



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Instituto de Geociências

ISADORA MARCHETTI

HISTOLOGIA E FOSSILDIAGÊNESE DE FÓSSEIS DA
FORMAÇÃO ADAMANTINA, BACIA BAURU, SP

CAMPINAS

2017

ISADORA MARCHETTI

HISTOLOGIA E FOSSILDIAGÊNESE DE FÓSSEIS DA
FORMAÇÃO ADAMANTINA, BACIA BAURU, SP

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRA
EM GEOCIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOLOGIA E
RECURSOS NATURAIS

ORIENTADORA: PROFA. DRA. FRESIA SOLEDAD RICARDI TORRES BRANCO

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA
ISADORA MARCHETTI E ORIENTADA PELA PROFA.
DR(A). FRESIA SOLEDAD RICARDI TORRES BRANCO

CAMPINAS

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

M332h Marchetti, Isadora, 1988-
Histologia e fossildiagenese de fósseis da Formação Adamantina, Bacia Bauru, SP / Isadora Marchetti. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Fresia Soledad Ricardi Torres Branco.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Histologia. 2. Diagenesis. 3. Fósseis. I. Ricardi-Branco, Frésia, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Histology and fossildiagenesis of the fossil from Adamantina Formation, Bauru Basin, SP

Palavras-chave em inglês:

Histology
Diagenesis
Fossil

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais

Titulação: Mestra em Geociências

Banca examinadora:

Fresia Soledad Ricardi Torres Branco [Orientador]
Alessandro Batezelli

Sandra Aparecida Simionato Tavares

Data de defesa: 28-04-2017

Programa de Pós-Graduação: Geociências



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

AUTORA: Isadora Marchetti

**HISTOLOGIA E FOSSILDIAGÊNESE DOS FÓSSEIS DA
FORMAÇÃO ADAMANTINA, BACIA BAURU, SP**

ORIENTADORA: Profa. Dra. Frésia Soledad Ricardi Torres Branco

Aprovada em: 28 / 04 / 2017

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Frésia Soledad Ricardi Torres Branco - Presidente

Prof. Dr. Alessandro Batezelli

Dra. Sandra Aparecida Simionato Tavares

*A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora,
consta no processo de vida acadêmica do aluno.*

Campinas, 28 de abril de 2017.

AGRADECIMENTOS

A Fresia Ricardi Branco, que me mostrou o caminho da paleontologia há anos, a quem devo todo aprendizado, pela orientação precisa e rigorosa nesta pesquisa.

A Alessandro Batezelli pelos valiosos apontamentos na banca de qualificação e a Eleonore Setz pelo mesmo motivo, acrescido da motivação que foi essencial para a conclusão desta pesquisa.

Aos professores, obrigada por me ensinarem geologia, a ciência que movimenta minha vida. Um agradecimento especial ao Professor Pedro Wagner, fonte de inspiração na minha trajetória como professora, e ao Professor Ticiano Saraiva, pelo mesmo motivo e pela amizade e carinho.

A todos os funcionários do Museu de Paleontologia de Monte Alto pela recepção, explicação e auxílio às consultas ao acervo, em especial a Sandra Tavares por todo olhar a esta pesquisa desde o primeiro momento e por todas as contribuições bibliográficas ou em campo.

A Erica Tonetto, Douglas Galante e Flavia Caleffo, por compartilhar seus conhecimentos técnicos fundamentais para os resultados.

Aos amigos de geologia pelas trocas sempre frutíferas Bill, Grace, Boneco, Burca, Cebola.

Agradeço à Capes pela concessão da bolsa de mestrado que viabilizou a realização desta pesquisa.

Aos amigos de sempre Livia, Mayra, Helena, Ligia, Bel, Amanda, Vivi, Wander, Marcelo, Pati, Esdras, Turcão, Erikinho, Rafa, Julia, Bea, Pacata.

Em especial à minha mana Leticia por todo apoio e por todo tempo. Mesmo com a distância e a saudade só tenho a agradecer o amor dessa relação.

Ao amigo Danilo Magrão pelo companheirismo e pela inspiração na luta cotidiana contra todas as injustiças do mundo.

A Gabriela Ricci e Fernando Perre que musicaram minha trajetória acadêmica e minha vida.

Um profundo agradecimento ao Iago pela companhia, nessa e outras buscas. Por todo aprendizado e reflexões sobre educação. Pelo amor e amizade construída que tanto me alegra e fortalece.

Aos meus irmãos, pela leveza da presença, por todo divertimento dos finais de semana e principalmente pela acolhida em Socorro.

Agradeço aos meus pais, Edna e Zetão, pelo amor e o apoio constante e incondicional em todas as minhas escolhas. Essas linhas também são suas!

*“Ver o mundo em um grão de areia
e o céu em uma flor silvestre
é sustentar o infinito na palma da mão
e a eternidade em uma hora”*

William Blake

RESUMO

Esta dissertação de mestrado apresenta uma descrição detalhada de histologia óssea e uma abordagem tafonômica com ênfase no processo de fossildiagênese, baseadas em fósseis dos arcossauria *Aeolosaurus maximus* (Santucci et Arruda-Campos 2011) e *Montealtosuchus arrudacamposi* sp. e do molusco bivalve *Itaimbea* sp. Os fósseis são do Cretáceo Superior, pertencentes à Formação Adamantina, Bacia Bauru, na região da cidade de Monte Alto, São Paulo. Os materiais descritos são de osso longo (fêmur), vértebra, osteodermo, costelas e valvas. Foram confeccionadas lâminas petrográficas em cortes transversais das amostras e das rochas associadas aos fósseis. As microestruturas ósseas nos arcossauria se encontram bem preservadas. O padrão histológico dos arcossauria é bastante similar, com a presença de tecidos ósseos e linhas de crescimento indicando que ambos provavelmente atingiram a maturidade sexual antes de morrer. Os resultados mostram que os fósseis passaram por recristalização fosfática, difusão/adsorção de Elementos Terras Raras, vanádio, ferro e permineralização. A recristalização fosfática do *A. maximus* e do *M. arrudacamposi* ocorreu durante a eodiagênese, excedendo a taxa de dissolução do osso. A presença da apatita autigênica e dos Elementos Terras Raras nas amostras direciona a uma conclusão de que o ambiente diagenético era alcalino. O mapeamento químico se provou eficiente para remontar as etapas fossildiagenéticas e suas características específicas.

Palavras-chave: Bacia Bauru, Formação Adamantina, Fossildiagênese, Histologia.

ABSTRACT

This dissertation presents a detailed bone histology description and a taphonomic approach with emphasis on the process of fossil diagenesis, based on arcossauria *Aeolosaurus maximus* (Santucci *et* Arruda-Campos 2011) and *Montealtosuchus arrudacamposi* sp fossils, and on the bivalve mollusk *Itambea* sp. The fossils are from the lower Cretaceous and belong to the Adamantina formation, Bauru Basin, city of Monte Alto (SP). Materials described include femur, vertebra, osteoderm, ribs and valves. Thin cross-sections were obtained from the samples and from the nesting rocks when they were associated to the fossils. The bone microstructures in the arcossauria are well preserved, in the bivalve *Itambea* sp., even though the valves are not fragmented and articulated, there were no structures preserved. The histologic pattern of both arcossauria is quite similar, with the presence of bone tissue and growth lines indicating that both were not in initial ontogenic stage and possibly were young adult individuals when they died. Results show that the fossils have been through phosphatic recrystallization, diffusion/adsorption of Rare Earth Elements, vanadium, iron and pemineralization. The phosphatic recrystallization of *A. maximus* and *M. arrudacamposi* occurred during eodiagenesis exceeding the bone dissolution rate. The presence of the apatite recrystallized and the Rare Earth Elements in the samples leads to the conclusion that the diagenetic environment was alkaline. The chemical mapping has proved to be efficient in remounting the fossil diagenetic steps and their specific features.

Keywords: Bauru Basin, Formation Adamantina , Fossil diagenesis, Histology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das unidades lito-estratigráficas da Bacia Bauru e localização do Município de Monte Alto (quadrado vermelho), SP, de onde provêm os fósseis estudados.	15
Figura 2 – Imagens dos afloramentos nos quais foram encontrados os fósseis estudados e exemplares expostos.	19
Figura 3 – Seção estratigráfica do afloramento da Fazenda Santa Irene mostrando o posicionamento estratigráfico dos fósseis estudados.	20
Figura 4 – Imagens dos fósseis estudados, vertebrados e invertebrados, em corte transversal, Formação Adamantina, Monte Alto, SP.	22
Figura 5 – Pós-craniano de <i>Montealtosuchus arrudacamposi</i> (espécime MPMA-16-0007 / 04) Formação Adamantina, Brasil.	28
Figura 6 – <i>Aelosaurus maximus</i> , mapa mostrando a disposição dos ossos no Afloramento da Fazenda Sta. Irene e a sua posição no esqueleto.	30
Figura 7 – Tafonomia, suas subdivisões e áreas de atuação.	31
Figura 8 – Desenho esquemático mostrando as células encontradas em tecidos ósseos.	36
Figura 9 – Desenho esquemático mostrando as estruturas ligadas aos osteócitos.	37
Figura 10 – Ilustração da região do osso compacto e osso esponjoso.	38
Figura 11 – Crescimento transversal e longitudinal nos ossos.	39
Figura 12 – Representação esquemática dos diferentes tipos de arranjos dos canais vasculares do tecido fibrolamelar.	40
Figura 13 – Esquema diferenciando a deposição cíclica (A) e a deposição contínua (B). Além de marca de crescimento e LAGs.	41
Figura 14 – Desenho da vista ventral de crocodyliformes viventes especificando a localização dos fragmentos de ossos e epiderme (osteodermos) estudados.	43
Figura 15 – Detalhes histológicos de um fêmur de <i>Montealtosuchus arrudacamposi</i> . A-B-C (DP2/177A), D (DP2/177B).	44
Figura 16 – Detalhes da fisiologia do fragmento de vértebra <i>Montealtosuchus arrudacamposi</i> (A, B e C DP2/177 A; D e E DP2/177B).	46
Figura 17 – Histologia de um osteoderma dorsais <i>Montealtosuchus arrudacamposi</i> (A, B e C DP2/178 A).	47
Figura 18 – Reconstituição esquelética de <i>Aelosaurus maximus</i>	48
Figura 19 – Detalhes histológicos de fragmentos de costelas de <i>Aelossaurus maximus</i> (A e B. DP2/179; C. DP2/226 D. DP2/38).	50

Figura 21 – Secção transversal de <i>Itaimbea</i> sp. (A, B e C DP1/536).....	52
Figura 22 – Detalhes petrográficos dos arenitos onde foram preservados os fósseis (A. DP2/177; B. DP2/176; C. DP2/177; D. DP2/226).	53
Figura 23 – Gráficos e imagens DER da composição geral dos fósseis (apatita).	54
Figura 24 – Gráfico e imagens DER mostrando a distribuição da ílita nas amostras estudadas.	55
Figura 25 – Gráficos e imagens DER das composições de cério e vanádio e a sua distribuição.	56
Figura 26 – Gráfico e imagens DER mostrando a distribuição de calcita nas amostras estudadas.....	57
Figura 27 – Imagens dos resultados de μ - XRF para a distribuição do cálcio, cério e ferro na secção transversal do fêmur de <i>M. arrudacamposi</i> (DP2/176).	58
Figura 28 – Imagens dos resultados de μ - XRF para a distribuição do cálcio, vanádio e ferro na secção transversal do fêmur de <i>M. arrudacamposi</i> (DP2/176).	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Organização das amostras e suas respectivas lâminas petrográficas.....	21
Tabela 2 – Organização dos dados composicionais obtidos através de MEV e XRF para todas as amostras estudadas.....	63

SUMÁRIO

1. Introdução.....	14
2. Justificativa.....	16
3. Objetivos.....	17
4. Materiais e Métodos	18
4.1 Trabalhos de campo.....	18
4.2 Trabalhos de Laboratório.....	20
4.2.1 Amostras estudadas	20
4.2.2 Análise Petrográfica	22
4.2.3 Análise com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).....	23
4.2.4 Análise em Micro Fluorescência de Raio – X (μ -XRF).....	23
5. Contexto geológico e paleontológico	24
5.1 Geologia da Bacia Bauru.....	24
5.2 A biota da Formação Adamantina	25
5.2.1 Mollusca	25
5.2.2 Crocodylomorpha.....	26
5.2.3 Dinosauria.....	29
6. Tafonomia: bioestratinomia e fossildiagênese	31
7. Tecido ósseo	36
7.1 Estrutura geral do tecido ósseo em vertebrados	36
7.2 Crescimento ósseo	38
8. RESULTADOS	42
8.1 Descrição Histológica.....	42
8.1.1 Crocodyliformes	42
8.1.2 Saurischia	48
8.1.3 Bivalves	51
8.2 Descrição Petrográfica dos arenitos associados aos fósseis	52
8.3 Análise em Microscópio Óptico de Varredura (MEV)	53
8.4 Análise em Micro Fluorescência de Raio – X (μ -XRF).....	57
9. Discussão.....	60
9.1 Histologia	60

9.1.1	<i>Montealtosuchus arrudacamposi</i>	60
9.1.2	<i>Aelosaurus maximus</i>	61
9.1.3	<i>Itaimbea</i> sp.	62
9.2	Composição química dos fósseis e ambiente fossildiagenético	62
9.3	Etapas fossildiagenéticas	62
10.	Conclusão	65
	REFERÊNCIAS	66

1. Introdução

Durante o Cretáceo Inferior ocorreu o fendilhamento do Gondwana acompanhado de extensas extrusões basálticas que resultaram na sua separação. Com o fim do vulcanismo (133 Ma), a porção sudeste da América do Sul passou por uma reestruturação tectônica, o que gerou bacias de deposição sedimentares continentais. A Bacia Bauru se formou nesse contexto em decorrência da subsidência térmica, sendo esta mais intensa nas regiões de espessas sucessões de basaltos da Formação Serra Geral (Batezelli 2015).

No contexto biótico da Bacia Bauru, em consequência do amplo registro das assembleias fossilíferas, destaca-se o da Formação Adamantina (Tavares 2011). Em 1896, Derby foi o primeiro autor a registrar tartarugas e dinossauros. Em 1911 Von Ihenring registrou um dente de *Crocodylomorpha* e, a partir de 1945, com estudos de Llewellyn Ivor Price na Formação Marília e na região do Triângulo Mineiro, foi registrada a presença de uma abundante assembleia fóssil preservada de vertebrados que aumentou significativamente o número de espécies conhecidas no Grupo Bauru (Candeiro *et al.* 2006). O registro fóssil de vertebrados é dominado principalmente pelos *Crocodyliformes* e dinossauros (*Sauropoda* e *Therapoda*), todavia, existem registros consideráveis de *sarcopterygios*, quelônios, ofídios, carófitas, gastrópodes e bivalves (Bertini *et al.* 1993, Dias-Brito *et al.* 2001, Candeiro *et al.* 2006). Sendo assim, tal cenário é interessante para o desenvolvimento uma pesquisa paleontológica (Carvalho *et al.* 2007, Ghilardi *et al.* 2007, Santucci *et al.* 2011, Tavares *et al.* 2014).

A Tafonomia é um ramo da paleontologia que aporta elementos importantes para a compreensão dos ambientes deposicionais e processos de fossilização, pois os processos responsáveis pela gênese das rochas sedimentares também atuam na preservação fossilífera. Apenas os parâmetros tafonômicos fornecem dados relacionados à vida e ecologia dos indivíduos estudados em conjunto com processos diagenéticos (Holz e Simões 2002).

Através da análise microscópica das estruturas ósseas é possível identificar aspectos fisiológicos, ontogênicos, filogênicos, mecânicos e ambientais. Esses aspectos variam em relação aos diferentes tipos de ossos, idade e ambiente. Sem eles importantes informações sobre idade, taxa de crescimento e maturidade sexual de espécies extintas permaneceriam desconhecidas (Padian e Lamm 2013).

A partir de informações advindas da Tafonomia (fossilização) e Histologia óssea, as características micro-osteológicas e composição química dos fósseis foram delimitadas.

2. Justificativa

Durante Cretáceo ocorreram mudanças significativas na história biológica do planeta, uma vez que este período protagonizou o aparecimento e a extinção de espécies fundamentais para a evolução da vida como, por exemplo, as angiospermas e os dinossauros.

Embora a Bacia Bauru seja alvo de diversas pesquisas com diferentes enfoques paleontológicos (Bertini *et al.* 1993, Dias-Brito *et al.* 2001, Carvalho *et al.* 2003, Candeiro *et al.* 2006, Zaher *et al.* 2006, e Pires-Domingues *et al.* 2007), existem poucas tentativas de uma abordagem mais detalhada acerca da caracterização tafonômica (Henrique *et al.* 2002, Bertini *et al.* 2006, e Vasconcellos e Carvalho 2006). Além disso, a maioria das análises tafonômicas existentes de vertebrados da Bacia Bauru tem como foco a definição dos processos físicos (Marinho 2006, Carvalho *et al.* 2007, Azevedo 2012, Marinho 2013 *et al.* 2013, Tavares *et al.* 2015), enquanto os químicos são pouco abordados, deixando os processo fossildiagnético atuante na preservação dos fósseis e sua relação com o paleoambiente deposicional inexploradas. Ou seja, há uma lacuna de produção científica em relação aos processos de origem, formação e preservação no registro sedimentar das assembleias fossilíferas na Bacia Bauru.

3. Objetivos

O objetivo principal da pesquisa foi inferir sobre as microestruturas das amostras estudadas e a compreensão do ambiente diagenético envolvido no processo de fossilização na Formação Adamantina, Monte Alto, SP. Os objetivos específicos foram:

- Comparação histológica das amostras de *M. arrudacamposi* e *A. maximus* com outros vertebrados similares da Bacia Bauru;
- Definição do padrão tafonômico (fossildiagenético) das amostras de *M. arrudacamposi*, *A. maximus* e *Itamibea* sp.;
- Determinação das características químicas e físicas do paleoambiente de fossilização.

4. Materiais e Métodos

4.1 Trabalhos de campo

As amostras analisadas neste trabalho foram coletadas na região de Monte Alto, SP, Brasil, pela equipe de pesquisadores do Museu de Paleontologia "Prof. Antônio Celso de Arruda Campos", situado nesse município.

Todos os fósseis pertencem aos depósitos da Formação Adamantina. Os fósseis em análise são de:

- *Aeolosaurus maximus* (Santucci e Arruda-Campos 2011) coletado no afloramento Fazenda Santa Irene (S 21° 19'44.3" W 48° 34'54.6") (Figura 2A);
- *Montealtosuchus arrudacamposi* (Carvalho, Vanconcellos e Tavares 2007) (crocodilo) coletado em uma estrada rural que liga Monte Alto a Taiacu (S 21° 09'53,9" W 48° 29'54.0") (Figura 2B);
- *Itaimbea* sp. coletado no afloramento Anhumas (S 21° 16' 45 '' W 48° 32' 20´) (Figura 2C).



Figura 2 – Imagens dos afloramentos nos quais foram encontrados os fósseis estudados e exemplares expostos. A. Afloramento Fazenda Santa Irene, local da coleta do esqueleto de *Aeolosaurus maximus*, na imagem momento da retirada do esqueleto; B. Estrada que liga Monte Alto a Taiapu onde foi coletado o esqueleto de *Montealtosuchus arrudacamposi* (seta); C. Afloramento Anhumas, local da coleta de *Itaimbea* sp.; D. Costelas de *Aeolosaurus maximus* expostas no Museu de Paleontologia "Professor Antônio Celso de Arruda Campos".

Foram realizados dois trabalhos de campo, o primeiro entre os dias 15 e 16 de agosto de 2015 e o segundo no dia 17 setembro de 2015. Esses trabalhos foram destinados à aquisição de dados em campo e no Museu de Paleontologia de Monte Alto, bem como identificação e descrição dos afloramentos, registros fotográficos e coleta de novos exemplares fossilíferos. No primeiro trabalho de campo foi explorado o afloramento no qual os fósseis de *M. arrudacamposi* foram coletados (estrada que liga a cidade de Monte Alto à cidade de Taiapu). Nesta ocasião, também foi possível consultar o acervo do museu. No segundo trabalho de campo, os afloramentos visitados foram o da Santa Irene e Anhumas. O posicionamento dos bivalves ocorre no nível estratigráfico acima do *A. maximus* (Figura 3).

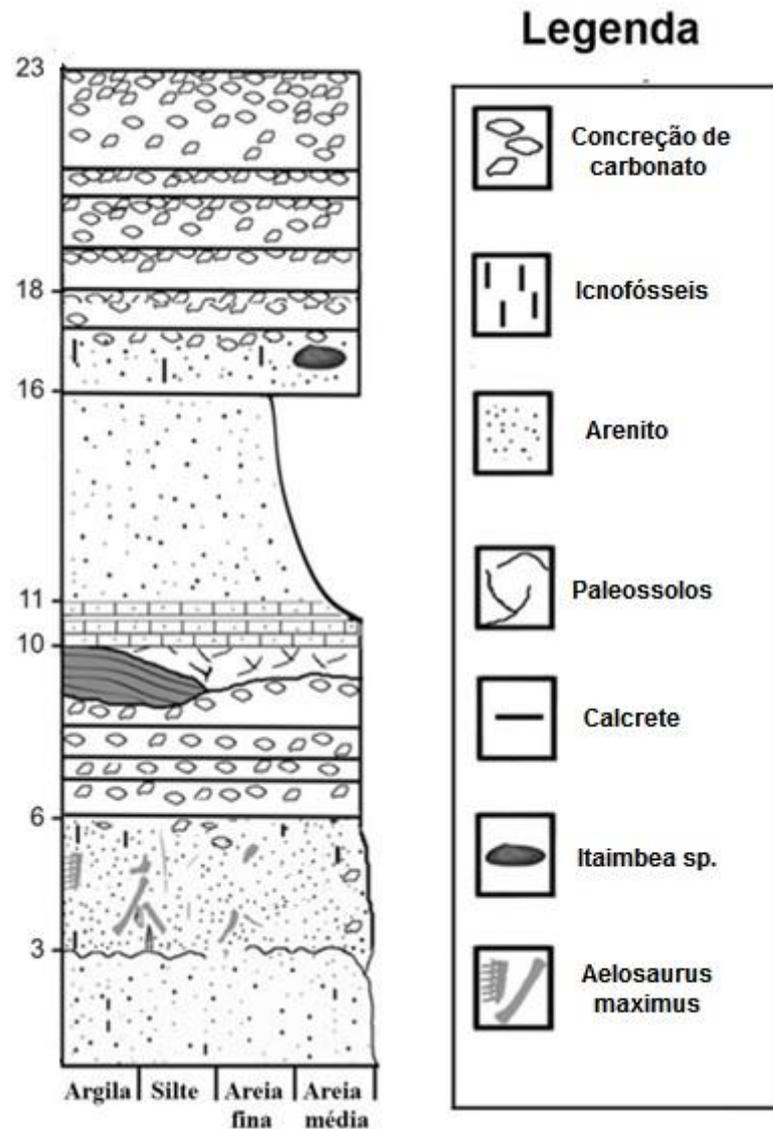


Figura 3 – Seção estratigráfica do afloramento da Fazenda Santa Irene mostrando o posicionamento estratigráfico dos fósseis estudados. Fonte: modificado de Tavares *et al.* 2014.

