ideias mais malucas para trabalharmos (menção honrosa ao GU), e as conversas mais aleatórias possíveis. Vocês são a minha inspiração.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Conodontes e Foraminíferos, principalmente Jordana e Luiza, pelas brincadeiras, fofocas, gargalhadas, trabalhos, festinhas, e claro, muito apoio e carinho. À minha amiga lasmin, por várias vezes ter me salvado, pelas fofocas, desabafos, e também muito apoio para terminarmos esse TCC. É uma honra poder trabalhar e evoluir ao lado de mulheres tão maravilhosas como vocês.

Ao Projeto (8391) BIOCRONORTE - Biocronoestratigrafia das bacias do Amazonas, Parnaíba e Solimões pela oportunidade de bolsa de iniciação científica. À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Campus do Vale, o melhor e mais bonito campus desta universidade. O ensino público e de qualidade pode e deve ser de direito de todos, esse espaço também é daqueles que vieram de baixo, assim como eu.

Resumo

A análise histológica consiste no estudo de tecidos e células e como essas porções se organizam para a formação de estruturas internas tanto no corpo de animais como de vegetais. O foco principal deste tipo de estudo é analisar a origem, estruturação e diferenciação dos tecidos. Os conodontes compõem um grupo extinto de cordados primitivos, exclusivamente marinhos, comuns no Paleozoico, encontrados do Cambriano ao Triássico. Possuíam estruturas mineralizadas milimétricas compostas por fluorapatita, denominadas elementos conodontes. Esses elementos constituem o aparelho alimentar do animal conodonte e são o foco dos estudos realizados nesses organismos. Suas ocorrências permitem realizar correlações de unidades estratigráficas; auxiliar em um melhor entendimento quanto às condições paleoambientais, além de serem excelentes fósseis-guia para a bioestratigrafia e importante ferramenta no estudo da evolução dos vertebrados. Este projeto visou o estudo das estruturas internas formadoras dos elementos conodontes, que são as lamelas de crescimento, somente observáveis através de análise histológica. Os elementos conodontes escolhidos são provindos de diferentes bacias e tempos geológicos, sendo estes das: Bacias do Amazonas, Parnaíba e Paraná no Brasil, Província de Salta na Argentina, e Bacia do *Midcontinent* nos Estados Unidos. Pode-se constatar que há diferenças na angularidade e tamanho das lamelas quando compara-se os diferentes tipos morfológicos de elementos conodontes. Também, os elementos da Argentina apresentaram cor cinza que, de acordo com o IAC, indicam altas temperaturas de soterramento. Já os elementos das demais localidades apresentaram cor âmbar que, de acordo com o IAC, indicam baixas temperaturas de soterramento (mais favoráveis à preservação das lamelas de crescimento), assim, é possível que esses indivíduos vivessem em condições ambientais semelhantes.

Palavras-Chave: Morfologia; Estruturas Internas; Lamelas de crescimento; Conodontes.

Abstract

Histological analysis consists of the study of tissues and cells and how these components are organized to form internal structures in both the bodies of animals and plants. The main focus of this type of study is to analyze the origin, structuring, and differentiation of tissues. Conodonts constitute an extinct group of primitive chordates, exclusively marine, common in the Paleozoic era, found from the Cambrian to the Triassic. They had millimeter-sized mineralized structures composed of fluorapatite, called conodont elements. These elements make up the feeding apparatus of the conodont animal and are the focus of studies conducted on these organisms. Their occurrences allow for correlations of stratigraphic units, assisting in a better understanding of paleoenvironmental conditions, and serving as excellent guide fossils for biostratigraphy, as well as an important tool in the study of vertebrate evolution. This project aimed to study the internal structures forming the conodont elements, which are the growth lamellae, only observable through histological analysis. The selected conodont elements come from different basins and geological times, including the Amazon, Parnaíba, and Paraná basins in Brazil, the Salta Province in Argentina, and the Midcontinent Basin in the United States. It can be observed that there are differences in the angularity and size of the lamellae when comparing different morphological types of conodont elements. Additionally, the elements from Argentina exhibited a gray color, which, according to the IAC, indicates high burial temperatures. On the other hand, elements from other locations showed an amber color, which, according to the IAC, indicates low burial temperatures (more favorable for the preservation of growth lamellae). Thus, it is possible that these individuals lived in similar environmental conditions.

Keywords: Morphology; Internal Structures; Growth Lamellae; Conodonts.

Lista de Figuras

- Figura 1.** Animal conodonte. A) Representação do Animal conodonte. B) Morfologia externa dos elementos conodontes, dispostos em uma cabeça de alfinete. 1.Pectiniforme, 2. Lâmina Livre, 3. Cônico, 4. Ramiformes. Modificado de Purnell *et al.* (1995). **16**
- Figura 2.** Localização da Província de Salta, Argentina, durante o Ordoviciano. Fonte: Deep Time Maps™ (2020). **18**
- Figura 3.** Localização da Bacia do Amazonas durante o Devoniano. Fonte: Deep Time Maps™ (2020). **19**
- Figura 4.** Localização das Bacias do Parnaíba, Amazonas e *Midcontinent* durante o Pensilvaniano. Modificado de Da Silva *et al.* (2018). **20**
- Figura 5.** Localização da Bacia do Paraná durante o Permiano. Fonte: Deep Time Maps™ (2020). **22**
- Figura 6.** Comparativo histológico entre um elemento conodonte e um vertebrado (dente de peixe paleoniscídeo). A) Seta em vermelho indicando as lamelas de crescimento numa lâmina livre de elemento conodonte. B) e C) Dentes de peixes paleoniscídeos. 1. Esmalte (capuz apical), 2. Dentina. Imagem do Acervo do LACONF - Laboratório de Conodontes e Foraminíferos. **25**
- Figura 7.** Índice de alteração de cor em elementos conodontes com índice entre 1 e 5. (Modificado de Epstein *et al.*, 1977). **28**
- Figura 8.** Índice de alteração de cor em elementos conodontes entre itens de 5 a 8. (Modificado de Rejebian *et al.*, 1987). **29**
- Figura 9.** Estereomicroscópio Óptico Zeiss® SteREO Discovery.V8 acoplado a câmera AxioCam 105 color. **33**
- Figura 10.** Pastilhas e materiais utilizados para a realização desta etapa do estudo. A) Pastilhas após secagem na estufa. B) Lixa utilizada no aplainamento das pastilhas, Lixa D'Água Microfina N1500 T402 - Norton. C) Lixa utilizada no polimento das pastilhas, Lixa Microcut PSA - P4000. D) Limpador Ultrassônico (*UltraSonic Cleaner*) USC700. **35**

Figura 11. Microscópios utilizados para fotografias. A) Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2. B) Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m. **36**

Figura 12. Elementos conodontes vistos em Estereomicroscópio óptico Zeiss® SteREO Discovery.V8. A) Elemento cônico, amostra ARG. B) Elemento plataformado, amostra MO-16-1A. C) Elemento conodonte, amostra KC9. D) Elemento ramiforme, amostra MAFRA. E) Elemento conodonte, amostra KC9. F) Elemento laminado, amostra BAS-1-9E. G) Elemento laminado, amostra MO-16-1A. H) Elemento laminado, amostra KC9. I) Elemento laminado, amostra 1RX-1AM. **37**

Figura 13. Elementos conodontes da Província de Salta, Argentina (ARG). A) e B) Elemento conodonte P1-E1 em diferente ângulo de incidência de luz. C) Elemento conodonte P2-E1. D) Elemento conodonte P2-E1 em detalhe em sua porção mais superior e central. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m. **38**

Figura 14. Elementos conodontes da Bacia do Amazonas (BAS-1-9E). A) e B) Elemento conodonte P1-E2 em diferentes focos, onde A está focado na porção superior da cúspide e em B, na porção mais basal. C) Elemento conodonte P1-E1. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio óptico Zeiss® Axio Imager A2. **39**

Figura 15. Elementos conodontes da Bacia do Amazonas (BAS-1-9E). A) e B) Elemento conodonte P1-E2 em diferentes focos, onde A está focado na porção superior da cúspide e em B, na porção mais basal. C) Elemento conodonte P1-E1. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m **40**

Figura 16. Elementos conodontes da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). A) Elemento conodonte P1. B) e C) Elemento conodonte P2 em diferentes focos. D) Elemento conodonte P3. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2. **41**

Figura 17. Elementos conodontes da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). A) Elemento conodonte P1. B) Elemento conodonte P1 em diferente ângulo de incidência de luz. C) Elemento conodonte P2. Seta vermelha indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m. **42**

Figura 18. Elementos conodontes da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). D) Elemento conodonte P3. E) Elemento conodonte P3 em diferente ângulo de incidência de luz.

Seta vermelha: lamelas de crescimento. Seta amarela: Dentículos que compõem a coroa. Seta roxa: cavidade basal. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m. **43**

Figura 19. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). A) Elemento conodonte P1-E3. B) Elemento conodonte P1-E3 em detalhe em sua porção mais central. C) Elemento conodonte P4-E2. D) Elemento conodonte P4-E2 em detalhe em sua porção superior da cúspide. E) Elemento conodonte P4-E2 em detalhe em sua porção mais central. F) Elemento conodonte P4-E1. Setas vermelhas indicando as lamela de crescimento. Fotos: Microscópio óptico Zeiss® Axio Imager A2. **44**

Figura 20. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). G) Elemento conodonte P1-E1. H) Elemento conodonte P1-E1 em detalhe em sua porção mais basal. I) Elemento conodonte P3. J) Elemento conodonte P5. K) Elemento conodonte P5 em objetiva de maior aumento, 10x. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2. **45**

Figura 21. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). A) Elemento conodonte P1-E3. B) Elemento conodonte P1-E3 em detalhe em sua porção mais central e basal. C) Elemento conodonte P1-E3 em detalhe em sua porção mais central. D) Elemento condonte P3. E) Elemento conodonte P4-E2. F) Elemento conodonte P4-E2 em detalhe em sua porção superior da cúspide. G) Elemento conodonte P4-E1. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m. **46**

Figura 22. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). H) Elemento conodonte P1-E1. I) Elemento conodonte P1-E1 em detalhe na cúspide menos fragmentada. J) Elemento conodonte P1-E1 em detalhe na porção superior de sua cúspide. K) Elemento conodonte P1-E1 em detalhe na sua porção mais basal. L) Elemento conodonte P5. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m. **47**

Figura 23. Comparativo entre os padrões de crescimento descritos por Donoghue (1998) e os padrões observados nas amostras deste estudo. A) Tipo III de crescimento, visto nos elementos ramiformes de Ozarkodina, caracterizado pela

adição periódica de novos dentículos durante a secreção marginal do tecido corono lamelar. A gênese do dentículo é iniciada pela evaginação do crescimento lamelar normal e pela incorporação de uma 'cavidade de crescimento'. B) Tipo IV de crescimento, exemplificado nos elementos ramiformes de gnátodidos, no qual dentículos são adicionados continuamente durante a acreção marginal do tecido corono. A dentição repetitiva resulta da diferenciação dos dentículos. C) Elemento conodonte P3 da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). D) Elemento conodonte P4-E1 da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). Fonte: A e B) retirados de Donoghue (1998).

Lista de Quadros

Quadro 1. Catalogação e separação dos elementos conodontes indicando quais metodologias foram aplicadas em cada amostra **32**

Quadro 2. Apresentação dos resultados descritos indicando quais amostras apresentaram lamelas de crescimento. **48**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Justificativa	16
1.2. Objetivos e Metas	17
2. CONTEXTOS GEOLÓGICOS	18
2.1. Província de Salta, Formação Santa Gertrudis, Argentina	18
2.2. Bacia do Amazonas, Formação Barreirinha, Brasil	19
2.3. Bacia do Amazonas, Formação Itaituba, Brasil	20
2.4. Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil	20
2.5. Bacia do <i>Midcontinent</i> , Grupo Kansas City, Estados Unidos	21
2.6. Bacia do Paraná, Formação Campo Mourão, Brasil	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1. Histologia dos Dentes de Vertebrados	23
3.2. Histologia em Elementos Conodontes	25
3.3. Índice de Alteração de Cor	27
4. METODOLOGIA	30
4.1. Materiais	30
4.2. Métodos	31
4.2.1. <i>Fotografias em Estereomicroscópio</i>	33
4.2.2. <i>Preparação de Pastilhas</i>	34
4.2.3. <i>Fotografias em Microscópios Ópticos</i>	35
5. RESULTADOS	37
6. DISCUSSÕES	49
7. CONCLUSÕES	53
8. REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

Conodontes foram vertebrados marinhos primitivos (Fig. 1A) de ocorrência mundial. Na região cefálica possuíam aparelhos alimentares compostos por conjuntos de elementos conodontes (estruturas microscópicas com tamanho entre 0,25 - 2 mm), compostas de fluorapatita, com morfologias externas variadas, denominadas cônicos, ramiformes e pectiniformes e que possuíam função alimentar (Fig. 1B). Esses elementos têm uma importância significativa nos estudos de bioestratigrafia, de correlação de estratos e condições paleoecológicas devido a sua ampla distribuição estratigráfica do Cambriano ao Triássico e variação morfológica o que os torna excelentes fósseis-guia (Briggs *et al.*, 2007).

Lindström (1964) sugeriu que a estrutura interna dos elementos conodontes, formada por aposição de lamelas, possui um potencial taxonômico tão grande quanto ao relacionado a sua morfologia externa. Os trabalhos foram retomados por Bengtson (1976) onde analisou a estrutura interna de conodontes do Cambriano. Sansom *et al.* (1992) restabeleceram os estudos com histologia voltados aos elementos conodontes e constataram que existem equivalências com os vertebrados. Também demonstraram sua importância na distinção dos padrões de crescimento nos elementos conodontes. No entanto, são necessários novos estudos com uma metodologia adequada, de detalhe microscópico, para a análise dessas microestruturas internas dos elementos conodontes.

O presente estudo foi desenvolvido em bacias sedimentares distintas a fim de realizar uma análise histológica comparativa quanto ao crescimento das lamelas de elementos conodontes em diferentes tempos geológicos e localidades. Os elementos conodontes são provenientes da: Bacia do Amazonas, Grupo Curuá, Formação Barreirinha, Membro Abacaxis, Devoniano e Grupo Tapajós, Formação Itaituba, Pensilvaniano; Bacia do Parnaíba, Grupo Balsas, Formação Piauí, Pensilvaniano; Bacia do Paraná, Grupo Itararé, Formação Campo Mourão, Membro Lontras, Permiano; Província de Salta, Cordilheira Mojotoro, Formação Santa Gertrudis, Ordoviciano, Noroeste da Argentina; e Bacia do *Midcontinent*, Grupo Kansas City, Folhelho Hertha, Pensilvaniano Superior, Estados Unidos.

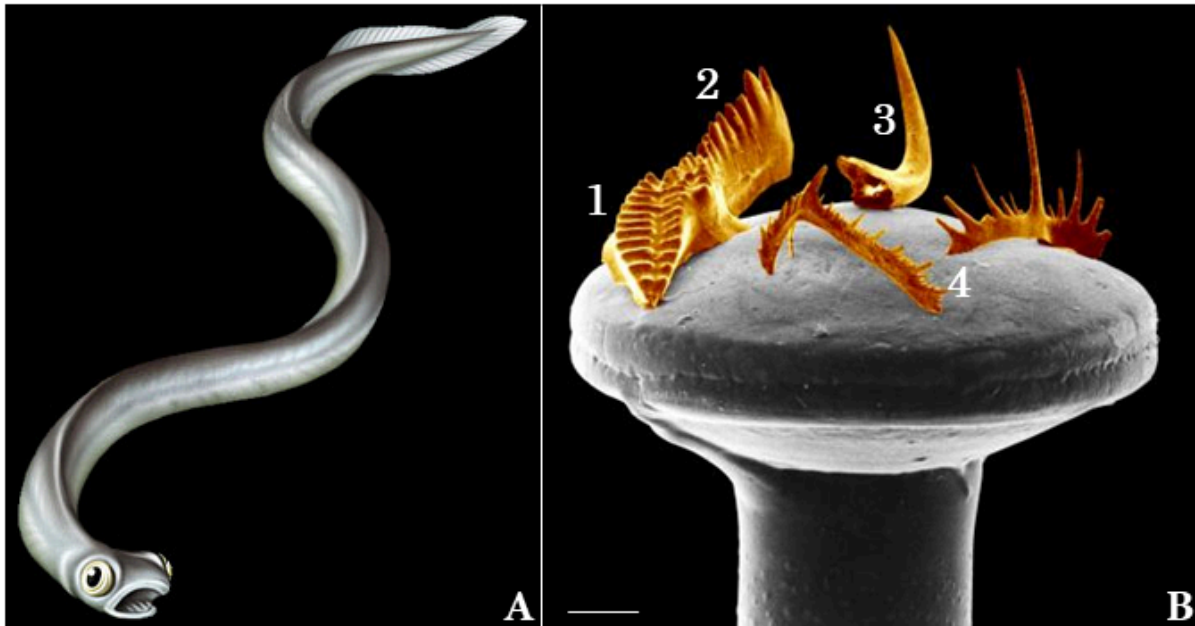


Figura 1. Animal conodonte. A) Representação do Animal conodonte. B) Morfologia externa dos elementos conodontes, dispostos em uma cabeça de alfinete. 1.Pectiniforme, 2. Lâmina Livre, 3. Cônico, 4. Ramiformes. Modificado de Purnell *et al.* (1995).

