

Fernando Henrique de Souza Barbosa

**ESTUDO PALEOPATOLÓGICO EM XENARTHRA FOLIVORA
(MAMMALIA) DO QUATERNÁRIO DA REGIÃO INTERTROPICAL
BRASILEIRA**

Tese de Doutorado (Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2017



UFRJ

Fernando Henrique de Souza Barbosa

**ESTUDO PALEOPATOLÓGICO EM XENARTHRA FOLIVORA (MAMMALIA) DO
QUATERNÁRIO DA REGIÃO INTERTROPICAL BRASILEIRA**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Doutor em Ciências (Geologia).

Área de concentração:

Paleontologia e Estratigrafia

Orientador(es):

Profa. Dra. Lílían Paglarelli Bergqvist - UFRJ

Prof. Dr. Kleberson de Oliveira Porpino - UERN

Rio de Janeiro
2017

Fernando Henrique de Souza Barbosa

**Estudo paleopatológico em *Xenarthra Folivora*
(Mammalia) do Quaternário da Região Intertropical
Brasileira** / Fernando Henrique de Souza Barbosa - Rio de
Janeiro: UFRJ / IGeo, 2017.

2017, 96 f.: 1v. il.; 30cm

Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em
Geologia, 2017.

Orientador(es): Profa. Dra. Lílían Paglarelli Bergqvist, Prof.
Dr. Kleberson de Oliveira Porpino

1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Tese de
Doutorado. I. Lílían Paglarelli Bergqvist. II. Universidade Federal
do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-
graduação em Geologia. III. Estudo anatomopatológico em
Xenarthra Folivora (Mammalia) do Quaternário da Região
Intertropical Brasileira.

.

Fernando Henrique de Souza Barbosa

ESTUDO PALEOPATOLÓGICO EM XENARTHRA FOLIVORA (MAMMALIA) DO
QUATERNÁRIO DA REGIÃO INTERTROPICAL BRASILEIRA

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Doutor em Ciências (Geologia).

Área de concentração:

Paleontologia e Estratigrafia

Orientador(es):

Profa. Dra. Lílian Paglarelli Bergqvist - UFRJ

Prof. Dr. Kleberson de Oliveira Porpino - UERN

Aprovada em: / /

Por:

Presidente: Profa. Dra. Maria Dolores Wanderley, IGEO-UFRJ

Profa. Dra. Kátia Leite Mansur, IGEO-UFRJ

Dr. Domenico Capone, HUCFF-UFRJ

Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior, UERJ

Profa. Dra. Márcia Gomide da Silva Mello, UFRJ

Agradecimentos

À Profa. Dra. Lílian Paglarelli Bergqvist, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), pela orientação e apoio dado durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Kleberson de Oliveira Porpino, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), pela co-orientação e contribuições dadas durante a realização deste trabalho, e pela amizade e inspiração que guia a forma como penso a ciência.

Ao Prof. Dr. Bruce M. Rothschild, do Carnegie Museum of Natural History, pelo auxílio nas interpretações dos dados analisados nesta tese.

Ao Prof. Dr. Cástor Cartelle, curador do Museu de História Natural da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), por ceder parte do material para esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Edison Vicente Oliveira, do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por ceder parte do material para esta pesquisa.

À Dra. Niède Guidon, da Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM), por ceder parte do material para esta pesquisa.

Ao biólogo Luciano Vilaboim Santos, do Museu de História Natural da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), pelo constante auxílio na identificação dos materiais utilizados neste trabalho.

Aos Profs. Dr. Antônio Carlos Sequeira Fernandes e Dra. Deise Dias Henriques Rêgo, ambos do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional/UFRJ, pelas sugestões pertinentes ao bom desenvolvimento deste trabalho durante o Seminário de Doutorado.

Ao Prof. Dr. e amigo Hermínio Ismael de Araújo Júnior, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pelos incomensuráveis auxílios prestados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, colegas de pós-graduação e estagiários de graduação do Laboratório de Macrofósseis da UFRJ, pelo companheirismo e amizade.

A bióloga e amiga Bárbara das Mercês Rosário, pelo auxílio prestado durante a coleta de dados no Museu de História Natural da PUC-MG.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo custeio e apoio à pesquisa, através da bolsa de doutorado concedida.

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela oportunidade de estudo no doutorado e à UFRJ pela ambiência e estímulo intelectual.

“O conhecimento nos faz responsáveis”.

Ernesto Che Guevara

Todo o poder emana do povo!

Constituição Federal de 1988



Resumo

BARBOSA, Fernando Henrique de Souza. **Estudo paleopatológico em *Xenarthra Folivora* (Mammalia) do Quaternário da Região Intertropical Brasileira**. Rio de Janeiro, 2017, 96 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A Paleopatologia é a ciência que estuda as doenças em organismos do passado. Geralmente, o estudo de doenças em organismos antigos é restrito a ossos e dentes devido as condições preservacionais, as quais favorecem a preservação de tecidos duros. Na paleontologia brasileira, estudos paleopatológicos ainda são escassos, apesar da enorme quantidade coletada de fósseis, especialmente no Quaternário. Neste trabalho, foi realizado uma análise paleopatológica em nove espécies de preguiças extintas (*Xenarthra*, *Folivora*) ocorrentes no Quaternário da Região Intertropical Brasileira (RIB), incluindo: *Nothrotherium maquinense*, *Ahytherium aureum*, *Australonyx aquae*, *Valgipes bucklandi*, *Catonyx cuvieri*, *Myloodonopsis ibseni*, *Glossotherium* sp., *Ocnotherium giganteum* e *Eremotherium laurillardi*. Os espécimes estudados foram coletados em diferentes depósitos fossilíferos – cavernas, abrigos e tanques naturais – localizados nos estados do Piauí, Pernambuco, Bahia e Minas Gerais totalizando 4432 ossos. Foram diagnosticados seis tipos distintos de lesões articulares (espondiloarthropatia, doença de deposição de pirofosfato de cálcio, osteoartrite, espondilose deformante, nódulo de Schmorl e osteocondrite dissecante), trauma, infecção inespecífica, infecção granulomatosa (tuberculose e/ou brucelose) e lesão tumoral óssea benigna. *Ocnotherium giganteum* foi a espécie que apresentou o maior número de lesões identificadas e *Australonyx aquae* foi a única espécie que não apresentou lesões ósseas. Espondiloartropatia e doença de deposição de pirofosfato de cálcio foram as doenças mais comumente diagnósticas, sendo encontradas em cinco das oito espécies com alterações ósseas.

Palavras-chave: Paleopatologia, *Xenarthra*, Quaternário, Região Intertropical Brasileira

Abstract

BARBOSA, Fernando Henrique de Souza. **Estudo paleopatológico em *Xenarthra Folivora* (Mammalia) do Pleistoceno Final da Região Intertropical Brasileira.** [*Paleopathological study in *Xenarthra Folivora* (Mammalia) from Quaternary of the Brazilian Intertropical Region.*] Rio de Janeiro, 2017, 96 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Paleopathology is the science that deals with the study of diseases in ancient organisms. Usually, the study of diseases in ancient organisms is restrict to bones and tooth due preservation conditions, which favor hard tissues. In the Brazilian fossil record, paleopathological studies have been rare, despite of large quantity of collected fossils, mainly in the Quaternary. In this work, we carried out a paleopathological analysis in nine extinct ground sloths species (*Xenarthra*, *Folivora*) from Quaternary of the Brazilian Intertropical Region (RIB), including: *Nothrotherium maquinense*, *Ahytherium aureum*, *Australonyx aquae*, *Valgipes bucklandi*, *Catonyx cuvieri*, *Myloodonopsis ibseni*, *Glossotherium* sp. *Ocnotherium giganteum* and *Eremotherium laurillardi*. The specimens studied were collected in different fossiliferous deposits – caves, shelter and natural tanks – located in the Piauí, Pernambuco, Bahia and Minas Gerais states, corresponding to 4432 bones. We diagnosed six distinct types of joint lesions (spondyloarthropathy, calcium pyrophosphate deposition disease, osteoarthritis, spondylosis deformans, Schmorl's node and osteochondritis dessecans), trauma, unspecific infection, granulomatous infection (tuberculosis and/or brucellosis) and a benign bone tumor. *Ocnotherium giganteum* was the species with the highest number of diagnosed diseases, while *Australonyx aquae* was the only species without lesions. Spondyloarthropathy and CPPD were the diseases most often observed.

Key-Words: Paleopathology, *Xenarthra*, Quaternary, Brazilian Intertropical Region

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema de alterações ósseas com e sem relação com processos patológicos. (A) Exemplos de tipos distintas de fraturas sem evidências de regeneração óssea; e (B) Esquema básico de cicatrização de uma verdadeira alteração patológica.

Figura 2 – Cladograma representativo das relações filogenéticas entre as três sub-ordens de Xenarthra (Adaptado de Gaudin, 2003).

Figura 3 – Décima sétima vértebra torácica, primeira e segunda vértebras lombares de *Thalassocnus nathans* em vista lateral. Escala = 10 cm. (Modificado de Amson et al., 2015).

Figura 4 – Cladograma resumido das relações filogenéticas entre as quatro famílias de Folivora (Adaptado de Gaudin, 2003).

Figura 5 – Mapa de localização da Região Intertropical Brasileira (RIB) evidenciando os biomas brasileiros englobados pela região. Siglas: AL = Alagoas; BA = Bahia; CE = Ceará; ES= Espírito Santo; GO = Goiás; Minas Gerais; PB = Paraíba; PE = Pernambuco; PI = Piauí; RJ = Rio de Janeiro; e SE = Sergipe.

Figura 6 – Áxis de *Catonyx cuvieri* (MCL 22 381/03) em vista posterior. Destaque para a erosão óssea. Cabeça de seta indica erosão subcondral. Escala = 5,0 cm.

Figura 7 – Vértebra torácica (MCL 4304/15) de *Glossotherium* sp. A: Vista posterior; e B: Vista lateral. Cabeças de seta indicam o crescimento ósseo anômalo na porção ventral do centro vertebral. Escala = 5,0 cm.

Figura 8 – Vértebra caudal de *Ocnotherium giganteum* (MCL 21334) com destaque para o crescimento ósseo anômalo. (A) Vista dorsal; e (B) Vista ventral. Escala = 5 cm.

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Lista de preguiças pleistocênicas da Região Intertropical Brasileira (*sensu* Cartelle, 1999).

Lista de Quadros

Quadro 1 – Material analisado de cada táxon por localidade. Siglas: FN = Tanque de Fazenda Nova; GB = Gruta dos Brejões; GT = Gruta do Túnel; GVST = Gruta Volta da Serra Três; Ira = Iraquara; PA = Poço Azul; TB = Toca da Barriguda; TBV = Toca da Boa Vista; TFE = Tanque da Fazenda Elefante; TG = Toca do Garrincho; TJBA = Toca da Janela da Barra do Antônio; TO = Toca dos Ossos; e TP = Toca do Pilão.

Quadro 2 – Distribuição das doenças ósseas por espécie de preguiça fóssil da Região Intertropical Brasileira.

Lista de Siglas

DDPC – Doença de Deposição de Pirofosfato de Cálcio

DGEO-UFPE – Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco

ED – Espondilose deformante

EpA – Espondiloartropatia

GB – Gruta dos Brejões

GO – Gruta das Onças

GT – Gruta do Túnel

GVST – Gruta Volta da Serra Três

Ira – Iraquara

MCL – Museu de Ciências Naturais

FUMDHAM – Fundação Museu do Homem Americano

NMI – Número Mínimo de Indivíduos

NS – Nódulo de Schmorl

OA – Osteoartrite

OD – Osteocondrite dissecante

PA – Poço Azul

PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

RIB – Região Intertropical Brasileira

TB – Toca da Barriguda

TBV – Toca da Boa Vista

TC – Tomografia Computadorizada

TG – Toca do Garrincho

TJBA – Toca da Janela da Barra do Antonião

TO – Toca das Onças

TP – Toca do Pilão

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	viii
Abstract	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xi
Lista de Quadros	xii
Lista de Siglas	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais sobre a Paleopatologia	1
1.1.1 As falsas alterações patológicas (Pseudopaleopatologia).....	2
1.1.2 A análise patológica propriamente dita	4
1.1.3 Importância e aplicabilidade da Paleopatologia.....	6
1.2 O clado <i>Xenarthra</i> Cope, 1889	7
1.2.1 O sub-clado <i>Folivora</i> Delsuc, Catzeflis, Stanhope & Douzery, 2001	10
1.2.2 Preguiças fósseis da Região Intertropical Brasileira	11
1.3 Objetivos	13
1.4 Finalidade	13
1.5 Material e métodos	14
1.5.1 Material	14
1.5.1.1 Área de Estudo	15
1.5.2 Métodos.....	17
1.5.2.1 Análise macroscópica	17
1.5.3 Terminologias	18
1.6 Estrutura e organização da Tese	19
2 ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS EM PALEOPATOLOGIA EM PREGUIÇAS FÓSSEIS DO BRASIL	20
3 RESULTADOS	21
3.1 Elucidating the bones diseases in the Brazilian Pleistocene sloths (<i>Xenarthra</i>, <i>Pilosa</i>, <i>Folivora</i>): first cases reported for the <i>Nothrotheriidae</i> and <i>Megalonychidae</i> – Ameghiniana (doi: 10.5710/AMGH.30.11.2016.3032)	21
3.2 Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (<i>Xenarthra</i>, <i>Folivora</i>) from the Brazilian Intertropical Region – Historical Biology (doi: 10.10080/08912963.2017.1376191)	23

3.3 Tuberculosis versus brucellosis: Granulomatous infection in Pleistocene sloths (Xenarthra, Folivora) from Brazil (Manuscript ID: NAWI-D-17-00302)	25
3.4 Lesões isoladas em <i>Catonyx cuvieri</i>, <i>Glossotherium</i> sp. e <i>Ocnotherium giganteum</i>	26
3.4.1 <i>Catonyx cuvieri</i>	26
3.4.2 <i>Glossotherium</i> sp.....	27
3.4.3 <i>Ocnotherium giganteum</i>	28
4 DISCUSSÃO.....	30
4.1 Diagnósticos individuais	30
4.2 Integração das análises	31
REFERÊNCIAS	34
ANEXO A	44
ANEXO B.....	57
ANEXO C	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais sobre a Paleopatologia

O estudo das evidências de doenças em organismos do passado é denominado de paleopatologia (**paleo** = antigo; **pathos** = doença, sofrimento; **logos** = estudo, tratado; Ruffer, 1914). Seu estudo pode ser realizado através de duas formas de abordagem bastante distintas: uma conduzida pelo cientista médico e outra pelo paleontólogo/antropólogo. Suas formas de investigação e termos técnicos utilizados podem ser diferentes a ponto de se tornarem mutuamente incompreensíveis em alguns casos (Rothschild & Martin, 2006). A forma de investigação geral das doenças do passado pode ser realizada através do estudo de textos médicos, por ilustrações, artefatos e coprólitos (Waldron, 2009). No entanto, a inspeção dos restos físicos (*e.g.* órgãos, tecidos moles, ossos e dentes) é a principal forma pela qual os paleopatologistas realizam suas investigações (Waldron, 2009). Em se tratando especificamente dos paleontólogos, o conjunto de dados para interpretações das lesões é ainda mais restrito, uma vez que, geralmente, apenas ossos e dentes são preservados e disponíveis para a interpretação de diagnósticos.

A interpretação de dados na paleopatologia depende fundamentalmente de diagnósticos realizados a partir de sinais de doenças aparentes em restos ósseos e dentários, já que normalmente tecidos moles, órgãos, células e fluidos corporais não são preservados (Ortner, 2003a). Dessa forma, muitas das técnicas comumente utilizadas em humanos e animais atuais para a realização de diagnósticos (*e.g.* história médica do paciente, testes bioquímicos, testes citopatológicos) não são aplicáveis em estudos paleopatológicos, especialmente em fósseis, o que torna o estudo, até certo ponto, limitado, uma vez que ossos e dentes apresentam uma quantidade diminuta de enfermidades que podem acometê-los (Ortner, 2003a).

Em relação aos ossos, não apenas o número de doenças passíveis de afetá-los é pequeno, como também a maneira como eles respondem aos agentes agressores, manifestando-se através de mudanças na formação, destruição, continuidade, densidade, tamanho e integridade (Ortner, 2003b; Rothschild & Martin, 2006). Tais modificações na morfologia normal dos ossos são decorrentes de distúrbios nas populações das células ósseas, osteoblastos, osteoclastos e osteócitos, ou de mudanças na taxa metabólica dessas células (Schinz *et al.*, 1951-1952). Além

da resposta restrita dos ossos aos processos patológicos, as modificações observáveis, podem ser em muitos casos, similares entre diferentes doenças, o que torna ainda mais difícil atribuir uma causa específica a uma anormalidade óssea observada (Ortner, 2003b).

Outro problema relacionado ao estudo das enfermidades ósseas é o fato das doenças que causam a morte dos indivíduos se manifestarem, geralmente, de forma aguda (processos patológicos de origem súbita, com desenvolvimento rápido e duração curta), não havendo tempo suficiente para que os ossos sejam afetados. Assim, as doenças crônicas (processo patológico caracterizado por evolução lenta e duração prolongada, ou por recorrência frequente por tempo indeterminado) têm maior probabilidade de deixar algum tipo de evidência. Por essa razão, em geral, é impossível determinar a *causa mortis* a partir de análises puramente osteopatológicas (Waldron, 2009).

Diante de tais dificuldades, a determinação de um diagnóstico preciso torna-se uma tarefa difícil em análises paleopatológicas, pois não é possível obter detalhes sobre os principais sinais e sintomas dos indivíduos. Além disso, a presença de determinadas assinaturas tafonômicas (*i.e.*, alterações ósseas *post-mortem*) associadas, podem induzir a erros de interpretação, especialmente tratando-se de lesões erosivas (Waldron, 2009). Mesmo enfrentado um quadro bastante dificultoso, diversos diagnósticos baseados apenas em alterações ósseas têm sido realizados com grande precisão (*e.g.* Rothschild & Martin, 2006) e confirmados através de modernas análises de obtenção de DNA e moléculas biomarcadoras preservadas em restos ósseos (Rothschild *et al.*, 2001; Klaus, *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2012).

1.1.1 As falsas alterações patológicas (Pseudopaleopatologia)

Tafonomia é a ciência que estuda os processos de preservação e como eles afetam as informações no registro fóssilífero (Behresmeyer & Kidwell, 1985). A preservação dos restos orgânicos através dos processos de fossilização é caracterizada pela atuação de um conjunto de alterações físicas (*e.g.* intemperismo físico, abrasão, quebras) e químicas (*e.g.* intemperismo químico, corrosão) sobre esses restos (Donovan, 2002). Quando feições tafonômicas mimetizam alterações patológicas recebem a denominação de pseudolesões, sendo seu estudo denominado pseudopaleopatologia. As falsas lesões podem resultar de duas condições básicas: o ambiente de sedimentação e os problemas durante e/ou após a escavação (Aufderheide & Rodríguez-Martín, 1998; Schultz, 2003). Várias condições podem afetar os ossos produzindo

pseudolesões, incluindo larvas de insetos, ação de roedores, raízes de plantas, ação fúngica, variações microambientais no pH do solo, água, pressão e temperatura (Ortner, 2003b). Portanto, o primeiro passo na identificação de verdadeiras enfermidades nos fósseis é a correta diferenciação entre alterações ósseas anormais *post-mortem* (danos ósseos preservacionais) e alterações ósseas anormais *ante-mortem* (condições ocorridas em vida).

Poucos são os estudos que buscam diferenciar feições *ante-mortem* e *postmortem*. Ortner (2003b) propôs dois critérios de separação dessas feições: a) verdadeiros processos destrutivos tendem a apresentar bordas suaves ou arredondadas, enquanto alterações *post-mortem* exibem bordas agudas, irregulares e denteadas; b) a maioria das lesões destrutivas *ante-mortem* evidenciarão indícios de atividade osteoblástica em algum lugar da lesão, sendo normalmente expressa como arredondamento das bordas destruídas ou proliferação de osso reativo nas bordas da lesão. Waldron (2009) também apresentou critérios de diferenciação sugerindo que lise óssea cortical, bordas erodidas, trabéculas expostas, cristas afiadas ou boleadas e assoalho escavado são os principais aspectos diagnósticos de verdadeiras lesões. Além disso, Waldron (2009) afirma que qualquer orifício em que o córtex esteja intacto não pode ser considerado como uma erosão patológica e afirma também, que danos *post-mortem* apresentarão, normalmente, coloração distinta do córtex danificado, sendo mais claro que o resto do osso. Em exames de raios-X, erosões patológicas frequentemente deixaram margens escleróticas, mostrando que alguma reação de remodelagem ocorrera durante a vida. Outro estudo que buscou diferenciar verdadeiras lesões de feições tafonômicas foi realizado por Mello (1999). Esse autor apresenta uma extensa lista de critérios avaliáveis, porém considera que resposta/reação óssea é o critério básico na identificação de verdadeiras feições paleopatológicas. A Figura 1 ilustra alguns dos critérios acima mencionados pelos referidos autores.

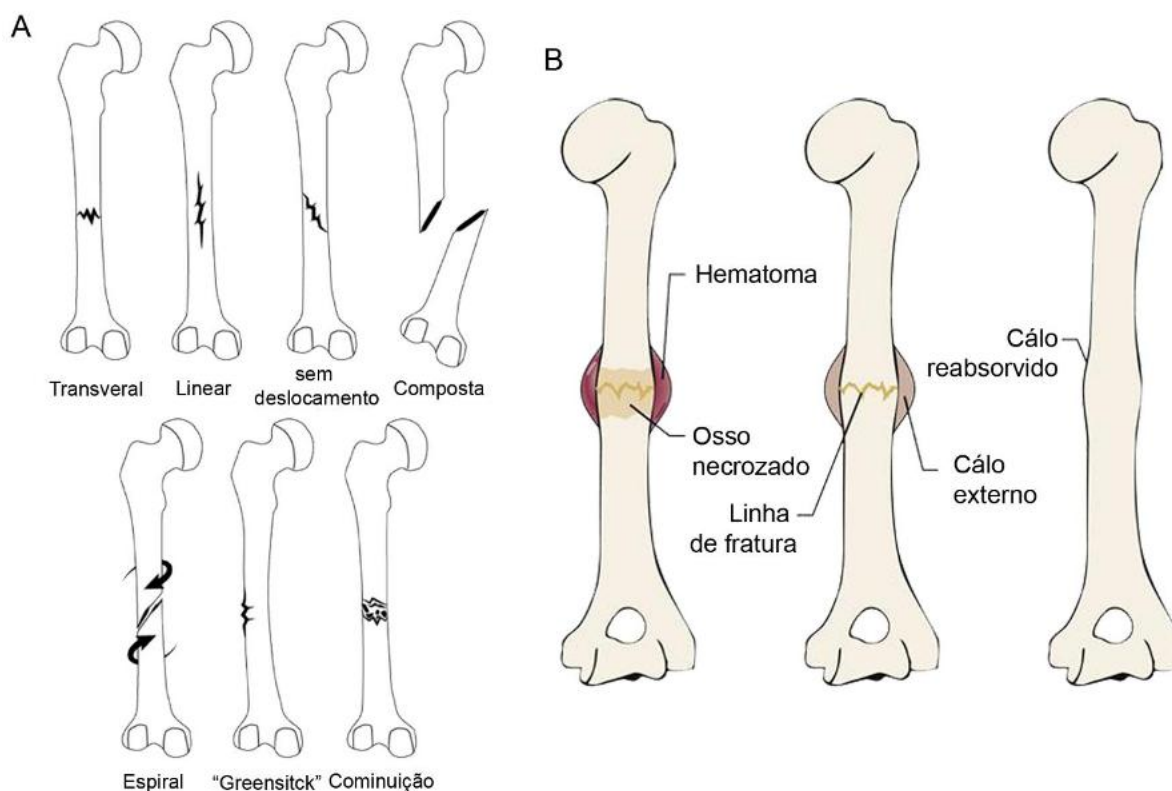


Figura 2 – Esquema de alterações ósseas com e sem relação com processos patológicos. (A) Exemplos de tipos distintos de fraturas sem evidências de regeneração óssea; e (B) Esquema básico de cicatrização de uma verdadeira alteração patológica.

1.1.2 A análise patológica propriamente dita

Após identificar uma verdadeira alteração óssea, é necessário então, reconstruir, na medida do possível, o processo patológico que resultou na provável causa da anormalidade. Fundamentalmente, há quatro abordagens relevantes para esse fim: análise macroscópica do esqueleto em si; inspeção radiológica; análises ósseas por microscopia; e os estudos químicos (Ortner, 2003b). Microscopia e análises químicas ainda são técnicas pouco utilizadas em investigações paleopatológicas, devido a sua natureza essencialmente destrutiva. Entretanto, alguns pesquisadores têm feito uso de tais técnicas com bastante sucesso (*e.g.* Salo *et al.*, 1994; Rothschild *et al.*, 2001; Donoghue *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2012; Barbosa *et al.*, 2016).

A inspeção macroscópica e as técnicas de radiologia (*e.g.* raios-X, Tomografia Computadorizada) são os principais métodos utilizados em estudos de doenças ósseas em

fósseis. O diagnóstico de doenças através de inspeção macroscópica ou morfológica é também designado Patologia Morfológica, sendo sua base a anatomia macroscópica normal de cada organismo (Faria, 2003). Nessa primeira abordagem utiliza-se a visão como meio de investigação, através da qual identifica-se a localização, o aspecto, a extensão e a forma de determinados processos patológicos, além da existência de formações anômalas (Faria, 2003).

Em muitos casos, a análise anatomopatológica não é suficiente para uma interpretação diagnóstica precisa, fazendo-se uso de técnicas radiológicas para uma melhor identificação. Assim, a radiologia ajuda na investigação de processos patológicos ósseos internos não detectáveis pelo olho humano (*e.g.* alterações de densidade, extensão interna de processos infecciosos). Dentre as técnicas de obtenção de imagem por radiologia em paleontologia destacam-se a análise de raio-X convencional e a tomografia computadorizada (TC). A análise de raios-X é extremamente vantajosa, devido ao seu fácil acesso (hospitais universitários e clínicas particulares) e baixo custo. Todavia, seu uso é limitado à obtenção de uma única imagem unidirecional a cada processo de aquisição, geralmente na posição anteroposterior e lateral. A tomografia computadorizada, por sua vez, é de acesso mais restrito devido ao seu alto custo. Entretanto, o processo de aquisição de imagem pelos equipamentos de TC é significativamente mais acurada em relação às imagens obtidas por raios-X, já que uma série de reformatações é possível após aquisição volumétrica utilizando equipamento helicoidal (Bushong, 2004). Dessa forma, é possível uma reconstrução digital do espécime analisado.