4.2 Trabalhos de Laboratório

4.2.1 Amostras estudadas

As lâminas analisadas neste estudo foram produzidas a partir de amostras de fragmentos de fósseis de dinossauros saurópodes, Crocodyliformes e Moluscos Bivalves, coletados em depósitos da Formação Adamantina da região da cidade de Monte Alto.

A partir das amostras foram elaboradas lâminas delgadas em cortes transversais de: osteodermo dorsal (2 lâminas – osteodermo isolado), fragmento de vértebra (2 lâminas) e osso longo (provavelmente fêmur) (2 lâminas) de *Montealtosuchus arrudacamposi*

(Crocodyliformes); fragmento de costela (6 lâminas de cortes transversais) de *Aelosaurus maximus* (Saurópoda) e de amostras de rocha contendo o bivalve *Itambea sp.* (2 lâminas). As amostras, respectivas lâminas e imagens são referenciadas na Tabela 1 e na Figura 4.

Tabela 1 – Organização das amostras e suas respectivas lâminas petrográficas.

Amostra	Lâmina
<i>M. arrudacamposi</i> - vértebra	DP2/176A; DP2/176B
<i>M. arrudacamposi</i> - fêmur	DP2/177A; DP2/177B
<i>M. arrudacamposi</i> - osteodermo	DP2/178A; DP2/178B
<i>A. maximus</i> – costela	DP2/179A; DP2/179B
<i>A. maximus</i> – costela	DP2/38A; DP2/38B
<i>A. maximus</i> – costela	DP2/226A; DP2/226B
<i>Itambea sp.</i> – valva	DP1/536A; DP1/536B

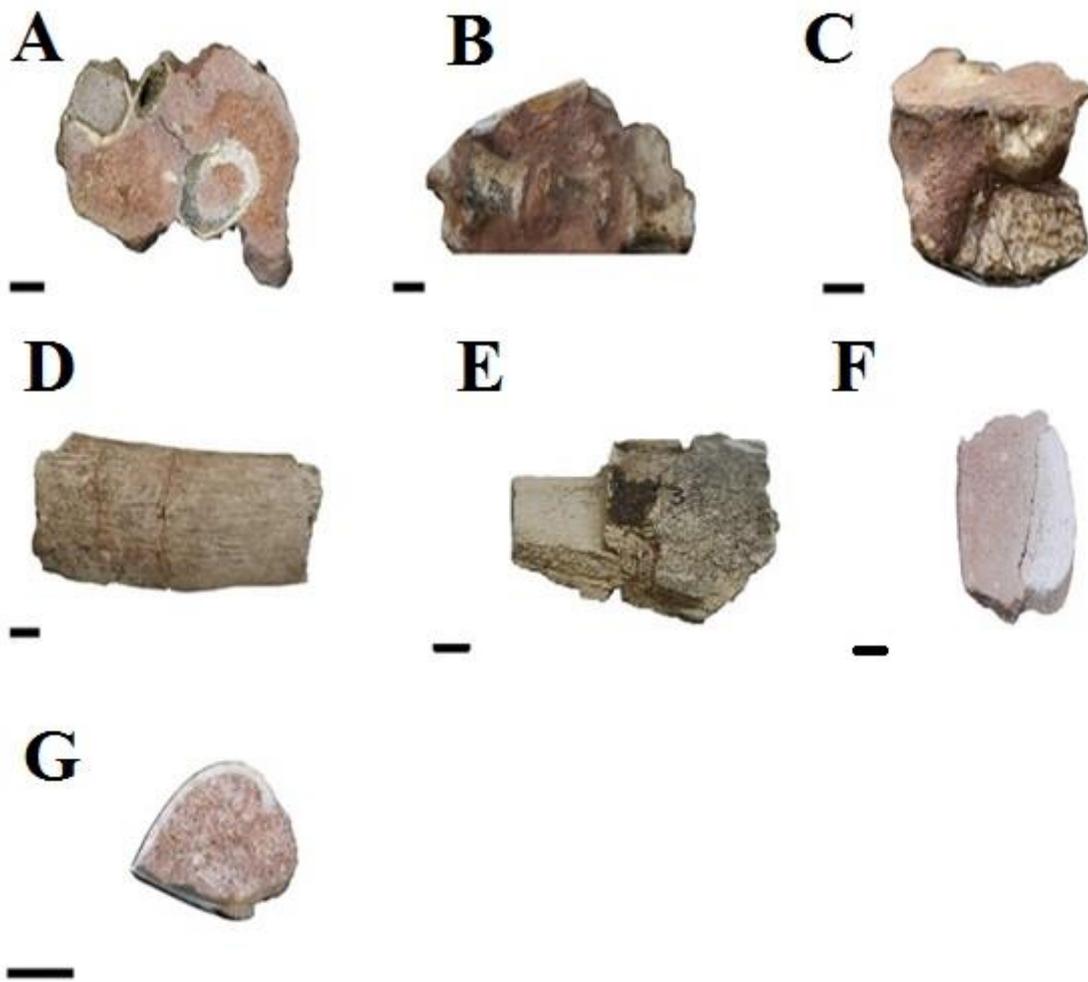


Figura 4 – Imagens dos fósseis estudados, vertebrados e invertebrados, em corte transversal, Formação Adamantina, Monte Alto, SP. *M. arrudacamposi* (A, B e C). A. Fragmento de osso, B. Fragmento de vértebra e C. Placa dérmica; *Aelosaurus maximus* (D, E e F). D, E, F. Fragmento de costela. *Itaimbea* sp. G. Valva. Barra de escala 1cm.

Seguindo os procedimentos de seccionamento petrográfico padrão (Chinsamy-Turan 2005, Padian e Lamm 2013) todas as amostras foram seccionadas transversalmente para permitir a descrição dos caracteres morfológicos. Antes do corte com o disco de serra diamantado, os exemplares foram impregnados com uma resina sintética (Araldite). Posteriormente, as amostras já cortadas foram desbastadas com carbetto de silício e postas para secagem em estufa durante aproximadamente 15 minutos. Para a colagem em lâmina de vidro foi utilizado novamente Araldite e o excesso da resina foi extraído do vidro com serra diamantada. Por último, para obtenção da espessura desejada (30 μ m) a lâmina foi desbastada com carbetto de silício.

As lâminas foram analisadas em microscópio petrográfico sob luz normal e luz polarizada no Laboratório de PaleoHidrogeologia do IG-UNICAMP. Os dados coletados das lâminas através da petrografia sedimentar, principalmente relacionados à composição

mineralógica, formato dos grãos, diagênese e estruturas osteológicas, bem como as estruturas anatômicas preservadas, intemperismo, marcas e abrasão, foram fotomicrografadas.

4.2.2 Análise com Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Foram realizadas análises de MEV para obtenção da composição química dos elementos relacionados aos processos de fossilização e obtenção de imagens para estudos morfológicos.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) auxiliou na descrição anatômica osteológica dos fósseis presentes nas lâminas delgadas. O procedimento foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica do Instituto de Geociências da UNICAMP através da varredura digital da lâmina, controlada por meio do software Labbok, desenvolvido pela Carl Zeiss.

Durante as sessões de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi utilizado o Detector de Elétrons Retroespalhados (DER), que enfatiza as diferenças composicionais.

4.2.3 Análise em Micro Fluorescência de Raio – X (μ -XRF)

A linha de luz μ -XRF é uma estação experimental dedicada à microscopia de Fluorescência de Raios X. O foco da linha é a determinação e mapeamento de elementos químicos traços em amostras com aplicações nos campos da química analítica, biomedicina, geoquímica ambiental e ciência de materiais.

As assinaturas químicas estão além do limite de detecção da maioria das técnicas analíticas baseadas em laboratório (por exemplo, microscopia eletrônica de varredura). No entanto, a linha de μ -XRF (Fluorescência de Raio X) com energia provinda de radiação sincrotron é uma técnica de mapeamento elementar que combina de forma única alta sensibilidade (ppm), excelente resolução da amostra (20-100 μ m) e a capacidade de varrer áreas de até 15mm, sendo 3000 vezes mais rápido do que outras técnicas de mapeamento convencionais (Anne *et al.* 2014). Aqui, utilizamos μ -XRF para determinar a distribuição e concentração de elementos traços no interior dos fósseis para complementar as análises DER.

5. Contexto geológico e paleontológico

5.1 Geologia da Bacia Bauru

Com o fim da atividade vulcânica do Cretáceo Inferior e o rompimento do continente gondwânico, a porção sul da América do Sul foi submetida à subsidência térmica que resultou no desenvolvimento da Bacia Bauru (Riccomini 1997) (Figura 1). Localizada no interior do continente, a bacia se desenvolveu acumulando uma sequência sedimentar predominantemente arenosa, com espessura máxima de 300 m e área de 370.000 km² (Fernandes e Coimbra 2000).

Segundo Batezelli (2015), os limites atuais da Bacia Bauru são erosivos e/ou tectônicos, desenhados pela Antéclise de Rondonópolis (Coimbra 1991), a noroeste, Soerguimento do Alto Paranaíba (Hasui e Haralyi 1991), a nordeste, alinhamentos do Rio Moji Guaçú (Coimbra *et al.* 1981), São Carlos-Leme e Ibitinga-Botucatu (Riccomini 1995), a leste, do Paranapanema (Fulfaro 1974), a sul e sudeste. A oeste, seu limite é difuso na margem ocidental devido à grande área de depósitos fluviais cenozoicos associados à planície do Rio Paraná.

No âmbito da estratigrafia, Fernandes e Coimbra (1996), reafirmando o trabalho de Fernandes (1992), individualizaram a Bacia Bauru (grupos Caiuá e Bauru) como uma entidade geotectônica. O Grupo Caiuá (Fernandes 1998) é subdividido, em ordem estratigráfica ascendente, nas formações Goio Erê, Rio Paraná e Santo Anastácio. O Grupo Bauru (Batezelli 2015), do mesmo modo, subdivide-se nas formações Araçatuba, Adamantina e Uberaba, Marília.

A bacia foi preenchida por uma sequência siliciclástica depositada durante o Cretáceo, no intervalo Campaniano-Maastrichtiano (Gobbo-Rodrigues 2002, Santucci e Bertini 2003, Batezelli 2015), em condições semi-áridas nas margens e áridas no seu interior (Fernandes e Ribeiro 2015).

Com relação ao paleoambiente, Fernandes e Ribeiro (2015) descreveram que os fósseis da Bacia Bauru estão associados a dois tipos principais de depósitos: planície de inundação fluvial com lagoas efêmeras, no interior da bacia; fluxo fluvial entrelaçado com lagoas e leques aluviais, nas margens da bacia.

5.2 A biota da Formação Adamantina

Os fósseis estudados pertencem à biota da Formação Adamantina definida através de estudos paleontológicos de Gobbo-Rodrigues *et al.* (1999), Ribeiro e Avilla (2004), Santucci e Bertini (2006), Ghilardi *et al.* (2010), Iori e Carvalho (2011), Martine (2013), entre outros. Assim sendo, segue uma breve descrição da mesma dando ênfase aos espécimes mais representativos em termos de abundância e descrição sistemática:

- Arthropoda – os ostracodes são os microfósseis mais abundantes da Formação Adamantina.
- Mollusca – os bivalves são mais abundantes que os gastrópodes, que geralmente são pequenos e raros.
- Osteichthyes – peixes são raros, foram encontradas escamas e ossos isolados.
- Dipnoi – foram descritos dentes de peixes pulmonados.
- Amphibia – o registro é escasso em toda a Bacia Bauru, na formação foi encontrado apenas um fóssil de anuro.
- Crocodylomorpha – são os vertebrados mais frequentes e diversificados.
- Dinosauria – os mais frequentes são os saurópodes.
- Theropoda – foram encontrados dentes e fragmentos de ossos incompletos.
- Aves, Mammalia e Plantae – até o presente são pouco representativos.

Para este estudo foram selecionados fósseis de moluscos, Crocodylomorpha e saurópodes em decorrência da grande quantidade de exemplares encontrados na Formação Adamantina na região de Monte Alto. Ademais, entre os exemplares cedidos para estudos pelo Museu de Monte Alto, estes estavam mais bem preservados e com uma sistemática melhor estabelecida na literatura, facilitando a descrição da sua morfologia e anatomia. Uma descrição detalhada sobre esses grupos na formação em questão segue abaixo.

5.2.1 Mollusca

Os moluscos bivalves são pouco estudados na Bacia Bauru, porém representam uma importante ferramenta de refinamento para interpretações paleoambientais (Ghilardi *et al.* 2010).

O primeiro trabalho de maior importância na Bacia Bauru foi de Mezzalana (1974), pois foi o primeiro a descrever e sistematizar uma grande quantidade de taxa de moluscos (*Hydrobia prudentinensis*, *Viviparus souzai*, *Physa aridi*, *Diplodon arrudai*, *Florenceia peiropolensis*, *Sancticarolis tolentinoi*, *Taxodontites paulistanensis*, *Anodontites freitasi*, *Anodontites pricei* e *Monocondylaea cominatoi*) (Ghilardi *et al.* 2010).

Os bivalves da Formação Adamantina estão inseridos na Ordem Unionoidea e foram todos coletados no estado de São Paulo. A grande maioria possui valvas relativamente baixas e conchas com formato que variam de elíptico a ovalado. Essas características são típicas de bivalves que habitam fundos arenosos parcialmente soterrados no sedimento (Martine 2013).

A família Iridinidae, na qual estão inseridas as amostras estudadas, é representada por *Toxodontites paulistanensis* (Mezzalana 1974), *Itaimbea priscus* (Ihering 1913) e *Itaimbea* sp., o primeiro apresenta na parte média da concha um sulco indicando provável parasitação no período de crescimento do animal. O segundo e terceiro taxa foram redescritos por Ghilardi *et al.* (2007), que observaram que todos os espécimes possuem a concha com formato elíptico, umbo baixo e posicionado de forma inequilateral na porção dorsal da valva. A borda dorsal é sub-reta e a borda ventral é ligeiramente abaulada. A charneira possui uma dentição bem evidente do tipo taxodonte, caracterizada por uma numerosa série de dentes alinhados, curtos e indiferenciados, sendo essa a característica taxonômica mais característica do gênero. As linhas de crescimento são delgadas e pouco definidas (Ghilardi *et al.* 2007). As amostras estudadas foram classificadas dentro de *Itaimbea* sp.

5.2.2 Crocodilomorpha

Os Crocodilomorfos cretáceos eram diferentes de seus representantes aquáticos atuais, pois a maioria era adaptada para o meio terrestre. Eles são os vertebrados mais frequentes e diversificados do Grupo Bauru. Até o momento, todas as espécies encontradas pertencem à extinta sub-orbem Mesosuchia, predominante durante toda a era Mesozoica (Martine 2013).

Os grupos conhecidos até o presente momento, segundo Carvalho *et al.* (2004), Marinho (2006) e Martine (2013), estão reunidos principalmente dentro das famílias Notosuquidea, Trematochampsidae, Baurusuchidae e Peirosauridae.

- Notosuquídeos: *Sphagesaurus huenei* (Price 1950), *Mariliasuchus amarali* (Carvalho *et Bertini* 1999), *Adamantinasuchus navae* (Nobre e Carvalho 2006), *Mariliasuchus robustus* (Nobre *et al.* 2007), *Caipirasuchus montealtensis* (Andrade *et Bertini* 2008), *Armadillosuchus arrudae* (Marinho *et Carvalho* 2009), *Morrinhosuchus luziae* (Iori *et Carvalho* 2009), e *Caipirasuchus paulistanos* (Iori *et Carvalho* 2011).
- Trematochampsidae: *Itasuchus jesuinoi* (Price 1945), identificado como um possível Goniopholidae (Price 1945), bem como *Barreirosuchus franciscoi* (Iori e Garcia 2012).

- Baurusuchidae: *Baurusuchus pachecoi* (Price 1945) *Baurusuchus salgadoensis* (Carvalho, Campos *et Nobre* 2005), *Baurusuchus albertoi* (Nascimento *et Zaher* 2010), *Stratiotosuchus maxhechti* (Campos, Suarez, Riff *et Kellner* 2001), *Campinasuchus dinizi* (Carvalho 2011), *Pissarrachampsia sera* (Moltefeltro, Larsson *et Langer* 2011), e *Gondwanasuchus scabrosus* (Marinho *et al.* 2013).
- Peirosauridae: *Montealtosuchus arrudacamposi* (Carvalho, Vanconcellos *et Tavares* 2007), *Pepesuchus deiseae* (Campos 2011), *Peirosaurus tormini* (Price 1955), e *Uberabasuchus terrificus* (Carvalho, Ribeiro *et Avilla* 2004).
- *Goniopholis paulistanus* (Roxo 1936) e *Brasileosaurus pachecoi* (Huene 1931), ambos da Formação Adamantina do estado de São Paulo apresentam pouca informação diagnóstica, impossibilitando uma análise taxonômica.

Os exemplares analisados no trabalho pertencem à família Peirosauridae e taxa *Montealtosuchus arrudacamposi*, descritos por Carvalho *et al.* (2007). Até agora a espécie é pouco abundante, se comparada a outras famílias como Baurusuchidae ou famílias pertencentes à infraordem Notosuchia (Martine 2013). Os Peirosauridae possuíam crânio alongado e afilado, de constituição frágil, ornado com mosaico de pequenos orifícios rasos. A série dentária é maior que de outras famílias, abrangendo dentes de diferentes tamanhos com carenas finamente serrilhadas (Martine 2013).

Os fragmentos dos osteodermos estudados neste trabalho foram encontrados isolados no mesmo afloramento que foi retirado esqueleto de *Montealtosuchus arrudacamposi* que corresponde ao seu holótipo (Figura 5). Tavares *et al.* (2015) descreveram os osteodermos do escudo dermal, preservados no esqueleto axial e apendicular deste Crocodyliformes.

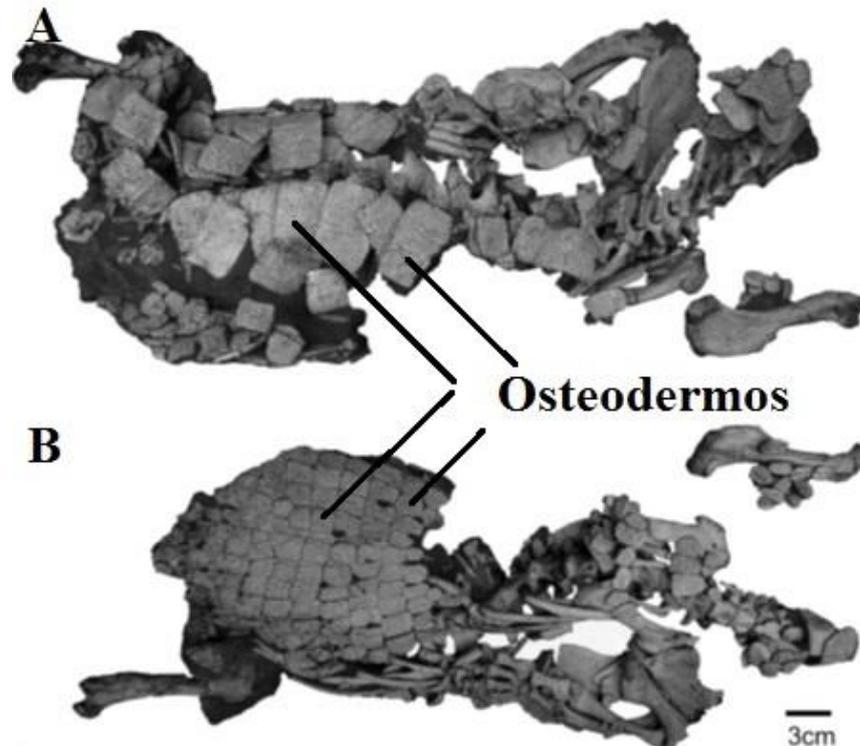


Figura 5 – Pós-cranio de *Montealtosuchus arrudacamposi* (espécime MPMA-16-0007 / 04) Formação Adamantina, Brasil. A. vista dorsal; B. vista ventral. Os osteodermos estão destacados. Fonte: Tavares *et al.* 2015.

Os autores relataram que o crânio estava separado de esqueleto pós-craniano provavelmente devido a processos tafonômicos e não por predação, pois não foram identificadas marcas de mordida. O esqueleto pós-cranial mostrava um alto grau de articulação (Tavares *et al.* 2015), o que descarta possibilidade de ter sofrido transporte após a morte.

Segundo Tavares *et al.* (2015), as vértebras torácicas e lombares foram preservadas articuladas e encontram-se ao longo de todo o eixo sagital. O esqueleto apendicular tem apenas os elementos do lado esquerdo preservados e articulados. Na vista dorsal, alguns osteodermos e vértebras caudais foram preservados articulados sobre as garras, falanges, metacarpos e carpos. O radio, ulna, úmero, escápula e coracóide esquerdos também estavam articulados. O coracóide direito foi preservado na posição original, embora estivesse desarticulado a partir do úmero direito e este último separado do resto do corpo. Em vista ventral, alguns osteodermos do escudo apendicular ficaram retidos ao úmero. Em relação aos membros anteriores, o úmero direito está preservado, e na sua parte dorsal existem alguns osteodermos do escudo apendicular. Osteodermos também são observados na porção torácica, lombar dorsal e no escudo acessório. Há também alguns osteodermos do escudo gastral que

sofreram deslocamento pós-morte. Um grupo de osteodermos nucais foram deslocados para a parte ventral do corpo de *Montealtosuchus*. Os osteodermos do escudo peitoral estavam articulados unindo o coracóide direito ao esquerdo. Os osteodermos do escudo gastral encontram-se bem preservados, embora deslocados em relação ao eixo sagital e à parte direita do animal, e variavam em forma e tamanho (Tavares *et al.* 2015).