1.1. Justificativa

Os elementos conodontes são formados a partir do crescimento, por aposição interna, de baixo para cima, de lamelas milimétricas. Tais estruturas internas são o foco das análises histológicas realizadas neste trabalho.

Um estudo aprofundado dessas microestruturas analisando padrões como espessura e possíveis interrupções no contato entre as lamelas podem evidenciar fraturas e reabsorção. Estas feições podem auxiliar a caracterizar, além da evolução dos cordados (diferenças entre os agnatos e gnatostomados), também as relações ambientais (nichos ecológicos, relações com outros organismos) e comportamentais (alimentação) dos conodontes.

O entendimento das variações microestruturais pode auxiliar também em estudos geoquímicos onde é importante o reconhecimento das partes orgânicas e minerais e o quanto os processos diagenéticos podem obliterar as lamelas de crescimento dos elementos conodontes causando alterações.

1.2. Objetivos e Metas

O objetivo geral deste estudo foi a análise histológica das lamelas de crescimento em elementos conodontes ao longo do tempo geológico em diferentes localidades paleogeográficas. Como objetivos específicos utilizou-se uma metodologia adaptada de Nascimento et al. (2011) para o estudo dessas delicadas estruturas. Ainda, observar suas relações ecológicas, ambientais e geoquímicas, além de investigar sobre uma característica específica encontrada em alguns cordados, como os conodontes, que é a capacidade de regeneração dentária.

2. CONTEXTOS GEOLÓGICOS

Os elementos conodontes selecionados para este estudo são provenientes de diferentes regiões do Noroeste do Gondwana (Fig. 2, 3, 4 e 5). É apresentada a seguir uma breve descrição dos aspectos geológicos mais relevantes de cada uma das áreas.

2.1. Província de Salta, Formação Santa Gertrudis, Argentina

Na Província de Salta, aflora na Serra de Mojoto, Cordilheira Oriental, Noroeste da Argentina, a Formação Santa Gertrudis, que representa sucessões paleozoicas na região. A Formação Santa Gertrudis é uma unidade clássica representativa do Ordoviciano (Fig. 2) da Cordilheira Oriental e aflora nos riachos Gallinato e Santa Gertrudis. Harrington & Leanza (1957) definiram estratigraficamente a Formação Santa Gertrudis onde esta compreende folhelhos cinza escuros com significativas intercalações de arenito xistoso cinza-esverdeado e marga cinza escuro, e algumas camadas intercaladas de calcário cinza-azulado escuro de 70 m de espessura (Carlorosi *et al.*, 2016).

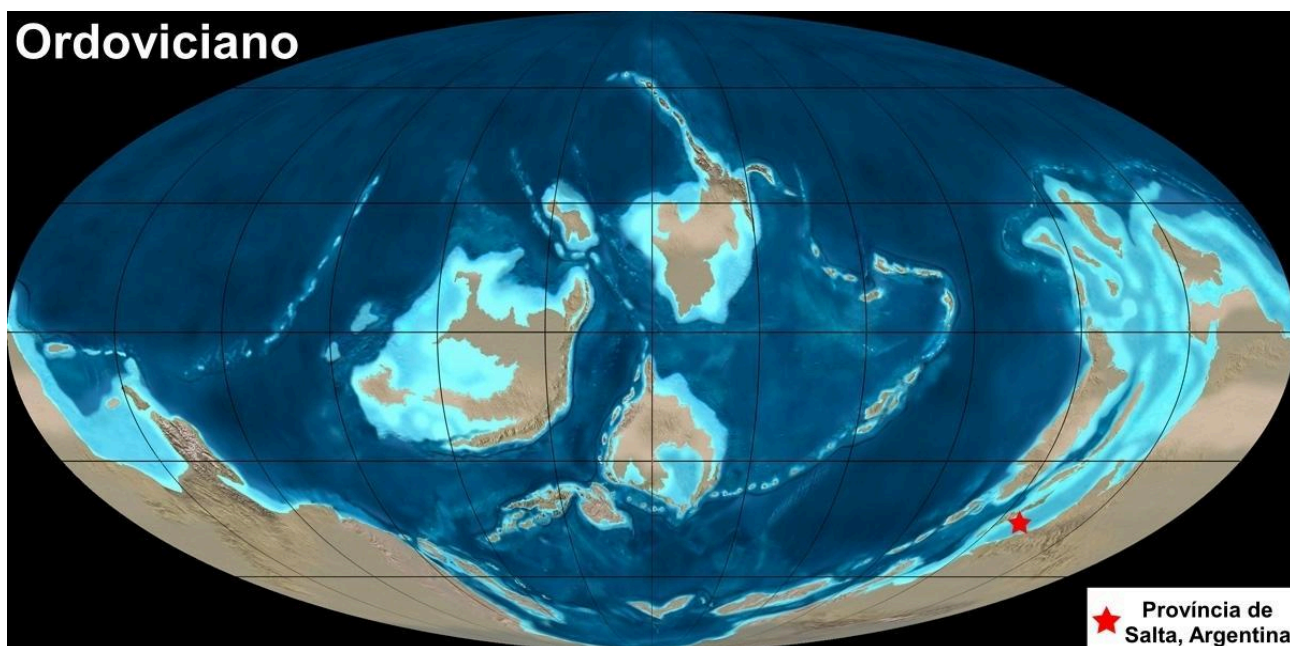


Figura 2. Localização da Província de Salta, Argentina, durante o Ordoviciano. Fonte: Deep Time Maps™ (2020).

2.2. Bacia do Amazonas, Formação Barreirinha, Brasil

A Bacia do Amazonas está situada entre os crátons das Guianas ao norte e do Brasil ao sul, possui uma área de aproximadamente 500.000 km² e abrange parte dos estados do Amazonas e do Pará. A leste separa-se da Bacia do Marajó através do Arco de Gurupá, e a oeste da Bacia do Solimões pelo Arco de Purus (Cunha *et al.*, 2007). O registro sedimentar e ígneo registrado na borda oeste da Bacia do Amazonas é um reflexo das variações do nível do mar e da ação de eventos tectônicos. Já a borda leste da Bacia do Amazonas sofreu influência da tafrogenia do Atlântico Sul (Cunha *et al.*, 2007). A Formação Barreirinha, pertencente ao período Devoniano (Fig. 3), sofreu um intenso processo de deposição de matéria orgânica preservada em folhelhos escuros e siltitos no seu topo, responsáveis pela geração de hidrocarbonetos na bacia. Esta formação divide-se em 3 membros, sendo eles, da base para o topo: Abacaxis, Urubu e Urariá. A deposição dos folhelhos no Membro Abacaxis ocorreu em ambiente marinho distal e corresponde à superfície de inundação máxima da sequência (Cunha, 2000).

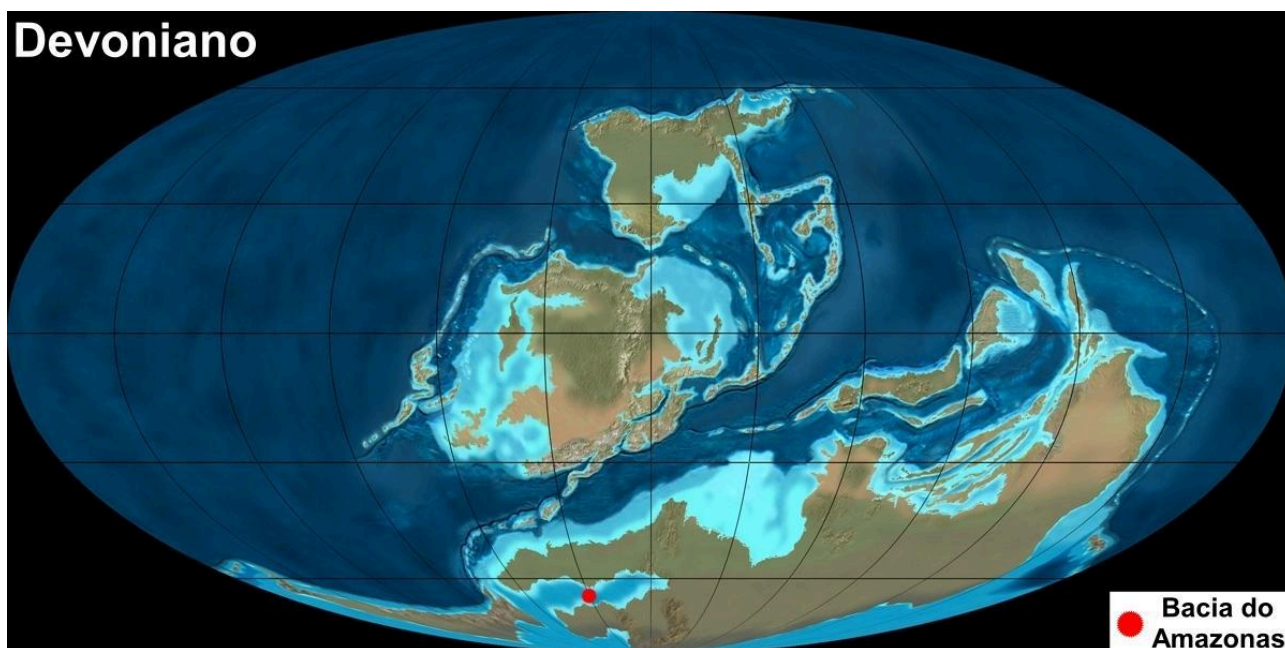


Figura 3. Localização da Bacia do Amazonas durante o Devoniano. Fonte: Deep Time Maps™ (2020).

2.3. Bacia do Amazonas, Formação Itaituba, Brasil

Ainda na Bacia do Amazonas, mas mudando de unidade e tempo geológico, temos o Grupo Tapajós que conforme proposto por Caputo (1984), é constituído, em ordem ascendente, pelas formações: Monte Alegre, Itaituba, Nova Olinda e Andirá. Esta unidade litoestratigráfica, cuja espessura total atinge aproximadamente os 2.800 m, abrange o período de tempo que vai do Carbonífero superior (Pensilvaniano) ao Permiano. A Formação Itaituba, pertencente ao Pensilvaniano (Fig. 4), é composta por uma sequência predominantemente carbonática/evaporítica e siliciclástica, formada em ambiente marinho raso (Matsuda *et al.*, 2004).

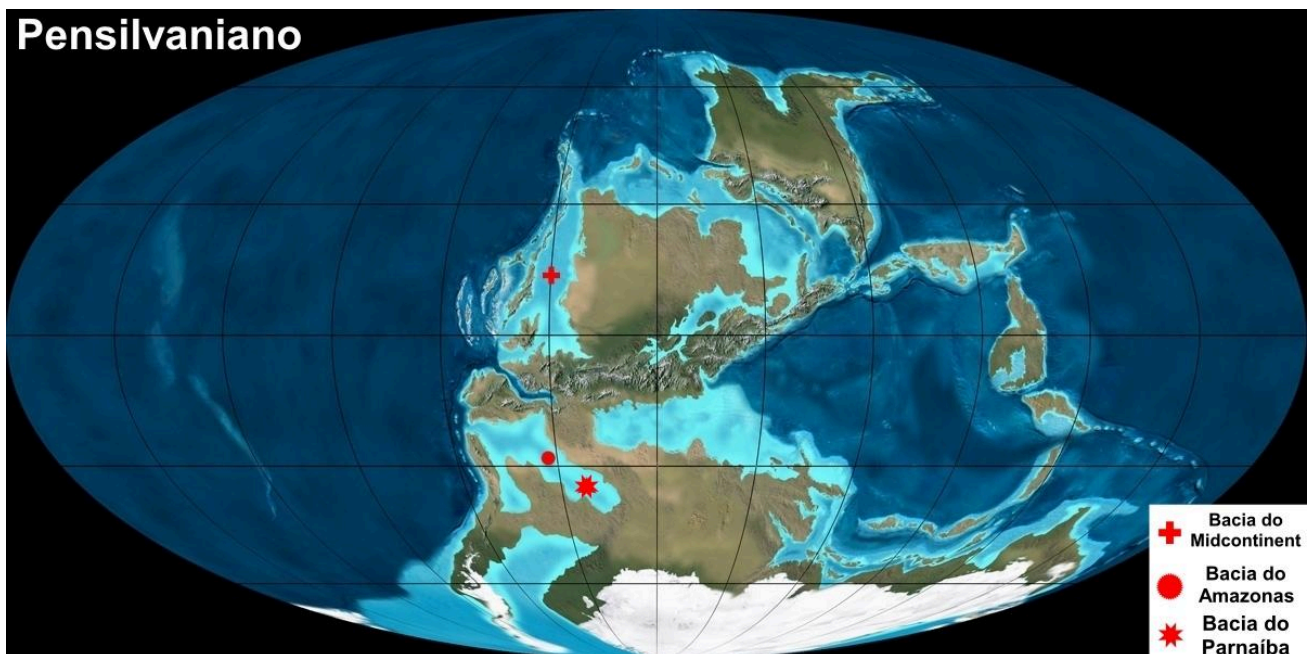


Figura 4. Localização das Bacias do Parnaíba, Amazonas e *Midcontinent* durante o Pensilvaniano. Modificado de Da Silva *et al.* (2018).

2.4. Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil

A Bacia do Parnaíba é uma bacia sedimentar intracratônica, localizada na porção noroeste do nordeste brasileiro, onde ocupa uma área de 600.000 km², com depocentro atingindo espessura total de aproximadamente 3.500 m (Góes & Feijó,

1994, Vaz *et al.*, 2007). A área de ocorrência da bacia abrange os estados do Maranhão, Piauí e parte dos estados de Tocantins, Pará e Ceará. O Grupo Balsas é uma supersequência Neocarbonífera-Eotriássica constituída, da base para o topo, pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba (Góes & Feijó, 1994). A Formação Piauí, pertencente ao Pensilvaniano (Fig. 4), está distribuída nas porções leste e sul da Bacia do Parnaíba (Anelli *et al.* 2006), e apresenta uma espessura máxima de 364 m (Aguiar, 1971). A deposição desta formação se deu sob condições áridas, com contribuição eólica num extenso deserto interior, associado a uma plataforma marinha evaporítica ligada a breves incursões (Lima & Leite 1978, Lima Filho 1991, Abrantes *et al.* 2016, 2019, Araújo *et al.* 2016, Medeiros *et al.* 2019).

2.5. Bacia do *Midcontinent*, Grupo Kansas City, Estados Unidos

A Bacia do *Midcontinent*, localizada nos Estados Unidos, possui um sistema Pensilvaniano (Fig. 4) no leste do Kansas que compreende 49 formações subdivididas em 129 membros. As formações estão inseridas em cerca de 800 m de seção. A grande quantidade de formações se dá devido a dispersão lateral de muitos corpos finos distintos onde algumas delas possuem menos de 1 m de espessura (Heckel, 1978). O Grupo Kansas City consiste em uma espessa sequência de folhelhos arenosos alternados compreendidos por 12 formações. O Folhelho Hertha é a formação mais basal deste grupo e foco da área de estudo (Heckel, 1978).