Nem sempre os paleopatologistas são capazes de ler e interpretar as imagens geradas por técnicas radiológicas. Por outro lado, profissionais da radiologia não são familiarizados com os processos pelos quais um organismo é submetido durante sua fossilização. Assim, torna-se essencial que haja cooperação entre profissionais dessas distintas áreas (interdisciplinaridade) para que as interpretações dos dados obtidos sejam realizadas de modo a minimizar possíveis erros de diagnóstico. É importante salientar que antes de tentar atribuir uma causa específica a um determinado conjunto de alterações ósseas, é necessário realizar descrições cuidadosas e precisas (tanto descrições anatomopatológicas quanto radiológicas), porque mesmo com erros de interpretação, tais procedimentos são atemporais, permitindo assim, que outros pesquisadores possam analisar e chegar a suas próprias conclusões, corroborando as análises prévias ou propondo conclusões alternativas (Ortner, 2003b).

1.1.3 Importância e aplicabilidade da Paleopatologia

É importante considerar que as marcas deixadas pelas enfermidades nos fósseis foram geradas dentro de um contexto ecológico onde se inseriam os animais, e podem estar diretamente ligadas às características ecológicas particulares da espécie (autoecologia; *e.g.* artrites) ou as suas relações tróficas com os demais componentes do ecossistema (sinecologia; *e.g.* infecções). Em um estudo de frequência e distribuição de lesões traumáticas em *Smilodon fatalis* (Carnivora, Felidae) e *Canis dirus* (Carnivora, Canidae) foi possível observar a relação direta entre a frequência/distribuição das lesões ósseas diagnosticadas e a estratégia de caça de cada espécie (emboscada *versus* perseguição; Brown *et al.*, 2017). Ainda é possível citar alterações provocadas por patógenos, como bactérias, vírus e fungos (integrantes do ecossistema ou exóticos), ou pela relação presa-predador, disputas por território ou por parceiros sexuais (Braunn, 2004). Assim, identificações e descrições precisas de feições paleopatológicas podem constituir uma útil ferramenta para formular hipóteses paleoecológicas ou testar hipóteses prévias baseadas em outras classes de evidência. Além dos fatores bióticos, mudanças em parâmetros ambientais podem levar a distúrbios sistêmicos capazes de produzir feições paleopatológicas. Melo (2007), por exemplo, interpretou a presença de hipoplasia de esmalte em dentes de *Toxodon* (Mammalia, Notoungulata) como sendo decorrente de carência nutricional, o que seria compatível com as mudanças climáticas hipotetizadas para o Pleistoceno Final do Brasil.

O estudo de enfermidades no registro fossilífero pode ainda proporcionar evidências relevantes para o entendimento das causas que levaram à extinção de organismos pretéritos. Ferigolo (1999), por exemplo, sugeriu que infecções geradas pela introdução de patógenos trazidos por mamíferos norte-americanos teriam sido a força motriz causadora da extinção da megafauna sul-americana. A constatação de agentes infecciosos ou das lesões deixadas por eles nos fósseis auxiliaria na avaliação dessa hipótese. Além disso, a paleopatologia pode contribuir para o entendimento de múltiplos aspectos paleobiológicos dos indivíduos, tais como: idade relativa do momento da morte, comportamento geral, problemas nutricionais e metabólicos e características morfofuncionais, além de auxiliar na melhor compreensão de aspectos evolutivos, na história das doenças em geral e como uma ferramenta importante para evitar erros em taxonomia (Ferigolo, 2007). Finalmente, estudos paleopatológicos são importantes na interpretação da história tafonômica de acumulações fossilíferas, pois a diferenciação entre feições bioestratinômicas/diagenéticas e paleopatológicas nem sempre é evidente,

especialmente tratando-se de lesões com características erosivas, onde desgastes provenientes de alguma doença (*e.g.* espondiloartropatias, osteomielites, neoplasias, traumas) podem ser confundidos com diversas feições tafonômicas (*e.g.* intemperismo, abrasão, corrosão, quebras).

1.2 O clado *Xenarthra* Cope, 1889

Xenarthra constitui um notável grupo de mamíferos endêmicos da Região Neotropical – exceto por uma espécie (Wetzel, 1985) – os quais alcançaram sua maior diversidade em florestas e savanas intertropicais, possivelmente em decorrência de sua homeotermia distinta (Scillato-Yané, 1986). O registro mais antigo desta data do final do Paleoceno – representado por osteodermos de *Riostegotherium yanei* Oliveira & Bergqvist, 1998 – e tornaram-se um dos mais importantes fósseis da América do Sul (Bergqvist *et al.*, 2004). O registro fóssil possui mais de 150 gêneros de xenartros conhecidos, a maioria dos quais derivam de duas radiações evolutivas de mamíferos terrestres de grande e pequeno porte, ocorridas durante o Cenozoico que se propagaram por toda a América: as preguiças terrícolas e os gliptodontoides (McKenna & Bell, 1997). Atualmente, o clado é composto por 31 espécies, agrupadas em 14 gêneros, incluindo as formas com exoesqueleto (tatus), as formas completamente desprovidas de dentes (tamanduás) e as pequenas preguiças arborícolas (Vizcaíno, 1995; McKenna & Bell, 1997), os quais são extremamente distintos tanto morfologicamente quanto ecologicamente (Gaudin & Croft, 2015). Todos os grupos conhecidos, fósseis e recentes, são distribuídos em três ordens, a saber: Cingulata, Vermilingua e Folivora (= Tardigrada) (Figura 2; Engelmann, 1985).

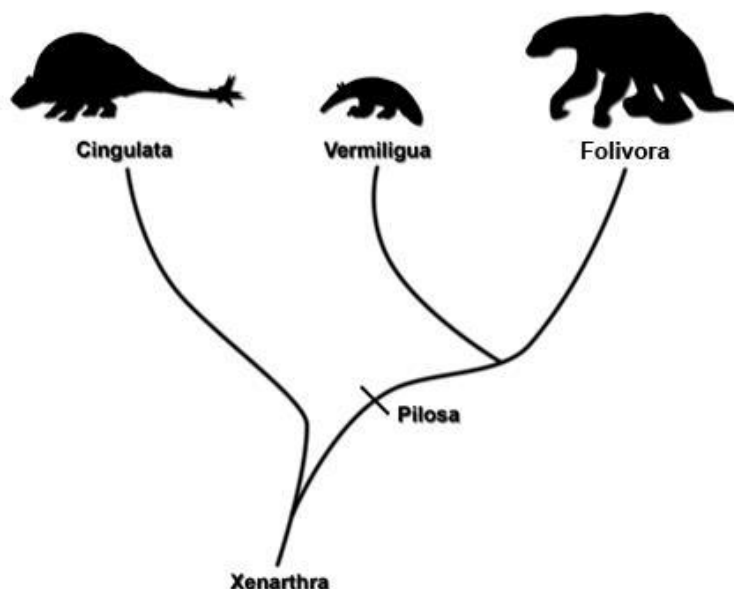


Figura 3 – Cladograma representativo das relações filogenéticas entre as três sub-ordens de Xenarthra (adaptado de Gaudin, 2003).

Os membros que compõe o clado Xenarthra têm sido tradicionalmente agrupados de acordo com sua distribuição biogeográfica restrita e por um conjunto de características morfológicas peculiares (Gaudin, 2003). Entre essas características, destaca-se a forma de articulação das suas vértebras dorsais e lombares, as quais, além das articulações normais (disco-intervertebrais, costo-vertebrais e zigapófises), possuem articulações adicionais, denominadas de xenartria (anapófise; Figura 3), e uma forte redução dentária, exceto os tamanduás, que são completamente desprovidos de dentes (Paula-Couto, 1979; Engelmann, 1985). Os dentes, quando presentes, são geralmente prismáticos ou cilíndricos (exceto gliptodontes e pampatérios, que apresentam dentes trilobados e bilobados, respectivamente), sem esmalte (exceto *Utaetus* e *Astegotherium*, tatus extintos do Eoceno, além de fetos e recém-nascidos do tatu moderno *Dasypus novemcinctus*), homodontes e considerados como molariformes, mesmo quando ocupando a posição dos incisivos e/ou caninos, ou seja, monofiodontes (Paula-Couto, 1979). Além da xenartria e das características dentárias, outras importantes feições morfológicas caracterizam o grupo, tais como: sinsacro, formado pela fusão do ísquio e do sacro e fenestra sacroisquiática, metapófises vertebrais, fusão dos processos transversos das vértebras caudais ao ísquio, temperatura corporal relativamente mais baixa e presença de osteodermos e ossículos dérmicos em algumas espécies (Paula-Couto, 1979; Engelmann, 1985).

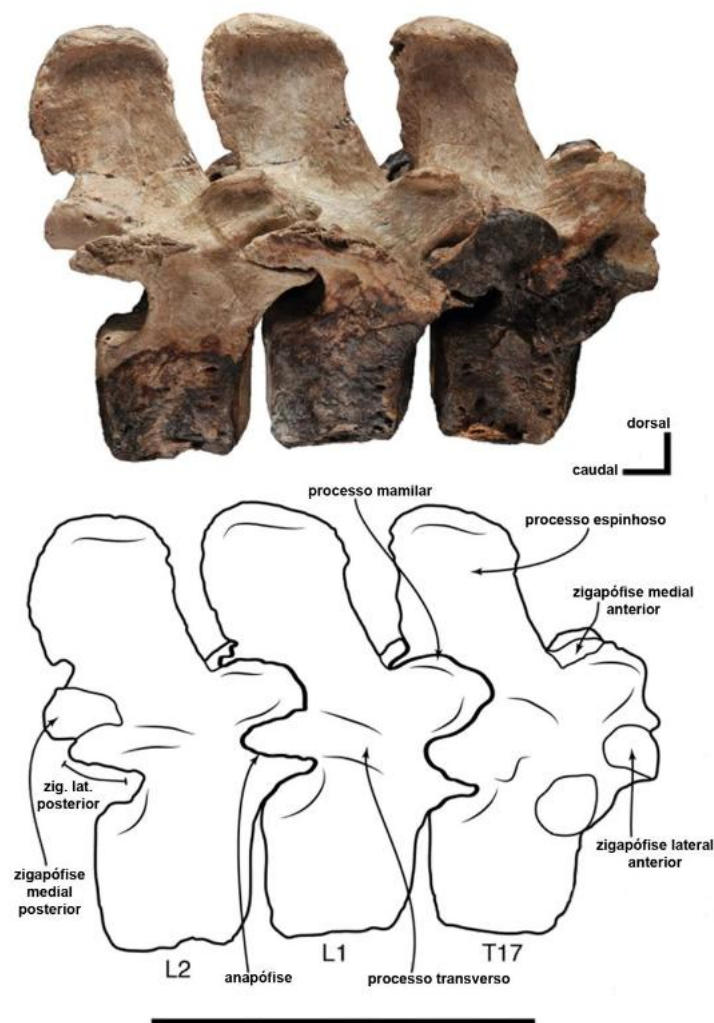


Figura 4 – Décima sétima vértebra torácica, primeira e segunda vértebras lombares de *Thalassocnus nathans* em vista lateral, evidenciando a xenartria. Escala = 10 cm. (modificado de Amson et al., 2015).

A posição filogenética de Xenarthra dentro de Placentalia tem sido objeto de intensos debates. Isso ocorre em virtude da ausência de homologias dentárias identificáveis que permitam uma melhor ligação entre xenartros e os outros mamíferos atuais e extintos, além da retenção de traços estranhamente basais (Gaudin & Croft, 2015). Em decorrência dessas dificuldades, Thomas (1887) chegou a sugerir que xenartros, marsupiais e placentários poderiam representar três irradiações evolutivas independentes. Por outro lado, McKenna (1985) considerou Xenarthra como grupo-irmão de todos os outros mamíferos incluídos em Placentalia, denominando-o de Epitheria. Atualmente, Xenarthra tem sido considerado um dos quatro principais clados de Placentalia (ao lado de Afrotheria, Euarchontoglires e Laurasiatheria), sendo possivelmente o ramo mais basal. No entanto, as relações entre esses quatro principais clados ainda permanece bastante controversa (Gaudin & Croft, 2015).

1.2.1 O sub-clado Folivora Delsuc, Catzeflis, Stanhope & Douzery, 2001

É o grupo que inclui todas as preguiças atuais e extintas. Atualmente, contém mais de 80 gêneros descritos, agrupados em cinco famílias: Megatheriidae, Megalonychidae, Nothrotheriidae, Mylodontidae e Bradypodidae (Figura 4; Bargo & Vizcaíno, 2008). Sua origem ainda é objeto de intensos debates, mas parece datar, provavelmente, do início do Paleoceno (Paula-Couto, 1979). A monofilia desse grupo é suportada por 60 caracteres, incluindo 31 caracteres não ambíguos e 29 caracteres ambíguos, dos quais 10 caracteres – feições cranianas e dentárias – são exclusivos das preguiças (ver Gaudin, 2004).

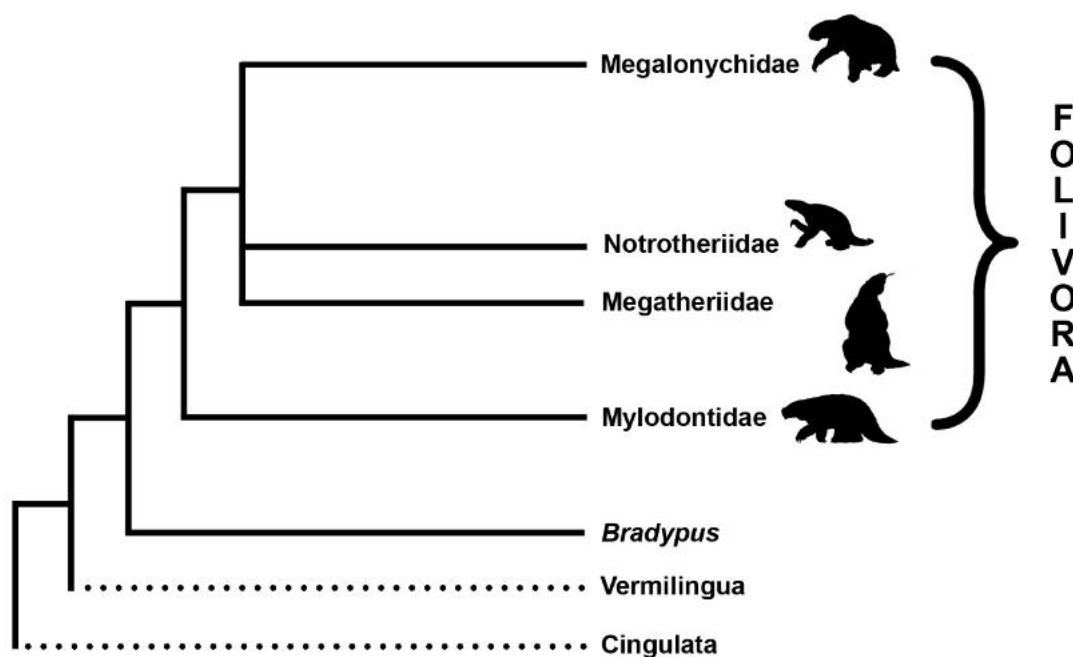


Figura 5 – Cladograma resumido das relações filogenéticas entre as cinco famílias de Folivora (adaptado de Gaudin, 2003).

Durante o início do Mioceno, a frequência e diversidade de folívoras aumentaram substancialmente, ocorrendo formas arborícolas facultativas de pequeno e médio porte (Scilatto-Yané, 1986; McDonald & De Iullis, 2008). Entretanto, foi apenas durante o Pleistoceno (2,58 – 0,117 milhões de anos) que as formas terrícolas de grande e mega porte (Megatheriidae e Mylodontidae) alcançaram sua maior diversidade (Bargo & Vizcaíno, 2008).

1.2.2 Preguiças fósseis da Região Intertropical Brasileira

A Região Intertropical Brasileira (RIB) compreende uma região geográfica do país que engloba dois importantes ecossistemas: caatinga e cerrado (Cartelle, 1999). Ela abrange 12 estados, incluindo oito da Região Nordeste (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia), três da Região Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo) e um da Região Centro-Oeste (Goiás; Figura 5). O registro fóssil pleistocênico da RIB é dominado por mamíferos, especialmente preguiças (Folivora) e cingulados (Cingulata). Nessa região são conhecidas nove espécies de preguiças distribuídas nas quatro famílias que compõe o grupo (Tabela 1). Esse grande número de preguiças pleistocênicas compreende animais que variam de médio porte (10-100 kg), como *Nothrotherium maquinense*, a megamamíferos (> 1000 kg), como *Eremotherium laurillardi* (*sensu* Prevosti & Vizcaíno, 2006).

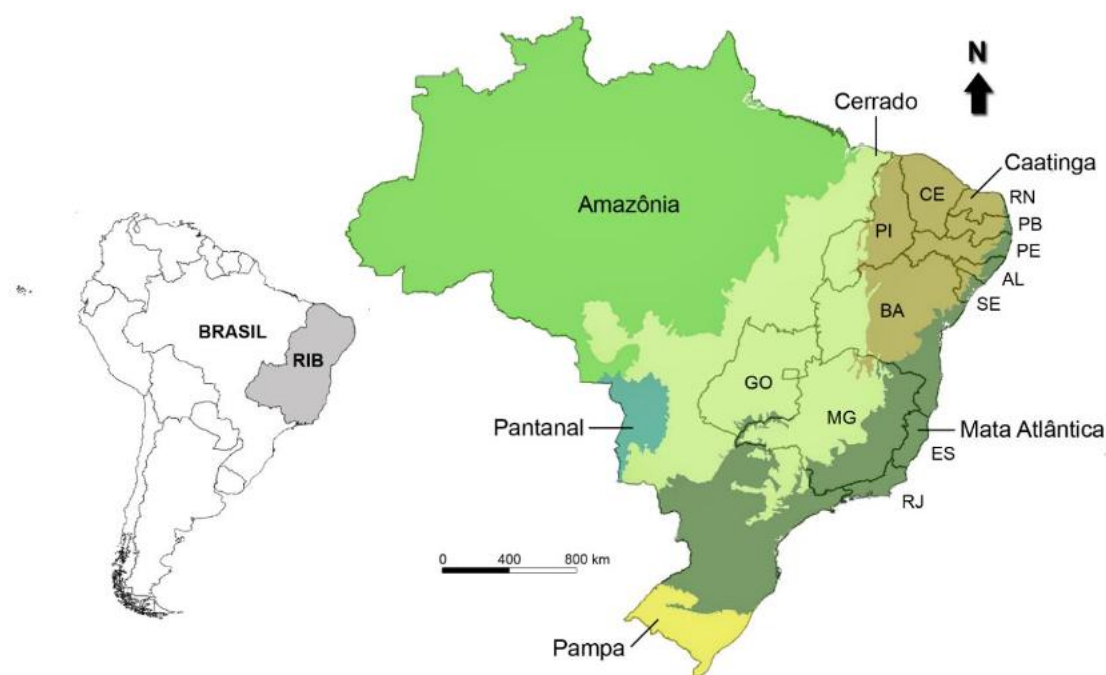


Figura 6 – Mapa de localização da Região Intertropical Brasileira (RIB) evidenciando os biomas brasileiros englobados pela região. Siglas: AL = Alagoas; BA = Bahia; CE = Ceará; ES= Espírito Santo; GO = Goiás; Minas Gerais; PB = Paraíba; PE = Pernambuco; PI = Piauí; RJ = Rio de Janeiro; e SE = Sergipe (*sensu* Cartelle, 1999).

Tabela 1 – Lista de preguiças pleistocênicas da Região Intertropical Brasileira (*sensu* Cartelle, 1999).

ORDEM	FAMÍLIA	ESPÉCIE
	Megatheriidae	<i>Eremotherium laurillardi</i> Lund, 1982
	Nothrotheriidae	<i>Nothrotherium maquinense</i> (Lund) Lydekker, 1889
	Megalonychidae	<i>Ahytherium aureum</i> Cartelle, De Iullis e Pujos, 2008 <i>Australonyx aquae</i> De Iullis, Pujos e Cartelle, 2009
Folivora		<i>Valgipes bucklandi</i> Lund, 1839 <i>Catonyx cuvieri</i> Lund, 1839
	Mylodontidae	<i>Mylodonopsis ibseni</i> Cartelle, 1991 <i>Glossotherium</i> sp. Winge, 1915 <i>Ocnotherium giganteum</i> Lund, 1839

A família Nothrotheriidae foi estabelecida por Gaudin (2004) e durante o Pleistoceno da América Sul foi representada apenas pela espécie *Nothrotherium maquinense*, considerada terrícola, além de ter sido a menor espécie de preguiça conhecida para a época (Cartelle & Fonseca, 1983). Outro aspecto interessante de *N. maquinense* é que a espécie representa um dos primeiros achados fósseis realizados por Peter W. Lund – o pai da paleontologia brasileira – na região de Lagoa Santa, Minas Gerais (Cartelle & Bohórquez, 1986).

A família Megatheriidae, por sua vez, é representada pelas espécies *Megatherium americanum* e *Eremotherium laurillardi* (Cartelle & De Iullis, 1995). Essa última tem sido a mais comumente encontrada em depósitos fossilíferos pleistocênicos do Brasil intertropical e é considerada a única espécie Panamericana da família (Cartelle *et al.*, 2014). *Eremotherium laurillardi* foi uma espécie quadrúpede – mas eventualmente podia assumir postura bípede (Cartelle, 1992) – possuía massa corporal de aproximadamente 5 toneladas e cerca de 6 m de comprimento (Cartelle, 2000). Sua dieta era baseada em gramíneas e folhas, sendo considerada, portanto, um mamífero pastador/ramoneador (Cartelle & De Iullis, 1995; Cartelle, 2000).

A ocorrência de megaloniquídeos no Pleistoceno do Brasil, assim como em toda América do Sul, é bastante esparsa quando comparado à América do Norte e Antilhas (De Iullis *et al.*,

2009). Atualmente, apenas duas espécies são conhecidas para o Pleistoceno brasileiro, *Ahytherium aureum* e *Australonyx aquae*. Nenhuma das espécies era plantígrada, sendo sua massa corporal suportada pela face lateral dos pés (De Iullis *et al.*, 2009). *Australonyx aquae* difere, em linhas gerais, de *Ahytherium aureum* por ser mais robusta e atarracada, porém com pés menores e mais gráteis (De Iullis *et al.*, 2009).

Embora *Eremotherium laurillardi* seja a espécie mais frequentemente encontrada nos depósitos pleistocênicos brasileiros, a família Mylodontidae representa o grupo mais diverso de preguiças preservadas na RIB. Cinco táxons distribuídos em três subfamílias são conhecidos para a região: Scelidotheriinae (*Valgipes bucklandi* e *Catonyx cuvieri*), Mylodontinae (*Myloodonops ibseni* e *Glossotherium* sp.) e Lestodontinae (*Ocnotherium giganteum*). *Myloodonops ibseni* foi uma preguiça intertropical brasileira, de tamanho aproximado a *Myloodon darwini* (≥ 1000 kg), de ocorrência austral, quadrúpede, provavelmente com apoio dos pés sobre os calcâneos e os das mãos sobre seu dorso, e possível hábito escavador (Cartelle, 1991). *Glossotherium* foi, possivelmente, uma espécie alóctone, oriunda da região mais austral da América do Sul e integrante ocasional da fauna da RIB (Cartelle, 1992), com massa corpórea de aproximadamente 1 tonelada (Fariña *et al.*, 1998). Por fim, *Ocnotherium giganteum* foi uma espécie de preguiça intertropical, com massa corporal relativamente menor que *Lestodon armatus* (Cartelle, 1992), a qual possuía aproximadamente 2 toneladas (Fariña *et al.*, 1998).

1.3 Objetivos

Identificar e interpretar alterações ósseas *ante-mortem* nas espécies de preguiças extintas (Mammalia, Xenarthra, Folivora) do Pleistoceno médio – Holoceno inicial da Região Intertropical Brasileira (RIB; *sensu* Cartelle, 1999), através de inspeções macroscópicas de fósseis recuperados de diferentes localidades representativas dessa região.

1.4 Finalidade

Os tipos de lesões ósseas que acometiam a fauna do Pleistoceno – Holoceno inicial do Brasil são pobremente conhecidos, mesmo entre as preguiças fósseis – um dos grupos mais frequentes e diversos encontrados nos depósitos fossilíferos da região. Desse modo, este

trabalho tem como finalidade melhorar o conhecimento das doenças ósseas – em alguns casos apresentar as primeiras ocorrências – nesse importante grupo de mamíferos extintos. Esta primeira abordagem proporcionará, além de um relevante banco de dados, interpretações acerca do significado da presença das diferentes doenças observadas em amplo conjunto de espécies.

1.5 Material e métodos

1.5.1 Material

O material utilizado para a análise das lesões ósseas compõe acervos de três coleções paleontológicas: coleção de Paleontologia do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), em Belo Horizonte, Minas Gerais; coleção de Paleontologia da Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM), em São Raimundo Nonato, Piauí; e coleção de Macrofósseis do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco em Recife, Pernambuco.

Os espécimes estudados aqui foram coletados em diferentes tipos de depósitos fossilíferos – cavernas, abrigos e tanques naturais – localizados nos estados do Piauí, Pernambuco, Bahia e Minas Gerais. O material corresponde a 4432 ossos do crânio e pós-crânio, pertencentes a nove táxons de preguiças extintas do Quaternário da Região Intertropical Brasileira, incluindo: *Nothrotherium maquinense*, *Ahytherium aureum*, *Australonyx aquae*, *Valgipes bucklandi*, *Catonyx cuvieri*, *Myloodonopsis ibseni*, *Glossotherium* sp., *Ocnotherium gigantium* e *Eremotherium laurillardi*. O Quadro 1 lista a quantidade de espécimes estudados por táxon e localidade.

Quadro 1 – Material analisado de cada táxon por localidade. Siglas das localidades: FN = Tanque de Fazenda Nova; GB = Gruta dos Brejões; GT = Gruta do Túnel; GVST = Gruta Volta da Serra Três; Ira = Iraquara; PA = Poço Azul; TB = Toca da Barriguda; TBV = Toca da Boa Vista; TG = Toca do Garrincho; TJBA = Toca da Janela da Barra do Antônio; TO = Toca dos Ossos; e TP = Toca do Pilão. Siglas das coleções: DGEO-UFPE = Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco; FUMDHAM = Fundação Museu do Homem Americano; e MCL = Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Família	Táxon	Localidade	Depósito	Número de espécimes	Coleção
Nothrotheriidae	<i>Nothrotherium maquinense</i>	PA	Caverna	630	MCL
		GB	Caverna	570	MCL
		TBV	Caverna	610	MCL
Megalonychidae	<i>Ahytherium aureum</i>	PA	Caverna	360	MCL
	<i>Australonyx aquae</i>	PA	Caverna	61	MCL
Mylodontidae	<i>Valgipes bucklandi</i>	PA	Caverna	290	MCL
		GVST	Caverna	189	MCL
		Ira	Caverna	47	MCL
		TB	Caverna	84	MCL
	<i>Catonyx cuvieri</i>	PA	Caverna	246	MCL
		Ira	Caverna	104	MCL
		TO	Caverna	21	MCL
		TBV	Caverna	34	MCL
		GT	Abrigo	29	MCL
		TG	Abrigo	8	FUMDHAM
	Scelidotheriinae indeterminados	TG	Abrigo	84	FUMDHAM
		TP	Abrigo	6	FUMDHAM
		TJBA	Abrigo	59	FUMDHAM
	<i>Myodonopsis ibseni</i>	GB	Caverna	123	MCL
		TO	Caverna	17	MCL
	<i>Glossotherium sp.</i>	TO	Caverna	154	MCL
	<i>Ocnotherium giganteum</i>	TO	Caverna	307	MCL
Megatheriidae	<i>Eremotherium laurillardi</i>	FN	Tanque	127	DGEO-UFPE
		PA	Caverna	272	MCL

1.5.1.1 Área de Estudo

O material avaliado nessa tese foi recuperado de três tipos distintos de depósitos fossilíferos – cavera, abrigo e tanque natural – provenientes da Região Intertropical Brasileira. A gênese de tais depósitos está associada a diferentes unidades litológicas descritas sucintamente abaixo.