5.2.3 Dinosauria

No final do Cretáceo os dinossauros atingiram o máximo de diversificação em espécies ao redor do mundo.

As espécies de titanossauros descritas recentemente no Brasil, segundo Santucci *et al.* (2011), são: *Gondwanatitan faustoi* (Kellner e Azevedo 1999), *Baurutitan britoi* (Kellner *et al.* 2005, e Powell 1986), *Trigonosaurus pricei* (Campos *et al.* 2005, e Powell 1986), *Adamantisaurus mezzalirai* (Santucci e Bertini 2006), *Maxakalisaurus topai* (Kellner *et al.* 2006), *Uberabatitan ribeiroi* (Salgado e Carvalho 2008), e *Tapuiasaurus macedoi* (Zaher *et al.* 2011). Foram descritos também fragmentos encontrados no estado de Minas Gerais (Santucci e Bertini 2006, Lopes e Buchmann 2008, e Santucci 2008) e Morro do Cambambe, no estado do Mato Grosso (Franco-Rosas *et al.* 2004).

Os fragmentos analisados neste trabalho foram encontrados junto ao exemplar descrito por Santucci *et al.* (2011), que o classificou como *Aeolosaurus maximus*. O fóssil foi encontrado e coletado pela equipe do Museu de Paleontologia de Monte Alto, SP, nos anos de 1997 e 1998. O esqueleto encontrava-se parcialmente articulado, contendo vértebras cervicais (apenas os pares de nervuras médio-cervical e duas vértebras cervicais posteriores), vértebras caudais, úmeros, e fêmures na sua posição anatômica. Outros elementos como vértebras distais caudais e costelas foram encontrados a certa distancia (Figura 6). Próximo ao esqueleto também foram encontrados vários dentes de terópodes e Crocodylomorpha, que foram observados em associação com os elementos dos membros posteriores e provavelmente pertencem aos animais que limpavam a carcaça (Santucci *et al.* 2011).

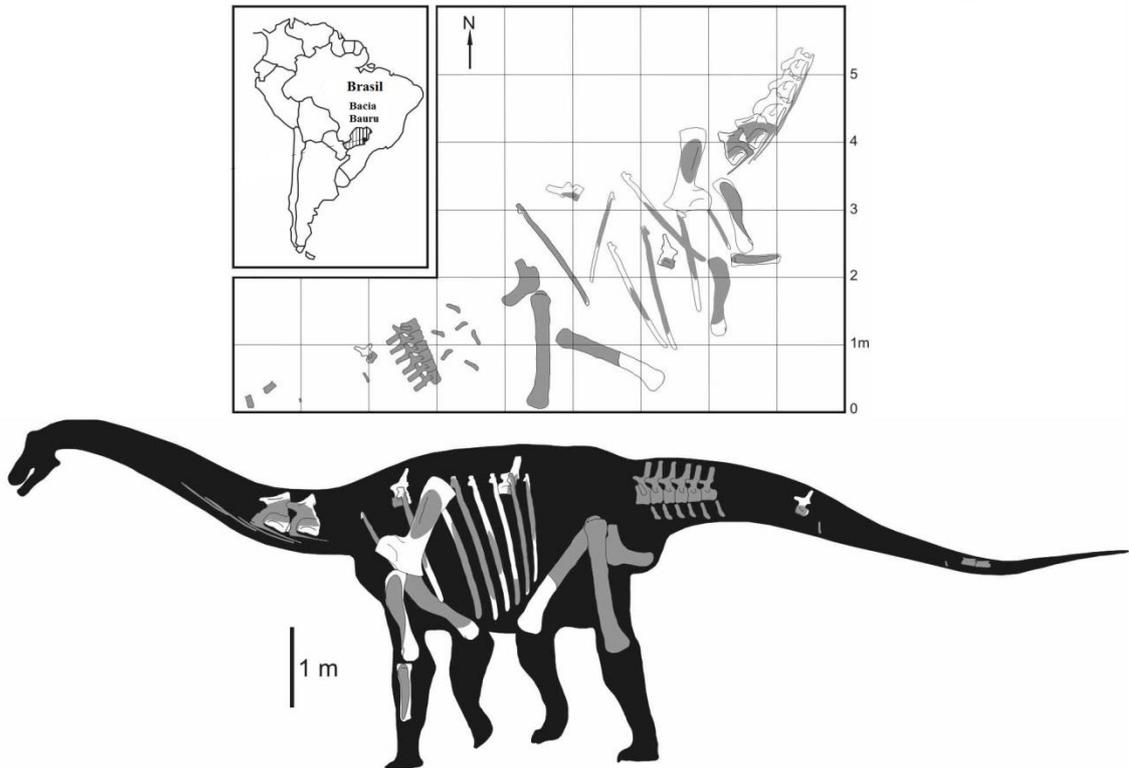


Figura 6 – *Aelosaurus maximus*, mapa mostrando a disposição dos ossos no Afloramento da Fazenda Sta. Irene a sua posição no esqueleto. Fonte: Santucci *et al.* 2011.

A. maximus é o primeiro *Aeolosaurus* descrito, localizado fora da Argentina, devido à qualidade de sua preservação. A descrição foi de grande importância, pois ampliou a distribuição geográfica do gênero na América do Sul (Santucci *et al.* 2011).

6. Tafonomia: bioestratinomia e fossildiagênese

A tafonomia integra conceitos biológicos, geológicos, ecológicos e paleontológicos (Figura 7). Segundo Holz e Simões (2002) os restos orgânicos podem ser considerados como partículas sedimentares e estão sujeitos aos mesmos processos de erosão, transporte, deposição, diagênese e pedogênese.

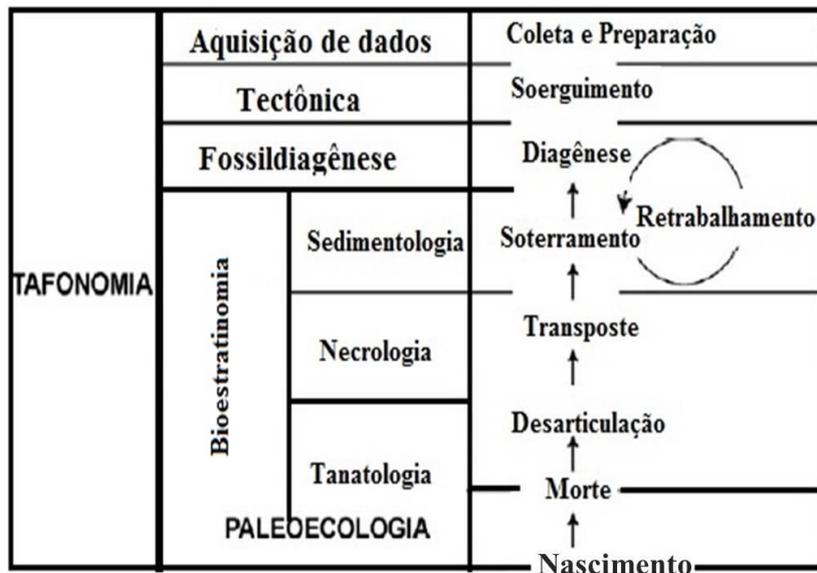


Figura 7 – Tafonomia, suas subdivisões e áreas de atuação. Fonte: Figueiredo 2009.

A tafonomia estuda fenômenos desde a causa da morte do organismo até a fossilização, passando pela necrólise, desarticulação, transporte, soterramento, diagênese até a coleta e preparação (Azevedo 2012).

Após a morte do organismo alguns processos como desarticulação e transporte podem ocorrer antes ou simultaneamente à necrólise. Esses processos são controlados pela anatomia do organismo (se vegetal, invertebrado ou vertebrado), tamanho do organismo e por fatores externos, como clima e a presença de necrófagos (Holz e Simões 2002). Se o soterramento do organismo morto ocorrer antes da completa necrólise, o esqueleto ficará preservado parcialmente inteiro e articulado.

Quanto maior a intensidade da energia e a distância envolvida no transporte, menores as chances de elementos de um mesmo esqueleto serem enterrados juntos (Behresmeyer 1990).

A desarticulação é mais rápida em ambiente aquático, seguido por ambiente terrestre úmido e muito mais lenta no ambiente terrestre seco (Brand *et al.* 2003). Bertoni-Machado (2008) observaram que a desarticulação e o transporte estão intimamente relacionados, já que o transporte pode acontecer enquanto ainda está ocorrendo a desarticulação.

Durante o transporte dos materiais, episódios importantes para interpretações da história bioestratinômica ocorrem como, por exemplo, fragmentação e abrasão. Além disso, o clima, o intemperismo e a própria biota podem atuar no material dependendo do tempo de exposição (Azevedo 2012).

Os processos de diagênese atuantes na formação da rocha são os mesmos envolvidos na formação dos fósseis. Durante a fossildiagenese os processos físico-químicos transformam os materiais orgânicos em fósseis. Segundo Mendes (1988), as preservações dos fósseis podem ser:

- a) Preservação total, incluindo tecidos moles, por congelamento, mumificação ou trapeamento em resinas, sem alteração dos restos esqueléticos e com alteração dos restos esqueléticos;
- b) Preservação sem alteração dos restos esqueléticos, por processo de permineralização e incrustação;
- c) Preservação com alteração dos restos esqueléticos, por dissolução e formação de moldes e pseudomorfos, substituição, recristalização, carbonificação e concrecionamento.

A porção inorgânica que compõe os ossos dos vertebrados em vida é formada por microcristais de carbonato de cálcio fosfatado $[Ca_{10}(CO_3PO_4)_6(OH)_2]$, similar à composição da dalita. Os cristais ósseos, devido aos seus pequenos tamanhos e à extensa área de superfície $200m^2/g$, possuem alta reatividade e alta taxa de dissolução (Weiner e Price 1986). Portanto durante a diagênese ocorre a dissolução do osso ou uma eventual preservação (fossilização) (Trueman e Tuross 2002).

A fossilização ocorre quando os tamanhos dos cristais ósseos aumenta devido à recristalização digenética dos cristais primários em cristais secundários de apatita (Trueman 1999). Essa recristalização da parte óssea inorgânica ocorre durante a diagênese e segue conjuntamente com a hidrólise do colágeno (degradação) (Collins *et al.* 1995, Nielsen-Marsh *et al.* 2000, Trueman e Martill 2002). Aproximadamente 40% do volume do osso é composto por colágeno. Após a morte do animal, o colágeno é degradado e, no seu lugar, surge um volume adicional que é fechado pela recristalização da apatita secundária. A recristalização digenética cessa quando todos os espaços dos poros originalmente ocupados pelo colágeno

são preenchidos (Hubert *et al.* 1996, Trueman e Tuross 2002). A taxa de recristalização é específica do local de deposição e depende das características hidrológicas, químicas e microbiológicas de cada local (Hedges *et al.* 1995). Foi estimada, de forma geral, em menos de 50.000 anos (Bernat 1975, Martin e Haley 2000, Trueman e Tuross 2002, Lécuyer *et al.* 2004, Patrick *et al.* 2004, Kohn e Law 2006).

Na estrutura da apatita substituições isomórficas podem ocorrer com o cálcio, o fosfato e o hidróxido, geralmente preservando a morfologia original. Se as águas subterrâneas foram enriquecidas em flúor, ele vai ser introduzido na estrutura do mineral dando origem a uma fluorapatita carbonatada $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4\text{CO}_3)_3(\text{F})]$ ou francolita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$ (Hubert *et al.* 1996, Trueman 1999, Merino 2000).

Outro processo químico atuante durante a recristalização digenética é a difusão-adsorção de elementos traços (Millard e Hedges 1999). Os elementos traço são absorvidos a partir das superfícies externas do osso e difundem-se através dos espaços porosos. A absorção pós-morte de elementos traços no osso é, portanto limitada pelo seu fornecimento e disponibilidade e cessa efetivamente quando a recristalização fecha toda a porosidade originalmente ocupada pelo colágeno.

A preservação do osso requer crescimento de apatita secundária, e deve ocorrer em águas saturadas em relação à apatita. A química da sorção de Elementos Terras Raras (ETR) é fortemente influenciada pelo pH da solução (Byrne e Li, 1995, Johannesson e Hendry, 2000, Sonke e Salters, 2006). A saturação em relação à apatita raramente ocorre em águas com pH < 6,5, assim, qualquer osso fossilizado é improvável que tenha encontrado águas ácidas durante o período de recristalização da apatita. Segue-se que, em ambientes propícios à preservação óssea (alcalino), como o encontrado na Formação Adamantina (Marsola *et al.* 2016), os ETR são pouco susceptíveis a serem lixiviados. A composição dos ETR no osso fóssil é controlada pela química aquosa de ETR em águas neutras e carbonatadas (pH cerca de 8) (Trueman *et al.* 2006).

A concentração total de ETR no osso é da ordem de 100 ppb, e no osso fóssil é tipicamente enriquecido por 3-5 ordens de magnitude (Chenery *et al.* 1996, Trueman e Tuross 2002).

A composição de ETR em bioapatita tem sido usada para a reconstrução das condições paleoceanográficas baseadas em anomalias de cério e na normalização de ETR (Chen *et al.* 2012, Song *et al.* 2012, Fadel *et al.* 2015). No entanto, evidências crescentes sugerem que a presença de anomalias de ETR em fósseis é proveniente da liberação de ETR de minerais de argila das rochas associadas aos fósseis e sua subsequente absorção pela apatita autigênica

(Bright *et al.* 2009, Kocsis *et al.* 2010, Herwartz *et al.* 2011, 2013a, Zhao *et al.* 2013, Chen *et al.* 2015, L. Zhang *et al.* 2016).

7. Tecido ósseo

7.1 Estrutura geral do tecido ósseo em vertebrados

O osso nos vertebrados é um tecido conjuntivo altamente especializado que constitui o principal componente calcificado do seu esqueleto (Chinsamy-Turan 2005). A matriz óssea é formada por uma parte orgânica, constituída principalmente por colágeno, e uma parte inorgânica, formada por microcristais de apatita. Outros componentes encontrados nos ossos dos vertebrados são: células (osteoblastos, osteoclastos e osteócitos), vasos sanguíneos e linfáticos (Chinsamy-Turan 2005). Quando o indivíduo morre, os componentes orgânicos se decompõem, enquanto os componentes inorgânicos mantêm a microestrutura geral do osso (Ray *et al.* 2009).

Os osteoblastos possuem a função de secretar e mineralizar a parte orgânica da matriz óssea, os osteoclastos são responsáveis pelo processo de absorção e remodelação do tecido ósseo. Os osteócitos ocupam pequenos canais existentes na matriz óssea denominados *lacunae*. Eles se comunicam com as células vizinhas através de extensões do citoplasma – os canalículos – que podem ser consideradas extensões do próprio *lacunae* (Chinsamy-Turan 2005) (Figura 8).

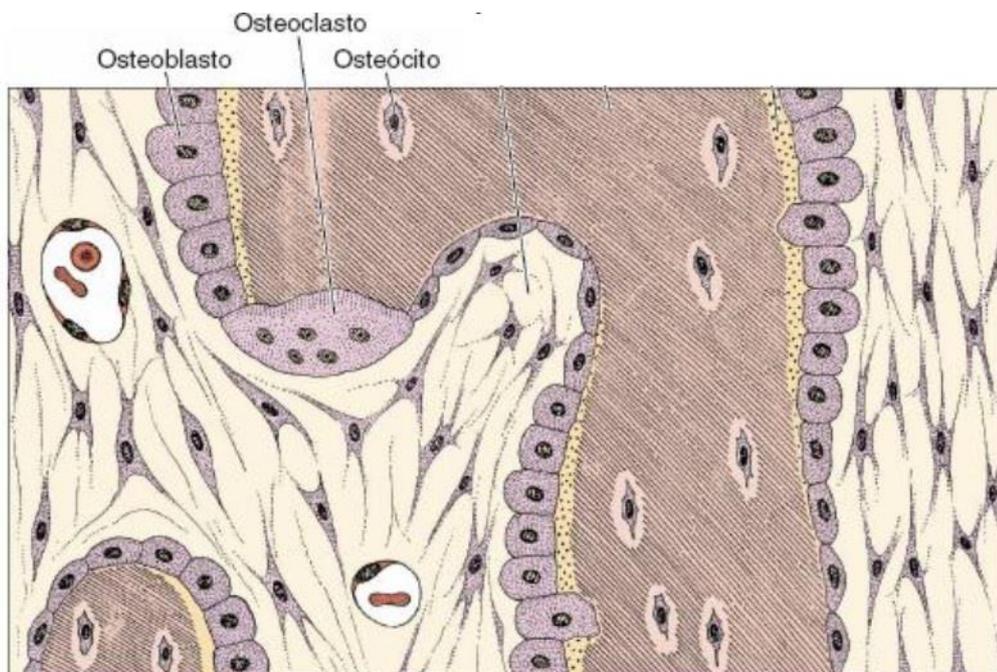


Figura 8 – Desenho esquemático mostrando as células encontradas em tecidos ósseos. Fonte: Cardoso 2001.

A quantidade de canalículos, o grau de ramificação, assim como o tamanho e o formato do osteócito (Figura 9) são variáveis e dependem da taxa na qual o osso é formado e do tipo de vascularização presente (Veiga 2013).

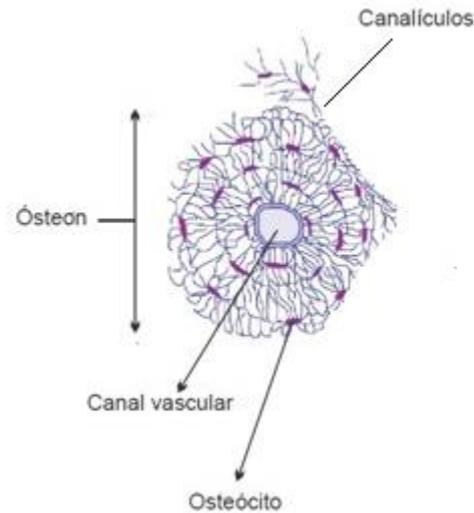


Figura 9 – Desenho esquemático mostrando as estruturas ligadas aos osteócitos. Fonte: Veiga 2013.

A estrutura óssea geral é composta por duas morfologias: osso compacto e esponjoso (Figura 10). O osso compacto está geralmente localizado no córtex, nele ficam alojados os componentes orgânicos como as células e os canalículos. O osso esponjoso, localizado na região endosteana, envolve a cavidade medular e apresenta grandes cavidades. A região compactada pode tornar-se mais porosa durante o crescimento e secundariamente ser convertida em esponjosa com o auxílio de osteoclastos de absorção (Padain e Lamm 2013).

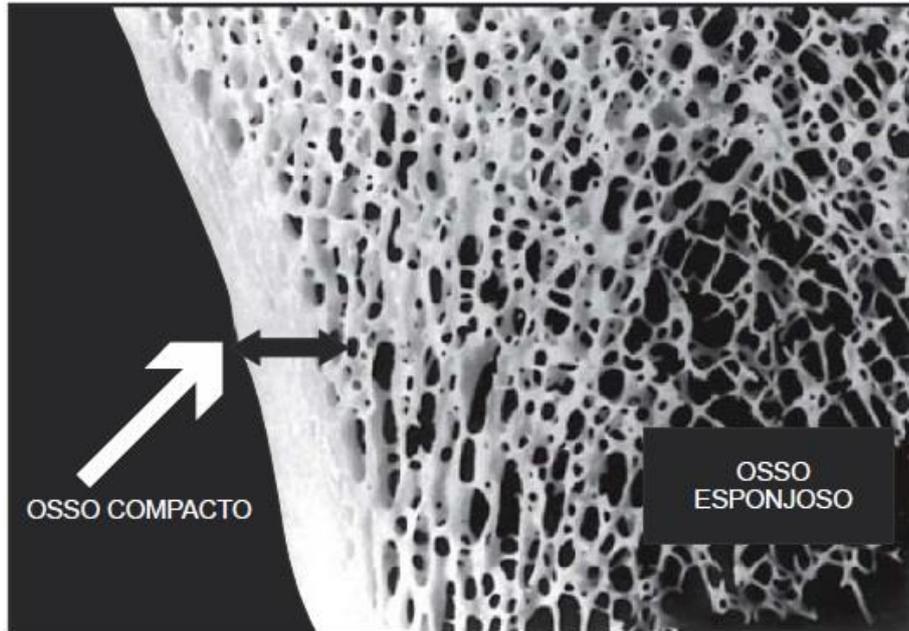


Figura 10 – Ilustração da região do osso compacto e osso esponjoso. Fonte: Veiga 2013.

Segundo Padain e Lamm (2013), o grau de porosidade da região do osso esponjoso é classificado em: *fine cancellous* (menos poroso), *Ccsoarce cancellous* (intermediário), e *trabecular* (mais poroso).

A vascularização óssea da região compactada ocorre através de dois eixos: os canais Haversian, orientados ao longo da direção do comprimento, e os canais Volkmanns, orientados radialmente e conectores dos demais canais (Padain e Lamm 2013).

7.2 Crescimento ósseo

O crescimento ósseo em comprimento ocorre através da reabsorção do tecido cartilaginoso e substituição pela deposição do tecido ósseo em um processo denominado crescimento endocondral. Outro tipo de crescimento que ocorre nos ossos é o crescimento em diâmetro, envolvendo a superfície periosteal e a superfície endosteal (Chinsamy-Turan 2005). Neste caso, o crescimento acontece devido à adição de osso em qualquer uma dessas duas superfícies em consequência da remoção de osso na superfície oposta, em um processo denominado *drift* (Veiga 2013) (Figura 11).