2.6. Bacia do Paraná, Formação Campo Mourão, Brasil

A Bacia do Paraná é considerada uma típica bacia intracratônica e possui uma forma ovalada com eixo maior N-S, onde seu contorno atual é definido por limites erosivos relacionados em grande parte à história geotectônica meso-cenozóica do

continente. Ampla região sedimentar do continente sul-americano que inclui partes territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1.000.000 km² (Milani *et al.*, 2007). O local estudado pertence ao Grupo Itararé que consiste em depósitos predominantemente siliciclásticos relacionados a ciclos de variação relativa do nível do mar sob influência glacial durante o Permocarbonífero (Fig. 5). A Formação Campo Mourão, formada em ambientes litorâneos de plataforma periglacial e deltaica, é composta por folhelhos e siltitos cinzentos dos membros: Lontras, Passinho e Guaraúna (Wilner & Weinschutz, 2008).

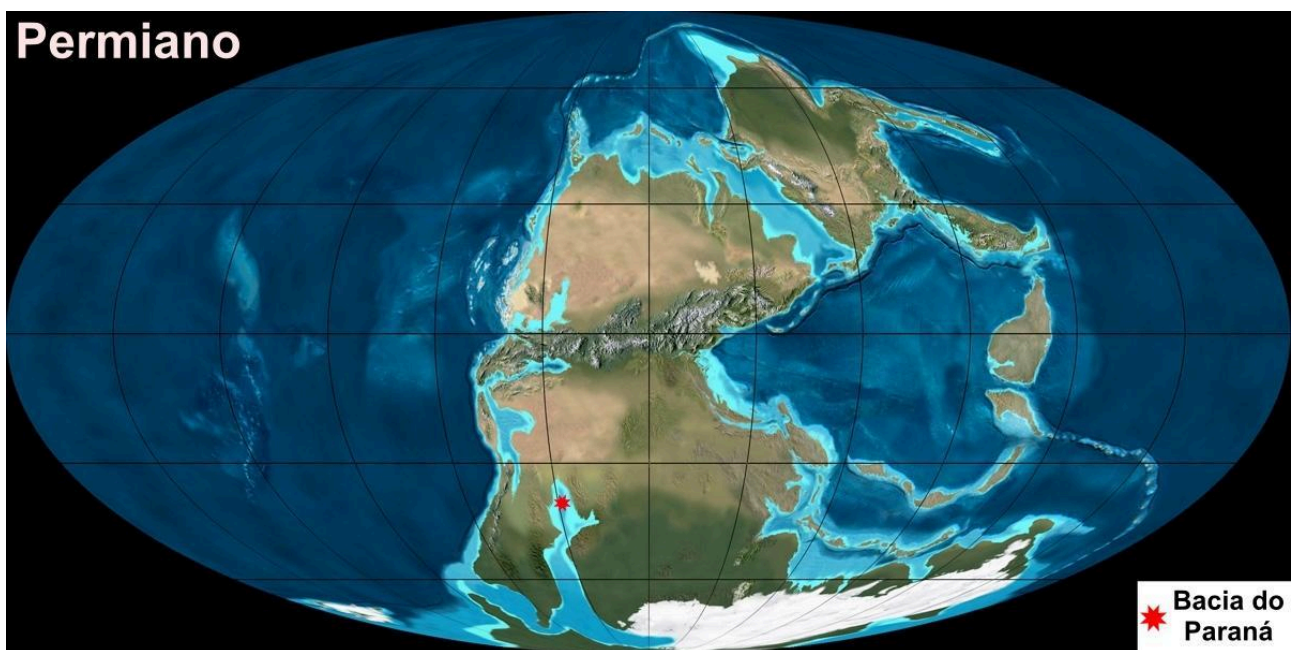


Figura 5. Localização da Bacia do Paraná durante o Permiano. Fonte: Deep Time Maps™ (2020).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3. 1. Histologia dos Dentes de Vertebrados

A histologia é um ramo científico que estuda os tecidos de animais e vegetais e como esses tecidos se organizam para a formação de diferentes organismos (Aires *et al.*, 2011).

Dentes são pequenos ossos encaixados nos maxilares, destinados à apreensão, corte e trituração de alimentos. Cada dente é composto por uma porção que se projeta além da gengiva, conhecida como coroa, e outra localizada dentro do alvéolo do osso, que são as cavidades onde os dentes se articulam com o osso. A cavidade central do dente é chamada de cavidade pulpar, onde as raízes se estendem e terminam em um orifício, o forame apical, por onde passam vasos sanguíneos e nervos. Envolvendo as raízes, há uma estrutura fibrosa chamada ligamento periodontal, que fixa a raiz ao seu alvéolo. Dentes decíduos ou permanentes são compostos por uma parte não calcificada, a polpa, e duas partes calcificadas, a dentina e o esmalte (Junqueira & Carneiro, 2004).

Uma característica importante na dentição dos vertebrados é a habilidade de preservar e compensar dentes desgastados, acrescentar novos durante o crescimento ou substituí-los de maneira controlada e regulada. Tal propriedade é tão essencial para a sobrevivência que padrões são estabelecidos durante a ontogenia para fornecer dentes retidos resistentes ao desgaste ou um mecanismo para a adição contínua de dentes durante a substituição, geralmente após a perda do dente funcional (Smith, 2003).

A dentina é um tecido mais calcificado do que o osso, tornando-a mais resistente; sua matriz é composta por glicoproteínas, colágeno tipo I e cristais de hidroxiapatita, sendo sintetizada por células chamadas odontoblastos. Os prolongamentos dos odontoblastos são responsáveis pela formação de canaliculos na dentina, os quais se afinam à medida que se aproximam do esmalte. A dentina

permanece calcificada por um longo período, mesmo após a destruição dos odontoblastos (Junqueira & Carneiro, 2004).

Segundo Junqueira & Carneiro (2004), esmalte representa a única estrutura do dente derivada do epitélio e calcificada. Sua matriz não contém colágeno e é produzida por células ameloblásticas. Uma vez completamente formado, o esmalte só pode ser estudado histologicamente por meio de desgaste, pois sua matriz entra em colapso com processos de descalcificação. A composição do esmalte inclui prismas hexagonais calcificados e material cimentante que os une.

Ainda segundo Junqueira & Carneiro (2004), a cavidade pulpar representa a região do dente mais ricamente suprida por nervos e vasos sanguíneos. Em indivíduos jovens, é composta por tecido conjuntivo tipo mucoso, enquanto em adultos, é caracterizada por tecido conjuntivo frouxo. Essa região é constituída por fibroblastos estrelados dispostos em uma substância fundamental que contém fibras de colágeno, as quais não formam feixes. As fibras nervosas da cavidade pulpar podem penetrar em alguns canalículos da dentina quando perdem sua bainha de mielina.

Embora os conodontes não possuam esmalte e dentina propriamente ditos, características exclusivas de vertebrados, eles apresentam estruturas com funções análogas a dentina e esmalte (Fig. 6).

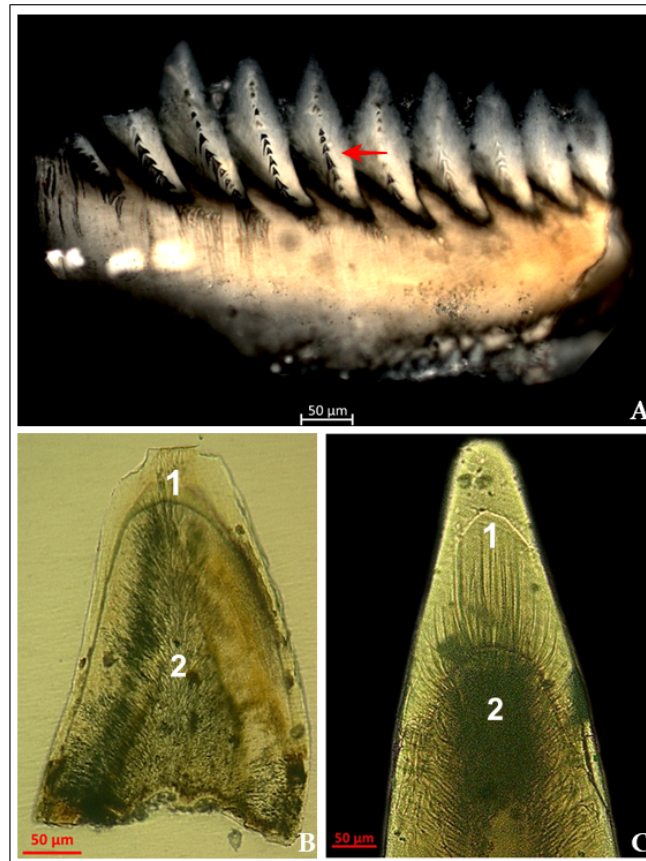


Figura 6. Comparativo histológico entre um elemento conodonte e um vertebrado (dente de peixe paleoniscídeo). A) Seta em vermelho indicando as lamelas de crescimento numa lâmina livre de elemento conodonte. B) e C) Dentes de peixes paleoniscídeos. 1. Esmalte (capuz apical), 2. Dentina. Imagem do Acervo do LACONF - Laboratório de Conodontes e Foraminíferos.

3.2. Histologia em Elementos Conodontes

A análise histológica em microestruturas fósseis nos permite um melhor entendimento quanto à morfologia, anatomia, e as modificações que o organismo estudado sofreu ao longo do tempo (Aires *et al.*, 2011). Nos conodontes, a análise histológica é realizada nas suas porções mineralizadas que correspondem a suas peças denticuladas, denominadas elementos conodontes. Essas peças fazem parte do aparelho alimentar do animal conodonte e seu tamanho varia entre 200 μm e 2 mm (Brasier, 1979). A sua composição é, na maior parte, fluorapatita, bioapatita - francólita ($\text{Ca}_5\text{Na}_{0.14}(\text{PO}_4)_{3.01}(\text{CO}_3)_{0.016}\text{F}_{0.73}(\text{H}_2\text{O})_{0.85}$) (Pietzner *et al.*, 1968).

Desde sua descoberta em 1856 pelo naturalista Christian Heinrich Pander, os elementos conodontes vêm sendo alvo de criteriosos estudos pelo seu importante

crescimento nos estudos bioestratigráficos e paleoecológicos devido ao seu tamanho e significativa abundância. Grande parte dos elementos conodontes são constituídos por duas estruturas: o corpo basal e a coroa (Brasier, 1979). O corpo basal ocupa uma abertura e é uma camada cristalina mais fina onde contém material orgânico. A coroa é mais densamente cristalizada que o corpo basal, cristalina e grossa. Em muitos espécimes, o corpo basal está ausente ou perdido, mas quando presente é mais variável e pode preservar a estrutura lamelar ou esferulítica. A coroa, de modo geral, compreende tecido hialino, lamelas com linhas de crescimento, e um tecido interno opaco denominado de “matéria branca” que normalmente é vista nos núcleos dos dentículos serrilhados e na cúspide (Brasier, 1979). Donoghue (1998) em parte de seu trabalho realiza uma revisão histórica dos estudos histológicos em elementos conodontes. Nele relata inicialmente que Pander (1856), em seu primeiro artigo sobre conodontes, nota a existência de tecido da coroa com natureza lamelar e a presença de células ou cavidades dentro da matéria branca. No entanto, a análise de Pander estava equivocada quanto a direção de crescimento da coroa. Muitos anos se passaram e com eles novos estudos histológicos comparativos, conforme citados a seguir, foram feitos com os elementos conodontes a fim de inseri-los em algum filo.

Branson & Mehl (1933) foram os primeiros a usarem a histologia como caráter taxonômico em elementos conodontes, reconhecendo um grupo de conodontes ‘fibrosos’, os Neurodontiformes, que posteriormente foram classificados como um grau de subordem distinto de outros conodontes. Furnish (1938) considerou o crescimento de elementos conodontes onde esclareceu o modo de aposição em sucessivas camadas de tecido da coroa, e também possivelmente pode ter sido o primeiro a identificar descontinuidades internas na coroa como evidência de dano e reparo *in vivo*. Hass (1941), reconheceu a relevância das descontinuidades internas como evidência de crescimento externo e não interno. Também notou a ocorrência de espaços ocos ou túbulos dentro da matéria branca e a presença de espaços interlamelares no tecido da coroa. Muller & Nogami (1971, 1972) produziram dois trabalhos considerados os mais influentes para a histologia de elementos conodontes. Nesses trabalhos foram descritos uma ampla gama de táxons de conodontes e produziram um agrupamento taxonômico baseado apenas nas estruturas internas dos elementos. Assim, os autores dividiram os conodontes em

três grupos: Protoconodontes, Paraconodontes e Euconodontes. Durante os anos 80, os estudos histológicos em elementos conodontes foram mais aprofundados principalmente após a descoberta da preservação de partes moles do animal conodonte (Briggs *et al.*, 2007).

No Brasil, Nascimento *et al.*, (2011) realizaram o único trabalho publicado de histologia em elementos conodontes em amostras do Pensilvaniano da Bacia do Amazonas, Grupo Tapajós, Formação Itaituba, onde aplicaram uma nova técnica de reconhecimento de conodontes e foraminíferos em seções delgadas. Apesar destes estudos histológicos em elementos conodontes citados, muitas questões ainda necessitam de mais clareza em sua definição, como a origem da matéria branca e o crescimento dos elementos conodontes mais complexos.

3.3. Índice de Alteração de Cor

As peças denticuladas dos conodontes são compostas por lâminas biomineralizadas de apatita, entre as quais se dispõem camadas mais finas de matéria orgânica. Desta forma, além de sua importância como marcadores bioestratigráficos de rochas paleozóicas e triássicas, estes microfósseis também são úteis na determinação das paleotemperaturas através do uso do IAC – índice de Alteração de Cor. Sua aplicação como indicadores geotermais se dá em função dos diferentes níveis de maturação da matéria orgânica, definida pelas variações na sua coloração.

Experimentos realizados em campo e em laboratório mostraram que a alteração de cor em conodontes está relacionada diretamente à profundidade de soterramento, tempo de sepultamento e gradiente geotermal (Epstein *et al.*, 1977). Apesar de a alteração de cor em conodontes ter sido primeiramente observada por Ellison (1941), as diferenças na sua coloração e sua compilação em um contexto sistemático (IAC) foi realizada por Epstein *et al.* (1977) (Fig. 7) e Rejebian *et al.* (1987) (Fig. 8). O IAC vai do amarelo pálido ao branco (50° a 600°C) e se baseia na análise das mudanças de cor que sofre a matéria orgânica ao longo do tempo com o

aumento da temperatura. Acompanhando as mudanças de cor também ocorrem deformações, recristalizações, fraturas e outras alterações microestruturais que também podem fornecer importantes informações sobre as condições geológicas do meio em que se encontram estes microfósseis (López *et al.*, 2006). Assim, através da análise das alterações na cor dos elementos conodontes associada a uma minuciosa análise de sua microestrutura interna, é possível diferenciar os graus de metamorfismo a que a rocha portadora foi submetida.













Índice de Alteração de Cor	Produção Experimental de Alteração de Cor	Alteração de cor nas Coleções de Cor	Temperatura °C	Intervalo de Carbono Fixado	Cores do solo segundo Munsell
1			Menor que 50° a 80°	Menor que 60%	2.5Y7/4 a 8/4 e 10YR7/3 a 8/4
1/2			50° a 90°	55% a 70%	2.5Y7/4 a 8/4 e 10YR7/3 a 8/4
2			60° a 140°	55% a 70%	7.5YR4/2 a 3/2
3			110° a 200°	70% a 80%	10YR4/2 a 5YR2.5/2 a 10YR2.5/1
4			190° a 300°	80% a 95%	5YR2.5/2 a 10YR2.5/1
5			Acima 300°	Acima 95%	7YR2.5/0 a 2.5YR2.5/0

Figura 7. Índice de alteração de cor em elementos conodontes com índice entre 1 e 5. (Modificado de Epstein *et al.*, 1977).