– **Formação Salitre**

As cavernas Gruta dos Brejões, Poço Azul, Iraquara, e Toca da Boa Vista tem suas gêneses associadas a Formação Salitre do Grupo Una, Bacia de Irecê. A Formação Salitre é a unidade litoestratigráfica predominante da Bacia de Irecê, sendo composta por uma sucessão carbonática neoproterozoica, com algumas intercalações terrígenas, registrando uma extensa plataforma dominada por marés (Souza *et al.*, 1993). As cavernas apresentadas aqui estão localizadas na porção centro-norte da bacia, a qual é composta por calcirruditos e, subordinadamente, estromatólitos fosfáticos e sedimentos siliciclásticos, arrançados em um ciclo regressivo-transgressivo (Fragoso *et al.*, 2008).

– **Formação Sete Lagoas**

A caverna Gruta Volta da Serra Três foi formada sobre rochas carbonáticas neoproterozoicas da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí da Bacia de São Francisco. Esta unidade é composta por dolominitos, calcários e pelitos com estromatólitos bem preservados, depositados na base do Grupo Bambuí, sobre os diamictitos do Grupo Macaúbas no Cráton do São Francisco (Vieira *et al.*, 2007). A Formação Sete Lagoas é subdividida em duas sequências transgressivas: a primeira sequência está diretamente sobre o embasamento cristalino, correspondendo a carbonatos depositados sob influência de atividade microbiana no início da evolução da bacia, sendo posteriormente depositado por influência de tempestade e maré; enquanto a segunda sequência transgressiva depositou, inicialmente, carbonatos e argilitos em água profunda e depois calcários negros, ricos em matéria orgânica, em ambiente costeiro e de rampa interna. Esses depósitos deram lugar à expressivos estromatólitos, correspondendo ao topo da unidade (Vieira *et al.*, 2007).

– **Formação Caatinga**

A caverna Toca dos Ossos tem sua gênese associada as rochas da Formação Caatinga. Esta unidade é composta por calcários puros muito heterogêneos, ora maciços, ora pulvulentos, que raramente superam os 20 m de espessura, originados a partir da dissolução e reprecipitação dos carbonatos neoproterozoicos do Grupo Una (Auler *et al.*, 2003). A Formação Caatinga é considerada um depósito do tipo calcrete, formado a partir de rochas carbonáticas pré-existentes sob clima árido e semi-árido (Suguio *et al.*, 1980; Penha, 1994), provavelmente de idade quaternária, relacionada a ambientes continentais fluvial e lacustre (Suguio *et al.*, 1980).

– Fazenda Nova

Tanques naturais são depressões formadas em rochas do embasamento cristalino, as quais podem ser preenchidas por sedimentos quaternários, formando depósitos fossilíferos característicos do nordeste do Brasil (Araújo-Júnior *et al.*, 2017). O tanque de Fazenda Nova, é um tipo de depósito de tanque, na Depressão Interplanáltica, do Planalto da Borborema, associada à inselberg de vertente inclinada, circundado por superfícies de erosão planas (Alves *et al.*, 2007). O material sedimentar que preencheu o tanque é representado por sedimentos siliciclásticos e químicos (cimento calcífero; Alves *et al.*, 2007). Preenchimento sedimentar, formado por quatro níveis estratigráficos distintos, sendo os dois primeiros, concentrações fossilíferas com diferentes arranjos e espessura e de forma tabular. O preenchimento do tanque resultou do transporte de detritos (clastos, fragmentos de rochas), ossos, dentes e osteodermos que se situavam nas proximidades. Foram transportados pela ação da gravidade e das águas de chuvas torrenciais, durante enxurradas em ambiente de vertente inclinada próximo ao inselberg (Alves *et al.*, 2007).

– Abrigos cársticos

A Gruta do Túnel, Toca do Garrincho, Toca da Janela da Barra do Antônio e a Toca do Pilão estão localizadas na área cárstica no entorno do Parque Nacional Serra da Capivara. Essa região está associada a rochas carbonáticas pré-cambrianas da Formação Barra Bonita, uma unidade metassedimentar de ambiente marinho plataformar do Grupo Casa Nova (Figueirôa & Silva Filho, 1990; Santos & Silva Filho, 1990).

1.5.2 Métodos

1.5.2.1 Análise macroscópica

Todos os espécimes acima mencionados foram examinados macroscopicamente e individualmente para identificação de lesões ósseas (alterações *ante-mortem*) diferenciando-as das alterações decorrentes dos processos tafonômicos (alterações *post-mortem*). Os modelos para descrições das lesões e os diagnósticos propostos seguem trabalhos clássicos tanto da literatura médica (*e.g.* Resnick, 2002; Müller *et al.*, 2014) quanto da literatura paleopatológica

(e.g. Aufderheide & Rodríguez-Martín, 1998; Ortner, 2003; Rothschild & Martín, 2006; Chhem & Brothwell, 2008; Waldron, 2009).

As alterações ósseas decorrentes de processos patológicos observadas nos espécimes estudados foram diferenciadas das alterações provocadas por processos tafonômicos seguindo as recomendações de trabalhos clássicos da literatura paleopatológica (e.g. Melo, 1999; Ortner, 2003b; Rothschild & Martin, 2006; Waldron, 2009).

Foi calculado o Número Mínimo de Indivíduos (NMI) para cada um dos táxons estudados seguindo o método proposto por Lyman (1994). Essa análise considerou tanto o número total de indivíduos por táxon quanto o número total de indivíduos com lesões ósseas por táxon.

1.5.3 Terminologias

Ante mortem = antes da morte.

Artrite = conjunto de lesões das articulações sinoviais.

Benigno = termo médico para descrever doença branda, sem profunda.

Doença = alteração biológica e psíquica do estado de saúde.

Entesiófito = crescimento ósseo nos pontos de inserção de ligamentos, tendões e cápsulas articulares.

Erosão subcondral = lesão óssea destrutiva logo abaixo da cartilagem de proteção.

Feições tafonômicas = características observadas nos ossos originadas durante o processo de fossilização.

Infecção = invasão de tecidos corporais de um organismo hospedeiro por parte de organismos capazes de provocar doenças.

Nova formação óssea = crescimento ósseo.

Maligno = que ocorre na forma grave e tende a levar à morte.

Neoplasia = processo patológico que resulta no desenvolvimento de um neoplasma.

Neoplasma = crescimento anormal, incontrolado e progressivo de tecido, mediante proliferação celular acentuada e anaplásica.

Osteófito = crescimento ósseo na margem de articulações.

Osteomielite = doença infecciosa grave, aguda ou crônica causada por microorganismos.

Patologia = especialidade médica que estuda as doenças.

Pseudopaleopatologia = feições tafonômicas que mimetizam verdadeiras lesões.

Post mortem = após a morte.

Processo lítico = processo destrutivo dissolutivo.

Tumor = qualquer aumento no volume de tecido.

1.6 Estrutura e organização da Tese

O volume dessa Tese está organizado a partir do capítulo 1, que trata da introdução ao estudo da Paleopatologia, o contexto onde a análise das doenças tem sido aplicada, a justificativa do estudo, bem como seus objetivos. O capítulo 2 trata do quadro geral do conhecimento sobre as pesquisas de doenças ósseas em preguiças fósseis do Brasil. O capítulo 3 descreve brevemente todos os dados obtidos na nessa tese e suas principais interpretações. No capítulo 4 são apresentadas interpretações de casos isolados e uma integração de todos os dados obtidos. Todas as referências citadas no corpo principal do texto são apresentas no final desse volume. Por fim, em anexo, encontra-se dois artigos científicos publicados em periódicos internacionais e um manuscrito submetido a avaliação, também em um periódico internacional. Esses trabalhos, detalham todas os resultados obtidos para o desenvolvimento dessa Tese.

2 ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS EM PALEOPATOLOGIA EM PREGUIÇAS FÓSSEIS DO BRASIL

A primeira descrição de alterações patológicas em preguiças extintas do Brasil foi baseada na presença de crescimentos ósseos em duas vértebras torácicas de Megatheriidae do estado do Rio Grande do Sul (Ferigolo, 1985). Após essa primeira descrição, poucos trabalhos têm dado ênfase a descrições e diagnósticos de lesões ósseas em preguiças fósseis, sendo eles: (i) a descrição de crescimento ósseo no bordo de centros vertebrais torácicos e caudais, e destruição e nova formação óssea em rádio, metacarpo, falange e calcâneo em *Lestodon* sp. (Cabral & Henriques, 2007); (ii) o diagnóstico de osteocondrite dissecante em um fêmur de Mylodontidae (Ferigolo, 2007). Esse caso, entretanto, em virtude das características apresentadas pelo espécime, parece ser mais compatível com espondiloartropatia; (iii) a descrição de um amplo conjunto de lesões em 23 vértebras de *Eremotherium laurillardi*, as quais foram diagnosticadas como possíveis sinais de nódulo de Schmorl e osteofitose (Cruz & Henriques, 2008); uma breve descrição de lesões vertebrais – um crescimento ósseo irregular no centro vertebral e um calo ósseo na porção dorsal – em duas vértebras de *Eremotherium laurillardi* (Araújo-Júnior *et al.*, 2013), as quais parecem representar uma lesão articular e traumática; e (v) descrição e diagnóstico de osteoartrite em um atlas e fraturas patológicas em centros vertebrais de três vértebras torácicas em *Eremotherium laurillardi* (Xenarthra, Megatheriidae; Barbosa *et al.*, 2012; Barbosa *et al.*, 2014a, respectivamente).

Claramente há uma escassez de trabalhos em que lesões ósseas sejam descritas em preguiças fósseis do Pleistoceno do Brasil. Atualmente, 11 espécies de preguiças extintas, distribuídas pelas quatro famílias conhecidas, são reconhecidas para essa Época no Brasil, das quais apenas *Eremotherium laurillardi* e *Lestodon* sp. possuem algum tipo de doença descrita. Isso não reflete a verdadeira história das doenças no clado e oferece uma grande oportunidade de investigação sobre a real história das doenças no principal grupo de animais extintos do Pleistoceno brasileiro.

3 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho serão apresentados em quatro partes distintas. Na primeira parte são apresentados resumidamente os resultados obtidos para as espécies *Nothrotherium maquinense*, *Ahytherium aureum* e *Australonyx aquae* (para mais detalhes ver **ANEXO A**), na segunda parte serão apresentados, resumidamente, os resultados obtidos acerca de todas as lesões articulares diagnosticadas nos táxons *Valgipes bucklandi*, *Catonyx cuvieri*, *Myloodonopsis ibseni*, *Glossotherium* sp., *Ocnotherium giganteum* e *Eremotherium laurillardi* (para mais detalhes ver **ANEXO B**). No terceiro momento, serão retratados sinteticamente as lesões infecciosas observadas em *Valgipes bucklandi* e *Eremotherium laurillardi* (para mais detalhes ver **ANEXO C**). Por fim, serão apresentadas descrições de lesões isoladas em *Catonyx cuvieri*, *Glossotherium* sp. e *Ocnotherium giganteum*.

3.1 Elucidating the bones diseases in the Brazilian Pleistocene sloths (Xenarthra, Pilosa, Folivora): first cases reported for the Nothrotheriidae and Megalonychidae – Ameghiniana (doi: 10.5710/AMGH.30.11.2016.3032)

Neste trabalho foram realizadas inspeções macroscópicas individuais em 2232 ossos de três espécies de preguiças extintas do Pleistoceno da Região Intertropical Brasileira (RIB). Dessa amostra, 1810 ossos são pertencentes à espécie *Nothrotherium maquinense*, 361 à espécie *Ahytherium aureum* e 61 à espécie *Australonyx aquae*. Os espécimes de *N. maquinense* foram recuperados de três cavernas calcárias localizadas no Estado da Bahia: Poço Azul (12°46'49.71" S; 41°09'02.72" W; 630 espécimes), Gruta dos Brejões (11°00'42.7" S; 41° 25'59.6"W; 570 espécimes) e Toca da Boa Vista (10°09'45"S, 40°51'35"W; 610 espécimes). Os ossos de *A. aureum* e *A. aquae* foram recuperados apenas da caverna Poço Azul.

Entre os 1810 ossos de *Nothrotherium maquinense*, apenas seis apresentaram lesões evidentes (0,33%); um metacarpo IV esquerdo (MCL 2786-01), uma falange proximal do dedo IV (MCL 2786-03), duas vértebras torácicas (MCL 21 764-02 e MCL 21 764-04), uma vértebra caudal (MCL 21 770) e um astrágalo direito (MCL 22 029/04). Tais ossos são atribuídos a pelo menos três indivíduos, sendo dois adultos e um juvenil.

O metacarpo IV esquerdo (MCL 2786-01) e a falange proximal do dedo IV (MCL 2786-03) apresentam crescimento ósseo anômalos em pontos de inserção de tendões (entesíte). Além disso, foi verificada erosão subcondral na superfície articular para o metacarpo V (MCL 2786-04).

A vértebra torácica (MCL 21 764-01) possui uma fratura (3,5 cm) com bordas suavizadas, orientada obliquamente em relação ao eixo dorsoventral da superfície articular do centro vertebral, estendendo-se de sua borda inferior direita à sua borda superior esquerda. Já a vértebra torácica (MCL 21 764-04) possui uma escavação óssea na superfície articular anterior do centro vertebral, como um entalhe. Essa lesão é em forma de U, com margens suavizadas e apresentando trabéculas remodeladas em seu interior. Além disso, há uma fratura com bordas remodeladas que se estende através do eixo dorsoventral da superfície articular posterior do centro vertebral.

A vértebra caudal (MCL 21 770) tem uma grande erosão subcondral sobre a superfície articular anterior do centro vertebral (2,7 cm de diâmetro). Essa erosão é côncava, com paredes suavizadas, sem evidência de reação óssea. Está obliquamente orientada, estendendo-se da borda ventral à borda lateral esquerda. Por fim, o astrágalo direito (MCL 22 029-04) possui pequenas erosões subcondrais: duas sobre a superfície articular para o navicular e uma sobre o processo odontoide. Todas as erosões possuem bordas arredondadas e trabéculas expostas, mas não há evidências de neoformação óssea.

Nenhuma lesão foi encontrada nos 61 espécimes assinalados a *Australonyx aquae*. Entre os 361 espécimes de *Ahytherium aureum*, apenas dois espécimes apresentam alterações patológicas (0,55%): um astrágalo direito (MCL 22 875/54) e um astrágalo esquerdo (MCL 22 875/55). As alterações estão localizadas nas superfícies articulares para os respectivos calcâneos (faceta ectal) em ambos os espécimes. Elas são simétricas, elípticas, com bordas irregulares e com aparência “punched out”, ou seja, como perfurações. As áreas de destruição medem aproximadamente 1,11 cm² e 1,27 cm², respectivamente.

As erosões subcondrais observadas no metacarpo IV (MCL 2786/01) e no astrágalo direito (MCL 22 029/04) de *Nothrotherium maquinense* são características de espondiloartropatia, uma forma de artrite inflamatória degenerativa. Os defeitos ósseos observados nas vértebras torácicas (MCL 21 764/02 e MCL 21 764/04) são diagnósticos de nódulos de Schmorl. Essa condição tem sido tradicionalmente considerada como resultante de herniação do núcleo pulposo através do ânulo fibroso do disco intervertebral. Entretanto, osteonecrose pode também ser a condição básica para o desenvolvimento desses nódulos.

Considerando a morfologia do trauma sobre a vértebra torácica (MCL 21764/04) – uma fratura dividindo o corpo vertebral no plano coronal. Isso sugere que o trauma foi causado por forças de compressão axial sobre o corpo vertebral. A erosão subcondral associada à reação óssea “*filigree*” sobre o centro vertebral de vértebra caudal (MCL 21 770) são indicativas de uma osteomielite não específica. Finalmente, as alterações ósseas nos astrágalos direito e esquerdo (MCL 22 875/54 e MCL 22 875/55) de *Ahytherium aureum* são compatíveis com osteocondrite dissecante. Essa doença é uma condição benigna, não inflamatória, caracterizada por necrose óssea de um segmento da superfície convexa de articulações sinoviais, seguidas por mudanças degenerativas na cartilagem sobrejacente.

3.2 Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (*Xenarthra*, *Folivora*) from the Brazilian Intertropical Region – Historical Biology (doi: 10.10080/08912963.2017.1376191)

Neste trabalho, 2079 ossos pertencentes a seis táxons de preguiças do Pleistoceno da Região Intertropical Brasileira (RIB), foram macroscopicamente examinados. Dessa amostra, 570 ossos pertencem à espécie *Valgipes bucklandi*, 448 ossos pertencem à espécie *Catonyx cuvieri*, 140 ossos pertencem à espécie *Mylodonopsis ibseni*, 173 ossos pertencem ao táxon *Glossotherium* sp., 321 ossos pertencem à espécie *Ocnotherium giganteum* e 427 ossos pertencem à espécie *Eremotherium laurillardi*. O material estudado encontra-se depositado nas coleções de paleontologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco (DGEO-UFPE), Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM), e Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG).

O objetivo do trabalho foi diagnosticar todas as lesões articulares do esqueleto axial e apendicular nos seis táxons acima citados e comparar com as lesões observadas no trabalho do subitem 3.2 (**Elucidating the bones diseases in the Brazilian Pleistocene sloths (*Xenarthra*, *Pilosa*, *Folivora*): first cases reported for the Nothrotheriidae and Megalonychidae**). Desse modo, é apresentado um quadro detalhado das lesões articulares e vertebrais em todas as preguiças do Pleistoceno da Região Intertropical Brasileira.

Entre os 2079 ossos estudados, 102 espécimes apresentaram lesões articulares evidentes (5,05%), assim distribuídas: 16 ossos em *Valgipes bucklandi* (2,83%); sete ossos em *Catonyx cuvieri* (1,56%); sete ossos em *Mylodonopsis ibseni* (4,9%); 13 ossos em *Glossotherium* sp.

(7,5%), 41 ossos em *Ocnotherium giganteum* (12%); e 18 ossos em *Eremotherium laurillardi* (4,2%). Tais lesões representam quatro tipos distintos de doenças articulares e duas condições vertebrais degenerativas, sendo Doença de Deposição de Pirofosfato de Cálcio (DDPC), Espondiloartropatia (EpA), Osteoartrite (OA) e Osteocondrite dissecante (OD) as doenças articulares, e Nódulo de Schmorl (NS) e Espondilose deformante (ED) as condições vertebrais.

As lesões articulares são assim distribuídas entre os taxa estudados: DDPC foi diagnosticada em *V. bucklandi*, *C. cuvieri*, *Glossotherium* sp., *O. giganteum* e *E. laurillardi*; Espondiloartropatia foi identificada em *C. cuvieri*, *M. ibseni*, *Glossotherium* sp., *O. giganteum* e *E. laurillardi*; Osteoartrite foi diagnosticada em *C. cuvieri*, *Glossotherium* sp. e *O. giganteum*, nos dois últimos taxa, OA foi considerada uma lesão secundária a EpA; OD foi observada apenas em *O. giganteum* e *E. laurillardi*; Nódulo de Schmorl foi reconhecido em *Glossotherium* sp., *O. giganteum* e *E. laurillardi*; e SD foi diagnosticada em *V. bucklandi*, *O. giganteum* e *E. laurillardi*. Baseado nessa distribuição, DDPC e EpA são as doenças com maior abrangência entre os clados estudados, e *Glossotherium* sp., *O. giganteum* e *E. laurillardi* são os táxons com maior número de lesões identificadas (cinco doenças em cada táxon).

Além da identificação das lesões, nesse trabalho, foi realizada uma investigação estatística, através de análises multivariadas (análise de agrupamento e análise de correspondência). Tais análises permitem estabelecer graus de semelhanças entre os dados em estudo. Nessa investigação, foram considerados todos os táxons acima mencionados, bem como os táxons do item 3.2 (*Nothotherium maquinense*, *Ahytherium aureum* e *Australonyx aquae*). Com isso, foi possível observar agrupamentos de espécies, baseado na presença de determinadas doenças. O primeiro grupo, denominando de PG1, foi formado por *Eremotherium laurillardi*, *Ocnotherium giganteum*, *Glossotherium* sp., *Valgipes bucklandi* e *Catonyx cuvieri*. Já o segundo grupo, denominado PG2, foi formado por *Myloodonopsis ibseni* e *Nothotherium maquinense*. *A. aureum* não agrupou com nenhum táxon. A formação de PG1 pode ser explicada pelo tamanho dos táxons que o compõe – os animais maiores e mais pesados – enquanto que a formação de PG2, foi fortemente influenciada pela presença de espondiloartropatia (para mais detalhes, ver Anexo B).

3.3 Tuberculosis versus brucellosis: Granulomatous infection in Pleistocene sloths (*Xenarthra*, *Folivora*) from Brazil (Manuscript ID: NAWI-D-17-00302)

Neste trabalho 142 ossos pertencentes a um indivíduo adulto da espécie *Valgipes bucklandi* e em duas vértebras caudais isoladas pertencentes a espécie *Eremotherium laurillardi* foram analisadas macroscopicamente, com o objetivo de identificar possíveis causas de um conjunto de alterações proliferativas e, especialmente, erosivas. O material estudado encontra-se depositado na coleção de Paleontologia do Museu de Ciências Naturais (MCL) da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), em Belo Horizonte, Minas Gerais (*Valgipes bucklandi*) e na coleção de Paleontologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco (DGEO-UFPE), em Recife, Pernambuco (*Eremotherium laurillardi*).

Entre os 142 ossos pertencentes à *V. bucklandi* (MCL 4293), 11 apresentaram lesões distribuídas entre as mãos direita e esquerda, pé esquerdo e vértebras caudais. Na mão direita, a falange proximal + medial (MCL 4293/92) e a falange ungueal (MCL 4293/91) do quarto dígito foram afetados. A falange proximal + medial (MCL 4293/92) apresenta intensa erosão óssea na superfície articular distal, associada com uma robusta reação periosteal sobre as faces lateral e dorsal da diáfise. A falange ungueal (MCL 4293/91) apresenta intensa erosão da superfície articular proximal, a qual localiza-se oposta a erosão observada em MCL 4293/92. Na mão esquerda, o metacarpo IV (MCL 4293/67) e o metacarpo V (MCL 4293/68) foram afetados. O primeiro apresenta erosão óssea na superfície articular distal, enquanto o segundo apresenta o terço distal completamente destruído, enquanto o terço proximal encontra-se edemaciado (dactilite) e desorganizado (comparado ao seu antímero). No pé esquerdo, por sua vez, apenas o metacarpo V (MCL 4293/96) apresenta alteração patológica: uma grande cloaca (um canal de drenagem) circundada por uma leve reação periosteal na superfície dorsal.

Entre as vértebras caudais, quatro foram afetadas: a segunda (MCL 4293/21), terceira (MCL 4293/22), oitava (MCL 4293/28) e nona (MCL 4293/29) vértebras caudais. A segunda vértebra caudal (MCL 4293/21) apresenta intensa destruição óssea na superfície articular posterior do centro vertebral, a qual se estende aos arcos neurais, pré-zigapófises e pós-zigapófises. A terceira vértebra caudal (MCL 4293/22) apresenta destruição óssea da superfície articular anterior do centro vertebral, localizada adjacente a lesão observada na segunda vértebra caudal. Os elementos posteriores dessa vértebra foram completamente destruídos, a partir da base dos arcos neurais. Por fim, a oitava (MCL 4293/28) e a nona (MCL 4293/29)

vértebras caudais mostram severa destruição da superfície articular posterior dos centros vertebrais. Além das quatro vértebras mencionadas, um arco hemal (MCL 4293/37) apresenta crescimento ósseo irregular conectando suas extremidades.

As duas vértebras caudais isoladas (DGEO-UFPE 5966 e DGEO-UFPE 5973) pertencentes à *Eremotherium laurillardi* apresentam lesões líticas nas superfícies articulares dos seus centros vertebrais. Em DGEO-UFPE 5966, a destruição óssea afeta tanto a superfície articular anterior quanto a posterior. As lesões anteriores são circundadas por uma zona de reabsorção. Há também um pequeno colapso próximo a borda dorsolateral da superfície articular anterior. Já em DGEO-UFPE 5973, destruição óssea ocorre apenas na superfície articular anterior do centro vertebral, também associada a uma zona de reabsorção.

As lesões acima descritas são predominantemente de origem lítica, com exceção do metacarpo V (MCL 4293/96) de *Valgipes bucklandi*, o qual apresenta alteração proliferativa (dactilite). Esse conjunto de alterações sugere um processo infeccioso granulomatoso como a causa mais provável, sendo tuberculose (um tipo de infecção bacteriana causada por uma das espécies do gênero *Mycobacterium*) e brucelose (um tipo de infecção bacteriana causado por uma das espécies do gênero *Brucella*) as mais prováveis doenças sugeridas. Destruição óssea articular tem sido frequentemente apontada como característica diagnóstica de tuberculose, no entanto, ela também pode ocorrer em alguns casos de brucelose. Em virtude das características apontadas, osteomielite piogênica, infecção fúngica e metástase óssea foram descartadas como diagnósticos possíveis.

Independentemente da especificidade da infecção (tuberculose ou brucelose), esses são os primeiros casos de lesão infecciosa granulomatosa sugeridos para um Xenarthra, vivente ou extinto. Caso a infecção seja tuberculose, esse seria o primeiro diagnóstico de tuberculose no registro fóssilífero da América do Sul, caso a infecção representa uma brucelose, seria então o primeiro caso no registro fóssilífero.

3.4 Lesões isoladas em *Catonyx cuvieri*, *Glossotherium* sp. e *Ocnotherium giganteum*

3.4.1 *Catonyx cuvieri*

Um áxis (MCL 22 381/03) de um indivíduo adulto, encontrado associado ao crânio (MCL 22 382/01), atlas (MCL 22 382/02) e terceira vértebra cervical (MCL 22 382/04) mostra uma

grande erosão óssea sobre a superfície articular posterior do corpo vertebral (Figura 5). A lesão é irregular, com margens suavizadas, grande exposição das trabéculas, medindo aproximadamente 3,46 cm² (a lesão compromete 24,2% da superfície articular).