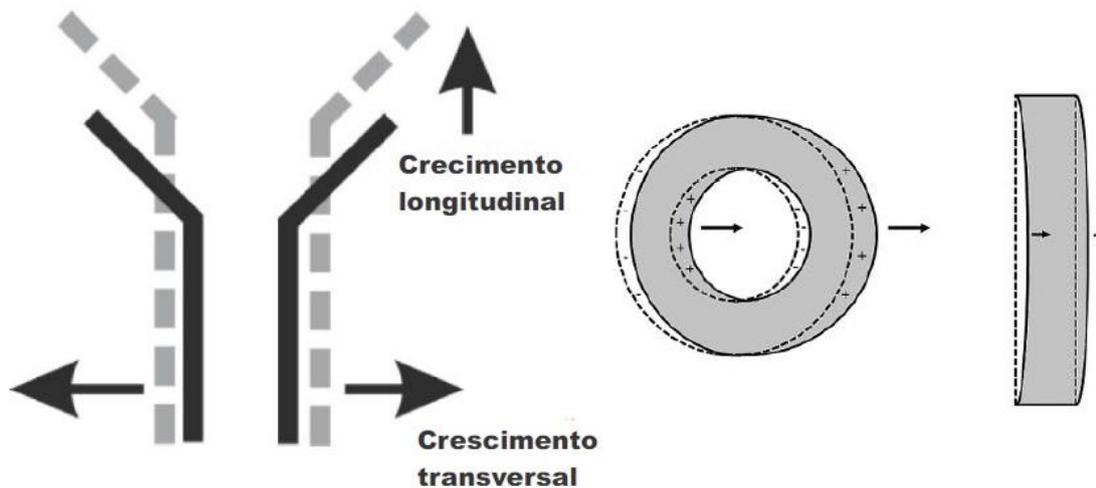


Figura 11 – Crescimento transversal e longitudinal nos ossos. A deposição em uma superfície acarreta a remoção do tecido ósseo da superfície oposta. Fonte: Veiga 2013.

Os componentes orgânicos dos ossos não são preservados, porém a fossilização guarda informações sobre a organização desses elementos em vida. Isso permite deduções sobre o tipo de tecido ósseo e inferências sobre a taxa de crescimento ósseo (Chinsamy-Turan 2005).

Segundo Padain e Lamm (2013), a taxa de deposição óssea pode formar diferentes tipos de tecidos ósseos primários:

- Tecido ósseo fibrolamelar – Indica rápida taxa de deposição e por consequência rápida taxa de crescimento. O arranjo do tecido fibroso e osteócitos tende a ser mais anastomosado. Durante a formação desse tecido numerosos canais sanguíneos são aprisionados e ao redor desses canais forma-se um tecido lamelar originando ósteons primários. Dependendo da orientação do canal vascular o tecido fibrolamelar pode ser dividido em: laminar, plexiforme, reticular e radial (Figura 12).

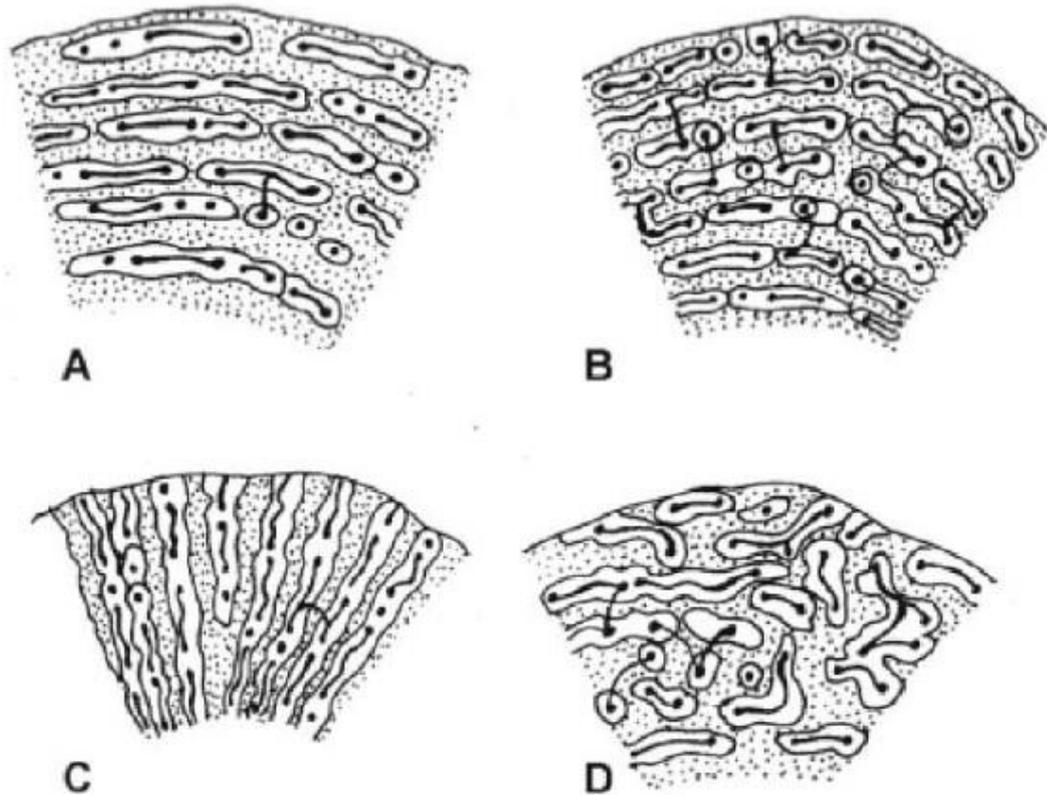


Figura 12 – Representação esquemática dos diferentes tipos de arranjos dos canais vasculares do tecido fibrolamelar (A. Laminar, B. Plexiforme, C. Radial, D. Reticular). Fonte: Veiga 2013.

- Tecido ósseo lamelar – Lenta taxa de deposição e, por consequência, lenta taxa de crescimento. O tecido fibroso tende a ser mais achatado.
- Tecido ósseo paralelo fibroso – As fibras de colágeno se organizam paralelamente. A presença desse tecido indica uma taxa de deposição óssea e crescimento intermediário aos tecidos anteriormente citados.

A estrutura geral do osso fornece acesso direto sobre a forma de deposição óssea, ou seja, se esta ocorreu de forma contínua ou cíclica. A deposição cíclica fica evidente na região do osso compacto, com a formação de distintos anéis de crescimento (marcas de crescimento) ou alternância de bandas de tecidos diferentes. Esses tecidos são as zonas, regiões mais vascularizadas que indicam períodos de rápido crescimento e as LAGs (*lines of arrested growth*) que indicam parada total do crescimento (Veiga 2013) (Figura 13).

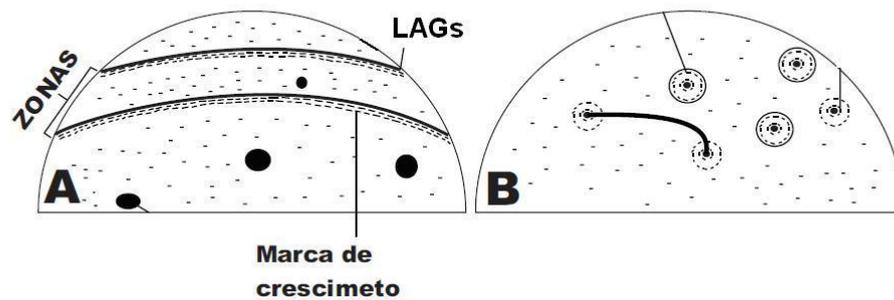


Figura 13 – Esquema diferenciando a deposição cíclica (A) e a deposição contínua (B). Além de marca de crescimento e LAGs. Fonte: Veiga 2013.

A metodologia responsável pela contagem de bandas, linhas ou tecidos para obtenção da idade do animal é chamada de esqueletocronologia. Na maioria dos répteis é formada apenas uma zona por ano (Chinsamy-Turan 2005). Vários trabalhos foram realizados aplicando esqueletocronologia em répteis (Hutton 1986, Castanet e Smirina 1990, Castanet e Baez 1991, Castanet *et al.* 1993).

A sazonalidade, na maioria das vezes, é responsável pelo crescimento cíclico, no entanto alguns trabalhos relataram o mesmo padrão de crescimento em climas com pouca alteração de temperatura ou umidade (Castanet e Baez 1991, Chinsamy *et al.* 1995). Nestes casos o crescimento cíclico é atribuído a um padrão genético. Outra característica importante para inferir a idade do animal é a proximidade entre uma linha de crescimento e outra, ou o tamanho da zona, pois após atingir a maturidade sexual as zonas ficam menores e por consequência a distância entre as linhas de crescimento também (Chinsamy-Turan 2005).

8. RESULTADOS

Os resultados foram sistematizados a partir da descrição histológica, petrográfica, dados composicionais do MEV e dados composicionais de μ -XRF dos fósseis de vertebrados e invertebrados. Dessa forma os fósseis com maior distribuição na Formação Adamantina, na região da cidade de Monte Alto, SP, e melhores preservados, são os objetos deste estudo. Alguns fragmentos dos fósseis estavam isolados e outros encontravam-se associados a rochas. Com a finalidade de auxiliar nas interpretações dos resultados foram realizadas descrições do ponto de vista petrográfico para o segundo caso.

8.1 Descrição Histológica

8.1.1 Crocodyliformes

CROCODYLIFORMES (Hay 1930)

Crocodylomorpha (Walker 1970)

Mesoeucrocodylia (Whetstone *et* Whybrow 1983)

Peirosauridae (Gasparini 1982) (*sensu* Gasparini *et al.* 1991)

Montealtosuchus (Carvalho, Vanconcellos *et* Tavares 2007)

Montealtosuchus arrudacamposi (Carvalho, Vanconcellos *et* Tavares 2007)

Figuras 14, 15, 16 e 17

Foram descritos fragmentos ósseos fossilizados pertencentes a um osso longo (fêmur) (DP2/177 A; B), fragmentos de vértebra (DP2/176 A; B) e fragmentos de osteodermos dorsais (DP2/178 A; B) de *Montealtosuchus arrudacamposi* (Figura 14).

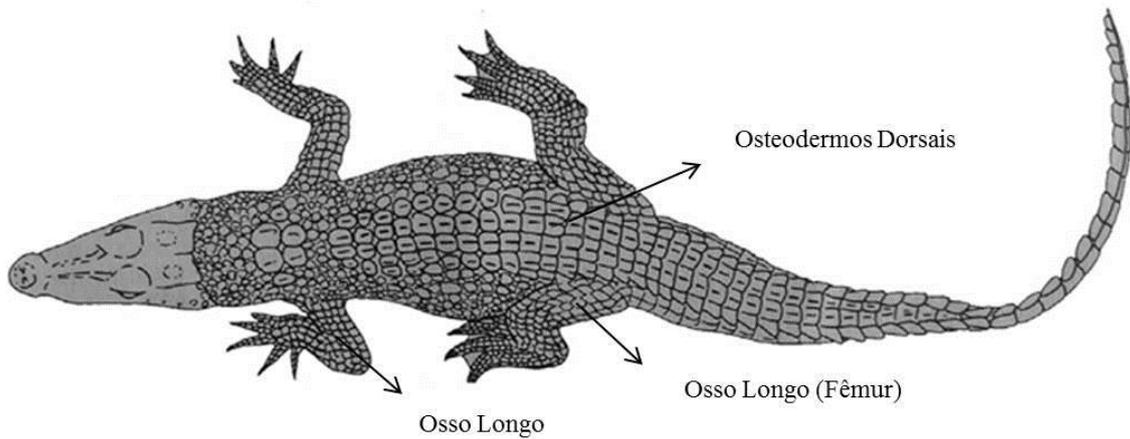


Figura 14 – Desenho da vista dorsal de Crocodyliformes vivos especificando a localização dos fragmentos de ossos e epiderme (osteodermos) estudados. Fonte: modificado de Brazaitis 1987.

8.1.1.1 Osso Longo (Fêmur)

O fêmur (DP2/177) contém uma extensa cavidade medular com 2mm de diâmetro e um córtex pouco espesso, chegando a no máximo 1,5mm de espessura. A região periférica do córtex é formada por uma matriz lamelar com linhas de crescimento (Figura 15A), o médio córtex apresenta tecido ósseo primário fibrolamelar com ósteons primários ovalados e arredondados orientados paralelamente ao longo do eixo do osso (Figura 15B). O córtex interno é formado por tecido ósseo secundário (Figura 15C). Cavidades de reabsorção ocorrem na região perimedular (Figura 15D). A cavidade medular está preenchida por sedimentos arenosos imaturos.

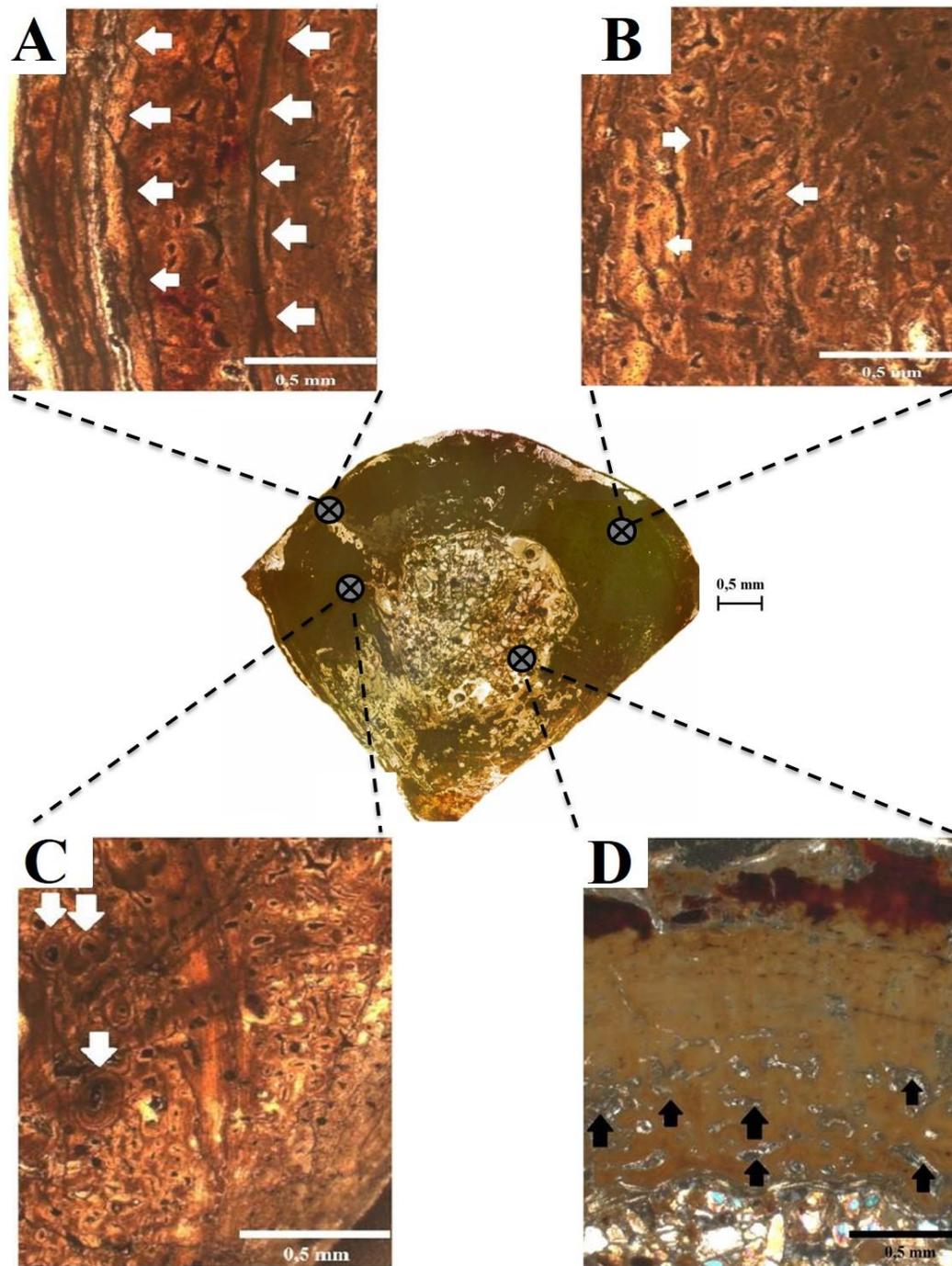


Figura 15 – Detalhes histológicos de um osso longo (fêmur) de *Montealtosuchus arrudacamposi*. A-B-C (DP2/177A), D (DP2/177B). A. Seção transversal do fêmur, mostrando zona de crescimento e anéis (setas); B. ósteons primários (setas); C. ósteons secundários (setas); D. tecido esponjoso (setas).

8.1.1.2 Fragmento de vértebra

O fragmento de vértebra (DP2/176) é similar ao fêmur, sendo composto por uma extensa cavidade medular com 0,5 cm de diâmetro e um córtex delgado com 3-5 mm de espessura. O córtex externo apresenta canais vasculares simples esparsos (Figura 16B), além de zonas e anéis de crescimento bem delimitados (Figura 16A). O córtex interno é formado por tecido fibrolamelar (Figura 16D) e ósteons primários ovalados a arredondados orientados paralelamente ao longo do eixo do osso (Figura 16C). O córtex interno também apresenta uma maior vascularização em comparação com o córtex externo, sendo possível definir ósteons primários. A transição do tecido compacto para o tecido esponjoso é evidente pela presença de uma zona de transição com cavidades de reabsorção na região endosteal (Figura 16E).

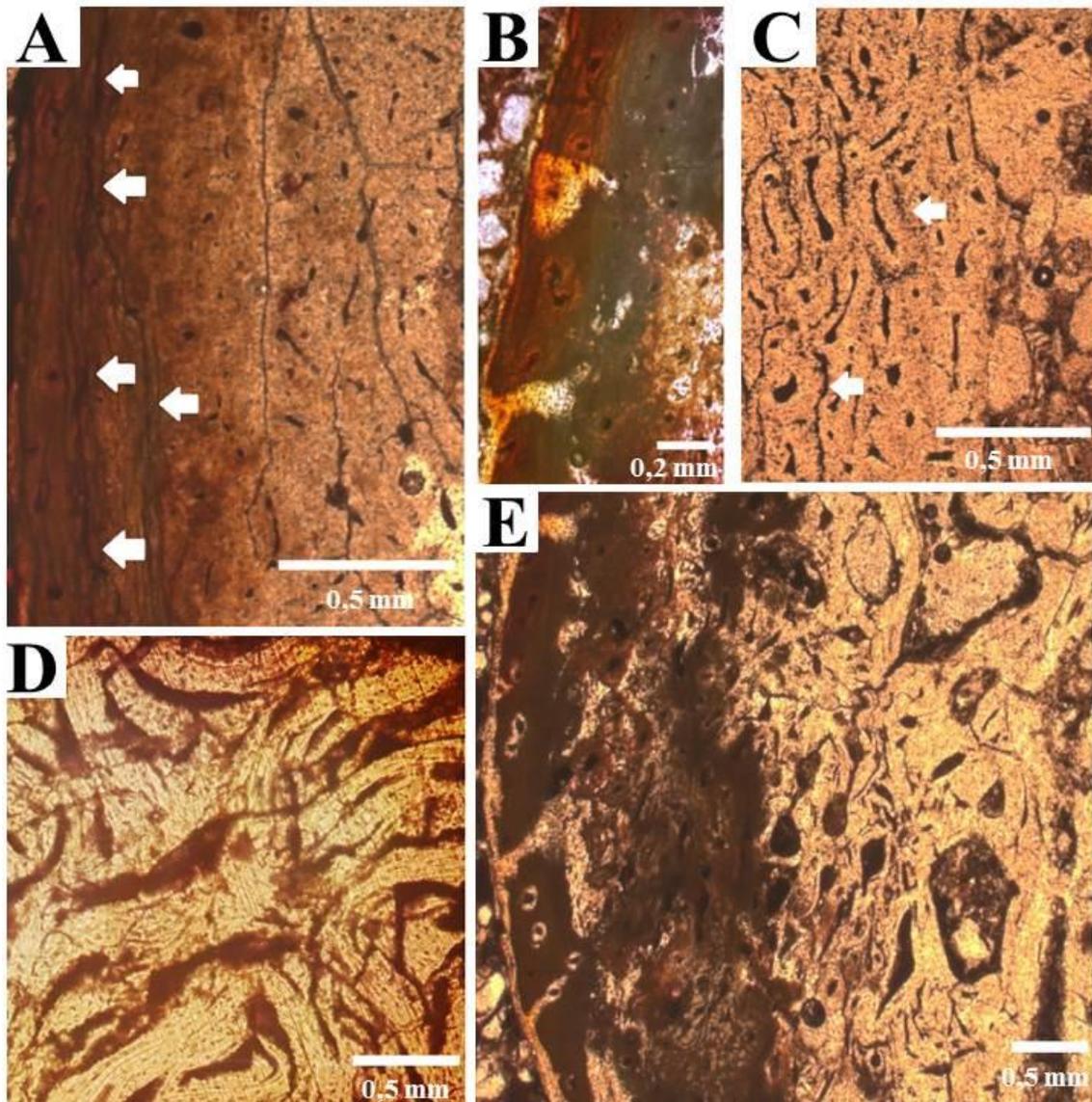


Figura 16 – Detalhes da fisiologia do fragmento de vértebra *Montealtosuchus arrudacamposi* (A, B e C DP2/176 A; D e E DP2/176B). A. Seção transversal com zona de crescimento e anéis (setas); B. Canais vasculares simples; C. Ósteons primários (setas), D. Tecido fibrolamelar; E. Tecido esponjoso.

8.1.1.3 Osteoderms dorsais

Os fragmentos de osteoderms (DP2/178 A e B) medem 0,5 cm de largura e 3 cm de comprimento (Figura 17A) e se encontram fraturados transversalmente. A região do córtex externo é formada por um tecido zonal lamelar (Figura 17B) com zonas de crescimento, linhas de crescimento e ósteons secundários (Figura 17A). Na região do córtex interno foram observados ósteons secundários (Figura 17C). A região central do osso é composta por tecido esponjoso com cavidades vasculares (Figura 17C).