Até meados da década de 1980, as alterações texturais/microtexturais em elementos conodontes estavam relacionadas exclusivamente a valores de IAC. Rejebian *et al.* (1987) correlacionaram dados experimentais com observações de cor e microtextura de espécimes recuperados de rochas alteradas diageneticamente. A partir do final da década de 1990, com o estudo pioneiro de Nöth (1998), as alterações microestruturais foram devidamente observadas, descritas e correlacionadas a diferentes índices de cor (IAC = 1-5) durante a

diagênese progressiva. Deste modo, através do estudo do Índice de Alteração de Cor (IAC), das alterações texturais/microtexturais e dos padrões deformacionais, ratifica-se a utilização dos elementos conodontes como termômetros geológicos e como indicadores do grau de maturação da matéria orgânica. Esses microfósseis contribuem ainda na identificação de regimes de metamorfismo de grau mais baixo.

Índice de Alteração de Cor	Produção Experimental de Alteração de Cor	Alteração de Cor nas Coleções de Campo	Temperatura °C	Cores do Solo segundo Munsell
5			300° - 480°	Preto (N1)
6			360° - 550°	Cinza escuro médio a cinza médio (N4-N5)
61/2			440° - 610°	Cinza claro médio a cinza claro (N6-N7)
7			490° - 720°	Cinza muito claro a branco (N8-N9)
8			> 600°	Incolor ou translúcido

Figura 8. Índice de alteração de cor em elementos conodontes entre itens de 5 a 8. (Modificado de Rejebian *et al.*, 1987).

O Índice de alteração de cor nos elementos conodontes é uma ferramenta importante na avaliação da preservação das lamelas de crescimento. Essas microestruturas podem ser afetadas pelo aquecimento termal da rocha portadora durante o processo de fossilização. Desta forma, valores de IAC superiores a 4 dificultam ou não preservam as lamelas de crescimento. Outros vertebrados como os peixes, não apresentam este tipo de resposta em relação às variáveis geológicas/ambientais/ tafonômicas.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados, de maneira detalhada, os materiais e métodos utilizados para a realização deste estudo, que teve como objetivo a análise histológica das microestruturas internas, denominadas lamelas de crescimento, de 15 elementos conodontes de paleolatitudes e tempos geológicos distintos buscando observar seus padrões de crescimento.

4.1. Materiais

Foram selecionados 15 elementos conodontes, onde: 2 elementos são provenientes da Província de Salta, Formação Santa Gertrudis, Argentina, Ordoviciano (amostras identificadas como ARG); 1 elemento da Bacia do Amazonas, Formação Barreirinha, Devoniano (amostra identificada 1RX-1AM); 2 elementos são provenientes da Bacia do Amazonas, Grupo Tapajós, Formação Itaituba, Pensilvaniano (amostras identificadas BAS-1-9E); 3 elementos da Bacia do Parnaíba, Grupo Balsas, Formação Piauí, Pensilvaniano (amostra identificada MO-16-1A); 6 elementos da Bacia do *Midcontinent*, Grupo *Kansas City*, Estados Unidos, Pensilvaniano Superior (amostra identificada KC9); e 1 elemento proveniente da Bacia do Paraná, Formação Campo Mourão, Permiano (amostra identificada MAFRA).

Todos os materiais utilizados neste estudo pertencem ao acervo do Laboratório de Conodontes e Foraminíferos (LACONF) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

4.2. Métodos

As etapas desenvolvidas neste estudo são baseadas na metodologia utilizada por Nascimento *et al.* (2011) até chegar às imagens finais que serviram para a realização das análises comparativas. Estas etapas estão divididas em: a) fotografia dos elementos em Estereomicroscópio Óptico Zeiss® SteREO Discovery.V8 acoplado a uma câmera AxioCam 105 color; b) preparação das pastilhas; c) desgaste das pastilhas até a exposição das estruturas internas; d) fotografia em Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2 acoplado a câmera AxioCam MRc; e) fotografia em Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m acoplado a câmera AxioCam MRc; f) Fotomicrografias em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV); e g) análise em Microsonda (Tabela 1).

No MEV, as pastilhas foram submetidas à metalização com ouro e carbono, no entanto, devido ao tipo de resina utilizada na preparação das pastilhas não foi possível realizar a metalização. Com isso, não foi possível realizar tanto as imagens quanto as análises previstas no equipamento.

Na Microsonda Eletrônica, foram realizados mapas composicionais nas amostras ARG, BAS-1-9E e MO-16-1A, no entanto as análises se mostraram imprecisas devido a problemas na metalização e as amostras serem sensíveis aos feixes de elétrons.

Quadro 1. Catalogação e separação dos elementos conodontes indicando quais metodologias foram aplicadas em cada amostra. A letra P significa pastilha/lâmina. A letra E significa elemento conodonte.

Localidade	Idade	Elemento Conodonte	Foto em Lupa	Lâmina	Imagem em Microscópio Óptico Zeiss Axio Imager A2	Imagem em Microscópio Óptico Zeiss Axio Imager M2m
Província de Salta, Formação Santa Gertrudis, Argentina	Ordoviciano	ARG (P1 - E1)	Sim	Sim	Sim	Sim
Província de Salta, Formação Santa Gertrudis, Argentina	Ordoviciano	ARG (P2 - E1)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do Amazonas, Formação Barreirinha, Brasil	Devoniano	1RX-1AM	Sim	Não	Não	Não
Bacia do Amazonas, Formação Itaituba, Brasil	Pensilvaniano	BAS 1-9E (P1-E1)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do Amazonas, Formação Itaituba, Brasil	Pensilvaniano	BAS 1-9E (P1-E2)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil	Pensilvaniano	MO16 - 01A (P1)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil	Pensilvaniano	MO16 - 01A (P2)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil	Pensilvaniano	MO16 - 01A (P3)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P1_E1)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P1_E3)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P3)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P4_E1)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P4_E2)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P5)	Sim	Sim	Sim	Sim
Bacia do Paraná, Formação Campo Mourão, Brasil	Permocarbonífero	MAFRA	Sim	Não	Não	Não

* P = pastilha/lâmina E = elemento conodonte

4.2.1. Fotografias em Estereomicroscópio

Previamente à preparação das pastilhas, os elementos conodontes foram fotografados no Estereomicroscópio Óptico Zeiss® SteREO Discovery.V8 acoplado a uma câmera AxioCam 105 color (Fig. 9), localizado na sala 220 do prédio 43127 do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da UFRGS.



Figura 9. Estereomicroscópio Óptico Zeiss® SteREO Discovery.V8 acoplado a câmera AxioCam 105 color.

4.2.2. Preparação de Pastilhas

Na etapa de preparação das pastilhas, os elementos conodontes selecionados foram colocados sobre lâminas de vidro (aqui denominadas pastilhas) e recobertos por 2 mm de resina Epóxi transparente. Ao todo, foram confeccionadas 13 pastilhas. Posteriormente, as pastilhas foram levadas à estufa para secagem por aproximadamente 24 h numa temperatura de cerca de 40°C. Esta etapa é importante para a eliminação de bolhas na resina que podem comprometer os passos seguintes. Com as pastilhas prontas (Fig. 10A), a próxima etapa consistiu no desgaste e polimento. O desgaste foi realizado com Lixa d'água Microfina N1500 T402 - Norton (Fig. 10B) de carbeto de silício, indicada para o lixamento a úmido (água). Os grãos presentes neste tipo de lixa proporcionam a remoção controlada da superfície. O desgaste foi realizado até a exposição das estruturas internas dos elementos conodontes. Para o polimento das pastilhas foi utilizada Lixa *Microcut* PSA - P4000 (Fig. 10C), que oferece também um papel de granulação fina de carbeto de silício proporcionando uma remoção suave da resina dando um bom acabamento superficial. Depois do polimento, as pastilhas passaram pelo Limpador Ultrassônico (*UltraSonic Cleaner*) USC700 (Fig. 10D) por cerca de 1 minuto, com a finalidade de eliminar quaisquer resíduos provenientes do processo de polimento.

A etapa de preparação de pastilhas é a parte mais delicada e é a que dita como as próximas fases da metodologia se realizaram.



Figura 10. Pastilhas e materiais utilizados para a realização desta etapa do estudo. A) Pastilhas após secagem na estufa. B) Lixa utilizada no aplainamento das pastilhas, Lixa D'Água Microfina N1500 T402 - Norton. C) Lixa utilizada no polimento das pastilhas, Lixa Microcut PSA - P4000. D) Limpador Ultrassônico (*UltraSonic Cleaner*) USC700.

4.2.3. Fotografias em Microscópios Ópticos

Para a observação das lamelas de crescimento, as pastilhas finalizadas foram fotografadas em dois microscópios: no Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2 (Fig. 11A) e no Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m (Fig. 11B), ambos acoplados a uma câmera AxioCam MRc. As fotografias no Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2 foram capturadas utilizando o *software* Zeiss ZEN, com o zoom variando entre 10x e 20x conforme a necessidade de um maior foco nas estruturas internas expostas. O equipamento utilizado localiza-se nas dependências

do Departamento de Mineralogia e Petrologia, do Instituto de Geociências da UFRGS. Já as fotografias realizadas no Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m foram capturadas utilizando o *software* Axio Vision Rel. 4.8, também com o zoom variando entre 10x e 20x conforme a necessidade de um maior foco nas estruturas internas expostas. O equipamento utilizado localiza-se na sala 203 - Prédio 43127, do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, do Instituto de Geociências da UFRGS. Como a incidência de luz nas amostras varia de um equipamento para outro, foram utilizados dois microscópios a fim de se observar a exposição das lamelas de crescimento.

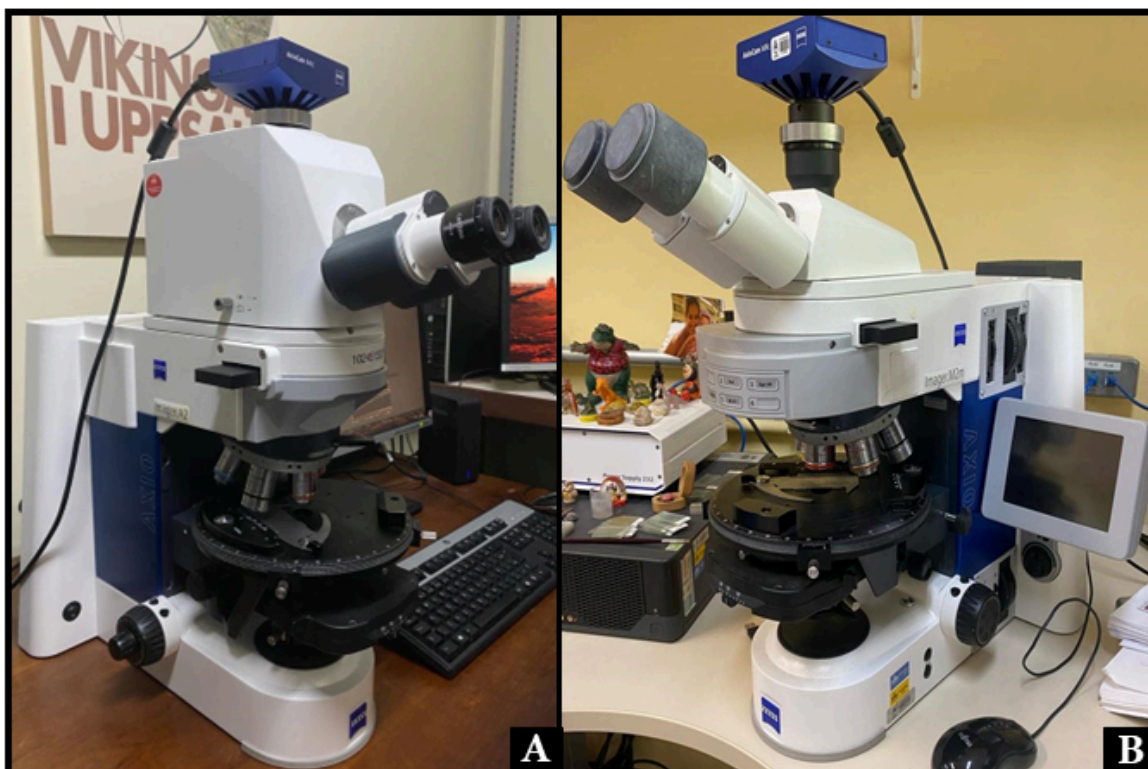


Figura 11. Microscópios utilizados para fotografias. A) Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2. B) Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m.

5. RESULTADOS

Os elementos conodontes selecionados neste estudo (Fig. 12) foram fotografados em Estereomicroscópio óptico Zeiss SteREO Discovery.V8 previamente à confecção de pastilhas. Ao todo, 15 elementos conodontes de paleolatitudes e tempos geológicos distintos foram utilizados para a confecção de 13 pastilhas (Tabela 1). Durante o processo de preparação das pastilhas, as amostras MAFRA e 1RX-1AM foram perdidas na etapa de desgaste.

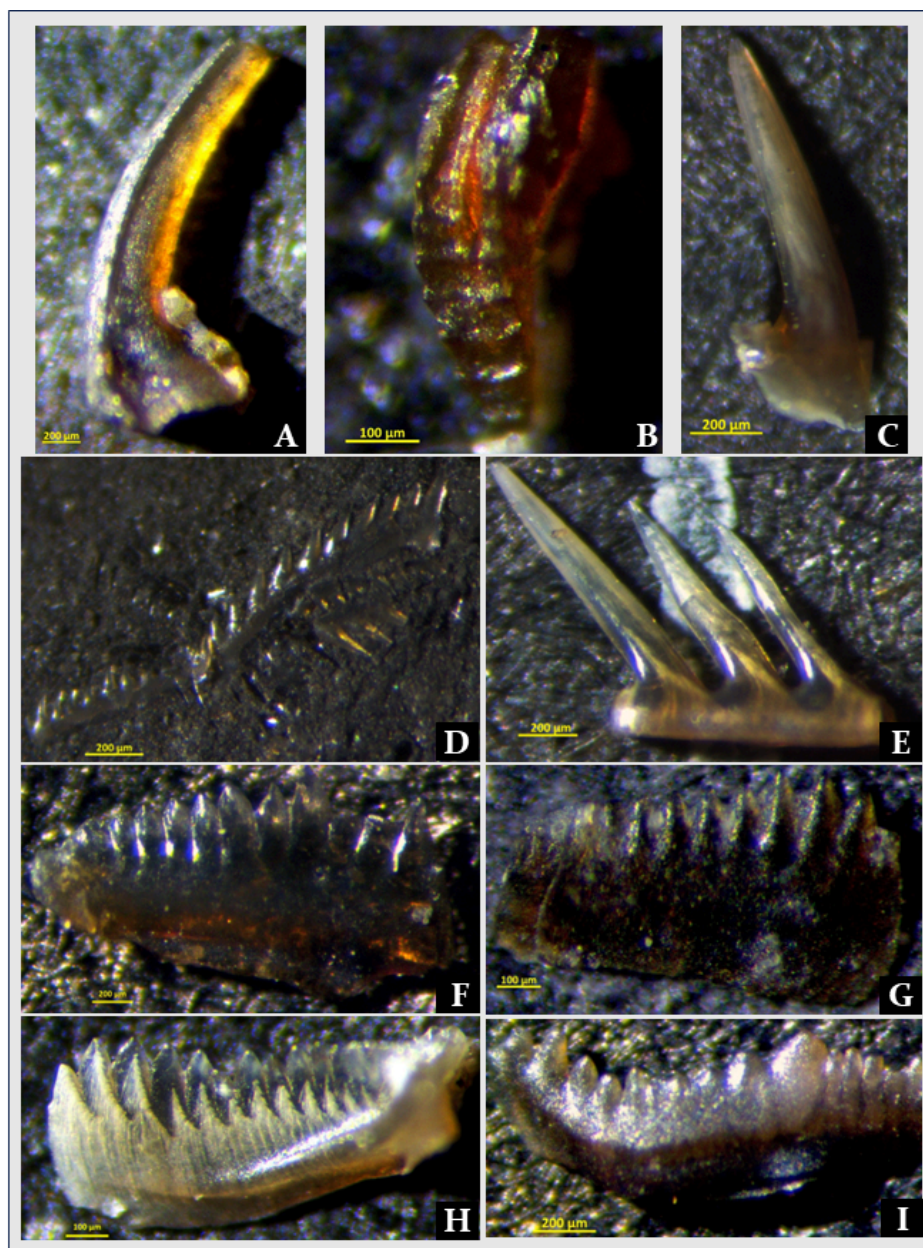


Figura 12. Elementos conodontes vistos em Estereomicroscópio Óptico Zeiss® SteREO Discovery.V8. A) Elemento cônico, amostra ARG. B) Elemento plataformado, amostra MO-16-1A. C)

Elemento conodonte, amostra KC9. D) Elemento ramiforme, amostra MAFRA. E) Elemento conodonte, amostra KC9. F) Elemento laminado, amostra BAS-1-9E. G) Elemento laminado, amostra MO-16-1A. H) Elemento laminado, amostra KC9. I) Elemento laminado, amostra 1RX-1AM.