Figura 7 – Áxis de *Catonyx cuvieri* (MCL 22 381/03) em vista posterior. Destaque para a erosão óssea. Cabeça de seta indica erosão subcondral. Escala = 5,0 cm.

3.4.2 *Glossotherium* sp.

Um indivíduo juvenil (MCL 4304) apresenta oito ossos com alterações ósseas, incluindo: escafoide direito (MCL 4304/03), unciforme esquerdo (MCL 4304/06), magno esquerdo (MCL 4304/07), metacarpo IV esquerdo (MCL 4304/09), áxis (MCL 4304/12), vértebra torácica (MCL 4304/15), trapezoide esquerdo (MCL 4304/21) e uma costela (MCL 4304/35). O unciforme, magno, metacarpo IV, trapezoide e costela apresentam neoformação óssea na região articular marginal que cresce em direção ao centro da articulação. O áxis exibe uma pequena neoformação óssea na borda ventral do centro vertebral posterior (osteofitose). Tais lesões foram discutidas no item 3.2 (ver anexo B). Uma vértebra torácica (MCL 4304/15), entretanto, apresenta um crescimento ósseo anômalo na porção ventral do corpo vertebral (Figura 7).



Figura 8 – Vértebra torácica (MCL 4304/15) de *Glossotherium* sp. A: Vista posterior; e B: Vista lateral. Cabeças de seta indicam o crescimento ósseo anômalo na porção ventral do centro vertebral. Escala = 5,0 cm.

3.4.3 *Ocnotherium giganteum*

Uma vértebra caudal (MCL 21334) isolada de *Ocnotherium giganteum* apresenta um crescimento ósseo anômalo localizado na face articular anterior do centro vertebral (Figura 7). O crescimento ósseo possui formato ovalado, de aparência sólida, medindo 3,8 mm anteroposteriormente e 2,9 mm látero-lateralmente.



Figura 9 – Vértebra caudal de *Ocnotherium giganteum* (MCL 21334) com destaque para o crescimento ósseo anômalo. (A) Vista dorsal; e (B) Vista ventral. Escala = 5 cm.

4 DISCUSSÃO

4.1 Diagnósticos individuais

Em virtude da natureza isolada dos espécimes descritos no item 3.4, o diagnóstico preciso, baseado apenas nos caracteres macroscópicos dos espécimes, torna-se bastante duvidoso. Entretanto, é possível apresentar algumas possibilidades plausíveis.

A erosão observada na superfície articular posterior do centro vertebral de um áxis de *Catonyx cuvieri* (MCL 22 381/03; Figura 6) pode ser associado a diferentes processos infecciosos, como osteomielite piogênica, tuberculose, brucelose e osteomielite fúngica, além de metástase óssea de um tumor maligno. A ausência de grande parte do esqueleto pertencente ao espécime lesionado, torna ainda mais complexo o diagnóstico, uma vez que a distribuição das lesões no esqueleto, é uma importante característica diagnóstica (Rothschild & Martin, 2006). O uso de técnicas de radiologia (Chhem & Brothwell, 2008) e recuperação de biomoléculas (ver Rothschild *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2008) podem ser úteis ferramentas na diferenciação das doenças possíveis.

O crescimento ósseo observado na face ventral da vértebra torácica de *Glossotherium* sp. (MCL 4304/15; Figura 7) permanece sem uma explicação apropriada. Entretanto, é clara a natureza anômala da alteração. Serão necessários novos métodos de investigação, como exames radiológicos e/ou histológicos, para melhor compreensão da natureza dessa alteração óssea.

O crescimento ósseo ovalado na superfície articular anterior do centro vertebral da vértebra caudal de *Ocnotherium giganteum* (MCL 21334; Figura 8) é compatível com um tumor ósseo de origem benigna, em virtude da natureza regular/sólida da nova formação óssea (Rana *et al.*, 2009). Entre os possíveis tipos de tumores ósseos benignos que podem estar associados ao crescimento ósseo observado inclui osteoma, osteoma osteoide e osteoblastoma. Tais tumores são caracterizados por serem formadores ósseos produzindo osteoide ou osso maduro (Greenspan, 1993). Para a correta diferenciação de tais tumores é necessário o uso de técnicas radiológicas e histológicas, em virtude da semelhança macroscópica apresentada entre eles (Greenspan, 1993). Portanto, o diagnóstico apresentado aqui, baseado apenas nas características macroscópicas, deve ser limitado.

4.2 Integração das análises

Os três trabalhos apresentados no item 3 (**RESULTADOS**) e detalhados nos anexos A, B e C, além das interpretações realizadas nos espécimes isolados no item 4.1 (**Diagnósticos individuais**), permitiram criar um quadro geral apontando as principais doenças ósseas que acometeram as preguiças fósseis (*Xenarthra*, *Folivora*) do Quaternário da Região Intertropical Brasileira (RIB).

Nove espécies de preguiças fósseis representativas das quatro famílias atualmente conhecidas foram estudadas, sendo *Australonyx aquae* (Megalonychidae) a única espécie em que não foi observado alterações patológicas (ver ANEXO A). Provavelmente, em virtude da quantidade diminuta de ossos conhecida para espécie (61 espécimes), o que limitou profundamente sua análise.

Pelo menos nove tipos distintos de doenças ósseas foram identificadas, as quais estão distribuídas diferentemente entre as oito espécies de preguiças que apresentaram algum tipo de alteração óssea, sendo elas: *Nothrotherium maquinense* (Nothrotheriidae); *Ahytherium aureum* (Megalonychidae); *Valgipes bucklandi*, *Catonyx cuvieri*, *Glossotherium* sp. e *Ocnotherium giganteum* (Mylodontidae); e *Eremotherium laurillardi* (Megatheriidae).

As doenças diagnosticadas foram classificadas como lesões articulares, traumática, infecciosas e tumorais. As lesões articulares são espondiloartropatia, doença de deposição de pirofosfato de cálcio (DDPC), osteoartrite, nódulo de Schmorl, espondilose deformante e osteocondrite dissecante (ver ANEXO A). Entre as infecções, foi possível diagnosticar apenas infecção inespecífica (ver ANEXO A) e infecção granulomatosa, provavelmente brucelose (ver ANEXO C). Apenas um caso de trauma ósseo (fratura) foi identificado em uma vértebra de *N. maquinense* (ver ANEXO A). E, por fim, foi identificado uma lesão tumoral óssea benigna em uma vértebra caudal de *O. giganteum*, cuja atribuição precisa não pode ser alcançada, devido à natureza inespecífica das características morfológicas, sendo possivelmente osteoma, osteoide osteoma ou osteoblastoma (ver Quadro 2 para distribuição das doenças por espécie).

Quadro 2 – Distribuição das doenças ósseas por espécie de preguiça fóssil da Região Intertropical Brasileira.

Espécie	Doença
<i>Nothrotherium maquinense</i>	Espondiloartropatia
	Nódulo de Schmorl
	Fratura óssea
	Infecção inespecífica
<i>Ahytherium aureum</i>	Osteocondrite dissecante
<i>Australonyx aquae</i>	Ausente
<i>Valgipes bucklandi</i>	DDPC
	Espondilose deformante
	Infecção granulomatosa
<i>Catonyx cuvieri</i>	Espondiloartropatia
	DDPC
	Osteoatrite
<i>Myloodonopsis ibseni</i>	Espondiloartropatia
<i>Glossotherium</i> sp.	Espondiloartropatia
	DDPC
	Osteoatrite
	Nódulo de Schmorl
<i>Ocnotherium giganteum</i>	Espondiloartropatia
	DDPC
	Osteoatrite
	Espondilose deformante
	Nódulo de Schmorl
	Osteocondrite dissecante
	Tumor ósseo benigno
<i>Eremotherium laurillardi</i>	Espondiloartropatia
	DDPC
	Osteocondrite dissecante
	Nódulo de Schmorl
	Espondilose deformante
	Infecção granulomatosa

Ocnotherium giganteum foi a espécie que apresentou o maior número de lesões identificadas (7), apesar do pequeno número de ossos estudados (307). Espondiloartropatia e DDPC foram as doenças mais comumente diagnósticas, sendo encontrada em cinco das oito espécies com alterações ósseas (ver Quadro 2). O grande número de casos de espondiloartropatia não é surpreendente, pois essa doença tem sido frequentemente diagnóstica em diversas

espécies fósseis de diferentes idades (Cisneros *et al.*, 2010; Barbosa *et al.*, 2014b; 2017; Barbosa & Luna, 2014). Já DDPC parece ser tão frequente quanto espondiloartropatia, pelo menos entre os Folivora aqui apresentados e entre os gliptodontes (ver Barbosa *et al.*, 2014b, Barbosa & Luna, 2014). Lesão tumoral foi restrita a uma vértebra caudal de *Ocnotherium giganteum*, demonstrando sua raridade no registro fossilífero. Vale salientar que esse é o primeiro caso de lesão tumoral na fauna quaternária da América do Sul.

Essa é, sem dúvida, a maior análise paleopatológica já realizada em animais fósseis da América do Sul. As descrições aqui apresentadas, apesar de limitadas no método de análise adotado (observações estritamente semiológicas), permitiu documentar um conjunto amplo de diagnósticos precisos, com etiologias completamente distintas. Assim, esse trabalho abre uma importante janela para estudos paleobiológicos de um dos grupos de animais fósseis mais frequentemente encontrados nos depósitos fossilíferos do Quaternário sul-americano. Por que determinadas doenças acometeram uma espécie e não outra? Há diferença entre as doenças diagnosticadas nos animais de maior e menor porte? Que ossos são mais frequentemente afetados? E por quê? Essas são algumas das principais perguntas que surgem após a apresentação desse extenso registro de lesões ósseas.

REFERÊNCIAS

- Alves, R.S., Barreto, A.M.F., Borges, L.E.P. & Farias, C.C. 2007. Aspectos tafonômicos de mamíferos pleistocênicos de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. *Estudos Geológicos* 17(2): 114-122.
- Amson, E., Argot, C., McDonald, H.G., & de Muizon, C. 2015. Osteology and functional morphology of the axial poscranium of the marine sloth *Thalassocnus* (Mammalia, Tardigrada) with paleobiological implications. *Journal of Mammalian Evolution* 22: 413-518.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O., Ximenes, C.L., & Bergqvist, L.P. 2013. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: a study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 378: 52-74.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O. & Bergqvist, L.P. 2017. Origin of bonebeds in Quaternary tanks deposits. *Journal of South American Earth Science* 76: 257-263.
- Arye, E. & Doherty, M. 1989. Cristal associated rheumatic disease: Current management considerations. *Drugs* 66: 566-576.
- Aufderheide, A. C. & Rodríguez-Martín, C. 1998. *Human Paleopathology*. Cambridge, Cambridge University Press. 478 p.
- Auler, A.S., Smart, P.L., Wang, X., Cristalli, P.S. & Edwards, R.L. 2003. O calcário Caatinga e os Carbonatos secundários Superficiais do Norte da Bahia: Geocronologia e Significado Paleoambiental. In: Anais IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.
- Barbosa, F.H.S., Oliveira, P.V. & Oliveira, E.V. 2012. Fratura *ante-mortem* em vértebras de *Eremotherium laurillardi*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA- NÚCLEO RIO DE JANEIRO/ESPÍRITO SANTO. Rio de Janeiro.
- Barbosa, F.H.S., Araújo-Júnior, H.I. & Oliveira, E.V. 2014a. Neck osteoarthritis in *Eremotherium laurillardi* (Lund, 1842; Mammalia, Xenarthra) from the Late Pleistocene of Brazil. *International Journal of Paleopathology* 6: 60-63.
- Barbosa, F.H.S., Porpino, K.O., Fragoso, A.B., and Oliveira, E.V. 2014b. Arthritis in a glyptodont (Mammalia, Xenarthra, Cingulata). *PLOS One* 9: e88646.

- Barbosa, F.H.S., & Luna, C. 2014. Lesiones en la coraza y endoesqueleto de un ejemplar de *Panochthus* Burmeister, 1866 (Mammalia, Glyptodontia) de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Revista del Museo Provincial de Ciências Naturales “Dr. Arturo Umberto Illia”* 1: 9-26.
- Barbosa, F.H.S., Pereira, P.V.L.G., Bergqvist, L.P., & Rothschild, B.M. 2016. Multiple neoplasms in a single sauropod dinosaur from the Upper Cretaceous of Brazil. *Cretaceous Research* 62: 13-17.
- Barbosa, F.H. S., Porpino, K.O., Bergqvist, L.P., & Rothschild, B.M. 2017. Elucidating Bone Diseases in Brazilian Pleistocene Sloths (Xenarthra, Pilosa, Folivora): First Cases Reported for the Nothrotheriidae and Megalonychidae Families. *Ameghiniana* 54(3): 331-340.
- Bargo, M.S. & Vizcaíno, S.F. 2008. Paleobiology of Pleistocene ground sloths (Xenarthra, Tardigrada): biomechanics, morphogeometry and ecomorphology applied to the masticatory apparatus. *Ameghiniana* 45(1): 175-196.
- Barten, S.L. 1996. Shell damage. In: Mader, D.R. (ed.), *Reptile Medicine and Surgery*, Saunders, Philadelphia, p. 413-417.
- Behrensmeyer, A.K. & Kidwell, S.M. 1985. Taphonomy's contributions to Paleobiology. *Paleobiology*, 11: 105-119.
- Berenbaum, F. 2013. Osteoarthritis is an inflammatory disease (osteoarthritis is not ostearthrosis!). *Osteoarthritis Cartilage* 21: 16-21.
- Bergqvist, L. P., Abrantes, E. A., & Avilla, L.S. 2004. The Xenarthra (Mammalia) of São José de Itaboraí Basin (Upper Paleocene, Itaboraian), Rio de Janeiro, Brazil. *Geodiversitas*, 26(2): 323-337.
- Braunn, P.R., & Ferigolo, J. 2004. Osteopatologias e alterações dentárias em *Otaria byronia* (Pinnipedia, Otarridae) da costa do Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Sér. Zool.*, Porto Alegre. 94 (2): 117-122.
- Braunn, P.R., Ribeiro, A.M. & Ferigolo, J. 2014. Microstructural defects and enamel hypoplasia in teeth of *Toxodon* Owen, 1837 from the Pleistocene of Southern Brazil. *Lethaia* 47: 418-431.

- Brown, C., Balise, M., Shaw, C.A., Valkenburgh, B. V. 2017. Skeletal trauma reflects hunting behavior in extinct sabre-tooth cats and dire wolves. *Nature Ecology & Evolution* 1(131): 1-7.
- Bushong, S.C. 2004. *Radiologic Science for Technologists*, 8th edition. Elsevier Mosby, St. Louis.
- Cabral, U.G. & Henriques, D.D.R. 2007. Estudo de caso anátomo-patológico e tafonômico de material pertencente ao gênero *Lestodon* Gervais, 1855, coletado no Estado de São Paulo e depositado na coleção do Museu Nacional/UFRJ. In: III JORNADA FLUMINENSE DE PALEONTOLOGIA. Rio de Janeiro, Resumos, Anuário do Instituto de Geociências, v. 1, p. 252.
- Cartelle, C. 1991. Um novo Mylodontinae (Edentata, Xenarthra) do Pleistoceno Final da Região Intertropical. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 63(2): 161-170.
- Cartelle, C. 1992. Os Edentata e megamamíferos herbívoros extintos da Toca dos Ossos (Ourolândia, BA, Brasil). Programa de Pós-graduação em Morfologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Tese de Doutorado, 700 p.
- Cartelle, C. 1999. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: Eisenberg, J.B. & Redford, K.H. (eds.) *Mammals of the Neotropics: The Central Tropics*. University of Chicago Press, p. 27-46.
- Cartelle, C., 2000. Preguiças terrícolas, essas desconhecidas. *Ciência Hoje* 27: 18–25
- Cartelle, C., De Iullis, G. & Pujos, F. 2014. *Eremotherium laurillardi* (Lund, 1842) (Mammalia, Megatheriinae) is the only valid megatheriinae sloth species in the Pleistocene of intertropical Brazil: A response to Faure et al., 2014. *Comptes Rendus Palevol* 14: 15-23.
- Cartelle, C. & Fonseca, J.S. 1983. Contribuição ao melhor conhecimento da pequena preguiça terrícola *Nothrotherium maquinense* (Lund) Lydekker, 1889. *Revista Lundiana* 2: 127-181.
- Cartelle, C. & Bohórquez, G.A. 1986. Descrição das pré-maxilas de *Nothrotherium maquinense* (Lund) Lydekker, 1889 (Edentata, Megalonychidae) e de *Eremotherium laurillardi* (Lund) Cartelle & Bohórquez, 1982 (Edentata, Megatheriidae). *Iheringia* 11: 9-14.
- Cartelle, C. & De Iullis, G. 1995. *Eremotherium laurillardi*: The Panamerican Late Pleistocene megatheriid sloth. *Journal of Vertebrate Paleontology* 15(4): 830-841.

- Cartelle, C., De Iullis, G., & Pujos, F. 2008. A new species of Megalonychidae (Mammalia, Xenarthra) from the Quaternary of Poço Azul (Bahia, Brazil). *Comptes Rendus Palevol* 7: 335-346.
- Chhem, R.K. & Brothwell, D.R. *Paleoradiology: Imaging mummies and fossils*. Berlin. Springer, 178 p.
- Cisneros, J.C., Cabral, U.G., De Beer, F., Damiani, R., & Fortier, D.C. 2010. Spondylarthritis in the Triassic. *PloS one* 5(10): e13425.
- Colmegna, I., Cuchacovich, R., & Luis R. Espinoza, L.R. 2004. HLA-B27-Associated Reactive Arthritis: Pathogenetic and Clinical Considerations. *Clinical Microbiology Reviews* 17(2): 348-369.
- Cruz, M.P., Henriques, D.D.R., & Cabral, U.G. 2008. Documentation of pathological vertebrae in the Pleistocene giant sloth *Eremotherium laurillardii* from the state of Pernambuco, Brazil. In: 68th ANNUAL MEETING OF THE SOCIETY OF VERTEBRATE PALEONTOLOGY, 28, 2008. Abstracts Book of 68th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, Cleveland.
- De Iullis, G., Pujos, F., & Cartelle, C. 2009. A new ground sloth (Mammalia: Xenarthra) from Quaternary of Brazil. *Comptes Rendus Palevol* 8: 105-115.
- Donoghue, H. D., Marcsik, A., Matheson, C., Vernon, K., Nuorala, E., Joseph E. Molto, J.E., Charles L. Greenblatt, C.L. & Mark Spigelman, M. 2005. Co-infection of *Mycobacterium tuberculosis* and *Mycobacterium leprae* in human archaeological samples: a possible explanation for the historical decline of leprosy. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Science* 272 389-394.
- Donovan, S.K. 2002. Fossils explained, N° 41: Taphonomy. *Geology Today*, 18(6): 226-231.
- Engelmann, G. 1985. The phylogeny of the Xenarthra. In: Montgomery G.G. (ed.) *The ecology and evolution of armadillos, sloths, and vermilinguas*. Smithsonian Institution Press, Washington, p. 51-64.
- Gaudin, T.J. 2003. Phylogeny of the Xenarthra (Mammalia). In: Fariña, R.A., Vizcaíno, S.F. & Storch, G. (eds.) *Morphological studies in fossil and extant Xenarthra (Mammalia)*. Senckenbergiana Biologica, Frankfurt, Germany 83:1–101.

- Gaudin, T.J. 2004. Phylogenetic relationships among sloths (Mammalia, Xenarthra, Tardigrada): craniodental evidence. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 140: 255 - 305.
- Gaudin, T.J. & Croft, D.A. 2015. Paleogene Xenarthra and the evolution of South American mammals. *Journal of Mammalogy* 96(4): 622-634.
- Greenspan, A. 1993. Benign bone-forming lesions: osteoma, osteoid osteoma, and osteblastoma. *Skeletal radiology*, 22(7): 485-500.
- Fariña, R.A., Vizcaíno, S.F. & Bargo, M.S. 1998. Body mass estimation in Lujanian (Late Pleistocene – early Holocene of South America) mammal megafauna. *Mastozoología Tropical* 5(2): 87-108.
- Faria, J.L. 2003. *Patologia Geral: Fundamentos das doenças, com aplicações clínicas*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 298 p.
- Ferigolo, J. 1985. Paleopatologias em preguiças terrícolas – Artrose. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, Coletânea de Trabalhos paleontológicos, sér. Geologia. DNPM. Rio de Janeiro. pp. 43-49.
- Ferigolo, J. 1999. Late Pleistocene South American land-mammal extinction: the infection hypothesis. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 279-310.
- Ferigolo, J. 2007. Paleopatologia em Mamíferos. In: Carvalho, I.S. & Fernandes, A.C.S. (eds.), *Icnologia*. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, p. 88-107.
- Figueirôa I. & Silva Filho M.A. 1990. Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil. Carta geológica, carta metalogenética, Escala 1:100 000 Folha SC.24-V-C-III, Petrolina, Estados de Pernambuco e Bahia. DNPM/CPRM, 108 p.
- Fragoso, D.G.C., Reis, H.L.S. & Kuchenbecker, M. 2008. *Mapeamento Geológico da região de Irecê-Lapão (BA): Registros de uma rampa carbonática neoproterozóica*. Universidade Federal de Minas Gerais, Trabalho de Graduação, 109 p.
- Frye, F.L., & Dutra, F.R. 1976. Articular pseudogout in a turtle (*Chrysemys s. elegans*). *Veterinary Medicine Small Animal Clinician* 71: 655-659.
- Frye, F.L. 1991. Common pathologic lesions & disease processes. In: Frye, F.L. (ed.), *Biomedical and surgery aspects of captive reptile husbandry*, Krieger Publishing Co., Malabar, 2nd enlarged ed., pp. 530-617.

- Klaus, H.D., Wilbur, A.K., Temple, D.H., Buikstra, J.E., Stone, A.C., Fernandez, M., Wester, C., Tam, M.E. 2010. Tuberculosis on the north coast of Peru: skeletal and molecular paleopathology of late pre-Hispanic and post-contact mycobacterial disease. *Journal of Archaeological Science* 37: 2587-2597.
- Lee O.Y-C, Wu, H.H.T., Donoghue H.D., Spigelmal, M., Greenblatt C.L., Bull, I.D., Rothschild, B.M., Martin, L.D., Minnikin, D.E. & Besra, G.S. 2012. *Mycobacterium tuberculosis* Complex Lipid Virulence Factors Preserved in the 17,000-Year-Old Skeleton of an Extinct Bison, *Bison antiquus*. *Plos One* 7(7): e41923.
- López del Castillo, C. 1998. Metabolic diseases: Gout and articular pseudogout. *Reptilia* 3: 13-16.
- Lyman, R.L. 1994. *Vertebrate taphonomy*. Cambridge, Cambridge University Press, 552 p.
- Markel, S.F., & Hart, W.R. 1982. Arthropathy in calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease. *Archives Pathology* 106: 529-533.
- Martinelli, A.G., Teixeira, V.P.A., Marinho, T.M., Fonseca, P.H.M., Cavellani, C.L, Araújo, A.J.G., Ribeiro, L.C.B. & Ferraz, L.F.M. 2015. Fused mid-caudal vertebrae in the titanosaur *Uberabatitan ribeiroi* from the Late Cretaceous of Brazil and other bone lesions. *Lethaia* 48: 456-462.
- Mello, M.G.S. 1999. *Sistematização de critérios para diagnóstico diferencial entre paleopatologias e sinais de alterações análogas: Fundamentos teórico-metodológicos*. Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado, 211p.
- Melo, D.J., Henriques, D.D.R., & Carvalho C.R. 2007. Ocorrência de defeitos de esmalte em materiais de *Toxodon* na coleção do Museu Nacional/UFRJ, uma perspectiva paleoepidemiológica. In: Carvalho, I.S. (ed.), *Paleontologia: Cenário da Vida*. Editora Interciência. Rio de Janeiro. pp. 745-756.
- McDonald, H.G. & De Iuliis, G. 2008. Fossil history of sloths. In: Vizcaíno, S.F. & Loughry, W.J. (eds.), *The Biology of the Xenarthra*. Gainesville, University Press of Florida, pp. 39-55.

- McEwen, C., DiTata, D., & Lingg, J. 1971. Ankylosing spondylitis and spondylitis accompanying ulcerative colitis, regional enteritis, psoriasis, and Reiter's disease: A comparative study. *Arthritis Rheumatology* 14: 291-318.
- McKenna, M.C. 1985. Edentates. In: Montgomery, G.C. (ed.), *The evolution and ecology of armadillos, sloths and vermilliguas*. Science, 233, pp. 1102-1103.
- McKenna, M.C. & Bell S.K. 1997. *Classification of mammals above the species level*. New York: Columbia University Press.
- Müller, C. I. S.; D'Ippolito, G. & Rocha, A. J. 2014. Série Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem: *Musculoesquelético*. São Paulo, Elsevier,
- Ortner, D. J. 2003. *Identification of pathological conditions in human skeletal remains*. San Diego, Academic Press, 642 p.
- Ortner, D.J. 2003a. Methods used in the analyses of skeletal lesions. In: Ortner, D.J. (ed.), *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Academic Press, San Diego, pp. 45-64.
- Ortner, D.J., 2003b. Background data in Paleopathology. In: Ortner, D.J. (ed.), *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Academic Press, San Diego, pp. 37-44.
- Paula-Couto, C. 1979. *Tratado de paleomastozoologia*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 590 p.
- Penha, A.E.P.P. 1994. *O Calcário Caatinga de Ouriolândia, Bahia: Feições Diagnósticas, Gênese e Evolução de um Perfil Calcrete*. Universidade Federal da Bahia, Tese de Mestrado.
- Pfeiffer, S. 1988. Is paleopathology a relevant predictor of contemporary health patterns? In: Ortner, D.J. & Aufderheide, A.C. (eds.), *Human Paleopathology: Current Synthesis and Future Options*. Smithsonian Institution Press, Washington and London, pp. 12-17.
- Prevosti, F.J., & Vizcaíno, S.F. 2006. Paleoecology of the large carnivore guild from the late Pleistocene of Argentina. *Acta Palaeontologica Polonica* 51: 407-422.
- Rana, R.S., Wu, J.S., & Eisenberg, R.L. 2009. Periosteal reaction. *American Journal of Roentgenology*. 193(4): W259-W272.
- Resnick, D. 2002. *Diagnosis of bone and joint disorders*. Philadelphia, Saunders.