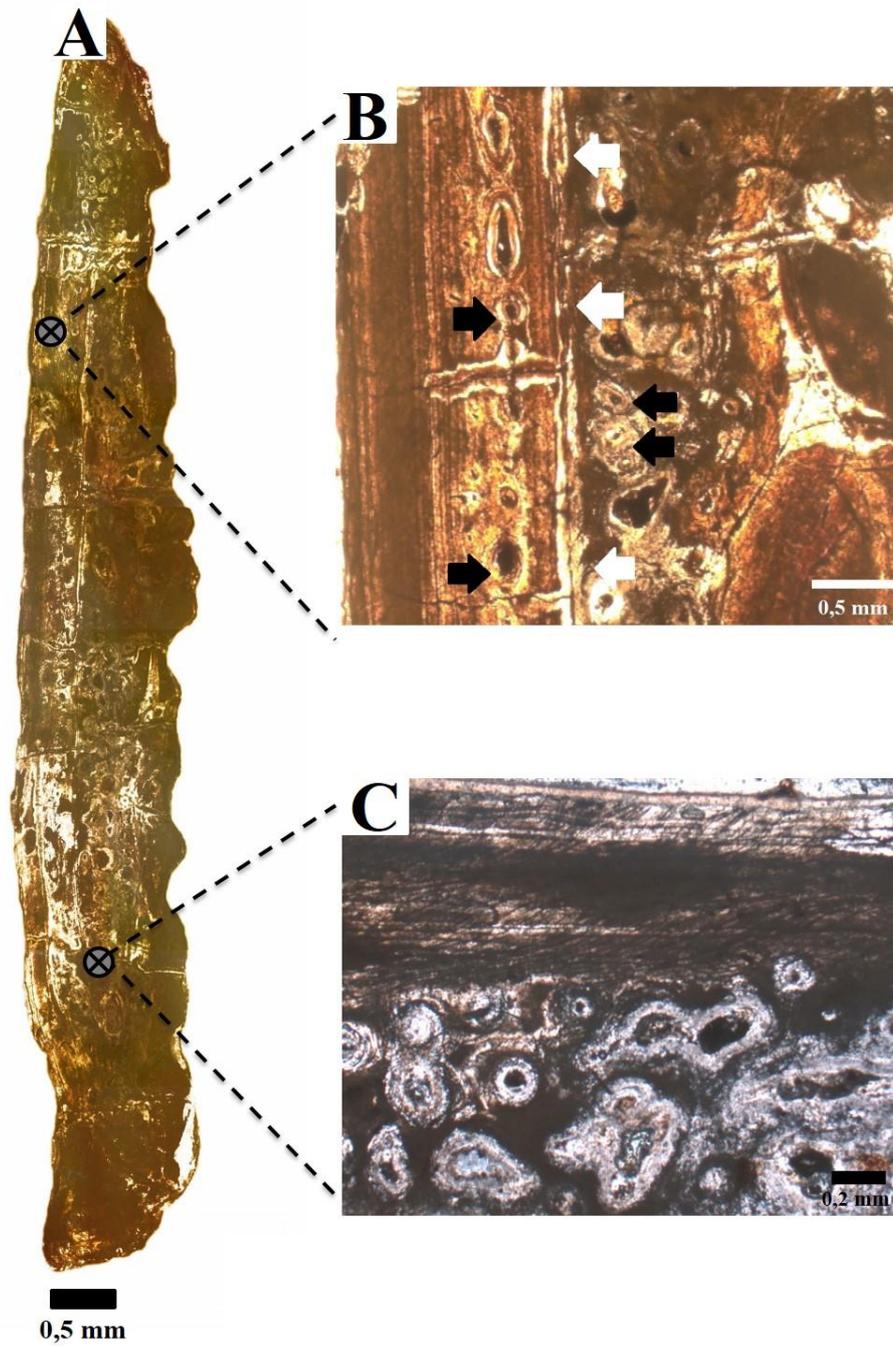


Figura 17 – Histologia de osteodermo dorsal *Montealtosuchus arrudacamposi* (A, B e C DP2/178 A). A. Seção transversal; B. Zona de crescimento, linhas de crescimento (setas brancas), ósteons secundários (setas pretas); C. Detalhe do tecido esponjoso da região central.

8.1.2 Saurischia

SAURISCHIA (Seeley 1887)
 SAUROPODA (Marsh 1878)
 MACRONARIA (Wilson e Sereno 1998)
 Titanosauriformes (Salgado, Coria *et* Calvo 1997)
Titanosauria (Bonaparte *et* Coria 1993)
Aeolosaurini (Franco-Rosas, Salgado, Rosas *et* Carvalho 2004)
Aeolosaurus (Powell 1987)
Aeolosaurus maximus (Santucci *et* Arruda-Campos 2011)

Figuras 18 e 19

As amostras de *Aeolosaurus maximus* analisadas pertencem a três fragmentos de costelas (DP2/ 38 A e B, DP2/226 A e B e DP2/179 A e B) (Figura 18).

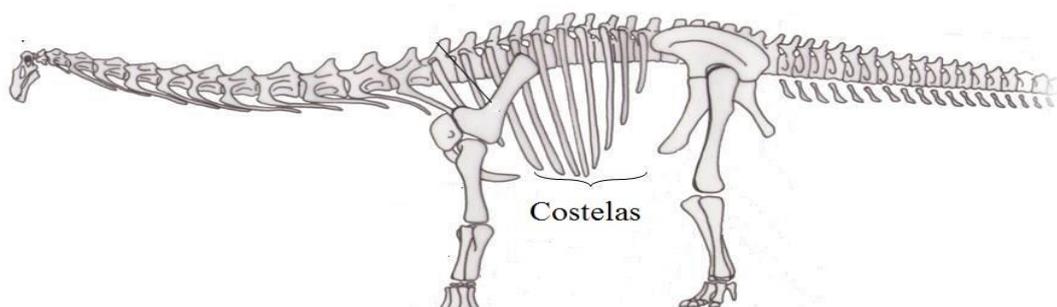


Figura 18 – Reconstituição esquelética de *Aeolosaurus maximus*. Fonte: Martine 2013.

O fóssil descrito na lâmina DP2/179 apresenta fraturas dispostas radialmente. A região cortical é formada por tecido compacto harvesiano com espessura de 20mm (Figura 19A) e apresenta diversas sobreposições de ósteons secundários (Figura 19B). A região medular com espessura de 5 a 10mm, por sua vez, é composta por tecido esponjoso com grandes cavidades de até 1,5mm de diâmetro (Figura 19A).

O fóssil descrito na lâmina DP2/226A, correspondente ao córtex externo, é composto por tecido laminar paralelo fibroso primário. A lâmina DP2/226B corresponde ao córtex interno, que apresenta tecido compacto harvesiano, e à região perimedular, com tecido esponjoso com grandes cavidades (Figura 19C). Ambas as lâminas apresentam lacunas de osteócitos distribuídas por todo o tecido ósseo.

Nas lâminas DP2/38A e DP2/38B não foi possível diferenciar as subdivisões do córtex e nem reconhecer a região medular. Na lâmina DP2/38A o córtex é composto por um tecido compacto laminar paralelo fibroso, com aproximadamente 12mm na porção mais espessa

(Figura 19C). Na lâmina DP2/38B o córtex também está preservado, sendo formado por tecido harvesiano com extensa sobreposição de ósteons secundários bastante fraturados. Lacunas de osteócitos estão distribuídas por todo o tecido ósseo de ambas as lâminas.

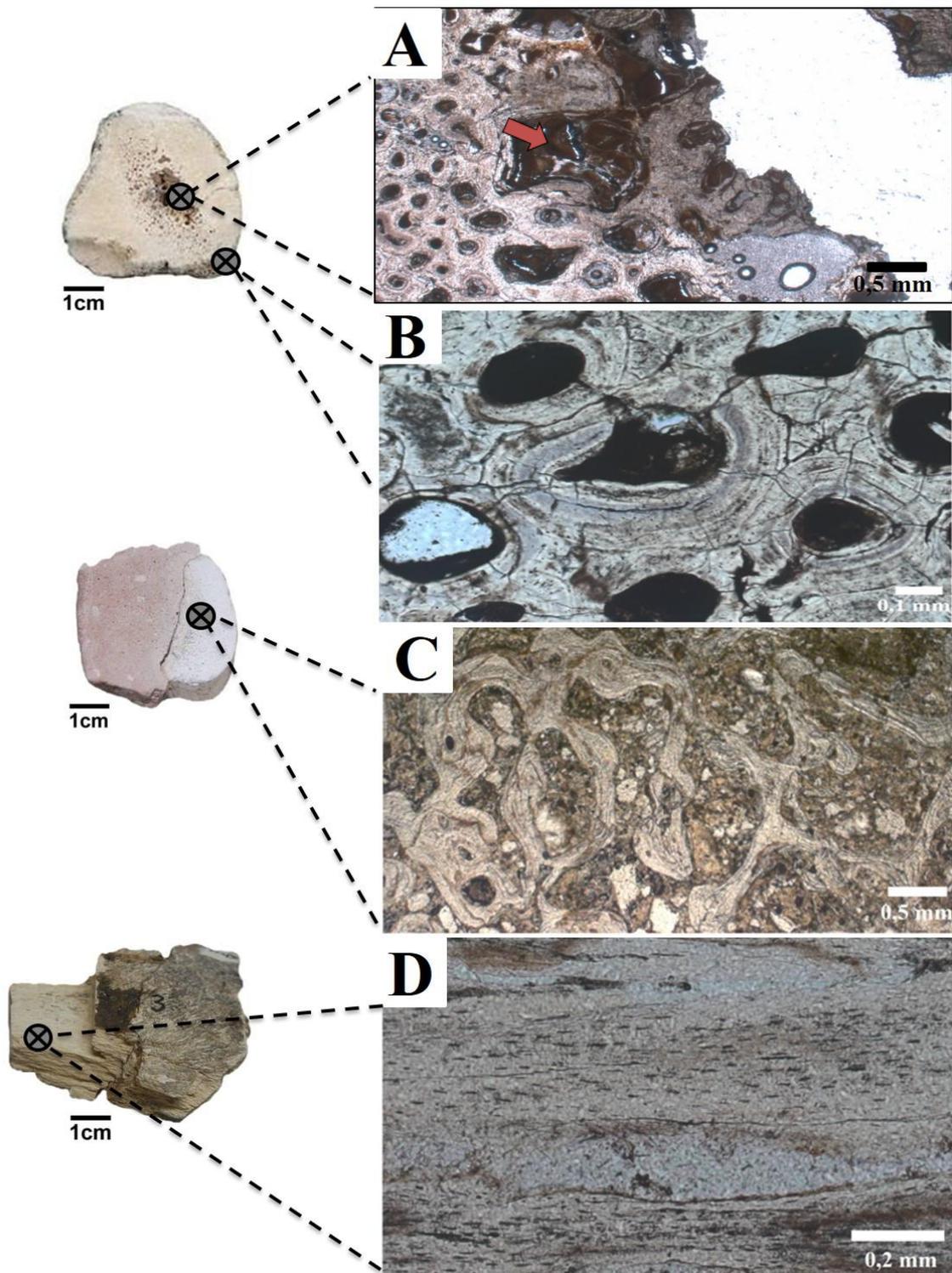


Figura 19 – Detalhes histológicos de fragmentos de costelas de *Aeolossaurus maximus* (A e B. DP2/179; C. DP2/226 D. DP2/38). A. Cavidade medular e estruturas preenchidas por ílita (seta vermelha); B. Ósteons secundários; C. Tecido Esponjoso; D. Tecido laminar paralelo fibroso.

8.1.3 Bivalves

BIVALVIA
Paleoheterodonta Newell
Unionoida
Iridinidae (Swainson 1840)
Itaimbea (Mezzalira 1974)

Itaimbea sp.

Figuras 20 e 21

Foram estudadas duas lâminas contendo bivalves (Figura 20) (DP1/ 536 A e B). O exemplar DP1/536 A estava fragmentado (Figura 21A) e o exemplar DP1/536 B estava preservado integralmente, porém ambos estavam desarticulados e associados à rocha matriz. Nenhuma estrutura original da concha foi preservada e a composição geral é de carbonato de cálcio (calcita Mg) (Figura 21B/C).

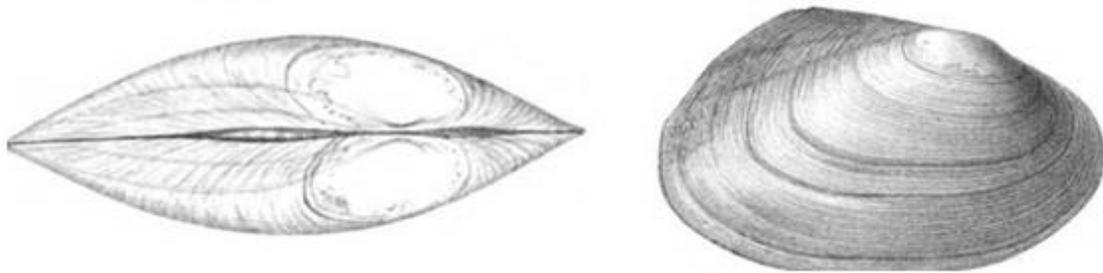


Figura 20 – Ilustração de *Itaimbea* sp. vista dorsal e lateral das valvas. Fonte: <<http://www.biosci.ohio-state.edu/~molluscs/gallery/additions.htm>> acessado em 20/04/2016.

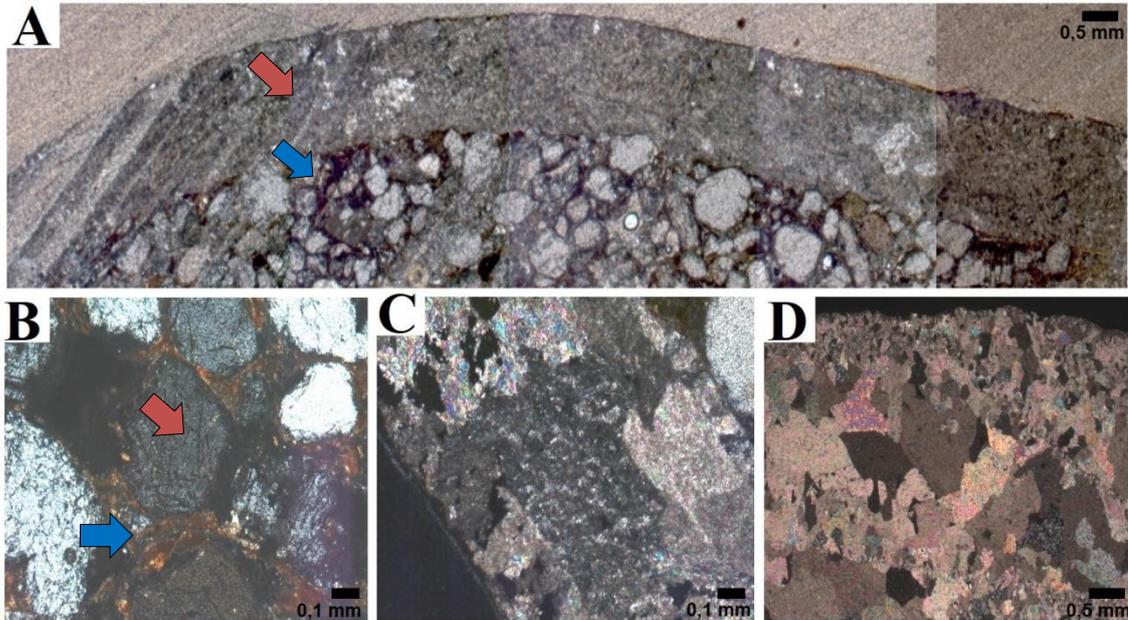


Figura 21 – Secção transversal de *Itaimbea* sp. (A, B e C DP1/536). A. Secção transversal de uma valva (seta vermelha) e rocha associada (seta azul); B. Grãos de quartzo (seta vermelha) e flita entre os grãos de quartzo (seta azul) na rocha associada a valva; C. Detalhe da uma valva recrystalizada; D. Detalhe de cristais de recrystalização de calcita.

8.2 Descrição Petrográfica dos arenitos associados aos fósseis

Com a finalidade de comparar as rochas associadas aos fósseis acima descritos foram elaboradas as lâminas DP2/177 A e B (*Montealtosuchus arrudacamposi*), DP2/226 A e B (*Aeolossaurus maximus*) e DP1/536 A e B (*Itaimbea* sp.) contendo, além dos fósseis, uma porção dos arenitos associados.

Todos os fósseis acima descritos encontram-se associados com camadas de arenitos que mostram granulometria com predomínio da classe fina à média e grau de seleção médio (Figura 22A).

Os grãos variam de subarredondado a subangulares, a matriz argilosa compõe no máximo 10% da rocha. Nas lâminas DP2/226 A e B (*Aeolossaurus – Saurisquia*) os grãos encontram-se cimentados por calcita (Figura 22D). Do ponto de vista textural os arenitos podem ser classificados como submaturados devido ao baixo grau de seleção dos grãos. Segundo o critério de Folk (1968), os arenitos aqui estudados são classificados como subarcóseos em consequência dos feldspatos comporem mais de 25% da porcentagem total dos grãos.

A porcentagem média de quartzo é de 70% (Figura 22A), os feldspatos são frequentes em todas as lâminas sendo o microclineo (Figura 22B) o mais abundante. Minerais acessórios

e fragmentos líticos perfazem em média 2% das lâminas, sendo os mais comuns monazitas e fragmentos líticos sedimentares. Nas lâminas DP2/177 e DP1/536 foi constatada a presença de um material argiloso de composição ílítica entre os grãos (Figura 22C). Na lâmina DP2/226 a matriz tinha uma composição carbonática, foram encontrados diversos grãos de calcita (Figura 22D) e micro fraturas preenchidas por calcita.

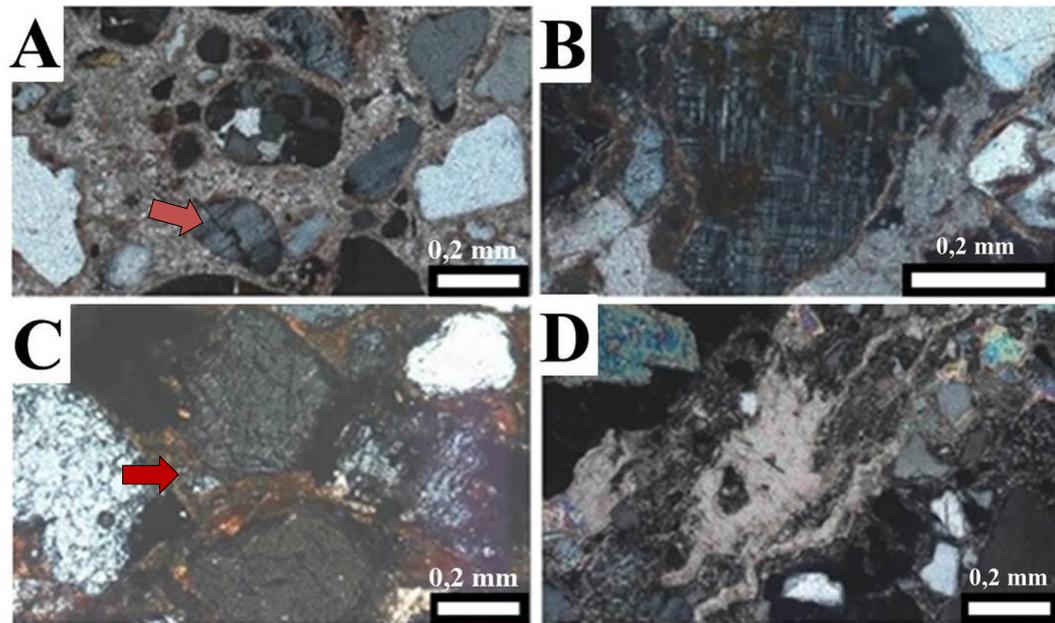


Figura 22 – Detalhes petrográficos dos arenitos onde foram preservados os fósseis (A. DP2/177; B. DP2/176; C. DP2/177; D. DP2/226). A. Cristais de quartzo (seta vermelha); B. Microclíneo; C. Ílita localizada entre os grãos (seta vermelha); D. Calcita.

8.3 Análise em Microscópio Óptico de Varredura (MEV)

Todas as lâminas de *M. arrudacamposi* e *A. maximus* foram analisadas através da técnica de Detecção de Elétrons Retroespalhados (DER), que enfatiza as diferenças composicionais para adquirir as imagens, para uma melhor compreensão do processo de fossilização. A composição predominante foi de fosfato de cálcio $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, ou seja, os fósseis preservaram a composição inorgânica próxima à original (Figura 23).

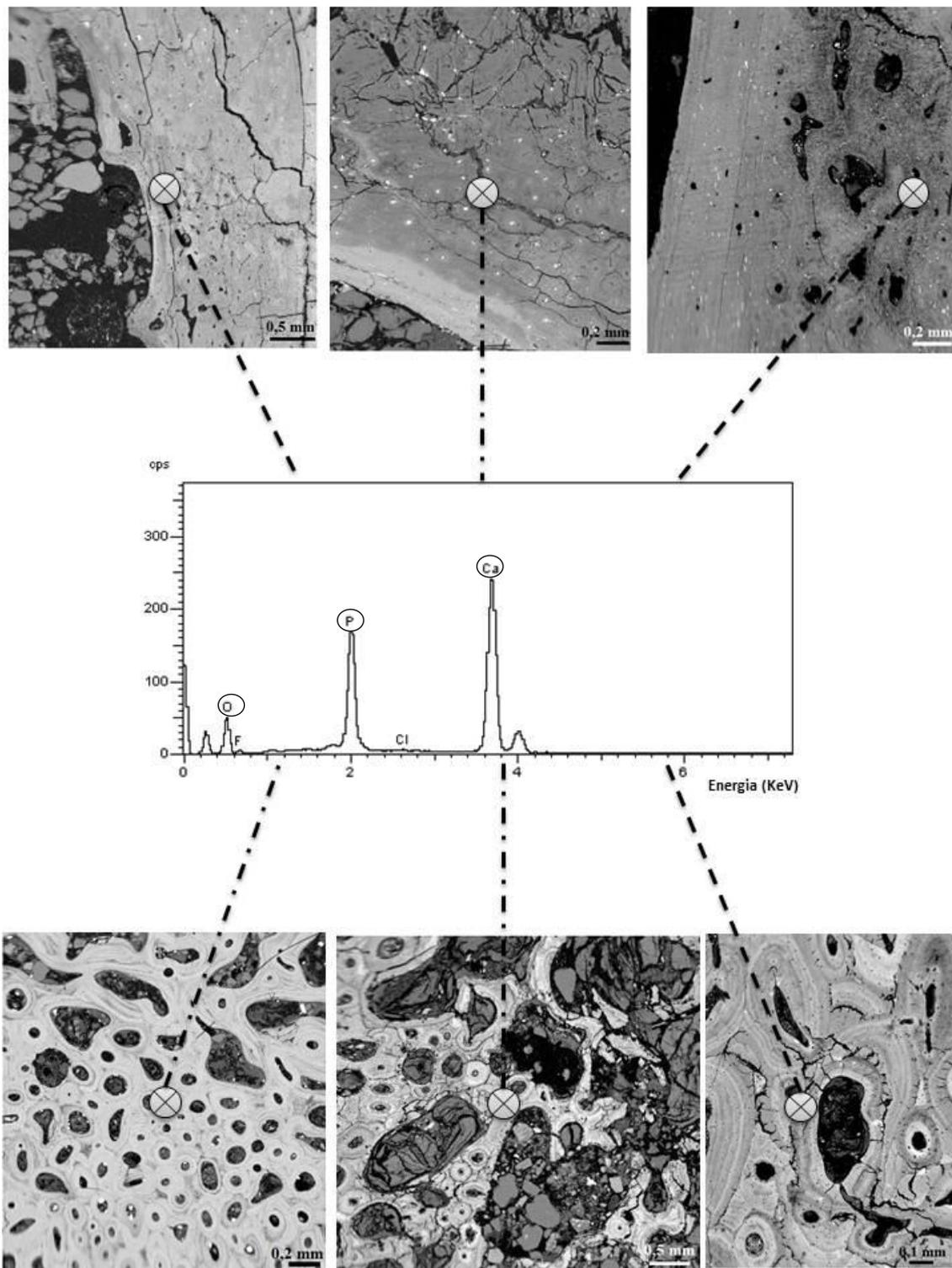


Figura 23 – Gráficos e imagens DER da composição geral dos fósseis (apatita). Na porção superior ao gráfico as imagens pertencem a *M. arrudacamposi* sequencialmente DP2/176, DP2/177 e DP2/178. Na porção inferior ao gráfico as imagens pertencem a *A. maximus* sequencialmente DP2/226, DP2/179 e DP2/38. Alvos marcam onde foram verificadas as composições de apatita. Os elementos que compõem a apatita estão circutados no gráfico composicional.