Os elementos conodontes da Província de Salta, Argentina, Ordoviciano, (Fig. 13), não apresentaram microestruturas preservadas.

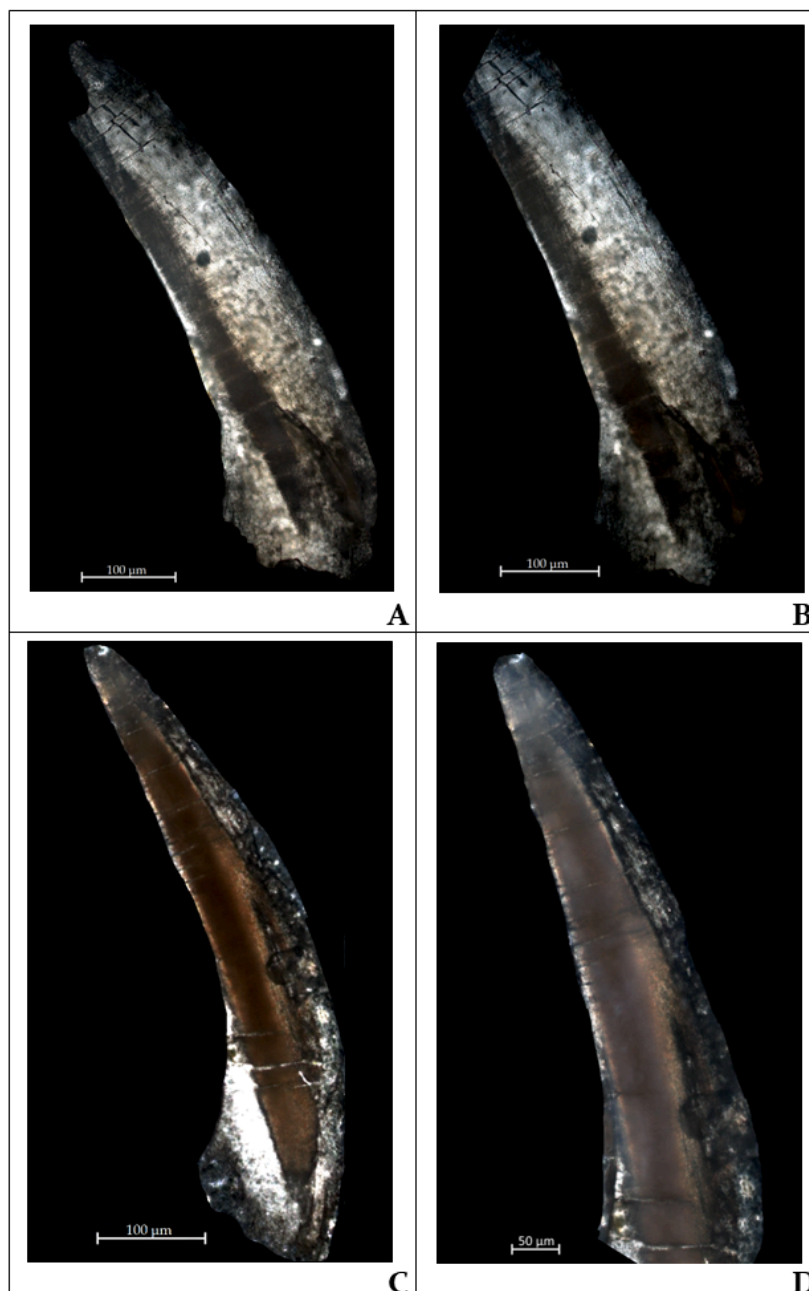


Figura 13. Elementos conodontes da Província de Salta, Argentina (ARG). A) e B) Elemento conodonte P1-E1 em diferente ângulo de incidência de luz. C) Elemento conodonte P2-E1. D) Elemento conodonte P2-E1 em detalhe em sua porção mais superior e central. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m.

As figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 apresentam lamelas de crescimento preservadas. Os elementos plataformados (Figs. 16A; 17A e B; 20I; e 21D) apresentam lamelas de crescimento de difícil observação. As lâminas livres (Figs. 16B , C e D; 17C; 18; 20J e K; e 22L) apresentaram os melhores resultados visuais.

Os elementos conodontes da Bacia do Amazonas, Formação Itaituba (Figs. 14 e 15), de idade Pensilvaniana, apresentaram coloração âmbar claro, e IAC entre 1,5 e 2. No elemento P1-E1 (Figs. 14C e 15C) as lamelas de crescimento são perceptíveis nos dois microscópios ópticos utilizados neste estudo.

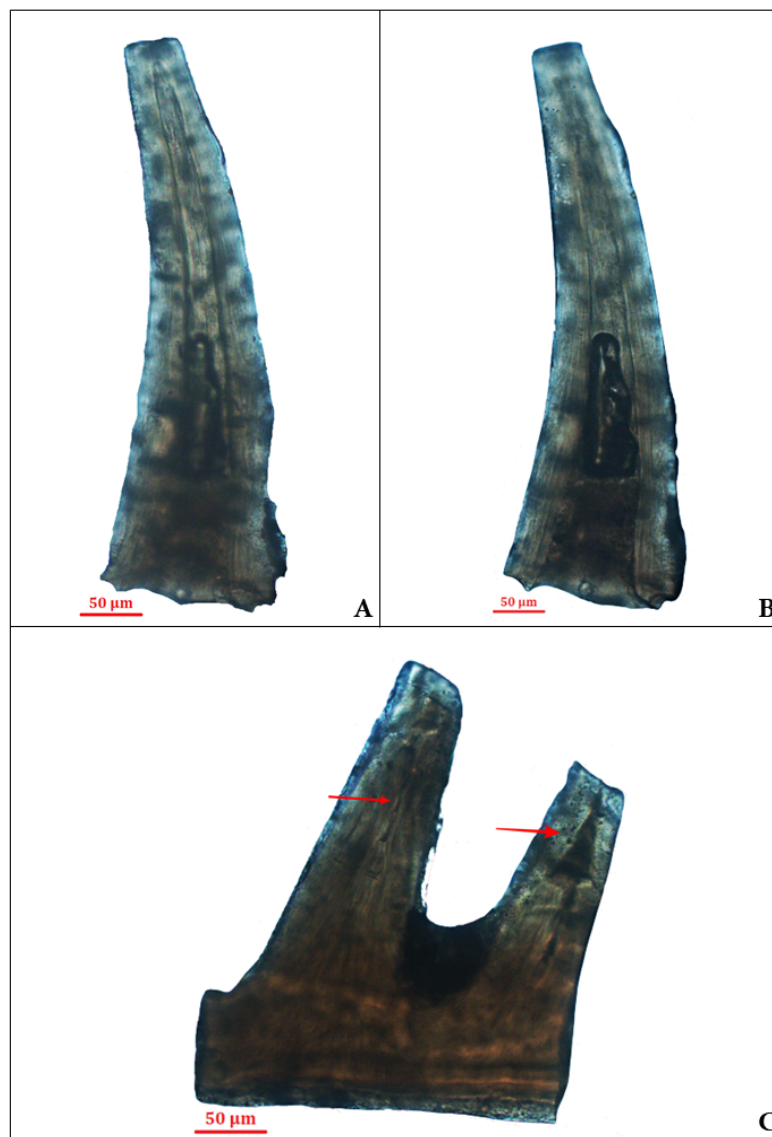


Figura 14. Elementos conodontes da Bacia do Amazonas (BAS-1-9E). A) e B) Elemento conodonte P1-E2 em diferentes focos, onde A está focado na porção superior da cúspide e em B, na porção mais basal. C) Elemento conodonte P1-E1. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2.

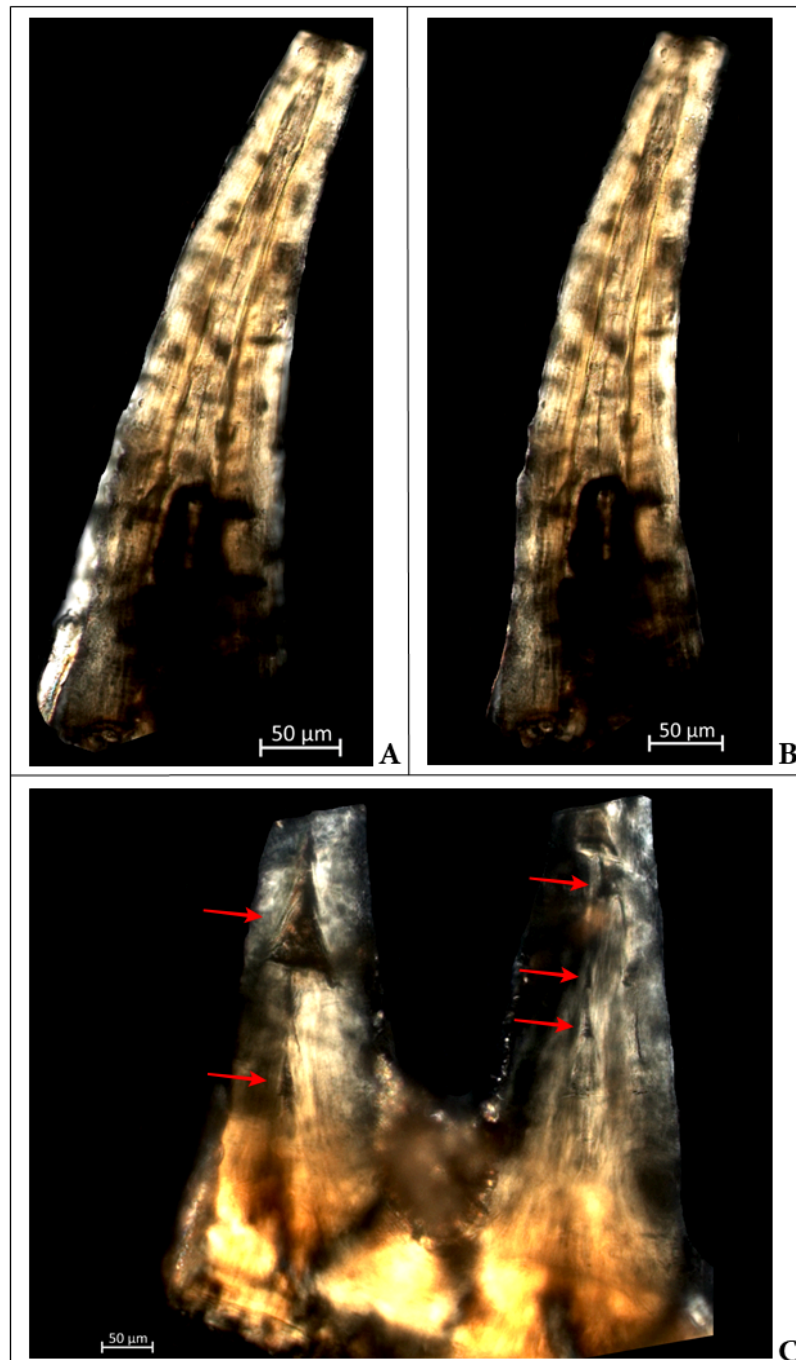


Figura 15. Elementos conodontes da Bacia do Amazonas (BAS-1-9E). A) e B) Elemento conodonte P1-E2 em diferentes focos, onde A está focado na porção superior da cúspide em B, na porção mais basal. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. C) Elemento conodonte P1-E1. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m.

Os elementos conodontes da Bacia do Parnaíba, Formação Piauí (Figs. 16, 17 e 18), de idade Pensilvaniana, também apresentaram coloração âmbar claro, e IAC entre 1,5 e 2. A lâmina livre (Figs. 16D e 18) apresentou os melhores resultados na observação das lamelas devido ao ótimo estado de preservação do elemento.

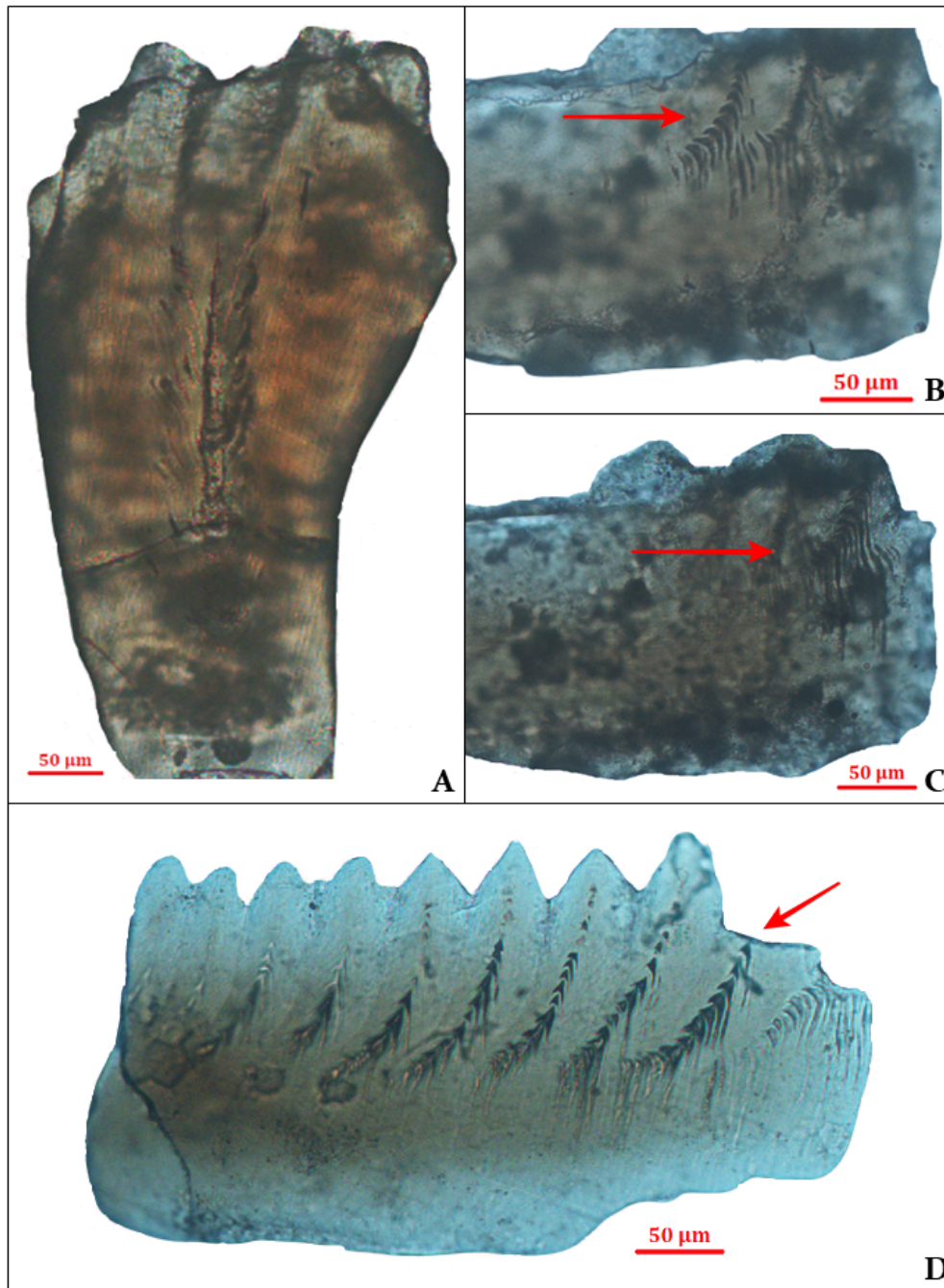


Figura 16. Elementos conodontes da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). A) Elemento conodonte P1. B) e C) Elemento conodonte P2 em diferentes focos. D) Elemento conodonte P3. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2.