- Resnick, D., Shapiro, R.F., & Wiesner, K.B. 1978. Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH) (ankylosing hyperostosis of Forestier and Rotes-Querol). *Seminars Arthritis Rheumatism* 7:153-187.
- Rothschild, B.M. 1982. Rheumatology: A Primary Care Approach. York Medical Press, New York.
- Rothschild, B.M. 1987. Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis as reflected in the paleontologic record: Dinosaurs and early mammals. *Seminars Arthritis Rheumatism* 17: 119-125.
- Rothschild, B.M. 1990. Radiologic assessment of osteoarthritis in dinosaurs. *Annals of Carnegie Museum*. 59: 295-301.
- Rothschild, B.M. & Bruno, M.A. 2009. Calcium pyrophosphate deposition disease. *eMedicine Radiology*. <http://www.emedicine.com/radioTOPIC125.HTM>
- Rothschild, B.M. & Martin, L.D. 2006. *Skeletal impact of disease: Bulletin 33*. New Mexico Museum of Natural History and Science.
- Rothschild, B.M. & Woods, R.J. 1992. Osteoarthritis, calcium pyrophosphate deposition disease and osseous infection in Old World primates. *American Journal of Physical Anthropology* 87: 341-347.
- Rothschild, B.M. & Woods, R.J. 1993. Arthritis in new world monkeys: osteoarthritis, calcium pyrophosphate deposition disease, and spondyloarthropathy. *International Journal of Primatology* 14 (1): 61-78.
- Rothschild, B.M., Martin, L.D., Lev. G., Bercovier, H. & Bar-Gal, G.K., Greenblatt, C., Donoghue, H., Spigelman, M. & Brittain, D. 2001. *Mycobacterium tuberculosis*-complex DNA from an extinct bison dated 17,000 years. *Clinical Infectious Diseases*, 33(3): 305-311.
- Rothschild B. M. & Martin, L. D. 2006. Skeletal impact of disease. Albuquerque, New Mexico Museum of Natural History & Science, Division of the Department of cultural affairs, 226 p. (Bulletin 33).
- Rothschild, B.M., Woods, R.J., & Rothschild, C. 1992. Calcium pyrophosphate deposition disease: description in defleshed skeletons. *Clinical Experimental Rheumatology* 10: 557-564.

- Rothschild, B.M., Rothschild, C., & Woods, R.J. 1998. Inflammatory Arthritis in Large Cats: An Expanded Spectrum of Spondyloarthropathy. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 29 (3): 279-284.
- Ruffer, S.A.M. 1914. Studies in Palæopathology in Egypt. *The Journal of Pathology and Bacteriology* 18: 149 p.
- Salo, W.L., Aufderheide, A.C., Buikstra, J., & Holcomb, T.A. 1994. Identification of *Mycobacterium tuberculosis* DNA in a pre-Columbian Peruvian mummy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91(6): 2091-2094.
- Santos C.A. & Silva Filho M.A. 1990. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Riacho do Caboclo. Folha SC.24-V-A-VI, Estados de Pernambuco e Bahia*. Secretaria Nacional de Minas e Metalurgia, Texto e Mapas, p. 113.
- Schinz, H.R., Baensch, W.E. & Uehlinger, E. 1951 – 1952. Roentgen diagnostic: Skeleton, vol. 1 and 2 (J. Case, trans.), New York: Grune and Stratton.
- Schultz, M. 2003. Light macroscopic analysis in skeletal paleopathology. In: Ortner, D.J. (ed.), *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Academic Press, San Diego, pp. 73-107.
- Scillato-Yané, G.J. 1986. Los Xenarthra fósiles de Argentina (Mammalia, Edentata). In: *Actas del IV Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*. Vol. 2, pp. 151-155.
- Scillato-Yané, G.J. & Pascual, R. 1985. Un peculiar Xenarthra del Paleoceno medio de Patagonia (Argentina). Su importancia en la sistemática de los Paratheria." *Ameghiniana* 21(2-4): 173-176.
- Souza, S.L., Brito, P.C.R. & Silva, R.W.S. 1993. *Estratigrafia, Sedimentologia e Recursos Minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia*. Série Arquivos Abertos 2, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), Salvador.
- Suguio, K.; Barcelos, J.H.; Matsui, E. 1980. Significados paleoclimáticos e paleoambientais das rochas calcárias da Formação Caatinga (BA) e do Grupo Bauru (MG/SP). In: *Anais XXXI Congresso Brasileiro de Geologia*, 1, pp. 607-617.
- Vieira, L.C., Almeida, R.P., Trindade, R.I., Nogueira, A.C. & Janikian, L. 2007. A Formação Sete Lagoas em sua área-tipo: fácies, estratigrafia e sistemas deposicionais. *Revista Brasileira de Geociências* 37(4 suppl): 168-181.

- Vizcaíno, S.F. 1995. Identificación específica de las mulitas, genero *Dasypus* L. (Mammalia, Dasypodiade), del noroeste Argentino. Descripción de una nueva especie. *Mastozoología Tropical* 2(1): 94-106.
- Vizcaíno, S.F. & Loughry, W.F. 2008. *The biology of the Xenarthra*. University Press of Florida, p. 640.
- Thomas, O. 1887. On the homologies and sucession of the teeth in the Dasypodidae, with the attempt to trace the history of the evolution of mammalian teeth in general. *Phylosophical Transactions of the Royal Society of London* 443-462.
- Waldron, T. 2009. *Palaeopathology*. New York, Cambridge University Press.
- Wetzel, R. 1985. The identification and distribution of recent Xenarthra (= Edentata). In: Montgomery, G.G. (ed.) *The ecology and evolution of armadillos, sloths, and vermilinguas*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, pp. 5–21.

ANEXO A

Elucidating the bones diseases in the Brazilian Pleistocene sloths (Xenarthra, Pilosa, Folivora): The first cases of the families Nothrotheriidae and Megalonychidae

Fernando Henrique de Souza Barbosa

Kleberson de Oliveira Porpino

Lílian Paglarelli Bergqvist

Bruce M. Rothschild

(Manuscrito publicado no periódico científico Ameghiniana; doi:
10.5710/AMGH.30.11.2016.3032)

Elucidating Bone Diseases in Brazilian Pleistocene Sloths (*Xenarthra*, *Pilosa*, *Folivora*): First Cases Reported for the *Nothrotheriidae* and *Megalonychidae* Families

Author(s): Fernando H. De S. Barbosa, Kleberson De O. Porpino, Lilian P. Bergqvist and Bruce M. Rothschild

Source: *Ameghiniana*, 54(3):331-340.

Published By: Asociación Paleontológica Argentina

<https://doi.org/10.5710/AMGH.30.11.2016.3032>

URL: <http://www.bioone.org/doi/full/10.5710/AMGH.30.11.2016.3032>

BioOne (www.bioone.org) is a nonprofit, online aggregation of core research in the biological, ecological, and environmental sciences. BioOne provides a sustainable online platform for over 170 journals and books published by nonprofit societies, associations, museums, institutions, and presses.

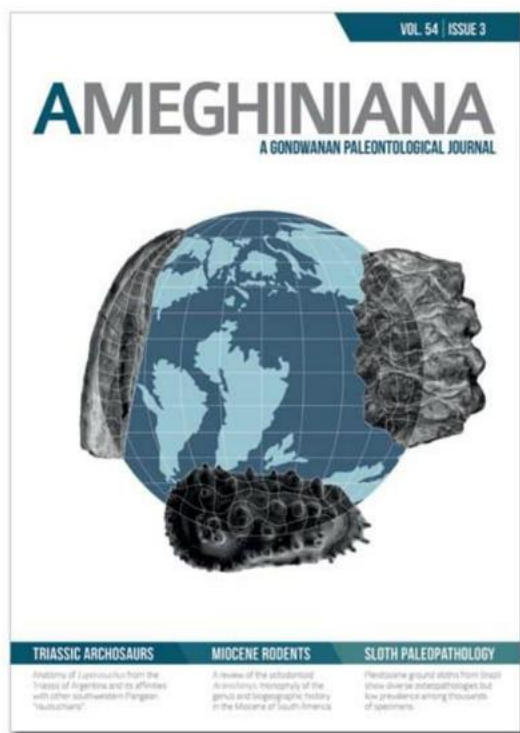
Your use of this PDF, the BioOne Web site, and all posted and associated content indicates your acceptance of BioOne's Terms of Use, available at www.bioone.org/page/terms_of_use.

Usage of BioOne content is strictly limited to personal, educational, and non-commercial use. Commercial inquiries or rights and permissions requests should be directed to the individual publisher as copyright holder.



AMEGHINIANA

A GONDWANAN PALEONTOLOGICAL JOURNAL



ELUCIDATING BONE DISEASES IN BRAZILIAN PLEISTOCENE SLOTHS (XENARTHRA, PILOSA, FOLIVORA): FIRST CASES REPORTED FOR THE NOTHROTHERIIDAE AND MEGALONYCHIDAE FAMILIES

FERNANDO H. DE S. BARBOSA¹

KLEBERSON DE O. PORPINO²

LILIAN P. BERGQVIST¹

BRUCE M. ROTHSCHILD³

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Av. Athos da Silva Ramos, 274, Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

²Departamento de Ciências Biológicas, Laboratório de Sistemática e Ecologia Animal, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Av. Professor Antônio Campos, S/N, Costa e Silva, Mossoró, RN, Brazil.

³Carnegie Museum of Natural History, 4400 Forbes Ave, Pittsburgh Pennsylvania 44272, USA.

Submitted: June 28th, 2016 - Accepted: November 30th, 2016

To cite this article: Fernando H. De S. Barbosa, Kleberston De O. Porpino, Lilian P. Bergqvist, and Bruce M. Rothschild (2017). Elucidating bone diseases in Brazilian Pleistocene sloths (Xenarthra, Pilosa, Folivora): first cases reported for the Nothrotheriidae and Megalonychidae families. *Ameghiniana* 54: 331–340.

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.5710/AMGH.30.11.2016.3032>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Also appearing in this issue:

TRIASSIC ARCHOSAURS

Anatomy of *Luperosuchus* from the Triassic of Argentina and its affinities with other southwestern Pangean "rauisuchians".

MIOCENE RODENTS

A review of the octodontoid *Acarechimys*: monophyly of the genus and biogeographic history in the Miocene of South America.

SLOTH PALEOPATHOLOGY

Pleistocene ground sloths from Brazil show diverse osteopathologies but low prevalence among thousands of specimens.

ELUCIDATING BONE DISEASES IN BRAZILIAN PLEISTOCENE SLOTHS (XENARTHRA, PILOSA, FOLIVORA): FIRST CASES REPORTED FOR THE NOTHROTHERIIDAE AND MEGALONYCHIDAE FAMILIES

FERNANDO H. DE S. BARBOSA¹, KLEBERSON DE O. PORPINO², LILIAN P. BERGQVIST¹, AND BRUCE M. ROTHSCHILD³

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Av. Athos da Silva Ramos, 274, Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. fhsbarbosa@gmail.com; bergqvist@geologia.ufrj.br

²Departamento de Ciências Biológicas, Laboratório de Sistemática e Ecologia Animal, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Av. Professor Antônio Campos, S/N, Costa e Silva, Mossoró, RN, Brazil. kleporgino@yahoo.com.br

³Carnegie Museum of Natural History, 4400 Forbes Ave, Pittsburgh Pennsylvania 44272, USA. spondylair@gmail.com

Abstract. *Nothrotherium maquinense*, *Ahytherium aureum* and *Australonyx aquae* are ground sloths endemic of the late Pleistocene of the Brazilian Intertropical Region for which, as opposed to other xenarthrans such as megatheriid sloths and glyptodonts, no information regarding pathological conditions is available. Herein, we describe, based on an anatomopathological examination, four types of lesions for *N. maquinense* (spondyloarthropathy, Schmorl's node, vertebral trauma and unspecific infection) and one lesion for *A. aureum* (osteochondritis dissecans). No lesions were observed in *A. aquae*. Although several different diseases have been diagnosed, considering the significant number of specimens (2,232) and individuals (41) analyzed, low prevalence marks them all.

Key words. Sloths. Late Pleistocene. Brazilian Intertropical Region. Diseases.

Resumen. ELUCIDANDO LAS ENFERMEDADES ÓSEAS DE LOS PEREZOSOS PLEISTOCÉNICOS BRASILEÑOS: LOS PRIMEROS CASOS REGISTRADOS EN LA FAMILIAS NOTHROTHERIIDAE Y MEGALONYCHIDAE. *Nothrotherium maquinense*, *Ahytherium aureum* y *Australonyx aquae* son perezosos endémicos del Pleistoceno tardío de La Región Intertropical Brasileña para los cuales no hay información acerca de las condiciones patológicas, en contraste con otros xenartros, tales como los perezosos megatérideos y gliptodontes. Aquí se describen cuatro tipos de lesiones en *N. maquinense* (espondiloartropatía, nódulo de Schmorl, traumatismo de la médula e infección no específica) y una lesión en *A. aureum* (ostecondritis disecante) sobre la base de un examen patológico. Ninguna lesión se halló en *A. aquae*. Aunque muchas enfermedades diferentes han sido diagnosticadas, muestran un baja predominio, teniendo en cuenta el gran número de especímenes (2.232) e individuos (41) analizados.

Palabras clave. Perezosos. Pleistoceno tardío. Región Intertropical Brasileña. Enfermedades.

PALEOPATHOLOGY is the science that studies diseases in organisms of the past (Ruffer, 1914). Paleontological literature reveals there is a growing interest in paleopathology and the descriptions of diseases in a variety of organisms throughout geological time (e.g., Moodie, 1917; Rothschild *et al.*, 2003; Cabral *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2014a, b; Bishop *et al.*, 2015; Martinelli *et al.*, 2015; Senter and Juengst, 2016; Stilson *et al.*, 2016). Paleopathology can prove useful for answering questions such as locomotor habit, diet, general behavior and nutritional disorders, all of which are of interest for paleobiology students while also providing important information about environmental changes and contributing

to taphonomic and systematic studies (Ferigolo, 2007).

Notwithstanding its importance, paleopathology is still an underexplored field in South American paleontology. However, this scenario is slowly changing with regard to the superorder Xenarthra –one of the most distinctive faunal taxa of the South American Cenozoic– and, especially, concerning Pleistocene large cingulates (e.g., Henriques *et al.*, 1998; Aramayo, 2006; Barbosa and Luna, 2014; Barbosa *et al.*, 2014a) and giant ground sloths (e.g., Ferigolo, 1985; Barbosa *et al.*, 2014b). Nevertheless, knowledge of the types of diseases that affected these extinct animals remains scarce as few taxa from the rich and diverse fossil record of South

America have been previously assessed for pathology.

Among the Brazilian late Pleistocene sloths, two families prove notable due to the small number of representative species in each: the family *Nothrotheriidae* -represented only by *Nothrotherium maquinense* (Lund) Lydekker, 1889, the smallest ground sloth of the Pleistocene of Brazil (Cartelle and Bohórquez, 1986) - and the family *Megalonychidae* - represented only by two species: *Ahytherium aureum* Cartelle, De Iuliis and Pujos, 2008 and *Australonyx aquae* De Iuliis, Pujos and Cartelle, 2009. Even though the discovery and description of almost complete skeletons the morphology of these species, pathology has not been described for these extinct animals thus far. Herein, we perform the first paleopathological examination of species of the families *Nothrotheriidae* (*Nothrotherium maquinense*) and *Megalonychidae* (*Ahytherium aureum* and *Australonyx aquae*) from the late Pleistocene of Brazil.

MATERIALS AND METHODS

The analyzed material is housed in the paleontological collection of the Museu de Ciências Naturais of the Pontifícia Universidade Católica of Minas Gerais (PUC-MG), Belo Horizonte city, Minas Gerais State, Brazil. The material

includes 1,810 cranial and postcranial remains of specimens assigned to *Nothrotherium maquinense* and 422 specimens of megalonychids, of which 61 specimens are assigned to *Australonyx aquae* and 361 to *Ahytherium aureum* (detailed in Tab. 1). These species are rare in the Brazilian fossil record. The materials hereby examined represent the most complete sample available for study.

All specimens of *N. maquinense* were recovered from three limestone caves in Bahia State, Brazil: Poço Azul (12° 46' 49.71" S; 41° 09' 02.72" W; 630 specimens), Gruta dos Brejões (11° 00' 42.7" S; 41° 25' 59.6" W; 570 specimens) and Toca da Boa Vista (10° 09' 45" S, 40° 51' 35" W; 610 specimens). Megalonychid specimens were present only in the Poço Azul cave (Fig. 1). The aforementioned caves were formed in carbonate rocks belonging to the Salitre Formation, Una Group, Irecê Basin (Auler and Smart, 2002; Berbert-Born and Karmann, 2002).

The Minimum Number of Individuals (MNI) for each sample was calculated following the method proposed by Lyman (1994) in order to verify the distribution of diseases per ontogenetic age (see Tab. 2). Four ontogenetic stages were adopted for this study: adult, young, neonate and fetus. Criteria for specific age groups are: epiphyseal plates

TABLE 1 – Number of specimens by species and ontogenetic age.

Site	Ontogenetic Age	<i>Nothrotherium maquinense</i>	<i>Ahytherium aureum</i>	<i>Australonyx aquae</i>
Gruta dos Brejões	Adult	552	0	0
	Young	18	0	0
	Neonate	0	0	0
	Fetus	0	0	0
Toca da Boa Vista	Adult	256	0	0
	Young	100	0	0
	Neonate	0	0	0
	Fetus	0	0	0
Poço Azul	Adult	470	207	48
	Young	158	153	13
	Neonate	2	0	0
	Fetus	0	0	0



Figure 1. Location map indicating the sites from where the remains here studied were recovered. Numbers: **1**, Toca da Boa Vista cave; **2**, Gruta dos Brejões cave; **3**, Poço Azul cave.

of long bones completely ossified (adult); non-ossified epiphyseal plates (young); non-ossified epiphyseal plates and length of long bones much more reduced than in young individuals (neonate); and long bones small and epiphyses not yet formed (fetus).

A macroscopic examination of each specimen was carried out and the descriptions and diagnoses of each lesion hereby reported were performed on the basis of classic works drawn from the medical and paleopathological literature (Resnick, 2002; Rothschild and Martin, 2006). The measurement areas of the lesions described below were obtained using the open source ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>).

Institutional abbreviations. MCL, Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil; PUC-MG, Pontifícia Universidade Católica of Minas Gerais, Brazil.

TABLE 2 – Minimal number of individual calculated for ontogenetic age.

Site	Ontogenetic Age	MNI ¹	MNI pathological ¹	MNI ²	MNI pathological ²	MNI ³	MNI pathological ³
Gruta dos Brejões	Adult	6	0	0	0	0	0
	Young	0	0	0	0	0	0
	Very Young	0	0	0	0	0	0
	Neonate	0	0	0	0	0	0
	Fetus	0	0	0	0	0	0
Toca da Boa Vista	Adult	3	1	0	0	0	0
	Young	1	0	0	0	0	0
	Very Young	0	0	0	0	0	0
	Neonate	0	0	0	0	0	0
	Fetus	0	0	0	0	0	0
Poço Azul	Adult	4	1	4	1	1	0
	Young	6	1	5	0	2	0
	Very Young	3	0	3	0	1	0
	Neonate	1	0	0	0	0	0
	Fetus	1	0	0	0	0	0

¹ *Nothrotherium maquinense*. ² *Ahytherium aureum*. ³ *Australonyx aquae*.

RESULTS

Nothrotheriidae

Among the 1,810 bones representing 25 individuals of *N. maquinense* (Tab. 2), only six bones (0.33%) presented a macroscopically recognizable pathology: a left metacarpus IV (MCL 2786-01), a left fourth digit proximal phalanx (MCL 2786-03), two thoracic vertebrae (MCL 21 764-02 and MCL 21 764-04), a caudal vertebra (MCL 21 770) and a right astragalus (MCL 22 029/04). These bones are attributed to at least two individuals (one juvenile and one adult) from the Poço Azul cave and one adult individual from the Toca da

Boa Vista cave. We found no pathologies in specimens recovered from the Gruta dos Brejões cave.

The left metacarpal IV (MCL 2786-01) and the left fourth digit proximal phalanx (MCL 2786-03) were found articulated with a left metacarpus V (MCL 2786-02) and a left rudimentary phalanx V (MCL 2786-04; Fig. 2). MCL 2786-01 and MCL 2786-03 manifest enthesitis or new bone formation at sites of ligament, tendon and capsule insertions (Fig. 2.2). Additionally, the left metacarpal IV (MCL 2786-01) shows a subchondral erosion on the articular surface related to the left metacarpus V (MCL 2786-04; Fig. 2.3).

The two thoracic vertebrae (MCL 21 764-02 and MCL 21 764-04) belong to a set of four articulated vertebrae (MCL 21 764-01, MCL 21 764-02, MCL 21 764-03 and MCL 21 764-04; Fig. 3.1). MCL 21 764-02 exhibits a fracture (3.5 cm long) with very smooth borders that is obliquely oriented relative to the dorsoventral axis of the vertebral endplate and extends from its lower right to its upper left border (Fig. 3.2). MCL 21 764-04 presents a focal indentation bone alteration in the anterior vertebral endplate. This lesion is U-shaped, with smooth margins and remodeled trabeculae exposed within (Fig. 3.3). There is also a fracture with remodeled edges extending across the dorsoventral axis of the vertebral posterior endplate with slightly smoothed edges (Fig. 3.4).

A caudal vertebra (MCL 21 770), an isolated remain of an adult individual, displays a large (2.7 cm in diameter) subchondral bone erosion in the anterior vertebral endplate (Fig. 4). This erosion is concave and smooth-walled with no evidence of proliferative reactive changes. It is obliquely oriented, extending from the ventral edge towards the left lateral edge. Finally, the right astragalus (MCL 22 029-04) is marked by minor subchondral erosions of which two are observed on the navicular articular surface while another one is recognized on the odontoid process (Fig. 5). All erosions yield rounded edges and exposed trabeculae but no evidence of new bone formation. This specimen was found associated with a right calcaneus and a left astragalus and calcaneus belonging to a single young individual.



Figure 2. *Nothrotherium maquinense*. 1, Metacarpal IV (MCL 2786-01), metacarpus V (MCL 2786-02), proximal phalanx of the fourth digit (MCL 2786-03) and rudimentary phalanx V (MCL 2786-04) of the left hand in anatomical position; 2, Metacarpal IV (MCL 2786-01) in lateral view; 3, Metacarpal IV (MCL 2786-01) in medial view. Arrows indicate enthesitis; arrowhead indicates subchondral erosion. Scale bar = 2 cm.

Megalonychidae

No lesions were observed among the 61 specimens assigned to *Australonyx aquae* while out of the 361 specimens representing at least 12 individuals of *Ahytherium*

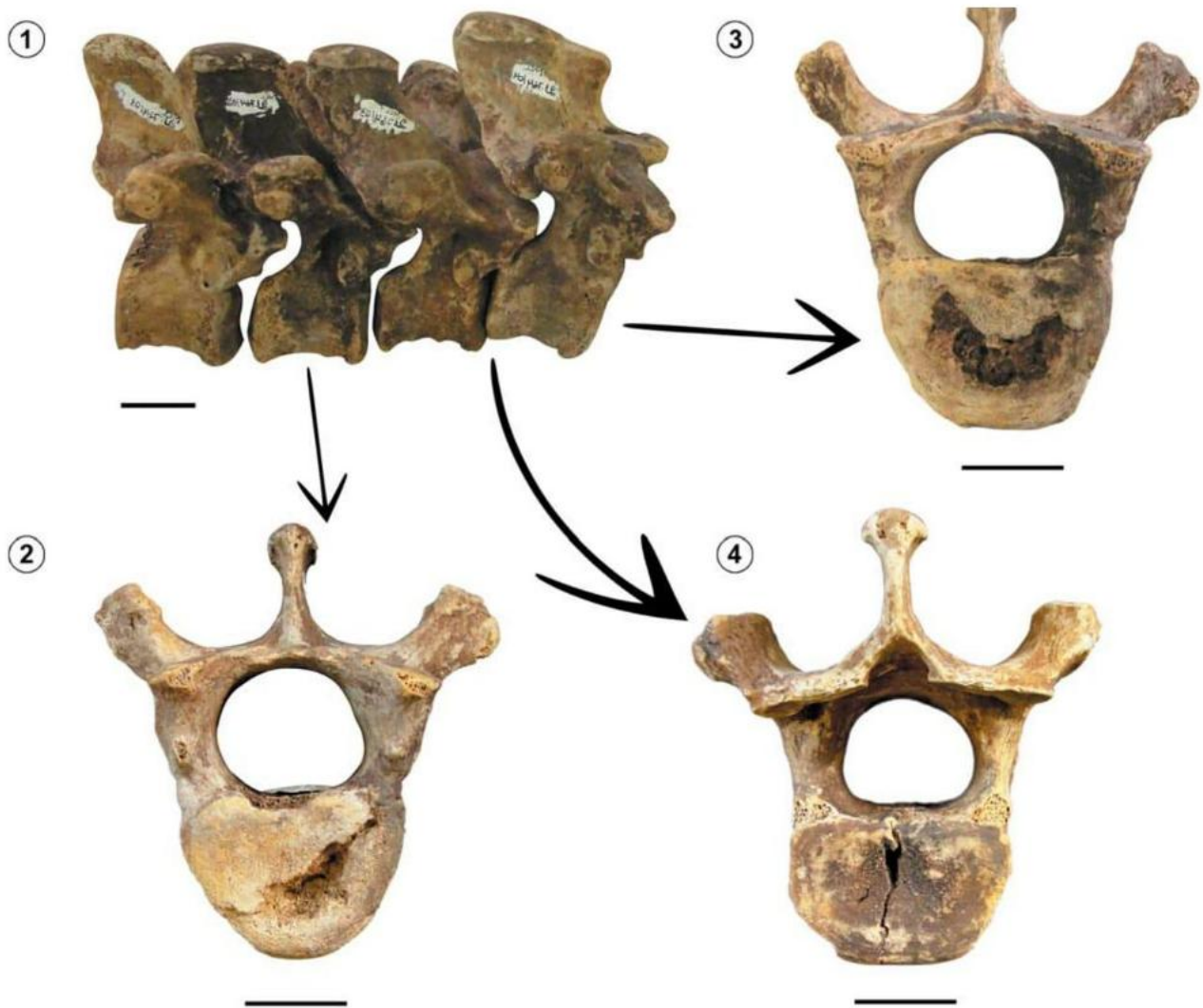


Figure 3. *Nothrotherium maquinense*. 1, Sequence of four articulated thoracic vertebrae (MCL 21 764-01 – 04); 2, MCL 21 764-02 thoracic vertebra with oblique lesion; 3, MCL 21 764-04 thoracic vertebra with lesion in the anterior vertebral endplate; 4, and traumatic lesion in the posterior vertebral endplate. Scale bar= 2 cm.

aureum, only two specimens exhibit pathological bone alterations (0.55%) in a right astragalus (MCL 22 875-54; Fig. 6.1–2) and a left astragalus (MCL 22 875-55; Fig 6.3–4). The two pathological specimens were found associated with several other samples, including a skull, an almost complete vertebral column and appendicular bones, of the same individual. No abnormalities were found in these additional elements. In both specimens, symmetric, elliptical in shape, with ragged edges and a “punched out” appearance (Fig. 6), the alterations are located on the joint surface that articulates with the calcaneus (ectal facet). The areas of destruction are approximately 1.11 cm² and 1.27 cm² in MCL 22 875-54 and MCL 22 875-55, respectively.