De forma geral as estruturas osteológicas, quando preenchidas, são por ílita ($(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,H_2O]$), como é o caso das fraturas dos ossos de *Montealtosuchus arrudacamposi* (DP2/177) e das cavidades do tecido esponjoso de *A. maximus* (DP2/179) (Figura 24). Contudo, em alguns casos pontuais, como o da amostra DP2/226 de *A. maximus*, os ósteons se encontram preenchidos por sílica microcristalina. Algumas fraturas e as estruturas osteológicas também se encontram sem preenchimento.

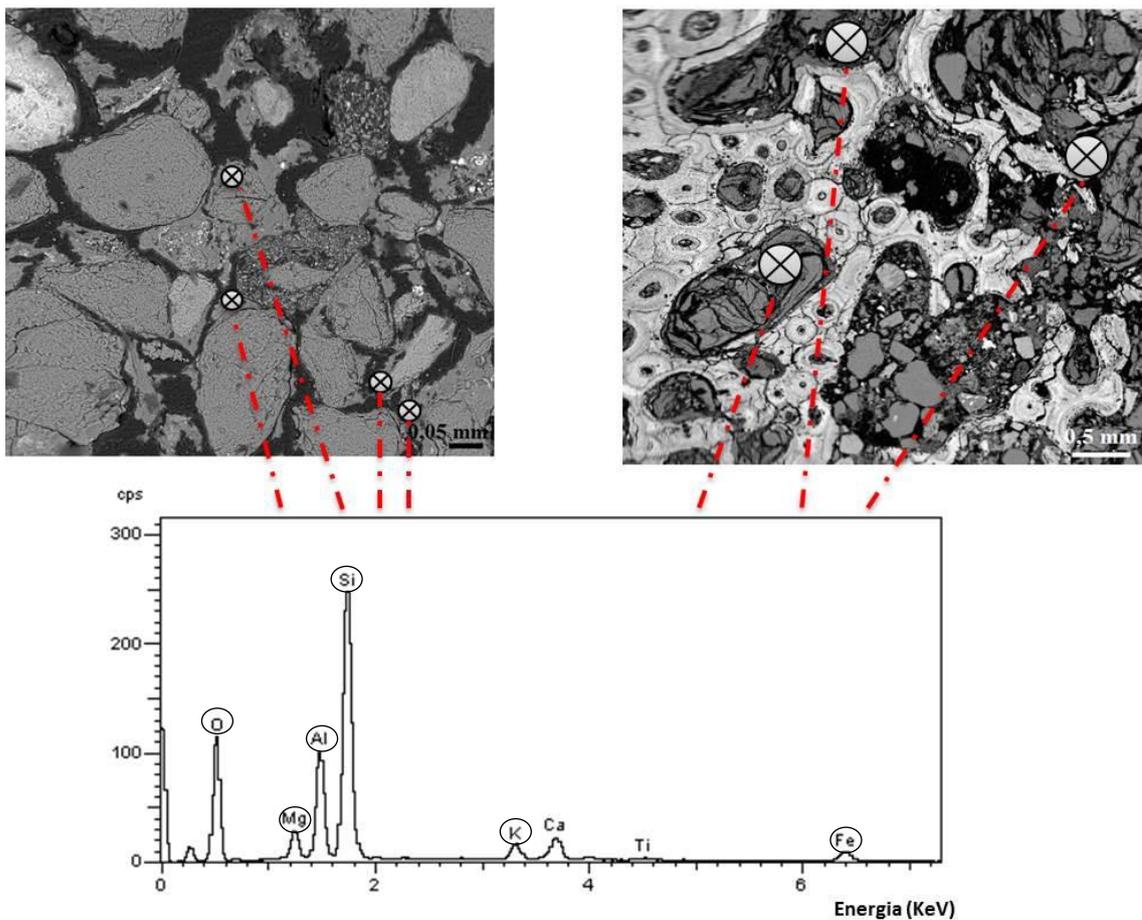


Figura 24 – Gráfico e imagens DER mostrando a distribuição da ílita nas amostras estudadas. Na parte acima do gráfico, lado esquerdo, rocha associada ao fóssil de vértebra de *M. arrudacamposi* (DP2/177), lado direito, tecido esponjoso de *A. maximus* (DP2/179). Os alvos marcam onde foram verificadas as composições ílticas, no cimento na primeira imagem, e nas estruturas osteológicas (cavidades do tecido esponjoso) na segunda imagem. Os elementos que compõem a ílita estão circulados no gráfico composicional.

Em todas as lâminas de *M. arrudacamposi* (DP2/176, DP2/177 e DP2/178) há, disseminados em baixas concentrações, Elementos Terras Raras (neodímio, gadolínio e samário). A exceção é o cério, que foi medido sempre em concentrações maiores (Figura 25).

Na região periférica do córtex dos osteodermos (DP2/178) e do fêmur (DP2/177) de *M. arrudacamposi* foram medidas, junto à composição fosfática, concentrações de vanádio (Figura 25).

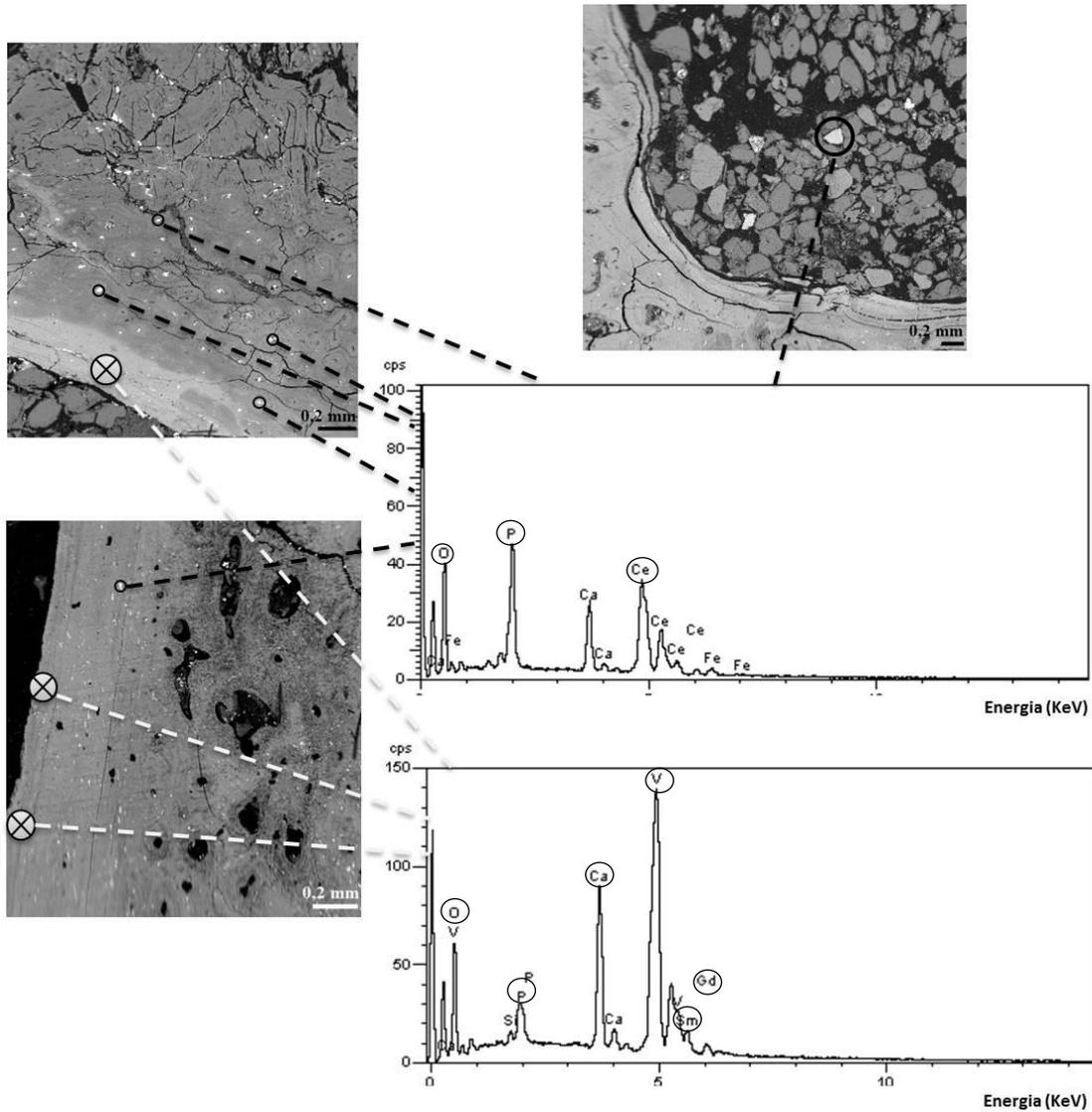


Figura 25 – Gráficos e imagens DER das composições de cério e vanádio e a sua distribuição. No primeiro gráfico fósforo, oxigênio e cério foram medidos em minerais associados à rocha e ao fêmur de *M. arrudacamposi* (DP2/177). No segundo gráfico vanádio, cálcio, fósforo, oxigênio, samário, gadolínio foram medidos no córtex externo do osteodermo (DP2/178) e no córtex externo do fêmur de *M. arrudacamposi* (DP2/177). Alvos marcam onde foram verificadas as composições de cério e vanádio. Os elementos estão circutados no gráfico composicional.

No arenito associado ao fragmento de costela de *A. maximus* da lâmina DP2/226 foram verificados níveis de carbonato de cálcio entre os grãos, alguns cristais de carbonato de cálcio e micro fraturas preenchidas pelo mesmo mineral (Figura 26).

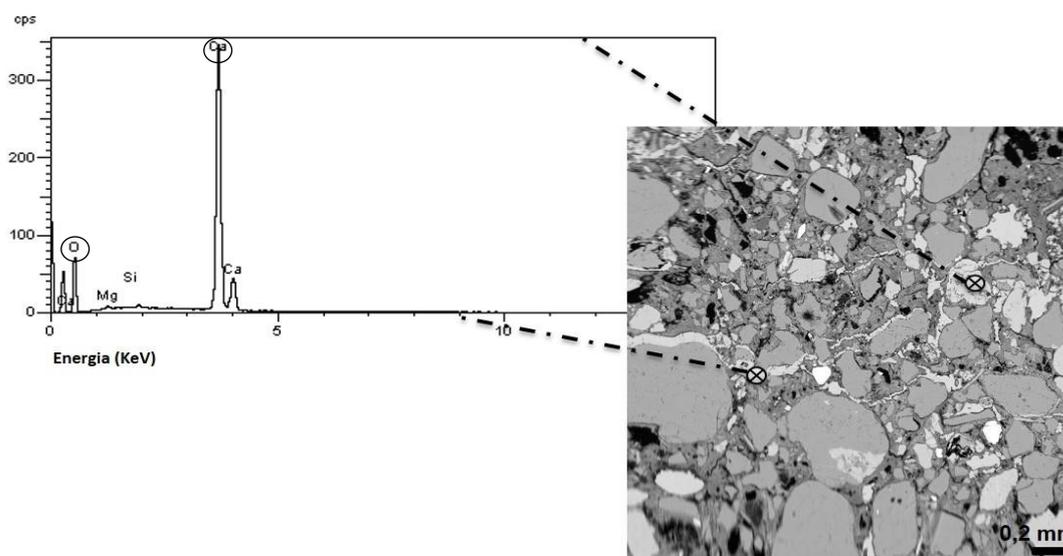


Figura 26 – Gráfico e imagens DER mostrando a distribuição de calcita nas amostras estudadas. A imagem pertence à rocha associada ao fóssil de *A. maximus* (DP2/226). Os alvos indicam onde foram verificadas as composições calcíticas, nos grãos e micro fraturas. Os elementos que compõem a calcita estão circulados no gráfico composicional.

8.4 Análise em Micro Fluorescência de Raio – X (μ -XRF)

A composição geral dos fósseis obtida através do MEV foi Apatita, no entanto algumas diferenças composicionais foram encontradas entre os fósseis do Crocodyliformes (*M. arrudacamposi*) e os do saurisquio (*A. maximus*), como por exemplo a presença de ETR no Crocodyliformes e calcita no saurisquio. Para verificar com maior precisão essas diferenças foi utilizada a linha de luz de μ -XRF do Laboratório Nacional de Luz Sincrotron, por se tratar de uma técnica mais sensível para qualificar diferenças composicionais.

O feixe foi aplicado em um quadrante de 1x1cm da amostra de osso longo (fêmur) de *M. arrudacamposi* (DP2/177) (Figura 27A e Figura 28A).

A análise mostrou que a composição geral do fóssil é de fosfato de cálcio – apatita (Figura 27B e Figura 28B) como esperado, porém o cério está distribuído ao longo de toda extensão de fóssil (Figura 27C). Na região periférica do córtex foi verificada a presença de ferro (Figura 27D). O vanádio também mostrou uma alta concentração (Figura 28C) ao longo do fóssil, porém em maior concentração na região periférica.

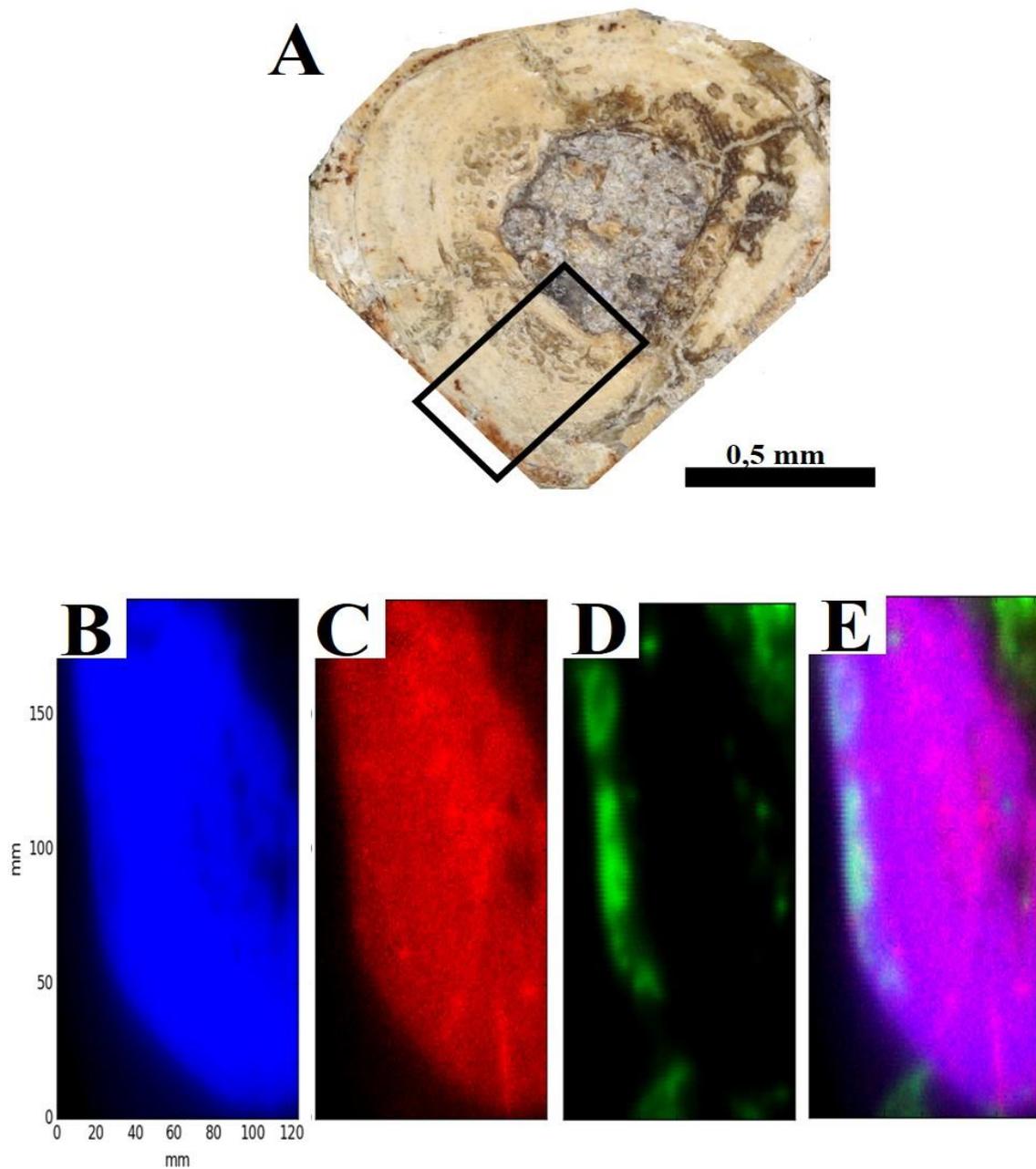


Figura 27 – Imagens dos resultados de μ -XRF para a distribuição do cálcio, cério e ferro na seção transversal do osso longo (fêmur) de *M. arrudacamposi* (DP2/177). A. Seção transversal do fêmur com a localização do quadrante no qual foi mapeada a distribuição dos elementos. B. Cálcio em azul; C. Cério em vermelho; D. Ferro em verde; E. Imagem com a distribuição das três composições.

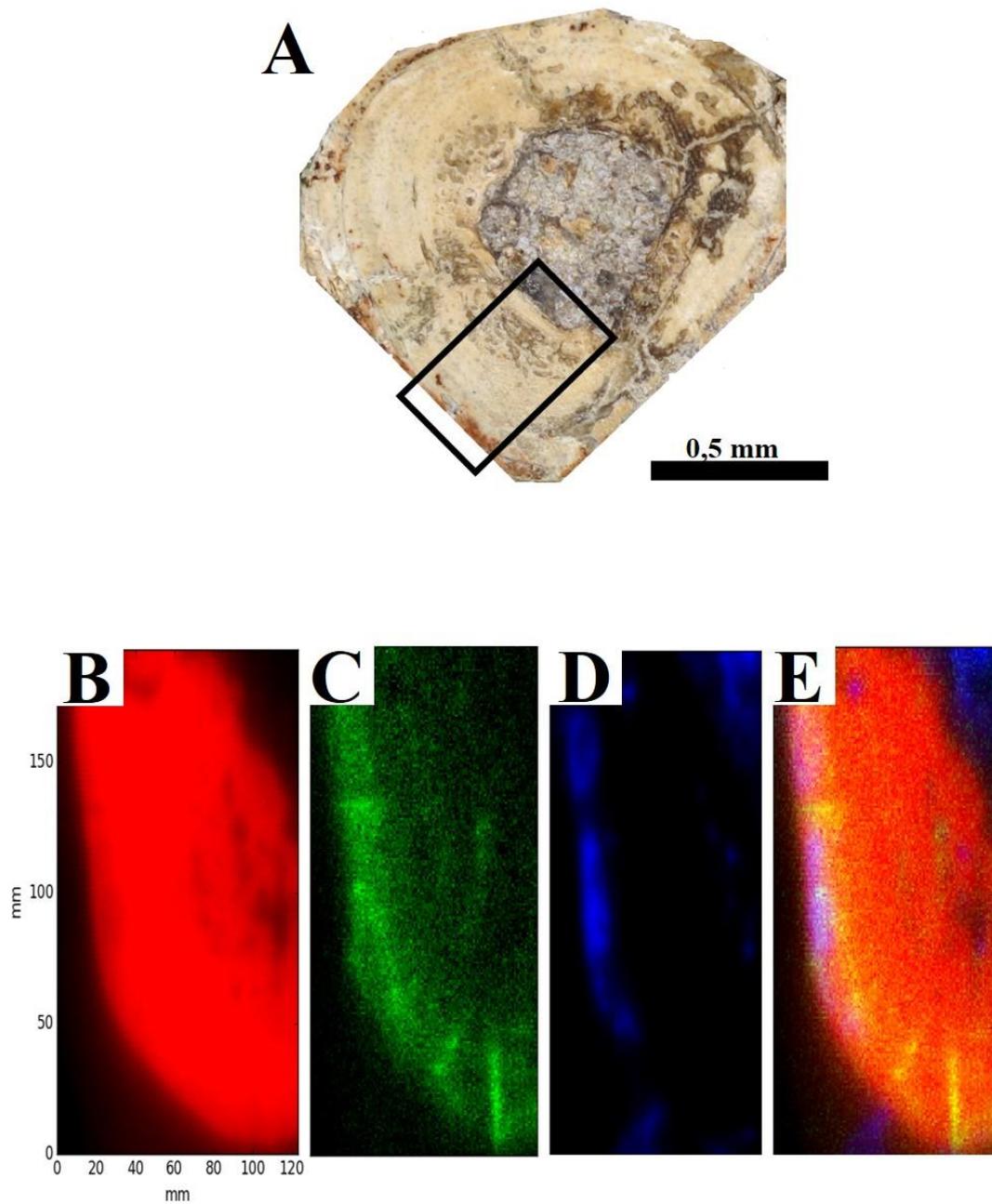


Figura 28 – Imagens dos resultados de μ -XRF para a distribuição do cálcio, vanádio e ferro na seção transversal do osso longo (fêmur) de *M. arrudacamposi* (DP2/177). A. Seção transversal de fêmur com a localização do quadrante onde a análise μ -XRF foi realizada. B. Cálcio em vermelho; C. Vanádio em verde; D. Ferro em azul e E. Imagem com a distribuição das três composições.