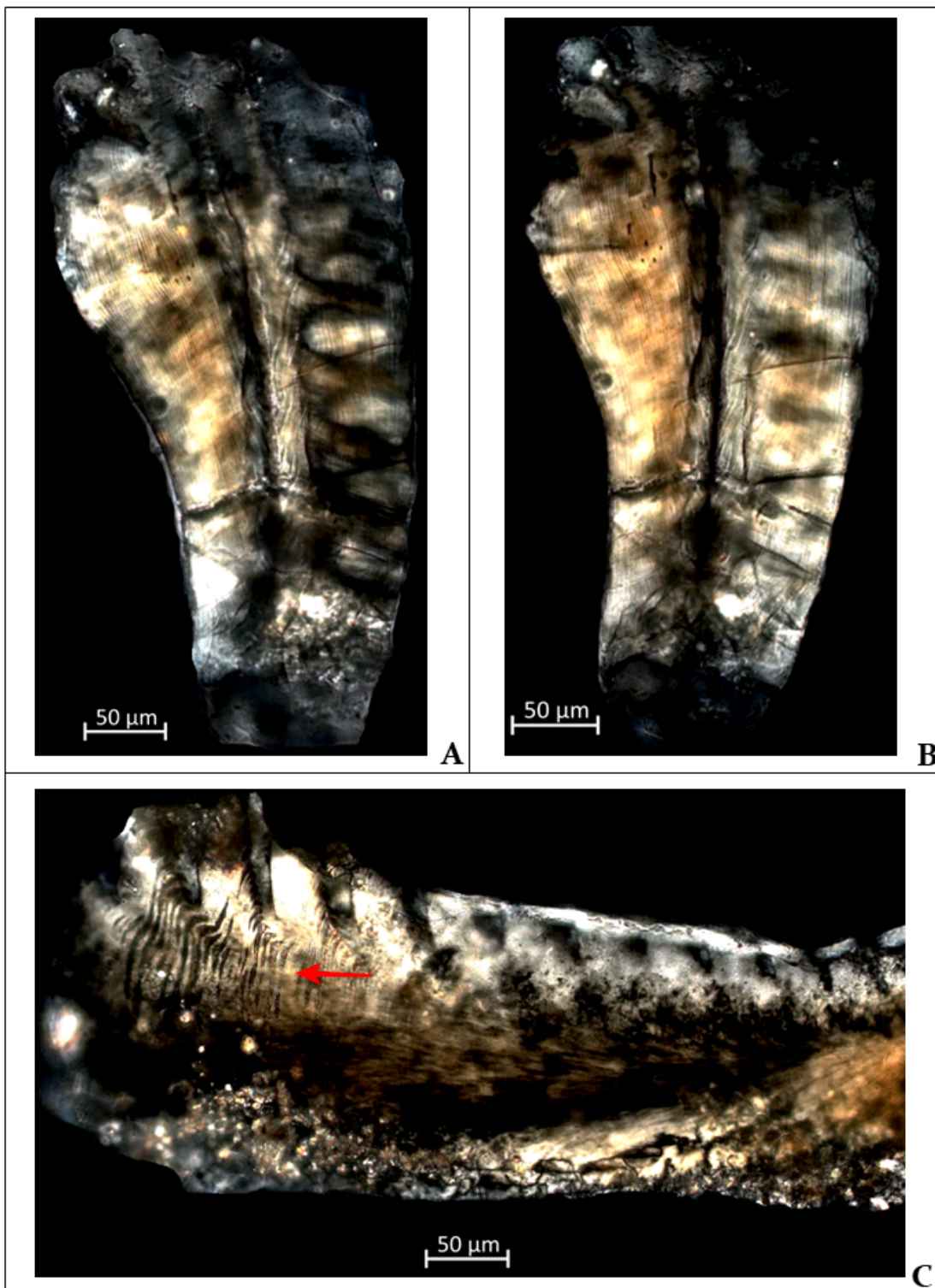


Figura 17. Elementos conodontes da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). A) Elemento conodonte P1. B) Elemento conodonte P1 em diferente ângulo de incidência de luz. C) Elemento conodonte P2. Seta vermelha indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m.

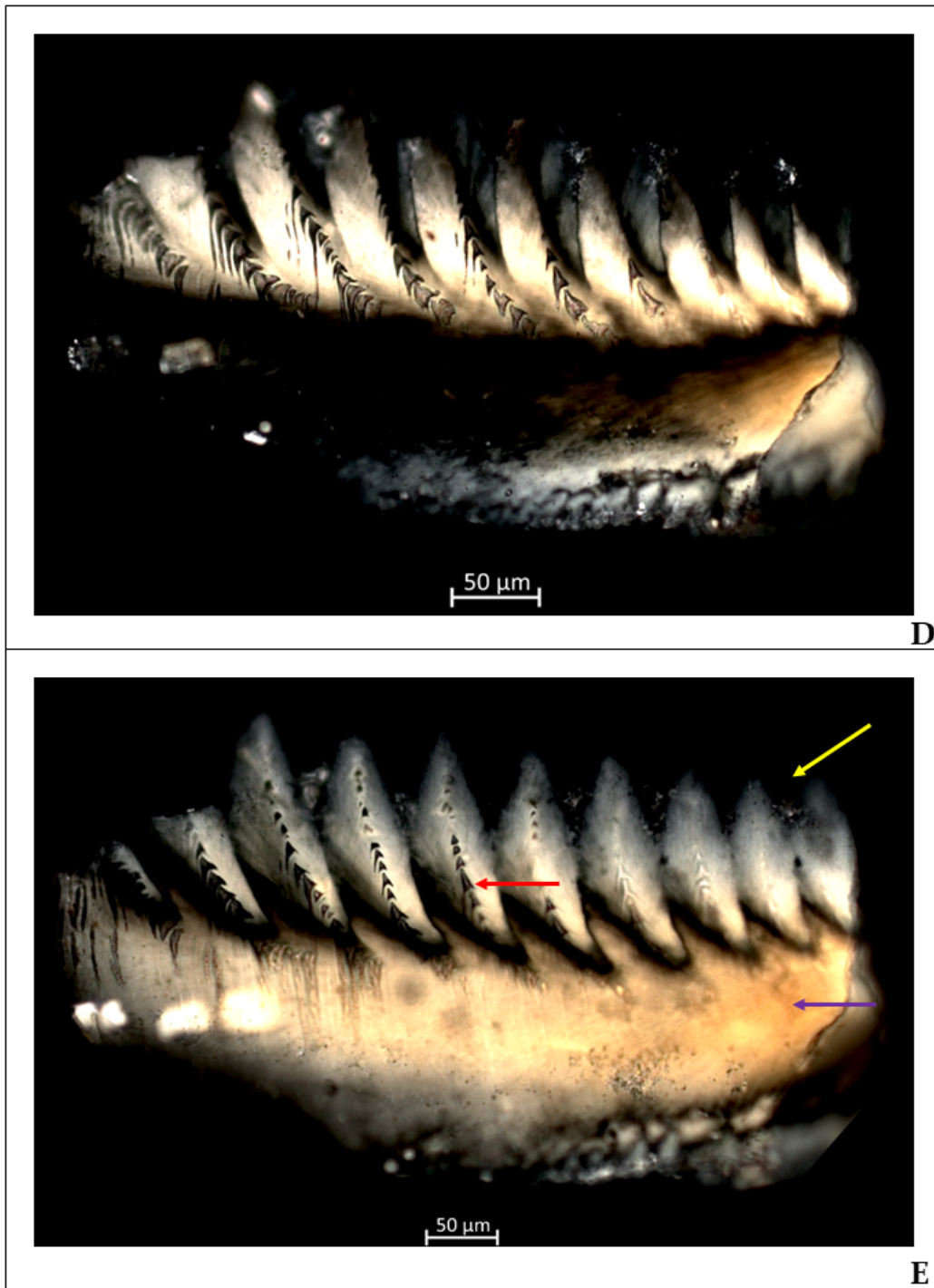


Figura 18. Elementos conodontes da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). D) Elemento conodonte P3. E) Elemento conodonte P3 em diferente ângulo de incidência de luz. Seta vermelha: lamelas de crescimento. Seta amarela: Denticulos que compõem a coroa. Seta roxa: cavidade basal. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m.

Por fim, as amostras da Bacia do *Midcontinent*, Grupo *Kansas City*, Estados Unidos (Figs. 19, 20, 21 e 22), de idade Pensilvaniano Superior, apresentaram uma coloração âmbar e IAC entre 2 e 3. O elemento conodonte P1-E3 não possui

lamelas de crescimento preservadas, no entanto, é possível observar “linhas radiais” na porção externa do elemento (Figs. 19A e B; e 21A, B e C). Esse padrão não foi observado em nenhum outro elemento. No elemento conodonte P3 da Bacia do *Midcontinent* (Figs. 20I e 21D), as lamelas de crescimento não foram reconhecidas. Os elementos conodontes P4-E1 (Figs. 19F e 21G), P4-E2 (Figs. 19C, D e E; e 21E e F), e P5 (Figs. 20J e K; e 22L) apresentaram os melhores resultados na exposição das lamelas. Destacando as amostras P4-E1 e P4-E2, onde suas lamelas ficaram visíveis nas fotografias em ambos os microscópios na porção superior da cúspide.

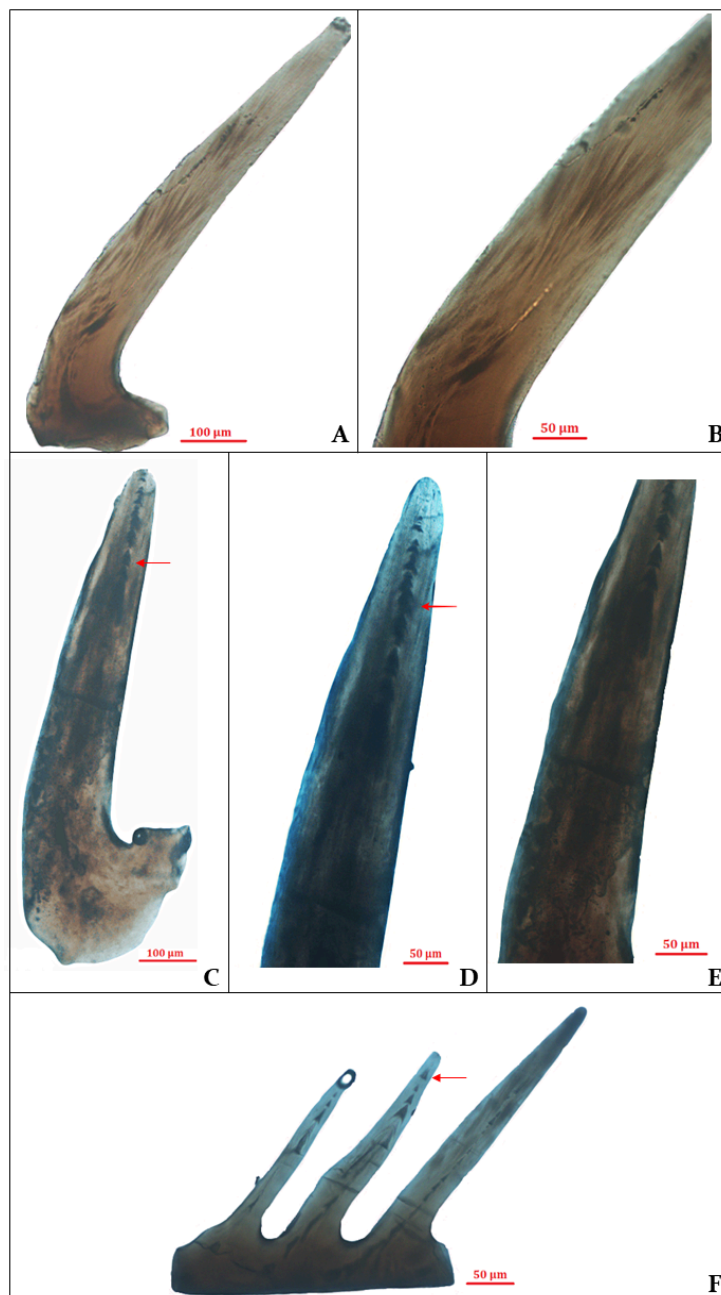


Figura 19. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). A) Elemento conodonte P1-E3. B) Elemento conodonte P1-E3 em detalhe em sua porção mais central. C)

Elemento conodonte P4-E2. D) Elemento conodonte P4-E2 em detalhe em sua porção superior da cúspide. E) Elemento conodonte P4-E2 em detalhe em sua porção mais central. F) Elemento conodonte P4-E1. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2.

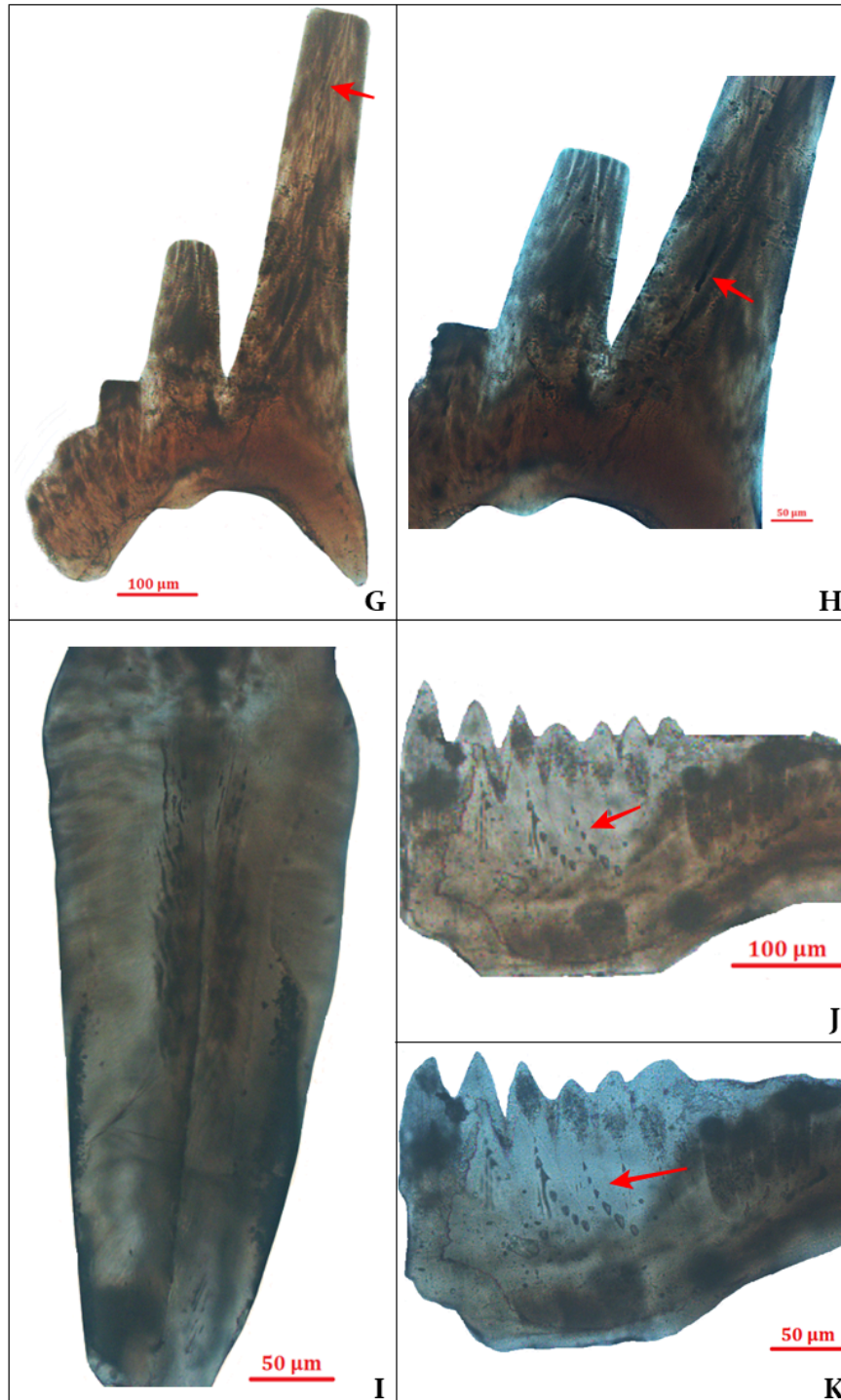


Figura 20. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). G) Elemento conodonte P1-E1. H) Elemento conodonte P1-E1 em detalhe em sua porção mais basal. I) Elemento conodonte P3. J) Elemento conodonte P5. K) Elemento conodonte P5 em objetiva de maior aumento, 10x. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager A2.