DIAGNOSIS

Erosive arthritis

The subchondral bone erosions observed in the metacarpus IV (MCL 2786-01; Fig. 2) and the right astragalus (MCL 22 029-04; Fig. 5) of *Nothrotherium maquinense* are characteristic of spondyloarthropathy (*SpA*), an inflammatory form of arthritis (Resnick, 2002; Rothschild and Martín, 2006). Furthermore, enthesitis, new bone formation that represents a reaction in response to inflammation at the sites of attachment of tendons, ligaments or capsule insertion (Jacobs, 1983; Rothschild and Martín, 2006), can be observed in the metacarpus IV (MCL 2786-01; Fig. 2.2) and the fourth digit proximal phalanx (MCL 2786-03; Fig.

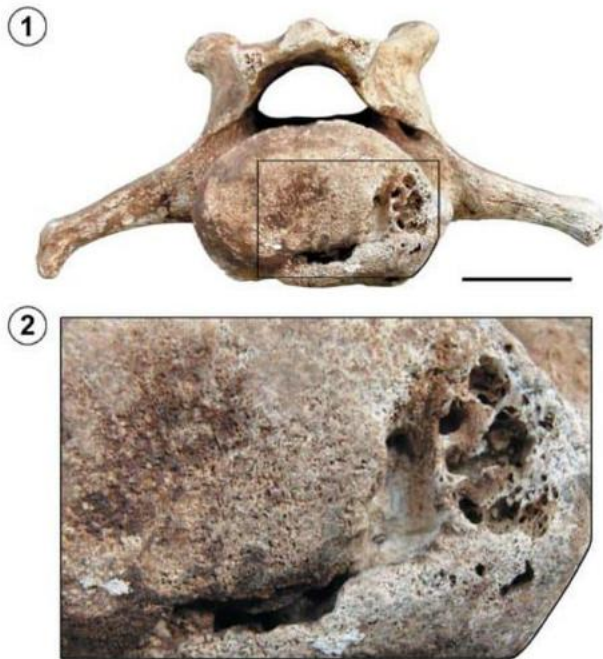


Figure 4. 1, Caudal vertebra (MCL 21 770) in anterior view with unspecific infection process (osseous filigree reaction) in the anterior vertebral endplate. Scale bar= 2 cm. 2, close-up view of the lesion.

2.1) of the same individual. This articular surface alteration is diagnostic of spondyloarthropathy (Rothschild and Martin, 2006; Rothschild, 2014). The remodeling excludes the differential diagnostic consideration of osteochondritis dessicans while irregular borders and remodeling exclude osteochondrosis.

Vertebral endplate defects

Bone defects such as the focal indentations recognized on the vertebral endplates of the thoracic vertebrae (MCL 21 764-02 and MCL 21 764-04; Fig. 3.3) are considered diagnostic of Schmorl's node (Pfmann and Resnick, 2001; Peng *et al.*, 2003). This disease has been traditionally considered the result of herniation of the nucleus pulposus through the anulus fibrosus of an intervertebral disc into the bony endplate of the adjacent vertebral body (Schmorl and Junghanns, 1971). However, osteonecrosis can also represents the basic condition for the development of Schmorl's nodes, in which case herniation would prove a secondary phenomenon (Peng *et al.*, 2003).

Considering the morphology of the trauma on the posterior vertebral endplate of the thoracic vertebra (MCL 21

764-04; Fig. 3.4), a fracture splitting the vertebral body in sagittal plane, it is possible to classify the vertebral injury as Type A (vertebral body compression) subtype A2.1 (coronal split fracture) according to the system of classification proposed by Margerl *et al.* (1994). This suggests that the injury in MCL 21 764-04 was caused by axial compression forces on the vertebral body without loss of vertebral stability (Margerl *et al.*, 1994).

A possible consequence of vertebral trauma is the risk of neurologic injury, which is generally linked with the degree of instability generated by the lesion (Margerl *et al.*, 1994). Spinal stability is defined as the tolerance of the vertebral column with respect to compressive, tensile and rotational forces, which results in the holding of the body in normal position without progressive kyphosis and in the protection of the spinal canal contents from further injury (Whitesides, 1977). Compressive lesions, such as those described herein, do not usually affect normal stability and, accordingly and most likely, there was no neurological impairment in the affected individual.

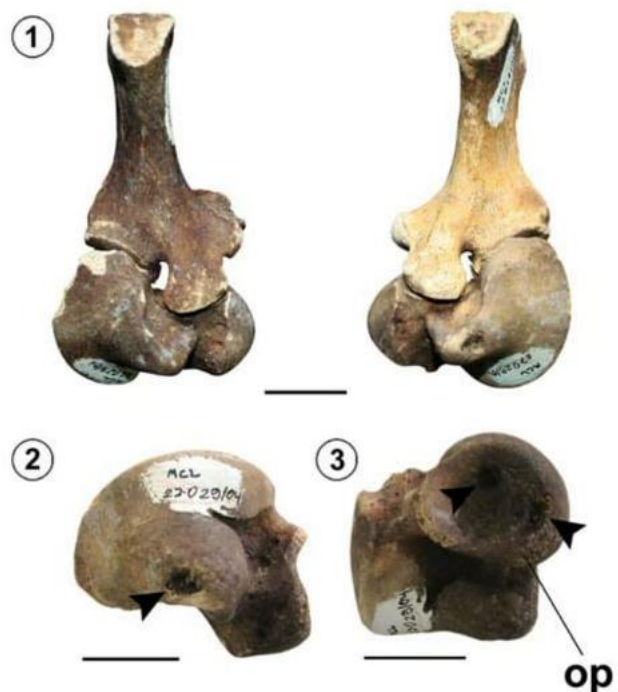


Figure 5. *Nothrotherium maquinense*. 1, Articulated left and right astragali and calcanei (MCL 22 029-01, MCL 22 029-02, MCL 22 029-03 and MCL 22 029-04). 2, Right astragalus (MCL 22 029-04) in dorsal view; 3, Right astragalus (MCL 22 029-04) in lateral view. Arrowheads indicate subchondral erosions. Abbreviations: op, odontoid process. Scale bar= 2 cm.

Although a Schmorl node and a traumatic injury are present in the same vertebra (MCL 21 764/04), these lesions were likely generated at distinct moments with one having no influence over the other. The individual seems to have died while the traumatic injury was in an initial stage of consolidation because there is no evidence of callus formation whereas the Schmorl node, large in extension, required a longer time to reach the stage observed in MCL 21 764-04 and presumably developed before the occurrence of the vertebral trauma responsible for the fracture

Infection lesion

The subchondral erosion and osseous filigree (microbubbles or aero candy-like) reaction observed on the anterior vertebral endplate of the caudal vertebra (MCL 21 770; Fig. 4) are indicative of a non-specific osteomyelitis (Rothschild and Martín, 1993). Unfortunately, the specimen presents no other morphologic features (e.g., cloaca, sequestrum and involucrum) confirming such infection diagnosis.

Avascular necrosis

Although 167 specimens belonging to a single individual of *Ahytherium aureum* (MCL 22 875) were examined, only two bones, both astragali (MCL 22 875-54, MCL 22 875-55; Fig. 6), presented destructive lesions. Such bone alterations (see Results) suggest osteochondritis dissecans as the causative disease. This injury is a benign, non-inflammatory condition characterized by bone necrosis of a segment of the convex surface of synovial joints followed by degenerative changes in the overlying joint cartilage (Loveland *et al.*, 1984; Aufdeheide and Rodríguez-Martín, 1998). Even though osteochondritis dissecans has been considered the result of defective blood flow due to trauma, especially when repeated and if low-grade chronic or microtrauma (Compare, 1982; Aufdeheide and Rodríguez-Martín, 1998), it is currently deemed the result of a fracture of the subchondral bone (Resnick, 2002).

GENERAL CONSIDERATIONS

The low prevalence of lesions observed in *Nothrotherium maquinense* (0.33%) and *Ahytherium aureum* (0.55%) despite the large number of specimens and individuals analyzed, may reflect the low rate of diseases found in wildlife while,

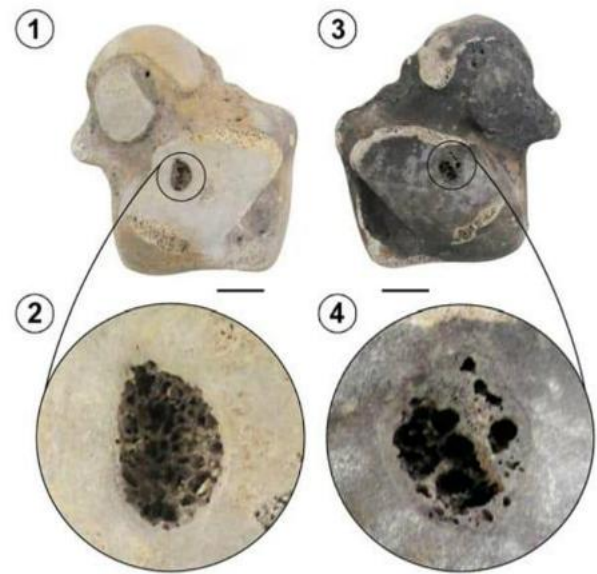


Figure 6. 1,2 Right and 3, 4, left astragali of *Ahytherium aureum* (MCL 22 875-54 and MCL 22 875-55 respectively), highlight the symmetrical bone erosions with "punched out" appearance on the joint surface to calcaneus. Scale bar= 2 cm.

in the case of the absence of lesions in *Australonyx aquae*, the reduced number of specimens available for study (61 specimens) may serve as explanation.

Among extinct xenarthrans, SpA has thus far been recognized only in glyptodonts (Barbosa *et al.*, 2014a; Barbosa and Luna, 2014) and, yet, the presence of spondyloarthropathy in some specimens of *Nothrotherium maquinense* indicates that this disease is not restricted to Glyptodontidae. Such finding is not surprising given that SpA is the most common arthritic lesion in land vertebrates (Rothschild *et al.*, 2001).

The only case of Schmorl's node previously suggested involves an Early Jurassic plesiosaur (Hopley *et al.*, 2001). Nevertheless, Witzmann *et al.* (2016) challenged this conclusion based on the fact that plesiosaur vertebral centra present synovial articulations and therefore no intervertebral discs with anulus fibrosus and nucleus pulposus (cf. vertebral endplate defects section, above; Schmorl and Junghanns, 1971). However, a true case of Schmorl's node was recently recognized in a proboscidean (*Notiomastodon platensis* Ameghino, 1888) from the late Pleistocene of Brazil (Barbosa *et al.*, In press). Hence, the phenomenon presented herein represents the first case of this disease in extinct Xenarthra.

The terms “osteochondritis dissecans” and “osteochondrosis” are a source of confusion in the literature as they have often been utilized interchangeably. The former stands for a fracture while the latter, for a cartilage “rest”; that is, an area of articular cartilage that failed to be remodeled into a bone. Although often mislabeled as osteochondritis dissecans, osteochondrosis is a common disease in recent mammals (e.g., Olsson, 1973; Ytrehus *et al.*, 2007). Both diseases are however rare in birds (Duff, 1987; Rothschild and Rühli, 2007). As for the fossil record, osteochondrosis has been sporadically recognized, with cases diagnosed in *Camarasaurus* Cope 1877 from the Late Jurassic (Tschopp *et al.*, 2016), in a Late Cretaceous hadrosaurid dinosaur (Rothschild and Tanke, 2007), in several fossil marine mammals (otarioid pinnipeds, desmostylians and cetaceans) from the Miocene (Thomas and Burnes, 2015) and in the extinct mammoth *Mammuthus trogontherii* Pohlig 1885 (Clark and Goodship, 2010). Given that a reported case of osteochondritis dissecans in a femur of a Pleistocene mylodontid sloth (Ferigolo, 1992) calls for revision because the described features are suggestive of spondyloarthropathy, the osteochondritis dissecans accounted for herein represents the first reported occurrence of this disease in xenarthrans as well as in the fossil record of South America.

Infectious diseases, known from the Paleozoic (e.g., Reiz *et al.*, 2011; Vega and Maisch, 2014) to the Pleistocene (e.g., Rothschild *et al.*, 2001; Rothschild and Martin, 2003; Barbosa *et al.*, 2013), are well represented throughout geologic time. Unfortunately, it is often challenging or even impossible to attain a specific diagnosis (pyogenic or non-pyogenic forms) because bone responses to different types of infections (bacterial, fungal, viral and parasitic) are limited. Still, the new case of infection hereby reported proves significant when considering some questions regarding the South American Pleistocene megafauna. The distribution of osteomyelitis (an infectious disease) among South American late Pleistocene mammals has for instance been considered an important piece of evidence for one of the several megafaunal extinction scenarios suggested (Ferigolo, 1999) and, consequently, this isolated occurrence in *Nothrotherium maquinense* can contribute to the assessment of this hypothesis in future works.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was funded by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; grants: 159733/2013-8, 308013/2015-8, 307405/2012-5). We are grateful of Cástor Cartelle (Museu de Ciências Naturais da PUC-MG), who kindly provided us access to the specimens herein studied, and of Luciano V. Santos (Museu de Ciências Naturais da PUC-MG) for his crucial help with the identification of the material. The authors also thank the anonymous reviewer as well as reviewer C. Rinaldi and editor D. Croft for their helpful comments on this manuscript, and Image Editor A. Otero for his interesting comments about the figures.

REFERENCES

- Ameghino, F. 1888. Rápidas diagnosis de algunos mamíferos fósiles nuevos de la República Argentina. *Obras Completas, Buenos Aires V*: 469–480.
- Aramayo, S.A. 2006. Procesos tafonómicos y paleopatológicos observados en un ejemplar de *Panochthus tuberculatus* (Owen) (Xenarthra, Glyptodontidae) (Pleistoceno tardío) Quequén Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *3º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología* (Córdoba), *Actas*: 737–741.
- Aufderheide, A.C., and Rodríguez-Martín, C. 1998. *The Cambridge encyclopedia of human paleopathology*. Cambridge University Press, Cambridge, 478 p.
- Auler, A.S., and Smart, P.L. 2002. Toca da Boa Vista, Campo Formoso, BA: A maior caverna do hemisfério sul. In: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, E.T. Queiroz, M. Winge, and M. Berbert-Born (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. SIGEP, Brasília, p. 444–452.
- Barbosa, F.H.S., Porpino, K.O., Fragoso, A.B., and Santos, M.F.C.F. 2013. Osteomyelitis in Quaternary mammal from the Rio Grande do Norte, State. *Quaternary International* 299: 90–93.
- Barbosa, F.H.S., Porpino, K.O., Fragoso, A.B., and Oliveira, E.V. 2014a. Arthritis in a glyptodont (Mammalia, Xenarthra, Cingulata). *PLOS One* 9: e88646.
- Barbosa, F.H.S., Araújo-Júnior, H.I., Mothé, D., and Avilla, L.S. In press. Osteological diseases in an extinct *Notiomastodon* (Mammalia, Proboscidea) population from the Late Pleistocene of Brazil. *Quaternary International*. doi: 10.1016/j.quaint.2016.08.019.
- Barbosa, F.H.S., Araújo-Júnior, H.I., and Oliveira, E.V. 2014b. Neck osteoarthritis in *Eremotherium laurillardi* (Lund, 1842; Mammalia, Xenarthra) from the Late Pleistocene of Brazil. *International Journal of Paleopathology* 6: 60–63.
- Barbosa, F.H.S., and Luna, C. 2014. Lesiones en la coraza y endoesqueleto de un ejemplar de *Panochthus* Burmeister, 1866 (Mammalia, Glyptodontia) de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Revista del Museo Provincial de Ciencias Naturales “Dr. Arturo Umberto Illia”* 1: 9–26.
- Berbert-Born, M., and Karmann, I. 2002. Lapa dos Brejões – Vereda Romão Gramacho, Chapada Diamantina, BA: Gigantesca caverna e vale cárstico com rico depósito de fósseis do Quaternário. In: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, E.T. Queiroz, M. Winge, and M. Berbert-Born (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. SIGEP, Brasília, p. 469–479.
- Bishop, P.J., Walmsley, C.W., Phillips, M.J., Quayle, M.R., Boisvert, C.A., and McHenry, C.R. 2015. Oldest pathology in a tetrapod bone illuminates the origin of terrestrial vertebrates. *PLOS One* 10: e0125723.
- Cabral, U.G., Riff, D.G., Kellner, A.W., and Henriques, D.D.R. 2011. Pathological features and insect boring marks in a crocodyliiform from the Bauru Basin, Cretaceous of Brazil. *Zoological Journal of the Linnean Society* 163: S140–S151.
- Cartelle, C., and Bohórquez, G.A. 1986. Descrição das pré-maxilas

- de *Nothrotherium maquinense* (Lund) Lydekker, 1889 (Edentata, Megalonychidae) e de *Eremotherium laurillardi* (Lund) Cartelle & Bohórquez, 1982 (Edentata, Megatheriidae). *Iheringia* 11: 9–14.
- Cartelle, C., De Iuliis, G., and Pujos, F. 2008. A new species of Megalonychidae (Mammalia, Xenarthra) from the Quaternary of Poço Azul (Bahia, Brazil). *Comptes Rendus Palevol* 7: 335–346.
- Clark, E.A., and Goodship, A.E. 2010. A severely disabled mammoth – The palaeopathological evidence. *Quaternary International* 228: 210–216.
- Compare, C.L. 1982. Osteochondritis dissecans or osteoarthritis?. *Journal American Medical Association* 247: 1650.
- Cope, E.D. 1877. On a gigantic saurian from the Dakota Epoch of Colorado. *Paleontological Bulletin* 25: 5–10.
- De Iuliis, G., Pujos, F., and Cartelle, C. 2009. A new ground sloth (Mammalia: Xenarthra) from Quaternary of Brazil. *Comptes Rendus Palevol* 8: 105–115.
- Duff, S.R.I. 1987. Destructive cartilage loss in the joints of adult male broiler breeding fowls. *Journal of Comparative Pathology* 97: 237–246.
- Ferigolo, J. 1985. Paleopatologias em preguiças terrícolas – Artrose. *Congresso Brasileiro de Paleontologia, Coletânea de Trabalhos paleontológicos* (Rio de Janeiro), sér. *Geologia*: 43–49.
- Ferigolo, J. 1992. Non-human vertebrate paleopathology of some Brazilian Pleistocene Mammals. In: A.J.G. Araújo, and L.F. Ferreira (Eds.), *Paleopatologia, Paleoepidemiologia. Estudos multidisciplinares*. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, p. 213–234.
- Ferigolo, J. 1999. Late Pleistocene South American land-mammal extinction: the infection hypothesis. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 12: 279–310.
- Ferigolo, J. 2007. Paleopatologia em Mamíferos. In: I.S. Carvalho, and A.C.S. Fernandes (Eds.), *Icnologia*. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, p. 88–107.
- Henriques, D.D.R., Soares, A.A., and Mello, M.G.S. 1998. Registros de reação óssea em *Panochthus* BURMEISTER, 1866 do Pleistoceno do Estado da Paraíba. *Acta Geológica Leopoldensia* XXI: 149–155.
- Hopley, P.J. 2001. Plesiosaur spinal pathology: the first occurrence of Schmorl's nodes. *Journal of Vertebrate Paleontology* 21: 254–260.
- Jacobs, J.C. 1983. Spondyloarthritis and enthesopathy: current concepts in rheumatology. *Archives of Internal Medicine* 143: 103–107.
- Loveland, C.J., Gregg, J.B., and Bass, W.M. 1984. Osteochondritis dissecans from the Great Plains in North America. *Plains Anthropologist* 29: 239–246.
- Lyman, R.L. 1994. *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge, 552 p.
- Margerl, F., Aebi, M., Gertzbein, S.D., Harms, J., and Nazarian, S. 1994. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European Spine Journal* 3: 184–201.
- Martinelli, A.G., Teixeira, V.P.A., Marinho, T.S., Fonseca, P.H.M., Cavellani, C.L., Araújo, A.J.G., Ribeiro, L.C.B., and Ferraz, M.L.F. 2015. Fused mid-caudal vertebrae in the titanosaur *Uberabatitan ribeiroi* from the Late Cretaceous of Brazil and other bone lesions. *Lethaia* 48: 456–462.
- Moodie, R.L. 1917. Studies in Paleopathology: General consideration of the evidences of pathological conditions found among fossil animals. *Annals of medical history*: 374–396.
- Olsson, S.J. 1973. Osteochondrosis dissecans in the dog: A study of pathogenesis, clinical signs, pathologic changes, natural course and sequelae. *Journal of the American Veterinary Radiology Society* 14: 4.
- Peng, B., Wu, W., Hou, S., Shang, W., Wang, X., and Yang, Y. 2003. The pathogenesis of Schmorl's nodes. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 85-B: 879–882.
- Pfirmann, C.W.A., and Resnick, D. 2001. Schmorl nodes of the thoracic and lumbar spine: Radiographic-pathologic study of prevalence, characterization, and correlation with degenerative changes of 1650 spinal levels in 100 cadavers. *Radiology* 219: 368–374.
- Pohlig, H. 1885. Über eine Hipparionen-Fauna von Maragha in Nord-Persien, über fossile Elefantenreste Kaukasiens und Persien und über die Resultate einer Monographie der fossilen Elefanten Deutschlands und Italien. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* 37: 1022–1027.
- Reisz, R.R., Scott, D.M., Pynn, B.R., and Modesto, S.P. 2011. Osteomyelitis in a Paleozoic reptile: ancient evidence for bacterial infection and its evolutionary significance. *Naturwissenschaften* 98: 551–555.
- Resnick, D. 2002. *Diagnosis of Bone and Joint Disorders*. 4th ed. Philadelphia, Saunders, 4944 p.
- Rothschild, B.M. 2014. Universal nature of spondyloarthropathy as a reactive disease, reflecting differential sensitivities. *Current Rheumatology Reviews* 9: 81–89.
- Rothschild, B.M., and Martin, L.D. 1993. *Paleopathology: Disease in the Fossil Record*. CRC Press, London, 386 p.
- Rothschild, B.M., and Martin, L.D. 2003. Frequency of pathology in a large natural sample from Natural Trap Cave with special remarks on erosive disease in the Pleistocene. *Reumatismo* 55: 58–65.
- Rothschild, B.M., and Martin, L.D. 2006. *Skeletal impact of disease*. New Mexico Museum of Natural History & Science, Division of the Department of cultural affairs, Albuquerque, 226 p.
- Rothschild, B.M., and Rühli, F. 2007. Comparative frequency of osseous macroscopic pathology and first report of gout in captive and wild-caught ratites. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 54: 265–269.
- Rothschild, B.M., and Tanke, D.H. 2007. Osteochondrosis in Late Cretaceous Hadrosauria: a manifestation of ontologic failure. In: K. Carpenter (Ed.), *Horns and Beaks: Ceratopsian and Ornithomimid Dinosaurs*. Indiana University Press, Bloomington, p. 171–183.
- Rothschild, B.M., Prothero, D.R., and Rothschild, C. 2001. Origins of spondyloarthropathy in Perissodactyla. *Clinical and Experimental Rheumatology* 19: 628–632.
- Rothschild, B.M., Tanke, D.H., Helbling, M., and Martin, L.D. 2003. Epidemiologic study of tumors in dinosaurs. *Naturwissenschaften* 90: 495–500.
- Ruffer, S.A.M., 1914. Studies in Palaeopathology in Egypt. *Journal of Pathology and Bacteriology*. 18: 149–162.
- Schmorl, G., and Junghanns, H. 1971. *The human spine in health and disease*. Grune and Stratton, New York, 504 p.
- Senter, P., and Juengst, S.L. 2016. Record-breaking pain: The largest number and variety of forelimb bone maladies in a theropod dinosaur. *PLOS One* 11: e0149140
- Stilson, K.T., Hopkins, S.S.B., and Davis, E.B. 2016. Osteopathology in Rhinocerotidae from 50 million years to the present. *PLOS One* 11: e0146221.
- Thomas, H.W., and Barnes, L.G. 2015. The bone joint pathology osteochondrosis in extant and fossil marine mammals. *Contributions in Science* 523: 1–35.
- Tschopp, E., Wings, O., Frauenfelder, T., and Rothschild, B.M. 2016. Pathological phalanges in a camarasaurid sauropod dinosaur and implications on behaviour. *Acta Palaeontologica Polonica* 61: 125–134.
- Vega, C.S., and Maisch, M.W. 2014. Pathological features in Upper Permian and Middle Triassic dicynodonts (Synapsida, Therap-

- sida). In: C.F. Kammerer, K.D. Angilczk, and J. Fröbisch (Eds.), *Early evolutionary history of the Synapsida*. Springer, Netherlands, p. 151–161.
- Whitesides, Jr, T.E. 1977. Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 128: 78–92.
- Witzmann, F., Hampe, O., Rothschild, B.M., Joger, U., Kosma, R., Schwarz, D., and Asbach, P. 2016. Subchondral cysts at synovial vertebral joints as analogies of Schmorl's nodes in a sauropod dinosaur from Niger. *Journal of Vertebrate Paleontology* 36: e1080719.
- Ytrehus, B., Carlson, C.S., and Ekman, S. 2007. Etiology and pathogenesis of osteochondrosis. *Veterinary Pathology* 44: 429–448.

doi: 10.5710/AMGH.30.11.2016.3032

Submitted: June 28th, 2016

Accepted: November 30th, 2016

ANEXO B**Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (*Xenarthra*, *Folivora*) from the
Brazilian Intertropical Region**

Fernando Henrique de Souza Barbosa

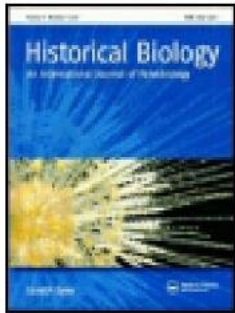
Kleberson de Oliveira Porpino

Hermínio Ismael de Araújo-Júnior

Lílian Paglarelli Bergqvist

Bruce M. Rothschild

(Manuscrito publicado no periódico científico *Historical Biology*; doi:
10.10080/08912963.2017.1376191)



Historical Biology

An International Journal of Paleobiology

ISSN: 0891-2963 (Print) 1029-2381 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/ghbi20>

Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (Xenarthra, Folivora) from the Brazilian Intertropical Region

Fernando H. de S. Barbosa, Kleberson de O. Porpino, Hermínio I. de Araújo-Júnior, Lilian P. Bergqvist & Bruce M. Rothschild

To cite this article: Fernando H. de S. Barbosa, Kleberson de O. Porpino, Hermínio I. de Araújo-Júnior, Lilian P. Bergqvist & Bruce M. Rothschild (2017): Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (Xenarthra, Folivora) from the Brazilian Intertropical Region, Historical Biology, DOI: [10.1080/08912963.2017.1376191](https://doi.org/10.1080/08912963.2017.1376191)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/08912963.2017.1376191>



Published online: 13 Sep 2017.