9. Discussão

A discussão foi organizada a partir da interpretação e avaliação dos resultados obtidos através de histologia e mapeamento químico composicional dos fósseis. Um modelo com as características químicas relacionadas a cada etapa diagenética foi proposto com base na comparação entre os resultados obtidos neste trabalho e a literatura de referência sobre a Bacia Bauru, no âmbito da geologia, tafonomia (fossildiagênese) e histologia.

9.1 Histologia

Muitos estudos taxonômicos e/ou bioestratinômicos foram realizados com répteis cretáceos da Bacia Bauru em outras localidades (Marinho 2006, Azevedo 2012, Gallina 2012, Azevedo *et al.* 2013, Delcourt e Grillo 2014, Muniz *et al.* 2014, Brum *et al.* 2016) e mencionaram características histológicas. Neste trabalho o detalhamento histológico realizado foi comparado àqueles, como mostram os resultados.

9.1.1 *Montealtosuchus arrudacamposi*

O padrão histológico encontrado no fêmur, vértebra e osteodermo do *M. arrudacamposi* é bastante similar. Todos possuem o córtex interno muito vascularizado, o qual torna-se lamelar zonal, com diminuição da vascularização e marcas de crescimento no córtex externo. Pequenas diferenças foram notadas na histologia do fêmur e da vértebra na região do córtex interno com relação ao osteodermo. Nos primeiros a região do córtex interno é composta por tecido fibrolamelar com presença de ósteons primários e canais vasculares orientados longitudinalmente, enquanto no osteodermo esse tecido não foi observado. A remodelação secundária foi observada apenas no córtex interno do osteodermo e do fêmur. A presença de ósteons secundários no córtex, em adição a outras características como linhas de crescimento, já foi utilizada como indício de que os ossos não pertenceriam a um indivíduo em estágio ontogenético inicial (Andrade e Sayão 2014).

A diminuição gradativa da vascularização da região perimedular para a região do córtex mais externo, do tecido fibrolamelar para um tecido lamelar, pode ser relacionada à diminuição da taxa de crescimento, ou seja, o indivíduo não estava em um estágio ontogenético inicial. Segundo Chinsamy-Turan (2005), a diminuição dos espaços entre os anéis de crescimento são uma evidência de que a maturidade sexual foi atingida, nota-se tal padrão no fêmur e no osteodermo do *M. arrudacamposi* do córtex interno para o córtex externo. Um fator importante responsável pelo crescimento cíclico em répteis é a

sazonalidade, ou seja, alternância ou mudança entre períodos quente/frios ou úmido/secos (Peabody 1961). Contudo, a presença de linhas de parada de crescimento também foram descritas em climas tropical ou não sazonais (Castanet e Baez 1991, Chinsamy *et al.* 1995). No *M. arrudacamposi* verificou-se no fêmur e no osteodermos que após a linha de crescimento mais interna, ocorreu a deposição de tecido fibrolamelar e secundário respectivamente. Esta alternância de tecido lamelar com outros relacionados a taxas de crescimento mais rápidas provavelmente foi controlada pela alternância entre períodos secos e com maior disponibilidade de água típicos da Bacia Bauru.

Marinho (2006) realizou histologia de osteodermos de *Itasuchus jesuinoi* (Price 1955) e *Uberabasuchus terrificus* (Carvalho, Ribeiro *et* Ávilla 2004), ambos Crocodyliformes fósseis da Bacia Bauru, Cretáceo Superior. O autor observou na porção mais dorsal dos osteodermos tecido ósseo compacto e linhas de crescimento, e na porção ventral uma grande quantidade de canais de Havers em sentido anteroposterior, similar aos osteodermos estudados neste trabalho.

Muniz *et al.* (2014) descreveram cortes histológicos de dentes e ossos fragmentados de dinossauro e crocodylomorfo do Neocretáceo do Pontal do Triângulo Mineiro. Estes autores encontraram preservados apenas a região do osso compacto com ósteons secundários, porém não observaram linhas de crescimento ou tecido primário devido à natureza fragmentada do material. Concluíram que a metodologia de cortes histológicos é adequada para o estudo de fósseis do Neocretáceo do Brasil, porém para amostras completas.

9.1.2 *Aelosaurus maximus*

As costelas de *A. maximus* são formadas por tecido ósseo compacto com ampla remodelação óssea e tecido paralelo fibroso ou matriz fibrosa de origem primária para todos os elementos estudados. Não existem evidências de linhas de crescimento, *annulis* ou zonas de crescimento em nenhuma amostra. Esses elementos são encontrados com maior frequência em ossos maiores, como fêmur, úmero e vértebras, onde existe um maior desenvolvimento dos tecidos ósseos. Muniz *et al.* (2014) atribuíram a ausência de tecido primário com presença de anéis de crescimento à natureza fragmentária dos materiais, que não preservam as regiões mais externas dos ossos e/ou de regiões mais adequadas dos ossos para a visualização dessas estruturas.

Cerda (2009) descreveu o mesmo tecido laminar paralelo fibroso que o descrito neste trabalho para as costelas de *A. maximus*, em uma extremidade distal de uma costela cervical de *Aelosaurus*, do Cretáceo Superior da Província de Rio Negro, Argentina.

Delcourt e Grillo (2014) descreveram restos de um terópode não aviano da Formação Rio do Peixe (Adamantina), do Grupo Bauru, e encontraram linhas de parada de crescimento, porém não conseguiram definir a família taxonômica.

Azevedo *et al.* (2013) realizaram um estudo tafonômico com exemplares fósseis de todas as formações da Bacia Bauru. Para os aspectos histológicos e composicionais, através de análises microscópicas, os autores concluíram que a composição dos fósseis é fosfática e as estruturas no geral estão bem preservadas. Para a Formação Adamantina (ou Formação Vale do Rio do Peixe) Azevedo *et al.* (2013) descreveram algumas micro-estruturas como ósteons primários e minerais como calcita espática e fragmentos ígneos. Se comparados com os resultados aqui obtidos, a composição química geral dos fósseis é igual, fosfática, assim como as microestruturas bem preservadas.

9.1.3 *Itaimbea* sp.

Os bivalves não preservaram nenhuma estrutura devido à instabilidade da aragonita e sua rápida recristalização para outros minerais mais estáveis.

9.2 Composição química dos fósseis

Nas amostras dos vertebrados estudados, o cálcio e o fósforo são os elementos em maior concentração e estão distribuídos uniformemente pelos fósseis. Ambos são de origem biológica remanescentes da composição original dos ossos, porém entraram na composição dos minerais recristalizados e autigênicos. Ferro, vanádio, cério e carbonato são elementos entrados na composição dos fósseis durante a eodiagênese. Em todas as análises de MEV/DER em que a composição verificada indicou a presença de apatita, o cério estava presente como um dos componentes químicos do mineral. Nas análises de μ -XRF, o cério apresentou uma distribuição uniforme, sendo o segundo elemento com maior distribuição no fêmur de *M. arrudacamposi*, depois do cálcio. O ferro e o vanádio estavam restritos ao córtex externo das amostras de *M. arrudacamposi*.

Como o cério foi encontrado em todas as amostras que a composição geral foi de apatita, é provável que ele foi incorporado durante o crescimento dos “novos” cristais de apatita autigênica. O vanádio e o ferro estão restritos ao córtex externo, esse perfil de concentração sugere que, apesar da natureza porosa do osso, estes elementos foram distribuídos através da difusão, dirigida das superfícies exteriores perpendicularmente para o córtex interno (Millard e Hedges 1999).

Os bivalves, de forma geral, possuem em vida as conchas compostas por aragonita, mineral de cálcio muito instável e que, durante a diagênese, é rapidamente recristalizado para formar a calcita (Flügel 1982). O arenito no qual os bivalves foram preservados apresenta cimentação carbonática (Figura 25C), fato que explicaria a pobre preservação da sua morfologia original. Segue abaixo tabela com a distribuição dos elementos e minerais nas amostras.

Tabela 2 – Organização dos dados composicionais obtidos através de MEV e XRF para todas as amostras estudadas.

	Apatita	Ilita	Cério	Vanádio	Ferro	Calcita
<i>M. arrudacamposi</i> (DP2/176-177-178)	X	X	X	X	X	
<i>A. maximus</i> (DP2/179)	X	X	X			
<i>A. maximus</i> (DP2/226)	X		X			X
<i>A. maximus</i> (DP2/38)	X		X			
<i>Itaimbea sp.</i> (DP1/536)						X

9.3 Etapas fossildiagnéticas e considerações tafonômicas

Os fósseis estudados estão fragmentados e desarticulados. No entanto, apresentam alto grau de conservação das microestruturas. Segundo Fernandes e Ribeiro (2015), a disponibilidade de água em regiões marginais da Bacia Bauru, como as lagoas e planícies aluviais, favoreceram o desenvolvimento e a manutenção da fauna. Os fósseis da Formação Adamantina coletados em Monte Alto provavelmente foram menos transportados do que os encontrados em áreas interiores da bacia, relacionados aos ambientes deposicionais de lençóis de areia, dunas eólicas e fluxos fluviais esporádicos.

A partir das características químicas das amostras alguns processos diagenéticos foram identificados: recristalização, difusão e permineralização. Os processos tiveram grande importância para a transformação do osso em um fóssil. No início do soterramento, na primeira fase da fossilização, foram introduzidos mecanicamente pelos poros, fraturas e cavidade medular, grãos de quartzo, feldspato, argila e fragmentos líticos. É provável que durante a eodiagnese a presença de monazita ou de argila, verificada através das análises em MEV/DER das rochas associadas aos fósseis, foi responsável pela disponibilidade de cério no ambiente de soterramento. O cério foi o elemento que entrou na estrutura da apatita durante a

sua recristalização nas fases iniciais do processo de fossilização. O ferro e o vanádio são elementos de protagonismo secundário para a preservação, pois suas distribuições estão restritas às regiões de contato entre o fóssil e o meio externo – sendo este o ambiente ou a própria rocha hospedeira do fóssil –, portanto foram difundidos pelo osso em um segundo momento do processo de fossilização e diagênese.

Algumas diferenças composicionais entre os fósseis de *A. maximus* e *M. arrudacamposi* são ausência de ETR (neodímio, gadolínio e samário), vanádio e ferro no primeiro e ausência de carbonato no segundo, e estão ligadas ao fato de que a adição ou remoção de um elemento químico ou complexo depende da concentração de ETR nos ossos; das características químicas das águas que circulam através dos poros; do coeficiente de partição ou adsorção do elemento (ou complexo elementar) entre apatita e a água; e sua difusão através do osso (Trueman e Tuross 2002). Por se tratarem de afloramentos e espécies distintas as características foram, provavelmente, também distintas.

10. Conclusão

O espaçamento entre as linhas de crescimento, a gradação de tecidos de crescimento rápido para crescimento lento em direção ao córtex externo e a remodelação secundária permite inferir que o *M. Arrudacamposi* e o *A. Maximus* atingiram a maturidade sexual antes de morrer.

A recristalização que ocorreu durante a fossildiagênese foi determinante para a preservação do material ósseo, pois a composição resultante foi mais estável (hidroxiapatita) do que a composição original dos ossos (dalita). Para um osso ser preservado no registro fóssil, a taxa de recristalização deve exceder a taxa de dissolução. Isso sugere que a recristalização deve ocorrer durante a eodigênese nos casos de fossilização. A hidrogeologia é fundamental para o processo de preservação óssea, visto que a lixiviação ou a reciclagem biológica dos elementos limita o potencial de preservação. O fóssil registra a composição de ETR e outros elementos das águas subterrâneas locais. A partir da definição qualitativa e quantitativa desses, podemos remontar as etapas fossildiagénéticas e suas características específicas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F.F.M. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Bol. do Inst. Geográfico Geológico* **41**:169-263.
- ALMEIDA F.F.M. 1980. *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, São Paulo, Brasil. Relatório IPT, 14.091.
- ANDRADE M.B., BERTINI R.J. 2008. A new *Sphagesaurus* (Mesoeucrocodylia: Notosuchia) from the Upper Cretaceous of Monte Alto City (Bauru Group, Brazil), and a revision of the Sphagesauridae. *Historical Biology* **20**(2): 101-136.
- ANDRADE R.C.L.P., SAYÃO J. M. 2014. Paleohistology and Lifestyle Inferences of a Dyrosaurid (Archosauria: Crocodylomorpha) from Paraíba Basin (Northeastern Brazil). *PLoS one*, **9**(7), e102189.
- AZEVEDO K.L., VEGA C.S., FERNANDES L.A. 2013. Taphonomic aspects of vertebrate fossils from Bauru Group, Upper Cretaceous, Brazil. *Boletim Paranaense de Geociências*, **68-69**: 43-51.
- AZEVEDO K.L. 2012. *Aspectos Tafonômicos de Vertebrados da Parte Oriental do Grupo Bauru, Cretáceo Superior*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 120p.
- BATEZELLI A. 2003. *Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 183p.
- BATEZELLI A., GOMES N.S., PERINOTTO J.A.J. 2005. Petrografia e Evolução Diagenética dos Arenitos da Porção Norte Nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). *Revista Brasileira de Geociências*, **35**: 311-322.
- BATEZELLI A., SAAD A.R., BASILICI G. 2007. Arquitetura deposicional e evolução da sequência aluvial neocretácea da porção setentrional da Bacia Bauru, no sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(1): 163-181.
- BATEZELLI A. 2010. Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no Sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*. **40**(2): 265-285.
- BATEZELLI A. 2015. Continental systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. *Basin Research*, **29**(Suppl.1): 1-25, DOI: 10.1111/bre.12128.
- BASILICIA G., DAL BÓ P.F.F. e LADEIRA F.S.B. 2009. Climate-induced sediment-palaeosol cycles in a Late Cretaceous dry aeolian sand sheet: Marília Formation (NW Bauru Basin, Brazil). *Sedimentology*, **56**: 1876-1904.
- BEHRENSMEYER A.K. 1990. Terrestrial vertebrate accumulations. In: ALLISON P.A. & BRIGGS D.E.G. *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. New York: Plenum Press, p. 291-335.
- BERNA F., MATTHEWS A., WEINER S., 2004. Solubilities of bone mineral from archaeological sites: the recrystallization window. *J. Arch. Sci.*, **31**: 867-882.
- BERNAT M. 1975. Les isotopes de l'uranium et du thorium et les terres rares dans l'environnement marin. *Cahiers OSTROM Series Geologie*, **7**: 65-83.
- BERTINI R.J., MARSHALL L.G., GAYET M. & BRITO P. 1993. Vertebrate faunas from the Adamantina and Marília formations (Upper Bauru Group, Late Cretaceous, Brazil). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*. Abhandlungen. **188**(1): 71-101.

- BERTINI R.J., SANTUCCI R.M., TOLEDO C.E.V. & MENEGAZZO M.C. Maio/Agosto, 2006. Taphonomy And Depositional History Of An Upper Cretaceous Turtle- Bearing Outcrop From The Adamantina Formation, Southwestern São Paulo State. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **9(2)**: 181-186.
- BERTONI-MACHADO C. 2008. *Tafonomia de Paleovertebrados em Sistemas Continentais do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil e do Departamento de San José, Uruguai*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 263p.
- BRAND L.R., HUSSEY M. & TAYLOR J. 2003. Decay and Disarticulation of Small Vertebrates in Controlled Experiments. *Journal of Taphonomy*, **1(2)**: 69-95.
- BRAZAITS P. 1987. Identification of Crocodylian Skins and Products. In: ROSS C.A., GARNETT S. (Eds.). *Wildlife Management: Crocodiles and Alligators*. Weldon Owen, p.373.
- BRIGHT C.A., CRUSE A.M., LYONS T.W., MACLEOD K.G., GLASCOCK M.D., ETHINGTON R.L. 2009. Seawater rare earth element patterns preserved in apatite of Pennsylvanian conodonts? *Geochim. Cosmochim. Acta*, **73**: 1609-1624.
- BRUM A.S., MACHADO E.B., CAMPOS D.A., KELLNER A.W.A. 2016. Morphology and internal structure of two new abelisaurid remains (Theropoda, Dinosauria) from the Adamantina Formation (Turonian e Maastrichtian), Bauru Group, Parana Basin, Brazil. *Cretaceous Research*, **60**: 287-296 .
- BONAPARTE J.F. & CORIA J.O. 1993. Un nuevo y gigantesco saurópodo titanosaurido de la Formación Río Limay (Albiano–Cenomaniano) de la Provincia de Neuquén, Argentina. *Ameghiniana*, **30**: 271-282.
- BYRNE, R.H., LI, B.Q., 1995. Comparative complexation behavior of the rare-earths. *Geochim. Cosmochim. Acta* **59**, 4575–4589.
- CAMPOS D.A., SUAREZ J.M., RIFF D. & KELLNER A.W.A. 2001. Short note a new Baurusuchidae (Crocodyliformes, Metasuchia) from the Upper Cretaceous of Brazil. *Boletim do Museu Nacional-Geologia Rio de Janeiro*. **57**:1-7.
- CAMPOS D.A., KELLNER A.W.A., BERTINI R.J. & SANTUCCI R.M. 2005. On a titanosaur (Dinosauria, Sauropoda, Titanosauridae) vertebral column from the Bauru Group, Late Cretaceous of Brazil. *Arquivos do Museu Nacional*, **63**: 565-593.
- CAMPOS D.A. 2011. On a new peirosaurid crocodyliform from the Upper Cretaceous Bauru Group, southeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **83(1)**:317-327.
- CANDEIRO C.R.A. Jun. 2006. Los Titanosaurideos (Dinosauria, Titanosauria) Del Grupo Bauru Y Sus Relaciones Paleogeograficas Con Los Géneros De La Patagonia Argentina. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, **18(34)**: 77-89.
- CARVALHO I.S. e BERTINI R.J. 1999. Mariliasuchus: um novo crocodylomorpha (Notosuchia) do Cretáceo da Bacia Bauru, Brasil. *Geologia Colombiana*, **24**:83-105.
- CARVALHO I.S., ZAHER H., NAVA W.R. 2003. A new anuran (Lissamphibia: Tetrapoda) from the continental Late Cretaceous Bauru Basin, State of São Paulo. *Boletim XVIII Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Brasília, p.188.
- CARVALHO I.S., RIBEIRO L.C.B., AVILLA L.S. 2004. *Uberabasuchus terrificus* sp. nov. a new crocodylomorpha from the Bauru Basin (Upper Cretaceous), Brazil. *Gondwana Research*, **7(4)**: 975-1002.
- CARVALHO I.S., CAMPOS A.C.A. & NOBRE P.H. 2005 *Baurusuchus salgadoensis*, a new Crocodylomorpha from the Bauru Basin (Cretaceous), Brazil. *Gondwana Research*, **8(1)**:11-30.
- CARVALHO I.S., VASCONCELLOS F.M., TAVARES S.A.S. 2007. *Montealtosuchus arrudacamposi*, a new peirosaurid crocodile (Mesoeucrocodylia) from the Late Cretaceous Adamantina Formation of Brazil. *Zootaxa*, **1607**: 35 e 46.

- CARVALHO I.S. 2011 *Campinasuchus dinizi* gen. Et. SP. Nov., a new Late Cretaceous baurusuchid (Crocodyliformes) from the Bauru Basin, Brazil. *Zootaxa*, **2871**:19-42.
- CERDA I.A. 2009. Consideraciones sobre la histogénesis de las costillas cervicales en los dinosaurios saurópodos. *Ameghiniana* **46**: 193-198.
- CHEN J., ALGEO T.J., ZHAO L., CHEN Z.Q., CAO L., ZHANG L., LI Y. 2015. Diagenetic uptake of rare earth elements by bioapatite, with an example from Lower Triassic conodonts of South China. *Earth-Sci. Rev.*, **149**: 181-202.
- CHEN X.H., ZHOU L., WEI K., WANG J., LI Z. 2012. The environmental index of the rare earth elements in conodonts: evidence from the Ordovician conodonts of the Huanghuachang Section, Yichang area. *Chin. Sci. Bull.*, **57**: 349-359.
- CHENERY S., WILLIAMS T., ELLIOTT, T.A., FOREY P.L., WERDELIN L., 1996. Determination of rare earth elements in biological and mineral apatite by EPMA and LAMP-ICP-MS. *Mikrochim. Acta*, **13(Suppl.)**: 259-269.
- CHINSAMY-TURAN A. 2005. *The microstructure of dinosaur bone*. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press, 195p.
- COIMBRA, A. M. 1991. *Sistematização Crítica da Obra*. São Paulo. Tese de Livre-docência, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 54p.
- COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M.; COUTINHO, J. M. V. 1981. Silicificação dos Arenitos da Formação Bauru no Estado de São Paulo. *In: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes*, São Paulo. Coletânea de trabalhos debates. São Paulo, SBG, p. 103- 115.
- COLLINS M.J., RILEY M.S., CHILD A.M., TURNER-WALKER G. 1995. A basic mathematical simulation of the chemical degradation of ancient collagen. *J. Archaeol. Sci.*, **22**: 175-183.
- DELCOURT R., GRILLO O. N, 2014. On maniraptoran material (dinosauria: theropoda) from Vale do Rio do Peixe formation, Bauru Group, Brazil. *Rev. bras. paleontologia.*, **17(3)**:307-316.
- DIAS-BRITO D., MUSACCHIO E.A., CASTRO J.C., MARANHÃO M.S.A.S., SUAREZ J.M. & RODRIGUES R. 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. *Rèvue Paléobiologie*, **20(1)**: 245-304.
- FADEL A., ZIGAITE Z., BLOM H., PÉREZ-HUERTA A., JEFFRIES T., MÄRSS, T., AHLBERG P.E. 2015. Palaeoenvironmental signatures revealed from rare earth element (REE) compositions of vertebrate microremains of the Vesiku Bone Bed (Homerian, Wenlock), Saaremaa Island, Estonia. *Estonian J. Earth Sci.*, **64(1)**: 36-41.
- FERNANDES, L. A. 1992. *A cobertura Cretácea Suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): Os Grupos Bauru e Caiuá*. São Paulo. Dissertação Mestrado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 171p.
- FERNANDES L.A. & COIMBRA A.M. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68(2)**: 195-205.
- FERNANDES L.A. & COIMBRA A.M. 1999. Paleocorrentes da Parte Oriental da Bacia Bauru. *In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL*, 5, 1999, São Paulo *Boletim....* Universidade Estadual Paulista, p.51-57.
- FERNANDES L.A., COIMBRA A.M., 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Rev. Bras. Geociência*, **30(4)**: 723 e 734.
- FERNANDES L.A., RIBEIRO C.M.M. 2015. Evolution and palaeoenvironment of the Bauru Basin (Upper Cretaceous, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences* **61**: 71-90.