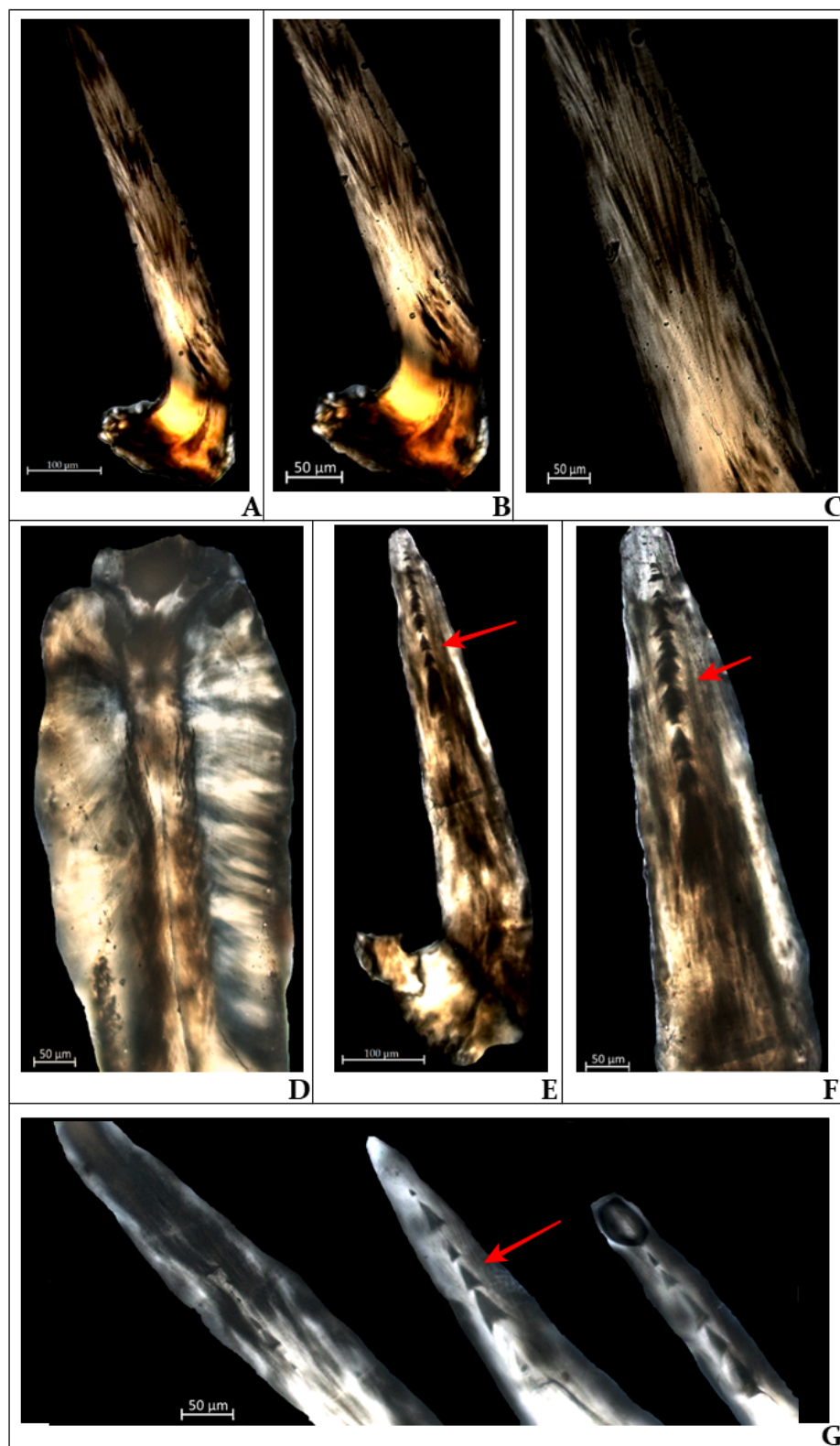


Figura 21. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). A) Elemento conodonte P1-E3. B) Elemento conodonte P1-E3 em detalhe em sua porção mais central e basal. C) Elemento conodonte P1-E3 em detalhe em sua porção mais central. D) Elemento conodonte P3. E) Elemento conodonte P4-E2. F) Elemento conodonte P4-E2 em detalhe em sua porção superior da

cúspide. G) Elemento conodonte P4-E1. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m.

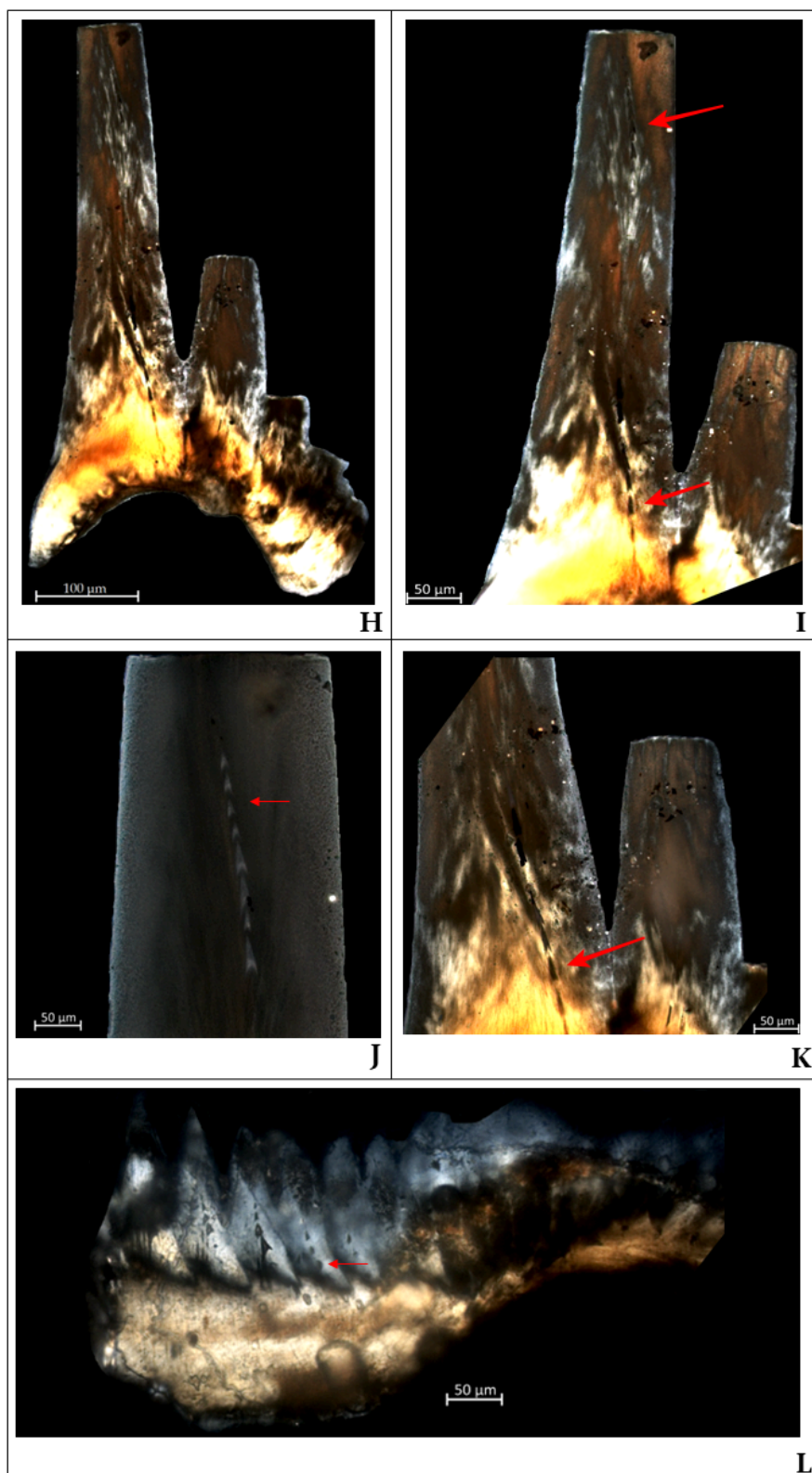


Figura 22. Elementos conodontes da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). H) Elemento conodonte P1-E1. I) Elemento conodonte P1-E1 em detalhe na cúspide menos fragmentada. J) Elemento conodonte P1-E1 em detalhe na porção superior de sua cúspide. K) Elemento conodonte

P1-E1 em detalhe na sua porção mais basal. L) Elemento conodonte P5. Setas vermelhas indicando as lamelas de crescimento. Fotos: Microscópio Óptico Zeiss® Axio Imager M2m.

Aspectos relacionados à química em elementos conodontes e a regeneração dentária não puderam ser investigados, já que não foi possível realizar análises em MEV e Microsonda, e nem os elementos mostraram características que pudessem auxiliar em estudos regenerativos, respectivamente.

Quadro 2. Apresentação dos resultados descritos indicando quais amostras apresentaram lamelas de crescimento.

Localidade	Idade	Elemento Conodonte	Apresenta lamelas?
Província de Salta, Formação Santa Gertrudis, Argentina	Ordoviciano	ARG (P1 - E1)	Não
Província de Salta, Formação Santa Gertrudis, Argentina	Ordoviciano	ARG (P2 - E1)	Não
Bacia do Amazonas, Formação Itaituba, Brasil	Pensilvaniano	BAS 1-9E (P1-E1)	Sim
Bacia do Amazonas, Formação Itaituba, Brasil	Pensilvaniano	BAS 1-9E (P1-E2)	Não
Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil	Pensilvaniano	MO16 - 01A (P1)	Difícil observação
Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil	Pensilvaniano	MO16 - 01A (P2)	Sim
Bacia do Parnaíba, Formação Piauí, Brasil	Pensilvaniano	MO16 - 01A (P3)	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P1_E1)	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P1_E3)	Não
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P3)	Difícil observação
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P4_E1)	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P4_E2)	Sim
Bacia do <i>Midcontinent</i> , Estados Unidos	Pensilvaniano	KC9 (P5)	Sim

6. DISCUSSÕES

Os dentes fazem parte do esqueleto dérmico e estão presentes em uma ampla gama de vertebrados normalmente com mandíbula (Reif, 1982; Smith & Hall, 1990; Donoghue & Sansom, 2002).

Os elementos conodontes são constituídos de fluorapatita e compostos internamente por duas unidades básicas que caracterizam este grupo: a coroa e o corpo basal, que diferem entre si na disposição estrutural e textural dos tecidos. A coroa é composta por tecido lamelar hialino, exibindo grande diversidade estrutural histológica (Lindström & Ziegler, 1971). O corpo basal é uma estrutura mais simples que pode ser análoga ao tecido ósseo dos vertebrados (Donoghue, 1998). Estudos histológicos realizados durante a década de 1990 demonstraram a analogia dos tecidos duros dos conodontes com os de vertebrados (Sansom *et al.* 1992, 1994; Smith *et al.* 1996), entretanto, os padrões de crescimento nos elementos conodontes evoluíram independentemente de padrões semelhantes em vertebrados mais avançados (Donoghue, 1998). Um estudo comparativo entre conodontes e dentes de peixes exemplifica essas importantes diferenças morfológicas (Fig. 6).

Neste estudo foram analisados histologicamente 15 elementos conodontes provindos de localidades e tempos geológicos distintos (Tabela 1) com foco principal voltado à observação das microestruturas internas, e se há um padrão diferenciado no crescimento das lamelas. Os elementos provenientes da Bacia do Amazonas, Bacia do Parnaíba e da Bacia do *Midcontinent* apresentam similaridades na morfologia interna com lamelas bem preservadas. Destacam-se as excelentes condições de preservação dos conodontes do *Midcontinent* (KC9) cuja estrutura interna pode ser visualizada antes da aplicação das técnicas de preparação das pastilhas (Fig. 13E e H).

A partir das observações visuais pode-se constatar que há diferenças de angularidade e tamanho das lamelas quando comparado às lâminas livres (Figs. 17C, D e E; 18C; 19; 21J e K; e 23L) aos elementos em cúspide (Fig. 20C, D, E e F; 22E, F e G). Donoghue (1998) descreve 4 tipos de padrões de crescimento em seu

trabalho, onde os tipo III e tipo IV se assemelham às estruturas internas observadas nas lâminas livres e aos elementos em cúspide (Figura 24).

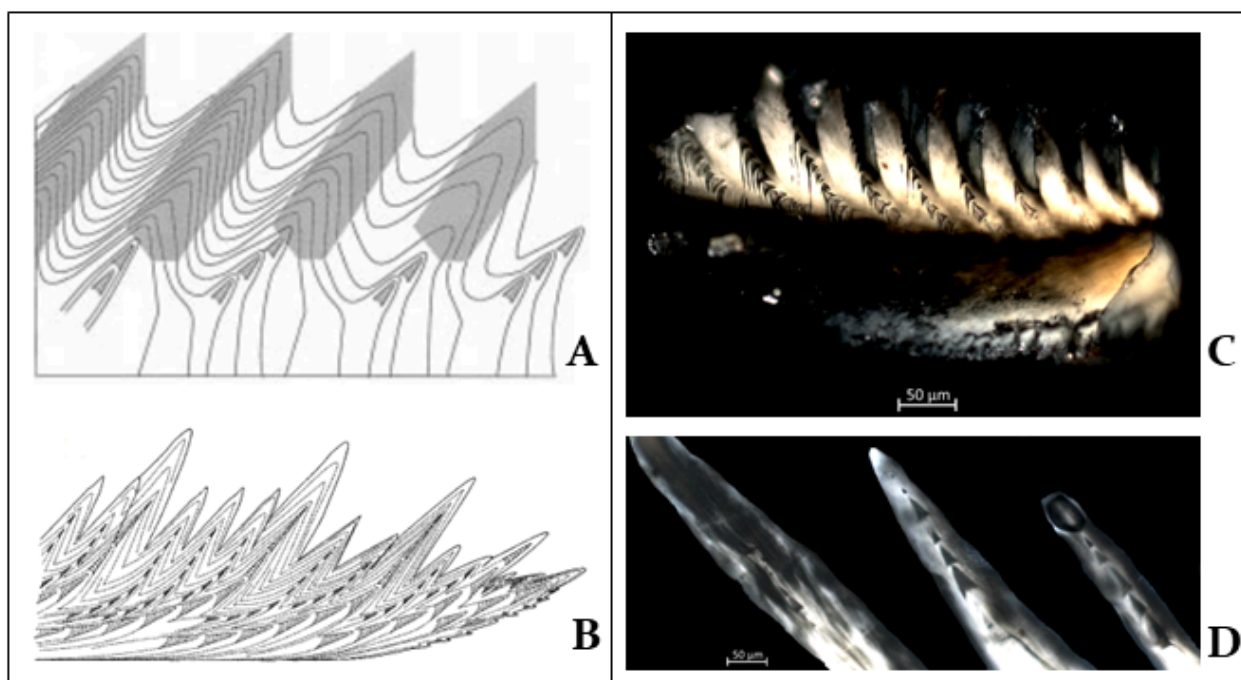


Figura 23. Comparativo entre os padrões de crescimento descritos por Donoghue (1998) e os padrões observados nas amostras deste estudo. A) Tipo III de crescimento, visto nos elementos ramiformes de Ozarkodina, caracterizado pela adição periódica de novos dentículos durante a secreção marginal do tecido corono lamelar. A gênese do dentículo é iniciada pela evaginação do crescimento lamelar normal e pela incorporação de uma 'cavidade de crescimento'. B) Tipo IV de crescimento, exemplificado nos elementos ramiformes de gnátodidos, no qual dentículos são adicionados continuamente durante a acreção marginal do tecido corono. A dentição repetitiva resulta da diferenciação dos dentículos. C) Elemento conodonte P3 da Bacia do Parnaíba (MO-16-1A). D) Elemento conodonte P4-E1 da Bacia do *Midcontinent*, Estados Unidos (KC9). Fonte: A) e B) retirados de Donoghue (1998).