Submit your article to this journal 



View related articles 



View Crossmark data 

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ghbi20>



Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (Xenarthra, Folivora) from the Brazilian Intertropical Region

Fernando H. de S. Barbosa^a, Kleberson de O. Porpino^b, Hermínio I. de Araújo-Júnior^c, Lilian P. Bergqvist^a and Bruce M. Rothschild^{d,e}

^aPrograma de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brazil; ^bLaboratório de Sistemática e Ecologia Animal, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Mossoró, Brazil; ^cFaculdade de Geologia, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brazil; ^dCarnegie Museum of Natural History, Pittsburgh, PA, USA; ^eSchool of Medicine, West Virginia University, Morgantown, WV, USA

ABSTRACT

We performed a macroscopic study on six species of Pleistocene sloths from the Brazilian Intertropical Region (BIR) including *Valgipes bucklandi*, *Catonyx cuvieri*, *Mylodonopsis ibseni*, *Glossotherium* sp., *Ocnotherium giganteum* and *Eremotherium laurillardi* and compared the results with a previous investigation of *Nothrotherium maquinense* and *Ahytherium aureum*. Differential diagnostic analysis revealed six varieties of musculoskeletal diseases: Calcium Pyrophosphate Deposition Disease (CPPD), Spondyloarthropathy (SpA), Osteoarthritis (OA), Osteochondritis Dedicans (OD), Schmorl's Node (SN) and Spondylosis Deformans (SD). We also carried out multivariate statistical analyses on all Pleistocene sloths to verify the similarity between taxa based on diagnosed diseases.

ARTICLE HISTORY

Received 12 July 2017
Accepted 2 September 2017

KEYWORDS

Brazilian Intertropical Region; Pleistocene; sloths; musculoskeletal diseases

Introduction

The Brazilian Intertropical Region (BIR; sensu Cartelle 1999) is a large geographic area (ca. 2 140 000 km²) occupied by cerrado and caatinga ecosystems, encompassing eight states of the northeast, southeast and central regions of Brazil. During the Pleistocene, the BIR was inhabited by a rich and diverse large-sized mammalian fauna including several endemic [e.g. *Xenorhinotherium bahiense*; *Panochthus jaguaribensis*] and allochthonous [e.g. *Arctotherium brasiliense*; *Palaeolama major*; and *Toxodon platensis*] species. Among these, one of the most remarkable animals were the ground sloths (Xenarthra, Folivora).

Nine species of ground sloths are currently recognized from the Pleistocene of the BIR, distributed in four families: Nothrotheriidae (*Nothrotherium maquinense* (Lund) Lydekker 1889), Megalonychidae (*Ahytherium aureum* Cartelle, De Iullis and Pujos 2008 and *Australonyx aquae* De Iullis, Pujos and Cartelle 2009), Mylodontidae (*Mylodonopsis ibseni* Cartelle 1991, *Glossotherium* sp. Owen 1839 and *Ocnotherium giganteum* Lund 1839) and Megatheriidae (*Eremotherium laurillardi* Lund, 1842). These species encompass medium (10–100 kg, *N. maquinense*) to mega-sized (above 1000 kg, all other species) animals. Skeletal remains of these animals are usually found in Quaternary sediments of caves (e.g. Dantas 2009; Oliveira et al. 2017) and natural tanks (e.g. Bergqvist et al. 1997; Alves et al. 2007; Araújo-Júnior et al. 2017).

Although several morphological (Cartelle and De Iullis 2006; Cartelle et al. 2014), phylogenetic (Gaudin 2003, 2004; Slater et al. 2016; Casali and Perini 2017) and paleobiological (Fariña et al. 1998; Esteban-Trivigno et al. 2008) studies had been conducted on the aforementioned species, paleopathology is still an underexplored theme. Up to now, there are few diagnosed cases of disease in Pleistocene sloths. Ferigolo (1985) described vertebral lesions in Megatheriidae, probably *Megatherium americanum*. Araújo-Júnior et al. (2013) briefly reported two abnormal vertebrae of *Eremotherium laurillardi* presenting discopathy and a posttraumatic callus. Barbosa et al. (2014) reported a case of arthritis affecting the axis of *Eremotherium laurillardi* and, more recently, Barbosa, Porpino, Bergqvist et al. (2017) recognized spondyloarthropathy, Schmorl's node and a non-specific infection in *Nothrotherium maquinense* and osteochondritis dedicans in *Ahytherium aureum*.

Among these few cases, the most commonly reported abnormalities in Pleistocene sloths are joint and vertebral surface alterations. This is not surprising because joint lesions, especially arthritic lesions, have been considered the most common type of disease found in the fossil record. They are of considerable antiquity (the most ancient report is in a therapsid from the Permian; Rothschild et al. 2012). Thus, this paper aims to identify the etiology of skeletal lesions recognized in six of the nine species of the Pleistocene sloths from the Brazilian Intertropical Region and to verify: (i) pathological similarities among taxa

in the RIB; and (ii) the similarities among injuries in terms of taxonomic occurrence.

Material and methods

Sample and morphological analysis

We macroscopically examined 2,075 bones assigned to six species of large Pleistocene sloths from the Brazilian Intertropical Region: *Valgipes bucklandi* (570 specimens); *Catonyx cuvieri* (448 specimens); *Myodonopsis ibseni* (136 specimens); *Glossotherium* sp. (173 specimens); *Ocnotherium giganteum* (321 specimens); and *Eremotherium laurillardi* (427 specimens). Specimens studied are housed in the following Brazilian collections: Departamento de Geologia of the Universidade Federal de Pernambuco (DGEO-UFPE), Pernambuco State; Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM), Piauí State; and Museu de Ciências Naturais of the Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Minas Gerais State.

Each specimen was surveyed for evidence of articular, periarticular and vertebral alterations in the axial and peripheral skeleton. All material was carefully evaluated to identify pathology and exclude taphonomic alteration. We calculated the Minimal Number of Individuals (MNI) for each species, following the method proposed by Lyman (1994), to quantify the distribution of alterations per ontogenetic age. The measurements of some lesions described were obtained using the open source ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>).

Multivariate analyses

We produced a data matrix for all abnormalities diagnosed herein, as well as those previously published by Barbosa, Porpino, Bergqvist et al. (2017). The data-set was scored as absence (0) and presence (1) for each taxon, including *Nothrotherium maquinense*, *Ahytherium aureum*, *Valgipes bucklandi*, *Catonyx cuvieri*, *Myodonopsis ibseni*, *Glossotherium* sp., *Ocnotherium giganteum* and *Eremotherium laurillardi*. In this matrix (Table 1), the rows represent taxa and the columns, the categories of abnormalities. The resulting data matrix was submitted to cluster analysis (Q-mode) using the weighted pair group method with simple arithmetic averages (UPGMA) and to a correspondence analysis. In all analyses, we used the Dice's similarity coefficient.

In the cluster analysis, taxa were clustered based on the similarity of their diagnosed bone alterations. We applied a bootstrap test ($N = 10,000$) to evaluate the consistency of the clustering and

an ANOSIM permutation test (one-way) to evaluate the significance of the differences among the groups obtained. This latter provides an R statistics that varies from minus one to plus one. R values equal to plus one is obtained only when all samples within the groups are more similar to each other than to any sample of other groups (Clarke and Warwick 2001). The significance value (p) of the clustering was also obtained from this test.

The correspondence analysis presents the Chi-squared distances (x^2) between taxa, using the Chi-squared distances (x^2) between the bone alterations as their background (see Hammer et al. 2001; Hammer and Harper 2006 for the applicability of correspondence analysis to paleontological data). All multivariate analyses were performed utilizing the software Paleontological Statistics version 2.17 (PAST; Hammer et al. 2001).

Results

Valgipes bucklandi

Among the 565 *Valgipes bucklandi* bones analyzed, sixteen exhibit peripheral joint and vertebral alterations (2.83%). The total sample investigated corresponds to 13 individuals: 12 adults and one juvenile. Pathology is found in four adults (30.7%).

The first specimen is a senile adult individual (MCL 4264), with 47 bones recovered from a cave in Iraquara city. Among the bones recovered, twelve exhibit articular lesions: The right (MCL 4264/30) and left (MCL 4264/40) acetabulum, the right (MCL 4264/35) and left (MCL 4264/36) tibiae-fibulae, the left cuneiform (MCL 4264/42), metatarsal III (MCL 4264/43), the left medial phalanx of the third digit (MCL 4264/47), left (MCL 4264/45) and right metatarsal V (MCL 4264/49), right calcaneus (MCL 4264/51) and the left metatarsal II (MCL 4264/71). All afflicted joint surfaces have calcific sheets. Additionally, vertebral osteophytes are present at the borders of a thoracic vertebra (MCL 4264/22).

The calcific sheets in the examined specimens are distributed in the following manner: on the articular surface of the right (MCL 4264/30) and left (MCL 4264/40) acetabuli; on both medial joint surfaces of the proximal joint in the right (MCL 4264/35) and left (MCL 4264/36) tibiae-fibulae, and on the distal articular surface of the former; projecting articular surface for metatarsal III in the left cuneiform (MCL 4264/42; Figure 1(A)); on the distal articular surface and on the edge of the proximal joint surface in metatarsal III (MCL 4264/43); on both proximal and distal articular joint surfaces in the left medial phalanx of the third digit (MCL 4264/47; Figure 1(B)); in extensive parts of the articulations to metatarsals IV of the left (MCL 4264/45) and right metatarsals V (MCL 4264/49; Figure 1(C)); on the edge of the calcaneal and tibial articular surfaces in the astragalus (MCL 4264/51); and on the surface articulating with left metatarsal III in the left metatarsal II (MCL 4264/71). The thoracic vertebra (MCL 4264/22) has bone overgrowth on the marginal edge of the anterior vertebral endplate (Figure 1(D)).

The second specimen is an adult individual (MCL 22 211), with 75 bones recovered from Poço Azul cave. Only one bone of this exemplar is affected: A left radius (MCL 22 211/55) exhibiting a calcified sheet projecting onto the posterior joint surface (Figure 1(E)).

Table 1. Matrix of presence/absence of Pleistocene sloths with joint lesions.

Taxa	CPPD	SpA	OA	OD	SN	SD
<i>Nothrotherium maquinense</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Ahytherium aureum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Valgipes bucklandi</i>	1	0	0	1	0	1
<i>Catonyx cuvieri</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Myodonopsis ibseni</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Glossotherium</i> sp.	1	1	1	0	1	1
<i>Ocnotherium giganteum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eremotherium laurillardi</i>	1	1	0	1	1	1

Abbreviations: CPPD: Calcium Pyrophosphate Deposition Disease; SpA: Spondyloarthritis; OA: Osteoarthritis; OD: Osteochondritis Dissecans; SN: Schmorl's Node; and SD: Spondylosis Deformans.

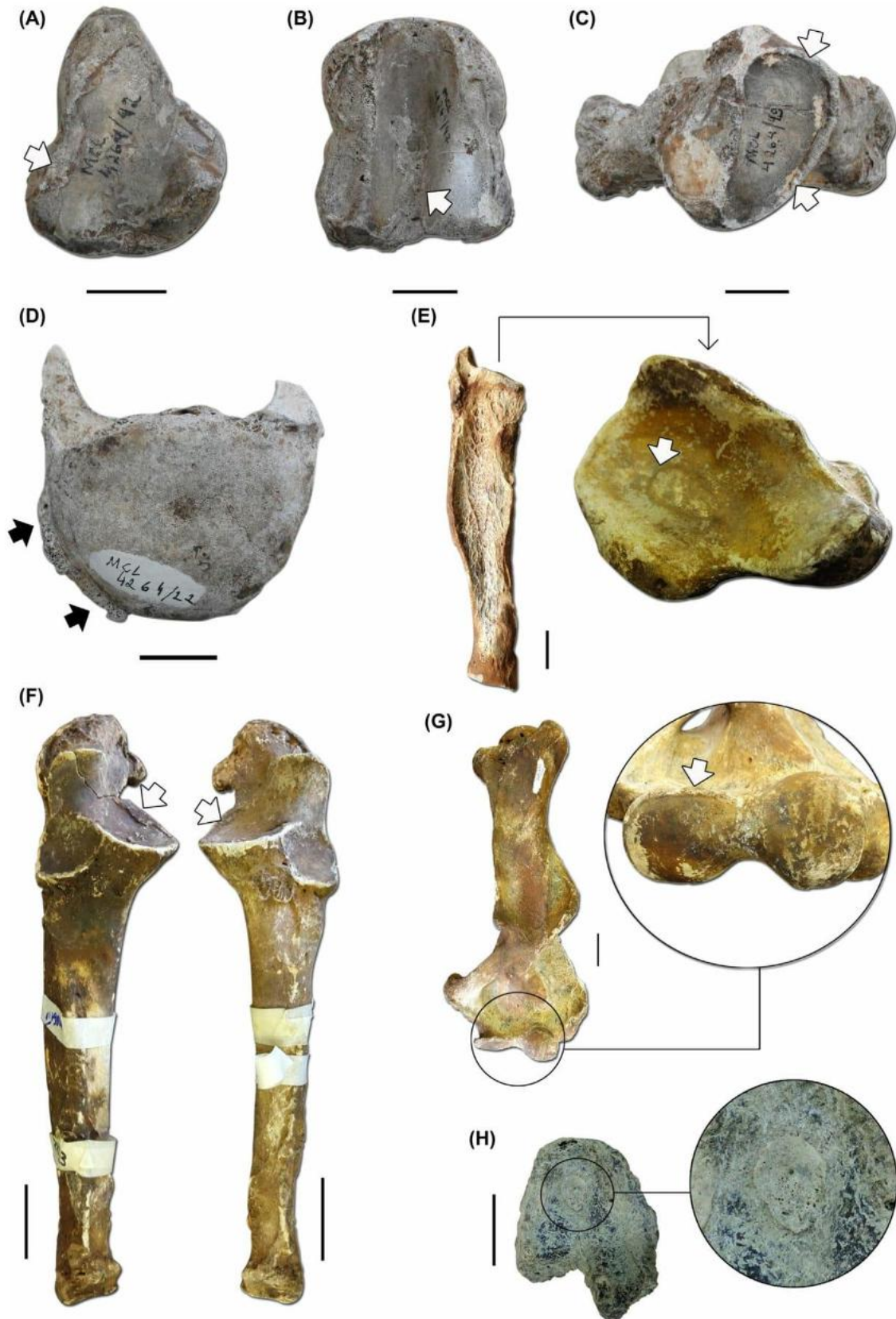


Figure 1. Joint and vertebral lesions in *Valgipes bucklandi*. (A) left cuneiform (MCL 4264/42); (B) left medial phalanx of the third digit (MCL 4264/47); (C) right metatarsal V (MCL 4264/49); (D) thoracic vertebra (MCL 4264/22); (E) left radius (MCL 22 211/55) in lateral view and detail of the proximal joint; and (F) left and right ulnae (MCL 22 263/01 and MCL 22 263/02) in cranial view; (G) right humerus (MCL 22 256/01) in cranial view and detail of trochlea; (H) medial phalanx (DGEU-UFPE 6036) in caudal view and detail of lesion.

Notes: White arrows indicate deposition of calcific sheet. Black arrow indicates vertebral osteophyte. Scale bars (A–G) = 5 cm and scale bar (H) = 2 cm.

The third specimen corresponds to a juvenile individual represented by left and right ulnae (MCL 22 263/01 and MCL 22 263/02) from the Poço Azul cave. Both bones have calcified sheets on the trochlear notch (proximal joint; Figure 1(F)). A right humerus (MCL 22 256/01) of a juvenile individual also shows trochlear (distal joint) calcification, projecting onto the joint surface (Figure 1(G)). Both individuals were recovered from the Poço Azul cave. Finally, a fragmented medial phalanx (DGEO-UFPE 6036) has an elliptical bone defect, with smooth-edges and a 'punched-out' appearance on the proximal joint surface (Figure 1(H)).

Catonyx cuvieri

Among the 448 bones of *Catonyx cuvieri* analyzed, seven present peripheral joint and vertebral changes (1.56%). MNI is 18, 12 adult and eight juvenile, of which three adults and one juvenile show arthritis (22.2%).

An atlas (MCL 22 381/02) of an adult individual from Poço Azul cave, found associated with skull (MCL 22 381/01) and axis (MCL 22 381/03), has a calcified sheet on both occipital condyle articular surfaces (Figure 2(A)). A fragment of pelvis (MCL 22 490), also from Poço Azul cave, has several smoothed, rounded and crater-shaped subchondral erosions (Figure 2(B)). The median epicondyle of a left femur (MCL 22 505) from a juvenile individual exhibits a subchondral erosion (Figure 2(C)).

A right fibula (MCL 4267/04) and right tibia (MCL 4267/05) have proximal joint remodeling with spur formation parallel, identifying an osteophyte (Figure 2(D–E)). The bone overgrowth in the fibula is located on the proximal joint surface with tibia, while in the tibial spur formation it is located on the lateral and medial condyles and on the proximal fibular articulation. These specimens from the Toca dos Ossos cave belong to the same adult individual and were found in association with the normal (no lesions present) right (MCL 4267/01) and left (MCL 4267/02)

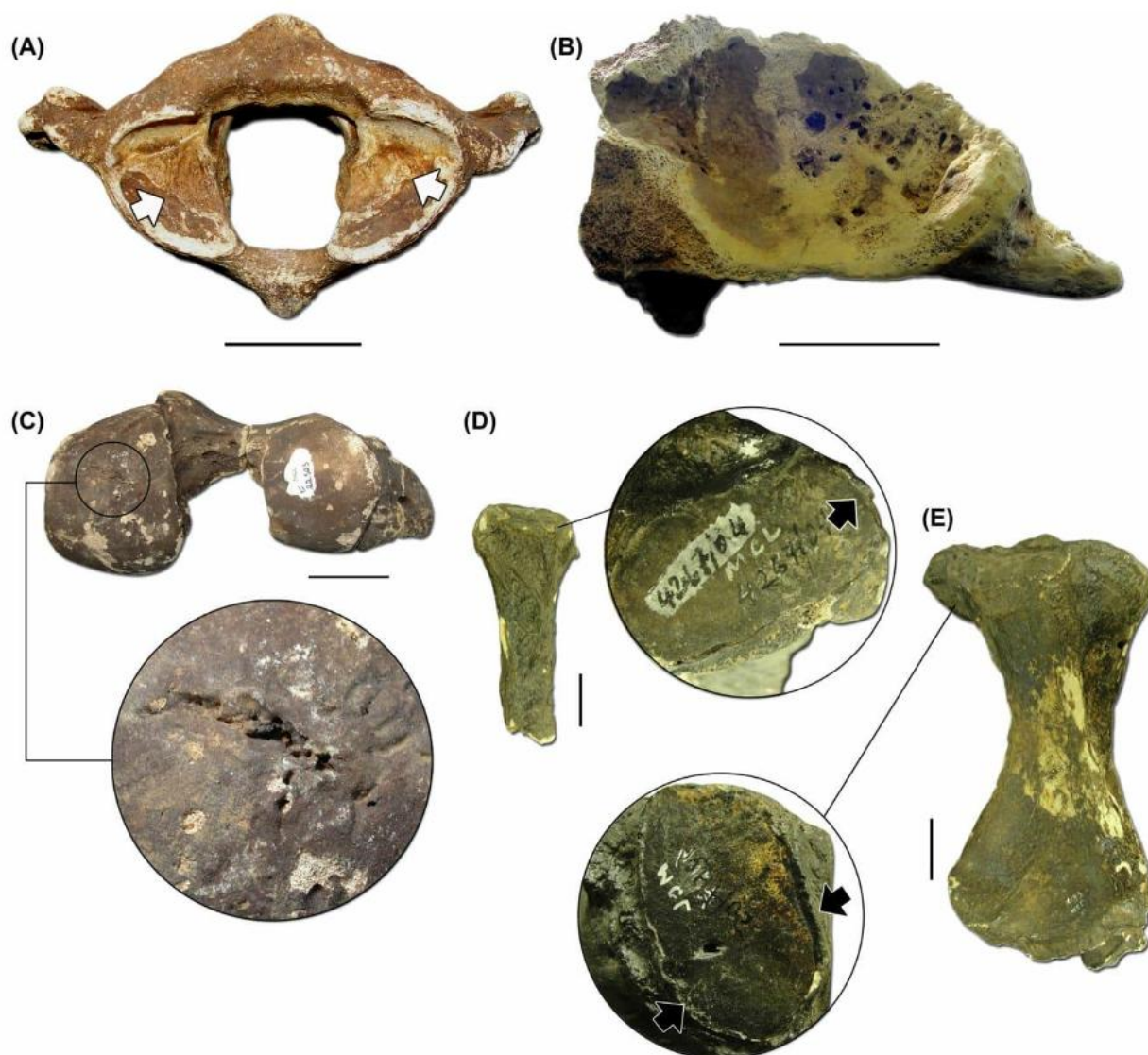


Figure 2. Joint and vertebral lesions in *Catonyx cuvieri*. (A) atlas (MCL 22 381/02) in cranial view; (B) fragment of pelvis (MCL 22 490); (C) distal epiphysis of a left femur (MCL 22 505) and detail of the erosive lesion; (D) right fibula (MCL 4267/04) in cranial view; and (E) right tibia (MCL 4267/05) in cranial view.

Notes: White arrows indicate deposition of calcific sheet. Black arrows indicate osteophytes. Scale bars = 5 cm.

calcanei, the right astragalus (MCL 4267/03) and the left tibia (MCL 4267/06).

Thirty-four specimens were recovered from the Toca da Boa Vista cave. All belong to a single juvenile individual: Lumbar and caudal vertebrae, hand and foot bones and fragments of other appendicular bones. Among these specimens, a left metatarsal III (MCL 4291/10) has a small subchondral erosion in the articular surface to cuneiform; this alteration is similar to that observed on the fragment of pelvis (MCL 22 490).

Finally, an axis and third cervical vertebra (FUMDHAM 200-303-6) from Toca do Garrincho are fused by new bone formation (Figure 3). This overgrowth is comma-shaped, representing ossification of the annulus fibrosus, i.e. non-marginal syndesmophytes (Rothschild and Martin 2006).

Myloodonopsis ibseni

Among the 136 bones of *Myloodonopsis ibseni* analyzed from the Gruta dos Brejões cave, only three exhibit articular lesions (2.2%). MNI is three adults, with one individual afflicted (MCL 450). This individual has ninety-five bones recovered: a zygomatic arch, hyoid, radius, fibula, four ribs, four sternbrae, 66 hand/foot bones, seven caudal vertebrae and nine haemal arches. Two hemal arches (MCL 450/77 and MCL 450/82) and a caudal vertebra (MCL450/94) are pathologically altered (Figure 4(A–C)). The two haemal arches have erosions on the articulations with their respectively caudal vertebrae, while a caudal vertebra (MCL 450/94) has erosion of the articulation with its haemal arch.

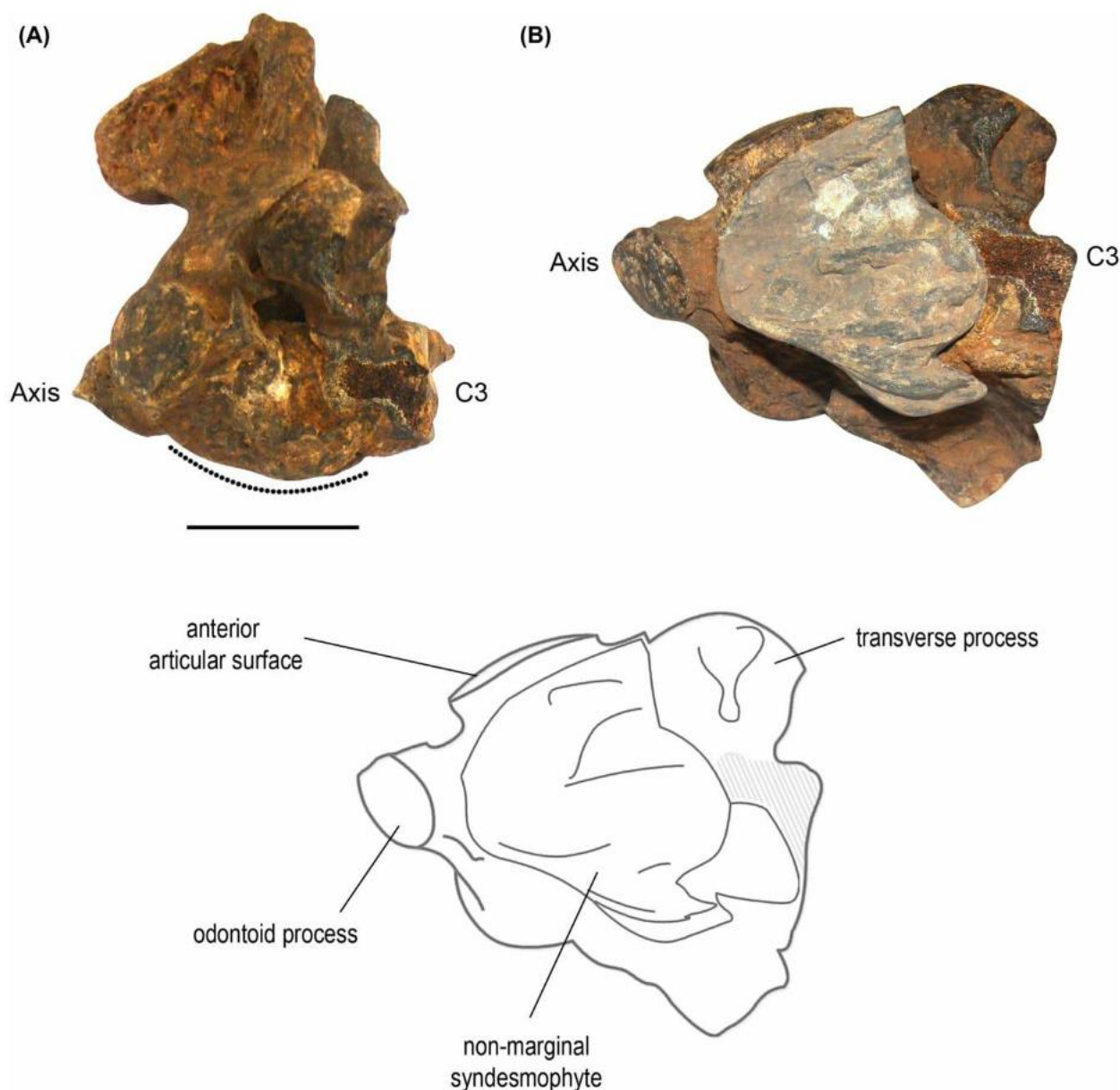


Figure 3. Axis and third cervical vertebra (C3) fused of *Catonyx cuvieri* (FUMDHAM 200–303-6). (A) axis and C3 in lateral view; and (B) axis and C3 in ventral view. Notes: Dashed line indicates the extension of the lesion. Scale bar = 5 cm.