- FERNANDES L.A. 1998. *Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru (KS, Brasil)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FIGUEIREDO A.E.Q. 2009. *Estudo Tafonômico de afloramentos contendo Vertebrados fósseis das Bacias do Iguatu, Cretáceo Inferior, Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 125p.
- FRANCILLON-VIEILLOT H., BUFFRENIL V., CASTANET J., GÉRAUDIE J., MEUNIER F.J., SIRE J.Y., ZYLBERBERG, L. et RICQLÉS A. 2013. Microstructure and Mineralization of Vertebrate Skeletal Tissues. Skeletal Biomineralization: Patterns, Processes and Evolutionary trends. V.1. Chapter 20. p.471-530.
- FRANCO-ROSAS A.C., SALGADO L., ROSAS C.F. & CARVALHO I.S. (2004). Nuevos materiales de titanosauros (Sauropoda) en el Cretácico Superior de Mato Grosso, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**: 329–336.
- FLUGEL E. (1982). *Microfacies Analysis of Limestone*. Springer-Verlag, Nueva York, 633p.
- FOLK R.L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rock*. Hemphill Publishing Company Austin, 179p.
- FULFARO, V. J. 1974. Tectônica do Alinhamento Estrutural do Paranapanema. *Bol. IG (Instituto de Geociências – USP)*, v. 5, p. 129-138.
- GALLINA P.A. 2012. Histología ósea del titanosauro *bonitasaura salgadoi* (dinosauria: sauropoda) del cretácico superior de Patagonia. *Ameghiniana*, **49(3)**: 289-302.
- GHILARDI R.P., D'AGOSTA F.C.P. & SIMONE L.R.L. 2007. *Itaimbea* sp. nov., uma nova espécie de Iridinidae fóssil (Bivalvia: Etherioidea) do Grupo Bauru (Bacia Bauru, Cretáceo Superior), Monte Alto, São Paulo, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 20. *Anais*, p.170.
- GHILARDI R.P., CARBONARO F.A. & SIMONE L.R.L. 2010a. *Physa mezzalirai*: um novo gastrópode da Formação Adamantina (Bacia Bauru), Cretáceo Superior, São Paulo, Brasil. *Gaea – Journal of Geoscience*, **6(2)**:63-68.
- GOBBO-RODRIGUES S. R., PETRI S., BERTINI R.J. 1999. Ocorrências de ostrácodes na formação Adamantina do grupo Bauru, cretáceo superior da Bacia do Paraná, e possibilidades de correlação com depósitos isócronos argentinos. Parte II- Família Limnocytheridae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, **71(1)**: 147-148.
- GOBBO-RODRIGUES S. R. 2002. Carófitas e ostrácódes do Grupo Bauru, Cretáceo Superior Continental do Sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. UNESP: Rio Claro, p. 137.
- HASUI Y., HARALYI, N.L.E. 1991. Aspectos Lito-estruturais e Geofísicos do Soerguimento do Alto Paranaíba. *Geociências*, v. 10, p. 67-77.
- HEDGES R.E.M., MILLARD A.R., PIKE A.W.G. 1995. Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. *J Archaeol Sci*, **22**: 201-209.
- HENRIQUE D.D.R., SUARES J.M., AZEVEDO S.A.K., CAPILLA R.E., CARVALHO L.B. 2002. A brief note on the paleofauna of Tartaruguito Site, Adamantina Formation, Bauru Group, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **74(2)**: 366-366.
- HERWARTZ D., TÜTKEN T., MÜNKER C., JOCHUM K.P., STOLL B., SANDER P.M. 2011. Timescales and mechanisms of REE and Hf uptake in fossil bones. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **75**: 82–105.
- HERWARTZ D., TÜTKEN T., JOCHUM K.P., SANDER P.M. 2013a. Rare earth element systematics of fossil bone revealed by LA-ICPMS analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **103**: 161-183.
- HOLZ M. & SCHULTZ C.L. 1998. Taphonomy of the south Brazilian Triassic herpetofauna: fossilization mode and implications for morphological studies. *LETHAIA*, **31**: 335- 345.

- HOLZ M. & SIMÕES M.G. 2002. *Elementos Fundamentais de Tafonomia*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 231p.
- HUENE F. 1931. Verschiedene mesozoische Wirbeltierreste aus Südamerika. *Neus Jahrbuch fur Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, **66(B)**: 181-198.
- HUENE F.V. 1939. Carta de F.von Huene ao Dr.Euzébio de Oliveira. *Min. Metal.* **4(22)**: 190.
- HUBERT J.F., PANISH P.T., CHURE D.J., PROSTAK K.S. 1996. Chemistry, microstructure, petrology, and diagenetic model of Jurassic dinosaur bones, Dinosaur National Monument, Utah. *J. Sed. Res.*, **66**: 531-547.
- IHERING H. 1913. Pleiodon priscus. In: Comissão Geográfica e Geológica. Exploração do Rio Grande e seus afluentes: São José dos Dourados, São Paulo, 39p.
- IORI F.V. & CARVALHO I.S. 2009. *Morrinhosuchus luziae*, um novo Crocodylomorpha Notosuchia da Bacia Bauru, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **39**: 717-725.
- IORI F.V. & CARVALHO I.S. 2011. *Caipirasuchus paulistanus*, a new sphagesaurid (Crocodylomorpha, Mesoeucrocodylia) from the Adamantina Formation (Upper Cretaceous, Turonian-Santonian), Bauru Basin, Brasil. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **31(6)**:1255-1264.
- IORI F.V. & GARCIA K.L. 2012. *Barreirosuchus franciscoi*, um novo Crocodylomorpha Trematochampsidae da Bacia Bauru, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **42**:397-410.
- JOHANNESON, K.H., HENDRY, M.J., 2000. Rare earth element geochemistry of groundwaters from a thick clay and till-rich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta* **64**, 1493–1509.
- KELLNER A.W.A. & AZEVEDO S.A.K. 1999. A new sauropod dinosaur (Titanosauria) from the Late Cretaceous of Brazil. In: TOMIDA Y., RICH T.H. & VICKERS-RICH P. (Eds). *Proceedings of the Second Gondwana Dinosaur Symposium*. National Science Museum Monographs, Tokyo, p.111– 142.
- KELLNER A.W.A., CAMPOS D.A. & TROTT M.N. 2005. Description of a titanosaurid caudal series from the Bauru Group, late Cretaceous of Brazil. *Arquivos do Museu Nacional*, **63**: 529–564.
- KELLNER A.W.A., CAMPOS D.A., AZEVEDO S.A.K., TROTTA M.N.F., HENRIQUES D.D.R., CRAIK M.M.T. & SILVA H.P. 2006. On a new titanosaur sauropod from the Bauru Group, Late Cretaceous of Brazil. *Boletim do Museu Nacional, Nova Série, Geologia*, **74**: 1–31.
- KOHN M.J., LAW J.M. 2006. The stable isotope composition of fossil bone as a new palaeoclimate indicator. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **70**: 931-946.
- KOCSIS L., TRUEMAN C.N., PALMER M.R. 2010. Protracted diagenetic alteration of REE contents in fossil bioapatites: direct evidence from Lu-Hf isotope systematics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **74**: 6077-6092.
- LÉCUYER C., REYNARD B., GRANDJEAN P. 2004. Rare earth element evolution of Phanerozoic seawater recorded in biogenic apatites. *Chem. Geol.*, **204**: 63-102.
- LIMA M.R., MEZZALIRA S., DINO R., SAAD A.R. 1986. Descoberta de microflora em sedimentos do Grupo Bauru, Cretáceo do Estado de São Paulo. *Rev. do Inst. Geológico*, **7(1/2)**: 5-9.
- LOPES R.P. & BUCHMANN F.S.C. 2008. Fossil of titanosaurs (Dinosauria, Sauropoda) from a new outcrop in Triângulo Mineiro, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **11**: 51–58.
- MARINHO T.S. 2006. *Osteodermos de crocodilomorfos e dinossauros da Bacia Bauru (Cretáceo Superior)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UFRJ, 52p.
- MARINHO T.S. & CARVALHO I.S. 2009. An armadillo-like sphagesaurid crocodyliform from the Late Cretaceous of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**: 36-41.

- MARINHO T.S., IORI F.V., CARVALHO I.S. & VASCONCELLOS F.M. 2013. Gondwanasuchus scabrosus gen. et sp. nov., a new terrestrial predatory crocodyliform (Mesoeucrocodylia: Bauruchidae) from the Late Cretaceous Bauru Basin of Brazil. *Cretaceous Research*, p.1-8.
- MARSH O.C. 1878. Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part 1. *American Journal of Science*, **16**: 411–416.
- MARSOLA J.C.A, BATEZELLI A., FELIPE C., MONTEFELTRO F.C., GERALD GRELLET-TINNER G., MAX C., LANGER M.C. 2016. Palaeoenvironmental characterization of a crocodylian nesting site from the Late Cretaceous of Brazil and the evolution of crocodyliform nesting strategies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **457**: 221-232.
- MARTIN E.E., HALEY B.A. 2000 Fossil fish teeth as proxies for seawater Sr and Nd isotopes. *Geochim Cosmochim Acta*, **64**: 835-847.
- MARTINE A.M. 2013. *Reconstituições paleoartísticas da Bacia Bauru, Paraná e Araripe*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, 120p.
- MENDES J. C. 1988 *Paleontologia Básica*. São Paulo: T.A. Queiroz, Ed. Universidade de São Paulo, 347 p.
- MERINO L. 2000. *Mineralogía y geoquímica del esqueleto de mamíferos del Neógeno español*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 245p.
- MEZZALIRA S. 1974. *Contribuição ao conhecimento da Estratigrafia e paleontologia do arenito Baurú*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 163p.
- MILANI E.J., MELO J.H.G., SOUZA P.A., FERNANDES L.A., FRANÇA A.B. 2007. Bacia do Paraná Bol. Geociências Petrobrás, **15(2)**: 265-287.
- MILLARD A.R., HEDGES R.E.M. 1999. A diffusion-adsorption model of uranium uptake by archaeological bone. *Geochim Cosmochim Acta*, **60**: 2139-2152.
- MONTEFELTRO F.C., LARSSON H.C.E & LANGER M.C. 2011. A new Baurusuchid (Crocodyliformes, Mesoeucrocodylia) from the Late Cretaceous of Brazil and the Phylogeny of Baurusuchidae. *PLoS ONE*, **6(7)** e21916. doi:10.1371/journal.pone.0021916.
- MUNIZ F.P., PEREIRA P.V., COSTA L.G. Nov. 2014. Histologia de dentes (dinosauria e crocodylomorpha) e ossos fragmentados do neocretáceo do pontal do triângulo mineiro e oeste de São Paulo. *Cadernos de Geociências*, **11**: 1-2.
- NASCIMENTO P.M. & ZAHER H. 2010. A new species of Baurusuchus (Crocodyliformes, Mesoeucrocodylia) from the Upper Cretaceous of Brazil, with the first complete postcranial skeleton described for the family Baurusuchidae. *Papéis Avulsos de Zoologia*, **50(21)**: 323-361.
- NIELSEN-MARSH C.N., HEDGES, R.E.M. 2000. Patterns of diagenesis in bone I: The effects of site environments. *J. Archaeol. Sci.*, **27**: 1139-1150.
- NOBRE P.H. e CARVALHO I.S. 2006. *Adamantinasuchus navae*: a new Gondwanan Crocodylomorpha (Mesoeucrocodylia) from the Late Cretaceous of Brazil. *Gondwana Research* **10(4)**: 370-378.
- NOBRE P.H., CARVALHO I.S. e VASCONCELLOS F.M. 2007. Mariliasuchus robustus, um novo Crocodylomorpha (Mesoeucrocodylia) da Bacia Bauru, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, **30**: 32-42.
- PADIAN K., LAMM E.T. (Eds.) 2013. *Bone Histology of Fossil Tetrapods: Advancing Methods, Analysis, and Interpretation*. Berkeley: University of California Press. p.55–160.
- PATRICK D., MARTIN J.E., PARRIS D.C., GRANDSTAFF D.E. 2004. Paleoenvironmental interpretations of rare earth element signatures in mosasaurs (reptilia) from the upper Cretaceous Pierre Shale, central South Dakota, USA. *Palaeo*, **212**: 277-294.

- PAULA E SILVA, F. 2003. *Geologia de superfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, São Paulo State University, 166p.
- POWELL J.E. 1987. The Late Cretaceous fauna of Los Alamitos, Patagonia, Argentina. Part VI. The titanosaurids. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales 'Bernardino Rivadavia'*, **3**: 147-153.
- PIRES-DOMINGUES R. A., NASCIMENTO P. M., SIMÕES M. G., RICOMINI C., ZAHER H. 2007. Implicações dos Dados Geológicos, Fossilíferos e Tafonômicos nas Reconstruções da Fauna de Vertebrados da Bacia Bauru: Uma Abordagem Integrada. *Paleontologia: Cenário da Vida*, v.2, Rio de Janeiro. Interciências , p. 273-284.
- PRICE L.I. 1945. A new Reptile from the Cretaceous of Brazil. *Notas Preliminares e Estudos – Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, **25**:1-9.
- PRICE L.I. 1950. On a new Crocodilia, *Sphagesaurus* from the Cretaceous of the State of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **22**: 77-83.
- PRICE L.I. 1959. Sobre um crocodilídeo notosuquio do Cretácico Brasileiro. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de geologia e Mineralogia*. **188**: 5-55.
- RAY S., CHINSAMY A. 2004. Diictodon feliceps (Therapsida, Dicynodontia): bone histology, growth, and biomechanics. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **24**(1): 180-194.
- RICCOMINI, C. 1995. *Tectonismo Gerador e Deformador dos Depósitos Sedimentares Pós-Gondwânicos da Porção Centro-Oriental do Estado de São Paulo e Áreas Vizinhas*. São Paulo (SP). Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP, 100p.
- RICCOMINI C. 1997. Arcabouço Estrutural e Aspectos do Tectonismo Gerador e Deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira Geociências* (São Paulo), **27**(2): 153-162.
- SALGADO L., CORIA R.A. & CALVO J.O. 1997a. Presencia del género *Aeolosaurus* (Sauropoda, Titanosauridae) en La Formación Los Alamitos, Cretácico Superior de La Provincia de Rio Negro, Argentina. *Revista Universidade de Guarulhos*, **2**: 44-49.
- SALGADO L. & CARVALHO, I.S. 2008. *Uberabatitan ribeiroi*, a new titanosaur from the Marília Formation (Bauru Group, Upper Cretaceous), Minas Gerais, Brasil. *Palaeontology*, **51**: 881-901.
- SANTUCCI, R.M. e BERTINI, R.J. 2001. Distribuição Paleogeográfica e Biocronológica dos Titanossauros (Saurischia, Sauropoda) do Grupo Bauru, Cretáceo Superior do Sudeste Brasileiro. *Braz. J. Geol.*, **31**, 307–315.
- SANTUCCI R.M. & BERTINI R.J. 2006a. A new titanosaur from western São Paulo State, Upper Cretaceous Bauru Group, Southeast Brazil. *Palaeontology*, **49**: 59-66.
- SANTUCCI R.M. 2008. First titanosaur (Saurischia, Sauropoda) axial remains from the Uberaba Formation, Upper Cretaceous, Bauru Group, Brazil. *Historical Biology*, **20**: 165-173.
- SANTUCCI R.M. & ARRUDA-CAMPOS A.C. 2011. “A new sauropod (Macronaria, Titanosauria) from the Adamantina Formation, Bauru Group, Upper Cretaceous of Brazil and the phylogenetic relationships of Aeolosaurini”. *Zootaxa* **3085**: 1-33.
- SEELEY H.G. 1888 The classification of the Dinosauria. *British Association for the Advancement of Science, Report*, 1887, p.698-699.
- SIMIONATO T.S.A. 2011. *Fósseis do Afloramento Santa Irene, Cretáceo Superior Da Bacia Bauru: Inferências Paleoecológicas*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UNICAMP, 77p.
- SOARES P.C., LANDIM P.M.B., FULFARO V.J., NETO A.F.S. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Rev. Brasil. Geociências*, **10**: 177-185.

- SONG H.J., WIGNALL P.B., TONG J.N., BOND D.P.G., SONG H.Y., LAI X.L., ZHANG K.X., WANG H.M., CHEN Y.L. 2012. Geochemical evidence from bio-apatite for multiple oceanic anoxic events during Permian–Triassic transition and the link with end-Permian extinction and recovery. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **353-354**: 12–21.
- SONKE, J.E., SALTERS, V.J.M., 2006. Lanthanide-hummic substances complexation. I. Experimental evidence for a lanthanide contraction effect. *Geochim. Cosmochim. Acta* 70, 1495–1506.
- ROXO M.G.O. 1936. "On a new species of fossil Crocodilia from Brazil, *Goniopholis paulistanus* sp. In: *Anais Academia Brasileira de Ciências*, **8**: 33-34.
- TAVARES S. A. S., BRANCO F. R., SANTUCCI R. M. 2014. Theropod teeth from the Adamantina Formation (Bauru Group, Upper Cretaceous), Monte Alto, São Paulo, Brazil. *Cretaceous Research*, **50**: 59-71.
- TAVARES S.A.S., BRANCO F.R., CARVALHO I.S. 2015. Osteoderms of *Montealtosuchus arrudacamposi* (Crocodyliformes, Peirosauridae) from the Turonian-Santonian (Upper Cretaceous) of Bauru Basin, Brazil. *Cretaceous Research*, **56**: 651-661.
- THE OHIO STATE UNIVERSITY. Disponível em: <http://www.biosci.ohio-state.edu/~molluscs/gallery/additions.htm>. Acessado em 20/04/2016.
- TRUEMAN C.N., MARTILL D.M. 2002. The long term preservation of bone: The role of bioerosion. *Archaeometry*, **44**: 371-382.
- TRUEMAN C.N. 1999. Rare earth element geochemistry and taphonomy of terrestrial vertebrate assemblages. *Palaeos*, **14**: 555-568.
- TRUEMAN C.N., TUROSS N. 2002. Trace Elements in Recent and Fossil Bone Apatite DOI: 10.2138/rmg.2002.48.13. p.489-521.
- TRUEMAN C. N., BEHRENSMEYER A. K., POTTS R., TUROSS N. High-resolution records of location and stratigraphic provenance from the rare earth element composition of fossil bones. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70 (2006) 4343–4355.
- TURNER S., REGELONS M., KELLEY S., HAWKESWORTH C. & MANTOVANI, M.S.M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision geochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **121**: 333-348.
- VASCONCELLOS F.M & CARVALHO I.S. 2006. Condicionante Etológico na Tafonomia de *Uberabasuchus terrificus* (Crocodyliformes, Peirosauridae) da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). *Boletim de Geociências*, São Paulo, UNESP, **25(2)**: 225-230.
- VEIGA F.H. 2013. *Histologia óssea dos Hyperodapedontinae (Archosauromorpha, Rhynchosauria) do Triássico Superior do Rio Grande do Sul, Brasil*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- VON IHELING R. 1911. Fósseis de S. José do Rio Preto. *Mus. Paulista*, **8**: 141-146.
- WEINER S., PRICE P.A. 1986. Disaggregation of bone into crystals. *Calcif. Tiss. Intl.*, **39**: 365-375.
- WILSON J.A. & SERENO P.C. 1998. Early evolution and higherlevel phylogeny of sauropod dinosaurs. *Society of Vertebrate Paleontology*, Memoir **5**: 1–68.
- ZAHER H., POL D., CARVALHO A.B., RICCOMINE C., CAMPOS D., NAVA W. 2006. Redescription Cranial Morphology of *Mariliasuchus amarali* and its Phylogenetic Affinities (Crocodyliformes, Notosuchia). *American Museum Novitates*, **3512**: 1-40.
- ZAHER H., POL D., CARVALHO A.B., NASCIMENTO P., RICCOMINI C., LARSON P., JUAREZ-VALIERI R., PIRES-DOMINGUES R., SILVA N. & CAMPOS D.A. 2011. A complete skull of an Early

Cretaceous sauropod and the evolution of advanced titanosaurs. *PLoS ONE*, 6, e16663. doi:10.1371/journal.pone.0016663.

ZHANG L., ALGEO T.J., CAO L., ZHAO L., CHEN Z.Q., LI Z. 2016. Diagenetic uptake of rare earth elements by conodont apatite. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **458**: 176-197.

ZHAO L.S., CHEN Z.Q., ALGEO T.J., CHEN J.B., CHEN Y.L., TONG J.N., GAO S., ZHOU L., HU Z.C., LIU Y.S. 2013. Rare earth element patterns in conodont albid crowns: evidence for massive inputs of volcanic ash during the latest Permian biocrisis? *Glob. Planet. Chang.*, **105**: 135-151.

SÚMULA CURRICULAR

Isadora Marchetti

<i>Ano</i>	<i>Título ou atividade</i>	<i>Instituição</i>
2013	Graduação	Universidade Estadual de Campinas
2016	Mestrado	Universidade Estadual de Campinas

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

- 2003/2005 - Câmara Municipal da Estância de Socorro
- 2013 – Estágio na Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas S/A (EMDEC)
- 2013 – Professora de Geografia e Física na Rede Estadual de Campinas
- 2016 – Professora de Geografia na Empresa Colégio Horizonte

EXPERIÊNCIA ACADÊMICA

- 2009 – Monitoria na disciplina Ciências do Sistema Terra I e II (Programa de Apoio Docente UNICAMP)
- 2011 – Iniciação Científica – PIBIC – Análise Paleontológicas das Esteiras Microbianas e Coquinas, Rio de Janeiro, Brasil. (UNICAMP)
- 2012 - Iniciação Científica – PIBIC – Análise Petrográfica das Esteiras Microbianas e Coquinas, Rio de Janeiro, Brasil. (UNICAMP)
- 2015 – Monitoria na disciplina Ciências do Sistema Terra I (Programa de Estágio Docente UNICAMP)
- 2015 – Monitoria na disciplina Planeta Terra (Programa de Estágio Docente UNICAMP)