O padrão de crescimento de tipo III produz uma estrutura composta que estende processos por acreção marginal de dentículos individuais (Figura 24A). O processo inicia-se com a evaginação de uma camada incremental do tecido corono na extremidade distal do processo, formando uma cavidade cônica oca escalonada. Posteriormente, ocorre a formação de incrementos espessos de crescimento que encapsulam lamelas semelhantes em forma de cone. As lamelas de crescimento sucessivas são empilhadas, seguindo um padrão arqueado distalmente convexo (Donoghue, 1998). Esse padrão de crescimento das lamelas é o que mais se assemelha aos padrões vistos nas lâminas livres preparadas neste estudo.

No padrão de crescimento do tipo IV (Fig. 24B), os dentículos são adicionados continuamente durante a acreção do tecido corono lamelar, onde a dentição repetitiva resulta na diferenciação dos dentículos. Durante a ontogenia de cada conjunto de dentações, o ângulo de inclinação de cada dentição aumenta progressivamente de quase paralelo para a posição ereta mais típica da dentição "madura". Elementos que seguem o crescimento do tipo IV estavam constantemente passando por mudanças morfológicas pela adição de novas dentações (Donoghue, 1998).

As lamelas de crescimento nos elementos plataformados (Figs. 17A; 18A e B; 21I; e 22D) eram de difícil observação, impossibilitando uma análise detalhada.

A ausência de lamelas de crescimento nos elementos conodontes da Província de Salta, Argentina (Fig. 14) pode estar diretamente relacionada ao alto IAC - Índice de Alteração de Cor, já que este apresenta IAC 6 indicando temperaturas entre 360 a 550°C (Fig. 8), impossibilitando a preservação das lamelas.

A cor apresentada pelos elementos conodontes está diretamente relacionada à profundidade e duração do soterramento, ao gradiente geotérmico e os processos diagenéticos sofridos pelos fósseis. Se não intemperizados e não alterados, são de cor amarelo pálido a âmbar claro. A matéria orgânica (presente entre as lamelas) é uma das principais contribuintes para a cor dos conodontes. Ellisson (1944) relatou que conodontes aquecidos liberam água e ficam cinzas escuros. O que mais tarde foi atribuído corretamente por Lindström (1964) a um processo de fixação de carbono (Epstein, 1977). Os elementos conodontes da Província de Salta, Argentina apresentaram coloração cinza e suas lamelas de crescimento não estavam presentes, o que pode indicar que os elementos foram aquecidos e a matéria orgânica foi dissipada.

Os elementos das Bacia do Amazonas, Bacia do Parnaíba e da Bacia do *Midcontinent* podem ser posicionados entre 1,5 a 2,0 no IAC, indicando temperaturas entre 50 a 90°C. Temperaturas mais baixas são favoráveis à preservação das estruturas internas.

Os conodontes das Bacias do Amazonas, Parnaíba e *Midcontinent*, correspondentes ao período Pensilvaniano possuem a aposição de lamelas muito semelhantes, com isso, em termos paleoambientais e da evolução dos elementos conodontes, tanto as formas em lâminas livres e plataformados, é bastante possível que esses indivíduos vivessem em condições ambientais semelhantes.

Em relação ao material da Província de Salta, Argentina, pertencente ao período Ordoviciano, além de apresentarem uma morfologia distinta (elementos cônicos), também possuem uma coloração distinta e não apresentam lamelas. Assim, não foi possível uma observação da estrutura interna dos elementos, e com isso, não foi possível comparar se há características evolutivas semelhantes e nem se as condições ambientais em que os organismos viviam eram parecidas. Para uma melhor compreensão dos organismos do Ordoviciano, novas análises devem ser desenvolvidas.

7. CONCLUSÕES

Este estudo teve como principal objetivo a análise das lamelas de crescimento de elementos conodontes em diferentes localidades e períodos. Diante dos resultados obtidos, pode-se observar que os elementos possuem lamelas de crescimento de diferentes tipos em relação a morfologia apresentada. Apesar de elementos em lâminas livres e em cúspide apresentarem adição periódica de novos dentículos, a angularidade entre essas adições é diferente. Enquanto as lâminas livres apresentam um padrão arqueado distalmente convexo, os elementos em cúspide apresentam um padrão ereto. Os elementos plataformados mostraram lamelas de difícil observação.

Os elementos conodontes da Bacia do Amazonas, da Bacia do Parnaíba, e da Bacia do *Midcontinent*, período Pensilvaniano, mostraram IAC entre 1,5 e 2,0 (temperaturas entre 50 a 140°C), e lamelas de crescimento com padrão similar, com isso, é possível que esses indivíduos vivessem em condições ambientais semelhantes.

Os elementos conodontes da Província de Salta, Argentina, período Ordoviciano, apresentaram IAC 6 indicando temperaturas entre 360 a 550°C, o que impossibilita a preservação das lamelas devido às altas temperaturas.

Embora novas análises e aprimoramento das técnicas na confecção das pastilhas sejam necessárias, a partir da metodologia utilizada neste estudo já é possível se observar as diferenças nas lamelas de crescimento nos diferentes tipos de elementos conodontes, o que leva a sugerir diversas possibilidades de variáveis (dieta, condições ambientais) as quais devem ser melhor investigadas com o aprimoramento da metodologia e estudo de uma quantidade maior de elementos conodontes.

8. REFERÊNCIAS

ABRANTES, F. R., NOGUEIRA, A. C. R., ANDRADE, L. S., BANDEIRA, J., SOARES, J. L., MEDEIROS, R. S. P. (2019). **Register of increasing continentalization and palaeoenvironmental changes in the west-central pangea during the Permian-Triassic, Parnaíba Basin, Northern Brazil.** *J. South Am. Earth Sci.*, 93: 294–312.

ABRANTES, F. R., NOGUEIRA, A. C. R., SOARES, J. L. (2016). **Permian paleogeography of westcentral Pangea: Reconstruction using sabkha-type gypsum-bearing deposits of Parnaíba Basin, Northern Brazil.** *Sediment. Geol.*, 341: 175–188.

AGUIAR, G. A. de. (1971). **Revisão geológica da bacia paleozoica do Maranhão.** 25° Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, Anais 3: 113-122.

AIRES, M. B., SOARES, R. C., SILVA, SILVA, S. O. da, TING, E. (2011). **Histologia Básica.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD.

ALDRIDGE, R. J., BRIGGS, D. E. G., SMITH, M. P., CLARKSON, E. N. K., & CLARK, N. D. L. (1993). **The Anatomy of Conodonts.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 340(1294), 405–421. doi:10.1098/rstb.1993.0082

ANELLI, L. E., ROCHA-CAMPOS, A. C., SIMÕES, M. G. (2006). **Pennsylvanian Pteriomorphian Bivalves From the Piauí Formation, Parnaíba Basin, Brazil.** *J. Paleontol.*, 80: 1125–1141.

ARAÚJO, R. N., NOGUEIRA, A. C. R., BANDEIRA, J., ANGÉLICA, R. S. (2016). **Shallow lacustrine system of the permian Pedra de Fogo formation, western Gondwana, Parnaiba Basin, Brazil.** *J.S.Am. Earth Sci.*, 67:1–14.

BENGSTON, S. (1976). **The structure of some Middle Cambrian conodonts, and the early evolution of conodont structure and function.** *Lethaia*, Vol. 9, pp. 185-206. Oslo. ISSN 0024-1164.

BRANSON, E. B. & MEHL, M. G. (1933). **Conodont studies, number 1.** *Univ. Mo. Stud.* 8, 1-72.

BRASIER, M. D. (1979). **Microfossils.** Oxford. University of Oxford. 193 p.

BRIGGS, D. E. G., CLARKSON, E. N. K., ALDRIDGE, R. J. (2007). **The conodont animal.** *Lethaia*, 16(1), 1–14. doi:10.1111/j.1502-3931.1983.tb01993.x

CAPUTO, M. V. (1984) **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 586p. Tese (Doutorado) - University of California Santa Barbara

CARLOROSI, J., SARMIENTO, G., HEREDIA, S. (2016). **Selected Middle Ordovician key conodont species from the Santa Gertrudis Formation (Salta, Argentina): an approach to its biostratigraphical significance**. Geological Magazine, 155(04), p. 878–892. doi:10.1017/s0016756816001035

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

CUNHA, P. R. da C, MELO, J. H. G. de, SILVA, O. B. da. (2007). **Bacia do Amazonas**. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 227-251, maio/nov.

DA SILVA, P., MEDEIROS, R. S. P., NOGUEIRA, A. C. R., BANDEIRA, J. (2018). **Mares epicontinentais carbonáticos Pensilvanianos das Bacias do Amazonas e Parnaíba**. Boletim do Museu de Geociências da Amazônia. 5 (2018). 1-9. 10.31419/ISSN.2594-942X.v52018i3a6PASS.

DEEP TIME MAPS™ (2020). **Deep Time Maps™: maps on ancient Earth**. Disponível em <https://deeptimemaps.com/>. Pesquisado em 26 de dezembro de 2023.

DONOGHUE, P. C. J. (1998). **Growth and patterning in the conodont skeleton**. Philosophical Transactions: Biological Sciences, The Royal Society, v. 353. n. 1368, p. 633-666, abril/1998.

DONOGHUE, P. C. J. & SANSOM, I. J. (2002). **Origin and early evolution of vertebrate skeletonization**. Microsc Res Tech. 2002 Dec 1;59(5):352-72. doi: 10.1002/jemt.10217. PMID: 12430166.

ELLISON, S. (1941). **Revision of the Pennsylvanian Conodonts**. Journal of Paleontology, v. 15, n. 2, p. 107-43.

ELLISON, S. (1944). **The composition of conodonts**. Jour. Paleontology, v. 18, no. 2, p. 133-140.

EPSTEIN, A. G., EPSTEIN, J. G., HARRIS, L. D. (1977). **Conodont color alteration - an index to organic metamorphism**. U.S. Geological Survey Professional Paper, 995: 27p.

FURNISH, W. M. (1938). **Conodonts from the Prairie du Chien (Lower Ordovician) beds of the Upper Mississippian Valley.** J. Paleont. 12, 318-340.

GÓES, A. M. O. & FEIJÓ, F.J. (1994). **Bacia de Parnaíba.** Bol. Geociências da Petrobras.

HARRINGTON, H. J. & LEANZA, A. F. (1957). **Ordovician Trilobites of Argentina.** University of Kansas, Special Publication no. 1, 259 pp.

HASS, W. H. (1941). **Morphology of conodonts.** J. Paleont. 15, 71-81.

HECKEL, P. H. (1978). **Field Guide to Upper Pennsylvanian Cyclothemic Limestone Facies in Eastern Kansas.** Kansas Geological Survey Guidebook 2.

JUNQUEIRA, L. C. U. & CARNEIRO, J. (2004). **Histologia Básica.** Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 10 ed., 488 p.

LIMA, E. A. M., LEITE, J. F. (1978). **Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Integração geológico-metalogenética.** DNPM-CPRM, Etapa III, Recife, 1 (16): 212.

LIMA FILHO, F. P. (1991). **Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba.** Dissertação, p. 148.

LINDSTRÖM, M. (1964). **Conodonts.** Amsterdam: Elsevier. 196 p.

LINDSTRÖM, M. & ZIEGLER, W. (1971). **Feinstrukturelle Untersuchungen an Conodonten, 1.** Die Überfamilie Panderodontacea. Geolog. et Palaeontol. 5, 9-33.

LÓPEZ, G., FERRERA, B., LÓPEZ, S. (2006). **Aplicación de los conodontos al conocimiento de la evolución tectotérmica de las zonas externas de los orógenos.** Revista española de Micropaleontología, v. 38, n. 2/3, p. 289-297.

MATSUDA, N. S., DINO, R., WANDERLEY FILHO, J. R. (2004). **Revisão litoestratigráfica do Grupo Tapajós, Carbonífero Médio - Permiano da Bacia do Amazonas.** B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 435-441, maio/nov.

MEDEIROS, R. S. P. de, NOGUEIRA, A. C. R., SILVA JUNIOR, J. B. C. da, SIAL, A. N. (2019). **Carbonate-clastic sedimentation in the Parnaiba Basin, northern Brazil: Record of carboniferous epeiric sea in the Western Gondwana.** J. South Am. Earth Sci, 91: 188–202.

MILANI, E. J., MELO, J. H. G. de, SOUZA, P. A. de, FERNANDES, L. A., FRANÇA, A. B. (2007). **Bacia do Paraná.** B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/nov.

MULLER, K. J. & NOGAMI, Y. (1971). **Ber die Feinbau der Conodonten**. Memoirs Faculty Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral. 38, 1-87.

MULLER, K. J. & NOGAMI, Y. (1972). **Growth and function of conodonts**. In 24th Int. Geological Congr., pp. 20-27. Montreal: UNK.

NASCIMENTO, S., MOUTINHO, L. P., SCOMAZZON, A. K., PAKULSKI, C., LEMOS, V. B. (2011). **Nova técnica de reconhecimento, em seção delgada, de conodontes e foraminíferos da Formação Itaituba, Pensilvaniano da Bacia do Amazonas**. XXII Congresso Brasileiro de Paleontologia, Rio Grande do Norte.

NÖTH, S. (1998). **Conodont color (CAI) versus microcrystalline and textural changes in upper triassic conodonts from Northwest Germany**. Facies 38, 165–173. <https://doi.org/10.1007/BF02537363>

PANDER, C. H. (1856) **Monographie der fossilen Fische des silurischen Systems der russisch-baltischen Gouvernements**. St Petersburg: Buchdruckerei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 91 pp., 9 plates.

PIETZNER, H., VAHL, J., WERNER, H., ZIEGLER, W. (1968). **Zur chemischen Zusammensetzung und mikromorphologie der conodonten**. Palaeontographica Abteilung, A 128 (4-6), pp. 115-152.

REIF, W., E. (1982). **Evolution of Dermal Skeleton and Dentition in Vertebrates: The Odontode Regulation Theory**. Evolutionary Biology, 15, 287-368.

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, v. 99, p. 471-479.

SANSOM, I., SMITH, M., ARMSTRONG, H., SMITH, M. (1992). **Presence of the earliest vertebrate hard tissue in conodonts**. Science, 256(5061), 1308–1311.

SANSOM, I. J., SMITH, M. P., SMITH, M.M. (1994). **Dentine in conodonts**. Nature, v. 368, p. 591.

SMITH, M. M. (2003). **Vertebrate dentitions at the origin of jaws: when and how pattern evolved**. Evolution and Development, 5(4), 394–413. doi:10.1046/j.1525-142x.2003.03047.x

SMITH, M. M. & HALL, B., K. (1990). **Development and evolutionary origins of vertebrate skeletogenic and odontogenic tissues**. Biol. Rev. 65, pp. 277 - 373.

SMITH, M. M., SANSOM, I. J., SMITH, M. P. (1996). **'Teeth' before armour: the earliest vertebrate mineralized tissues**. Mod. Geol. 20, 303 - 319.

VAZ, P. T., ANDRADE, G. De, RIBEIRO, J., FILHO, W., ANTÔNIO, W., TRAVASSOS, S. (2007). **Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da Petrobras, 253–263.

WILNER, E. & WEINSCHUTZ, L. C. (2008). **Comunicado de ocorrência de conodontes na Formação Rio do Sul, Grupo Itararé, Permiano Superior da Bacia Sedimentar do Paraná na região de Mafra, SC**. PALEO 2008 PR/SC, Ponta Grossa, PR, Boletim Soc. Bras. de Paleontologia.