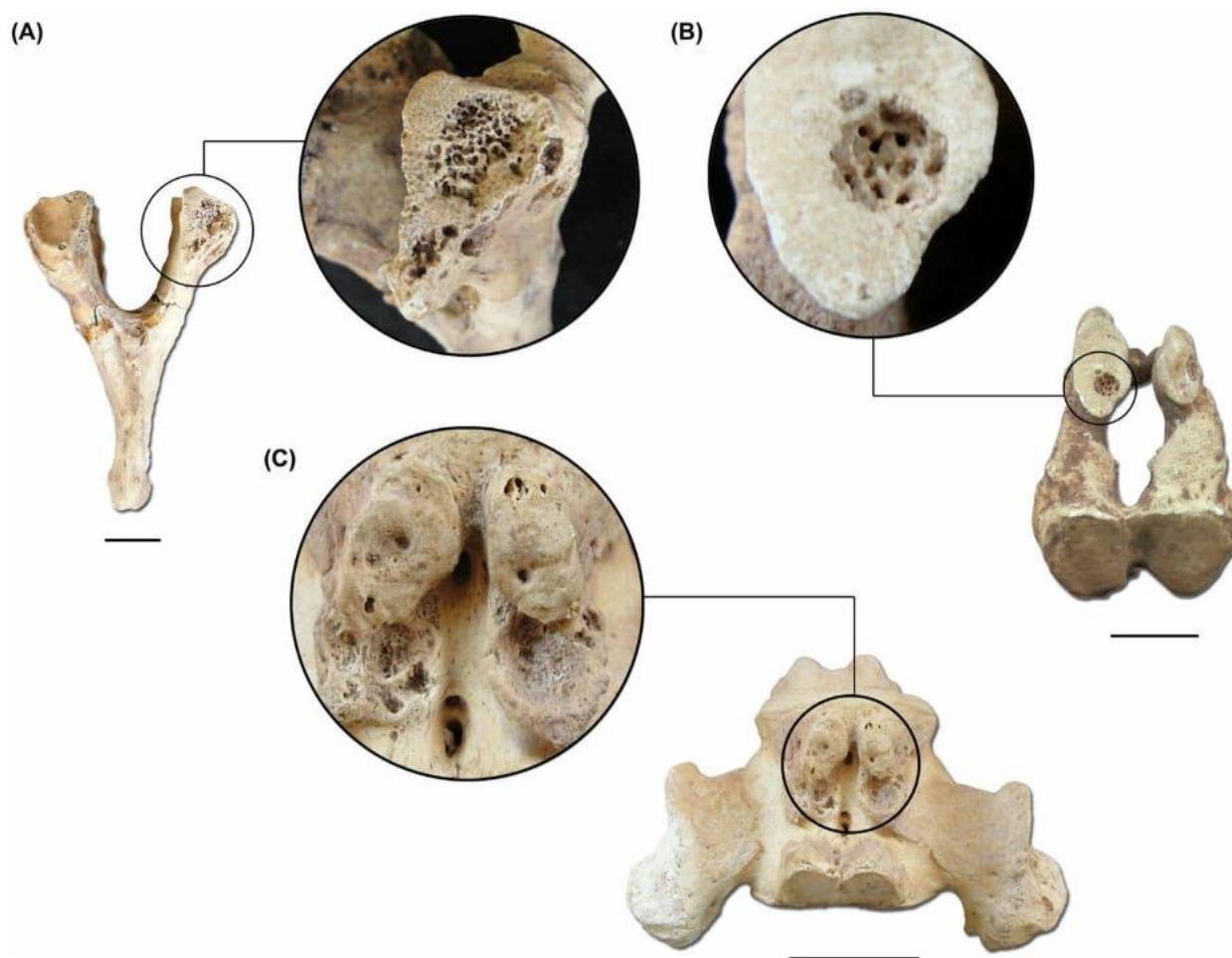


Figure 4. Joint lesions in *Mylodonopsis ibseni*. (A) hemal arch (MCL 450/77) and detail of the erosive lesion; (B) hemal arch (MCL 450/82) and detail of the erosive lesion; (C) caudal vertebra (MCL 450/94) in ventral view and detail of the erosive lesion. Note: Scale bar = 2 cm.

Glossotherium sp

Among the 173 bones of *Glossotherium* sp. examined, thirteen exhibit pathological alteration (7.51%). MNI is 11 (six juvenile and five adult), of which five (one juvenile and four adults) have skeletal lesions, representing 45.45%.

The juvenile individual (MCL 4303) has two bones with subchondral erosions, the left tibia (MCL 4303/08) and a thoracic vertebra (MCL 4303/18). The erosions in the left tibia (MCL 4303/08) are located on the proximal articulation with the fibula. The thoracic vertebral erosions in MCL 4303/18 are located on the left and right costovertebral articulations.

The adult individual MCL 4231 has two bones with pathological changes: The left tibia (MCL 4231/01) and left femur (MCL 4231/05). MCL 4231/01 has bone erosion on its distal joint surface, associated with marginal bone overgrowth projecting onto the joint surface (Figure 5(A)). MCL 4231/05 has marginal bone overgrowth on the trochlea and medial condyle (Figure 5(B)). The latter extends parallel from the joint surface, in contrast to overlying calcification on the left tibial surface (MCL 4131/01).

The second adult individual (MCL 4304) has seven afflicted bones: Right scaphoid (MCL 4304/03; Figure 6(A)), left unciform (MCL 4304/06; Figure 6(B)), left magnum (MCL 4304/07),

left metacarpus (MCL 4304/09), axis (MCL 4304/12), a thoracic vertebra (MCL 4304/15), left trapezoid (MCL 4304/21; Figure 6(C–D)) and a rib (MCL 4304/35). They [axis (MCL 4304/12) excepted] have overgrowth projecting onto their articular surfaces. The axis has a small overgrowth on the ventral border of its posterior vertebral endplate (Figure 6(E–F)). An isolated adult cervical vertebra (MCL 4320) has a focal indentation defect on its posterior vertebral endplate (Figure 6(G)). This lesion is slightly circular, smoothed-walled, with no evidence of proliferative reaction changes.

Ocnotherium giganteum

Among the 321 bones of *Ocnotherium giganteum* from the Toca dos Ossos site, 20 have osseous modification (6.23%). MNI is 10 (one juvenile and nine adult individuals), of which seven are afflicted (70%).

Of the 58 bones from individual MCL 4228, 12 were pathological: Right humerus (MCL 4228/03), left radius (MCL 4228/04), left ulna (MCL 4228/05), metacarpus IV (MCL 4228/13), metacarpus III (MCL 4228/14), metacarpus V (MCL 4228/15), thoracic vertebra (MCL 4228/26), sacrum (MCL 4228/30), a thoracic vertebra (MCL 4228/33), left humerus (MCL 4228/40),

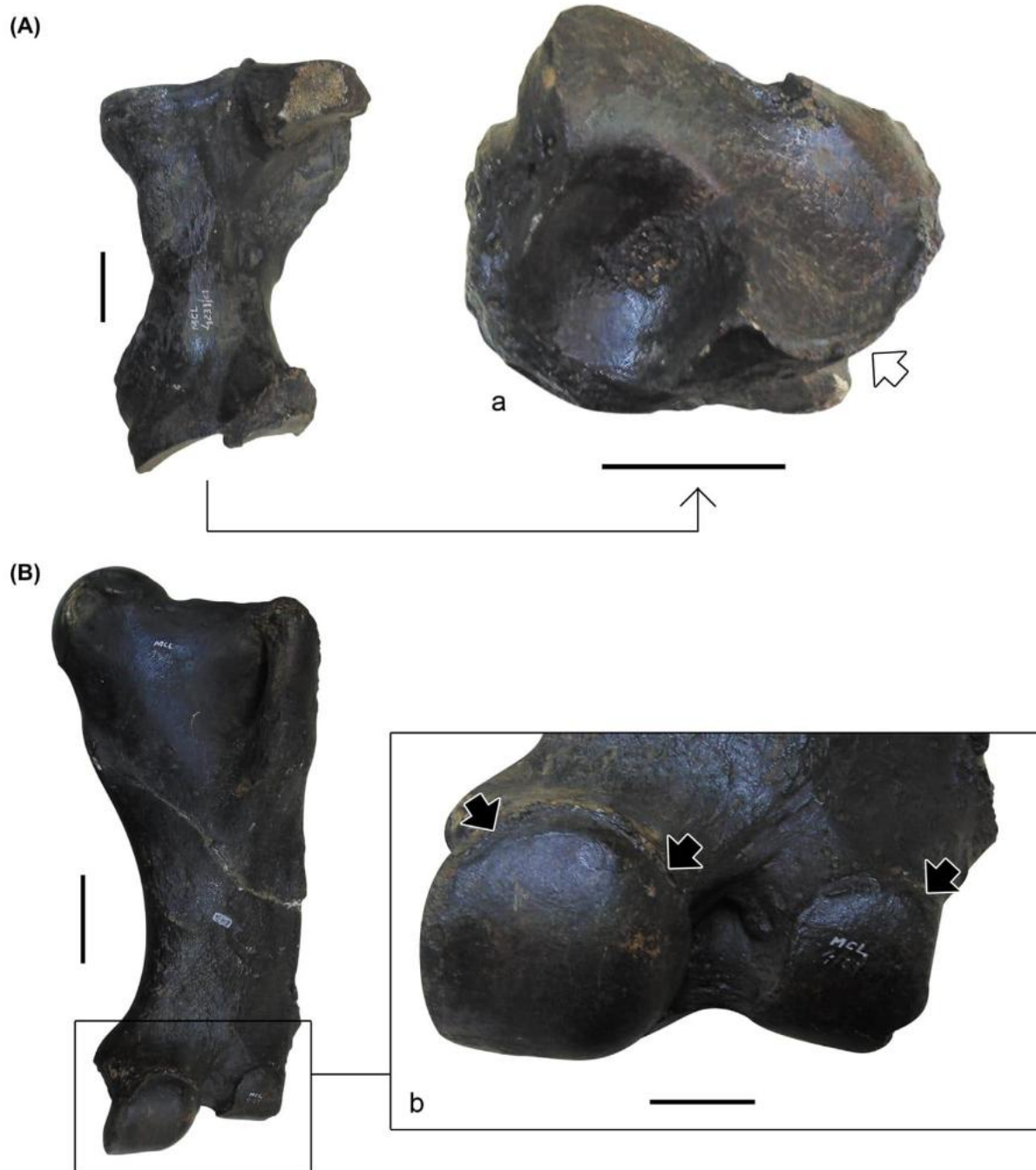


Figure 5. Joint lesions in *Glossotherium* sp. (A): left tibia (MCL 4231/01) in caudal view; and (B): left femur (MCL 4231/05) in caudal view. Notes: White arrow indicates deposition of calcific sheet. Black arrows indicate osteophytes. Scale bars = 5 cm.

metacarpus IV (MCL 4228/55) and a haemal arch (MCL 4228/60).

The right humerus (MCL 4228/03) has calcific sheets on both its proximal and distal (trochlear) joint surfaces and several small round erosions on the capitulum (distal articular surface; Figure 7(A–B)). The calcific shelf on the left humerus (MCL 4228/03) also involves the distal (trochlear) surface. The right radius (MCL 4228/04) has prominent ossification at sites of tendon and ligament insertion into its proximal diaphysis (Figure 7(C)). The left ulna (MCL 4228/05) has a calcific sheet on its proximal articulation with the humerus (trochlear

notch). Metacarpus IV (MCL 4228/13), metacarpus III (MCL 4228/14), metacarpus V (MCL 4228/15) and metacarpus IV (MCL 4228/55; Figure 7(D)) have new bone formation at sites of tendon and ligaments insertion (enthesiophytes; Rothschild and Martin 2006). Lumbar vertebra (MCL 4228/26) has bone overgrowth on the ventral edge of the anterior vertebral endplate (vertebral osteophyte; Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006; Figure 7(E)). This bone overgrowth extends caudally to the insertion point of the ventral longitudinal ligament. Thoracic vertebra (MCL 4228/33) also has an osteophyte on the ventral edge of its posterior vertebral endplate (Figure 7(F–G)).

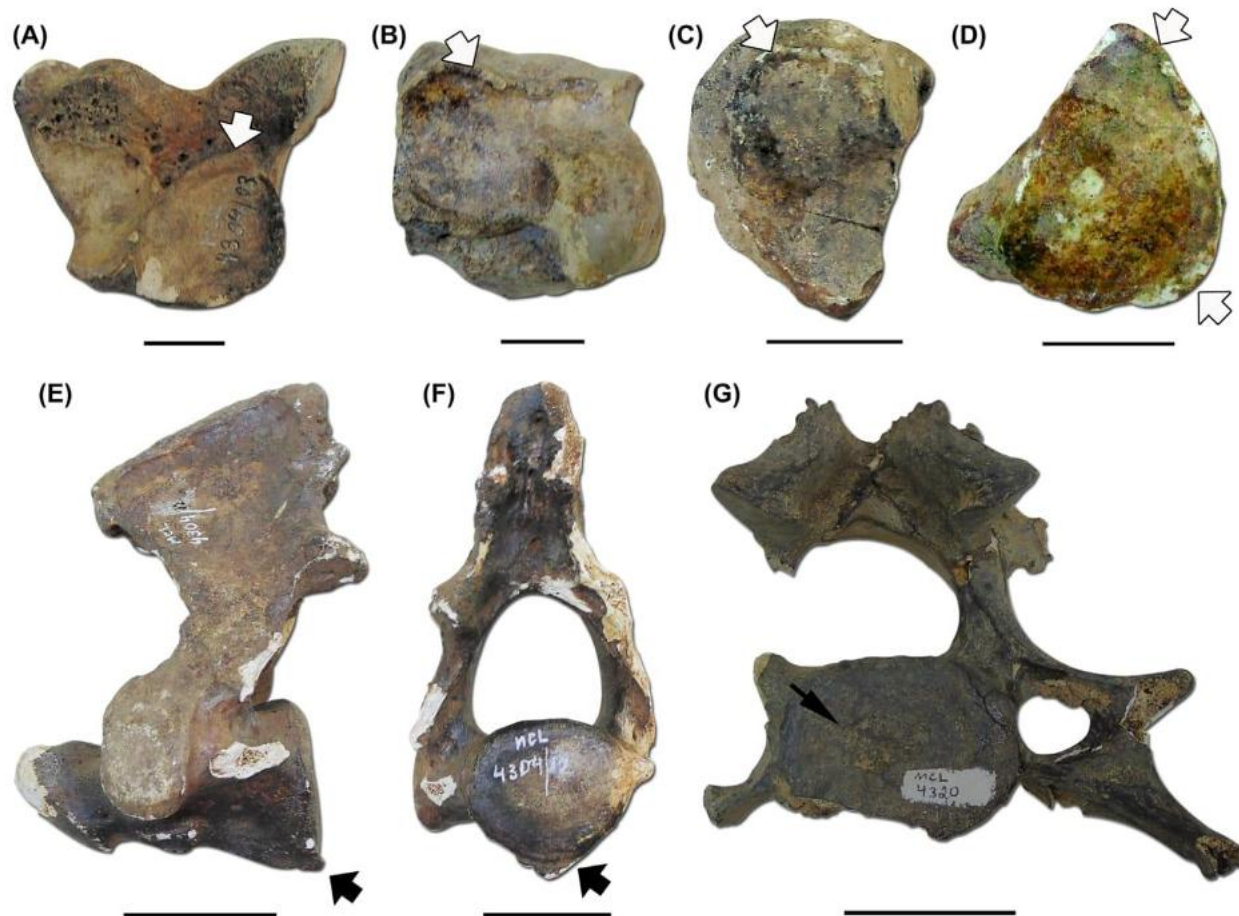


Figure 6. Joint and vertebral lesions in *Glossotherium* sp. (A) right scaphoid (MCL 4304/03); (B) left unciform (MCL 4304/06); (C) left trapezoid (MCL 4304/21) in cranial view; (D) left trapezoid (MCL 4304/21) in caudal view; (E) axis (MCL 4304/12) in lateral view; (F) axis (MCL 4304/12) in caudal view; and (G) cervical vertebra (MCL 4320) in caudal view.

Notes: White arrows indicate deposition of calcific sheet. Black arrows indicate vertebral osteophyte. Thin black arrow indicates the focal indentation bone defect. Scale bars (A–D) = 2 cm and scale bars (E–G) = 5 cm.

Lastly, heamal arch (MCL 4228/60) has new bone formation in its anterior aspect, extending horizontally in a bridging manner (Figure 7(H–I)). Unfortunately, full bridging cannot be verified, as the specimen is broken at the site where it likely communicated with the adjacent haemal arch.

Individual MCL 21 232 is represented only by the atlas (MCL 21 232/01) and axis (MCL 21 232/02). A calcific sheet is present on the joint surfaces articulating with both occipital condyles (Figure 8(A)). The right humerus (MCL 4240) and left ulna fragment (MCL 21 405; Figure 8(B)) bear the same calcific sheet on their trochlea and trochlear notch, respectively. Individual MCL 21 368 is represented by fourteen consecutive caudal vertebrae, the ninth (MCL 21 368/09) of which has a small, rounded erosion on its posterior vertebral endplate (Figure 8(C)).

Another isolated vertebral centrum (MCL 21 292) exhibits a focal indentation defect on its posterior vertebral endplate (Figure 8(D)). This lesion is U-shaped, smooth-walled and located in the region corresponding to the attachment of the anulus fibrosus. The right tibia (MCL 21 432) and a phalanx (MCL 21 455) have single elliptical areas of bone destruction (Figure 8(E–F)). In MCL 21 432 the lesion is located on the distal articular surface, while the abnormal area in MCL 21 455 is on the proximal articular surface. An isolated

cervical vertebral body (MCL 21 433) has marginal bone overgrowth on the ventral edge of its anterior vertebral endplate (Figure 8(G)).

Eremotherium laurillardi

Among the 427 bones of *Eremotherium laurillardi* analyzed of this species, eighteen bones have skeletal alterations (4.2%). MNI is 13 (one juvenile and twelve adults), of which four are afflicted (30.76%).

Individual MCL 33 089 is represented by the first four cervical vertebrae. The axis (MCL 33 089/02) has calcific sheets on both post-zygapophyses (Figure 9(A)). The fourth cervical vertebra (MCL 33 089/04) has marginal bone overgrowth projecting onto the articular surface of both pre-zygapophyses (Figure 9(B)). Furthermore, MCL 33 089/04 also has new bone formation at the insertion site for the longitudinal ligament (Figure 9(C–D)).

Individual MCL 33 110 is represented by eight caudal vertebrae, the last four (MCL 33 110/04, MCL 33 110/05, MCL 33 110/06 and MCL 33 110/07) of which have calcified sheets on the vertebral bodies. In the MCL 33 110/04 they are limited to the anterior vertebral endplate. In MCL 33 110/05 (Figure 9(E–F)) and MCL 33 110/07, they are present on both the anterior and posterior vertebral endplates and in MCL 33 110/06, present only on the posterior vertebral endplate (Figure 9(G)).



Figure 7. Joint and vertebral lesions in the individual *Ocnotherium giganteum* (MCL 4228). (A) proximal joint of right humerus (MCL 4228/03); (B): distal joint of right humerus (MCL 4228/03); (C) right radius (MCL 4228/04) in the cranial view; (D) metacarpus IV (MCL 4228/55) in lateral view; (E) lumbar vertebra (MCL 4228/26) in caudal view; (F) thoracic vertebra (MCL 4228/33) in caudal view; (G) thoracic vertebra (MCL 4228/33) in lateral view; (H) hemal arch (MCL 4228/60) in lateral view; and (I) hemal arch (MCL 4228/60) in ventral view.

Notes: White arrows indicate deposition of calcific sheet. White long arrow indicates enthesiophytes. Black arrows indicate vertebral osteophyte. Green-marked areas in I represents bone overgrowth. Scale bars A = 5 cm.

Individual MCL 33 210 is represented by an articulated sequence of seven caudal vertebrae, of which two (MCL 33 210/03 and MCL 33 210/04) have hemispherical defects on their posterior vertebral endplates (Figure 9(H–I)). The left lunate (MCL 33 237) has a calcific sheet on its articulation with the unciform and marginal bone overgrowth projecting onto the joint surface.

Similar overgrowth is also present on the proximal left humeral (MCL 33 247) surface. The left scapula (MCL 33 253) and the medial phalanx of the third digit (DGEO-UFPE 6238) also have a calcific sheet on the glenoid cavity and proximal articular surfaces, respectively. Individual MCL 33 254 is represented by thirteen bones

of the left hand, of which the fused (a characteristic of Folivora) proximal + medial phalanges (MCL 32 254/09) and ungual phalanx of the second digit (MCL 32 254/10; Figure 8(J)) have calcific sheets on their distal and proximal articular surfaces, respectively.

Cervical vertebra DGEO-UFPE 5840 (Figure 9(K)) and isolated vertebral body DGEO-UFPE 5990 (Figure 9(L–N)) have marginal new bone formation at their anterior vertebral endplates. The latter is laterally positioned and extends caudally, the pattern of a syndesmophyte. An isolated medial phalanx (DGEO-UFPE 7133) has an elliptical bone defect, with smooth edges and a 'punched-out' appearance on the distal joint surface.

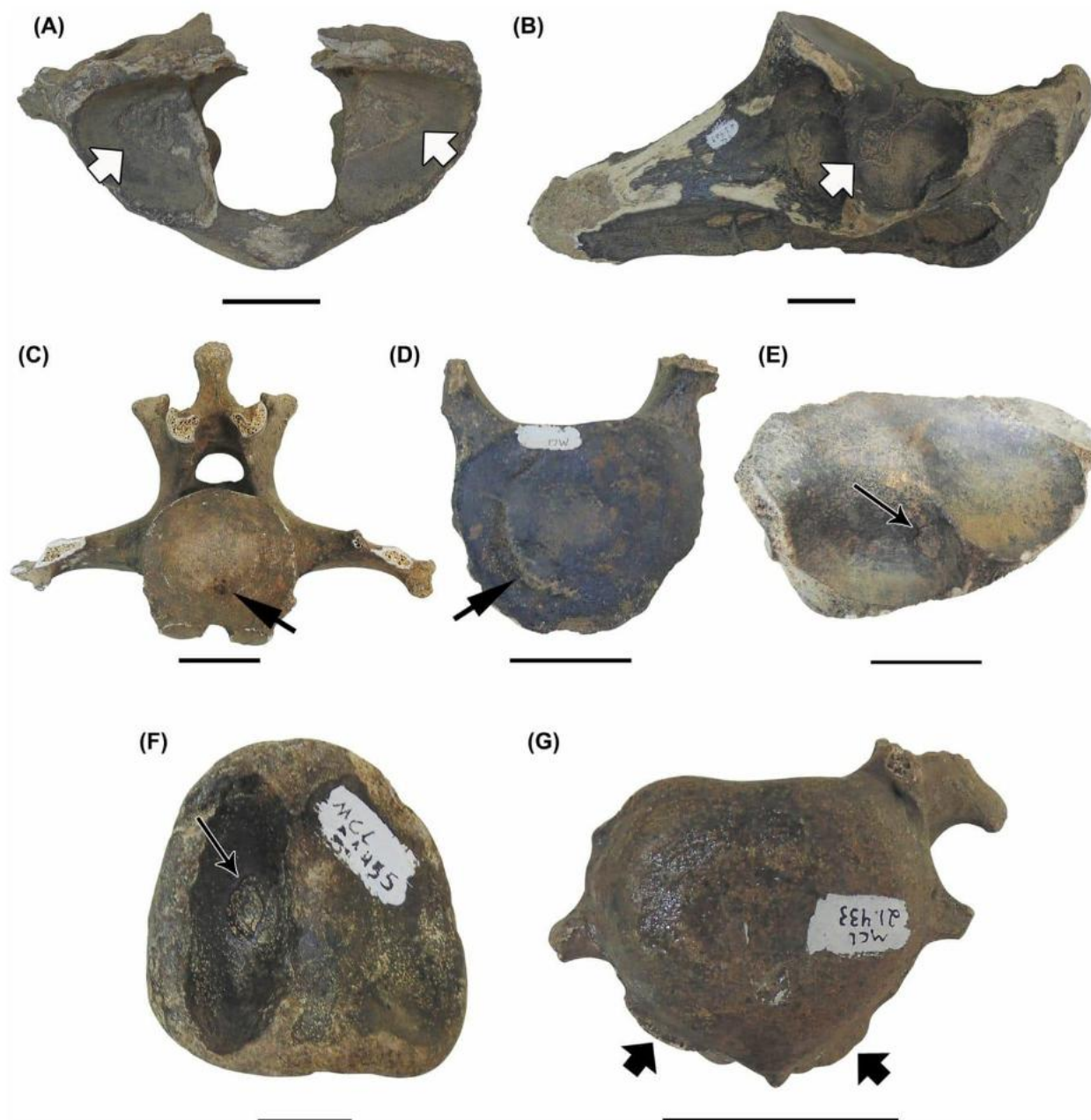


Figure 8. Joint lesions in *Ocnotherium giganteum*. (A) axis (MCL 21 232/01) in caudal view; (B) left ulna fragment (MCL 21 405) in lateral view; (C) ninth caudal vertebra (MCL 21 368/09) in caudal view; (D) isolated vertebral centrum (MCL 21 292); (E) distal joint of the right tibia (MCL 21 432); (F) phalange (MCL 21 455) in distal view; and (G) cervical vertebra (MCL 21 433).

Notes: White arrows indicate deposition of calcific sheet. Black arrows indicate vertebral osteophyte. Long black arrows indicate elliptical bone destruction. Thin black arrow indicates the focal indentation bone defect. Scale bars A–E and G = 5 cm. Scale bar F = 2 cm.

Multivariate analyses

Q-mode cluster analysis revealed differences among the taxa, allowing establishment of two distinct groups (Pathologic Groups = PG1 and PG2) and an external branch represented by *Ahytherium aureum* (Figure 10(A)). The ANOSIM test provided an $R = 0.69$, $p = 0.022$, indicating that differences among these three main clusterings are significant.

Pathological group PG1 is composed of mylodontids (*Catonyx cuvieri*, *Valgipes bucklandi*, *Glossotherium* sp. and *Ocnotherium giganteum*) and the megatheriid *Eremotherium laurillardi*. PG2 includes the mylodontid *Myodonopsis ibseni*

and the nothrotheriid *Nothrotherium maquinense* (see Figure 10). PG1 includes 89.6% of individuals (based on MNI percentage) identified with pathology; PG2 and *A. aureum* represent 10.4%. The correspondence analysis reveals a similar arrangement of the groups found in the cluster analysis. Concordantly to the cluster analysis, *A. aureum* plots far from the other taxa.

Discussion

The findings described above are assignable to six different types of skeletal lesions. This includes four varieties of joint disease

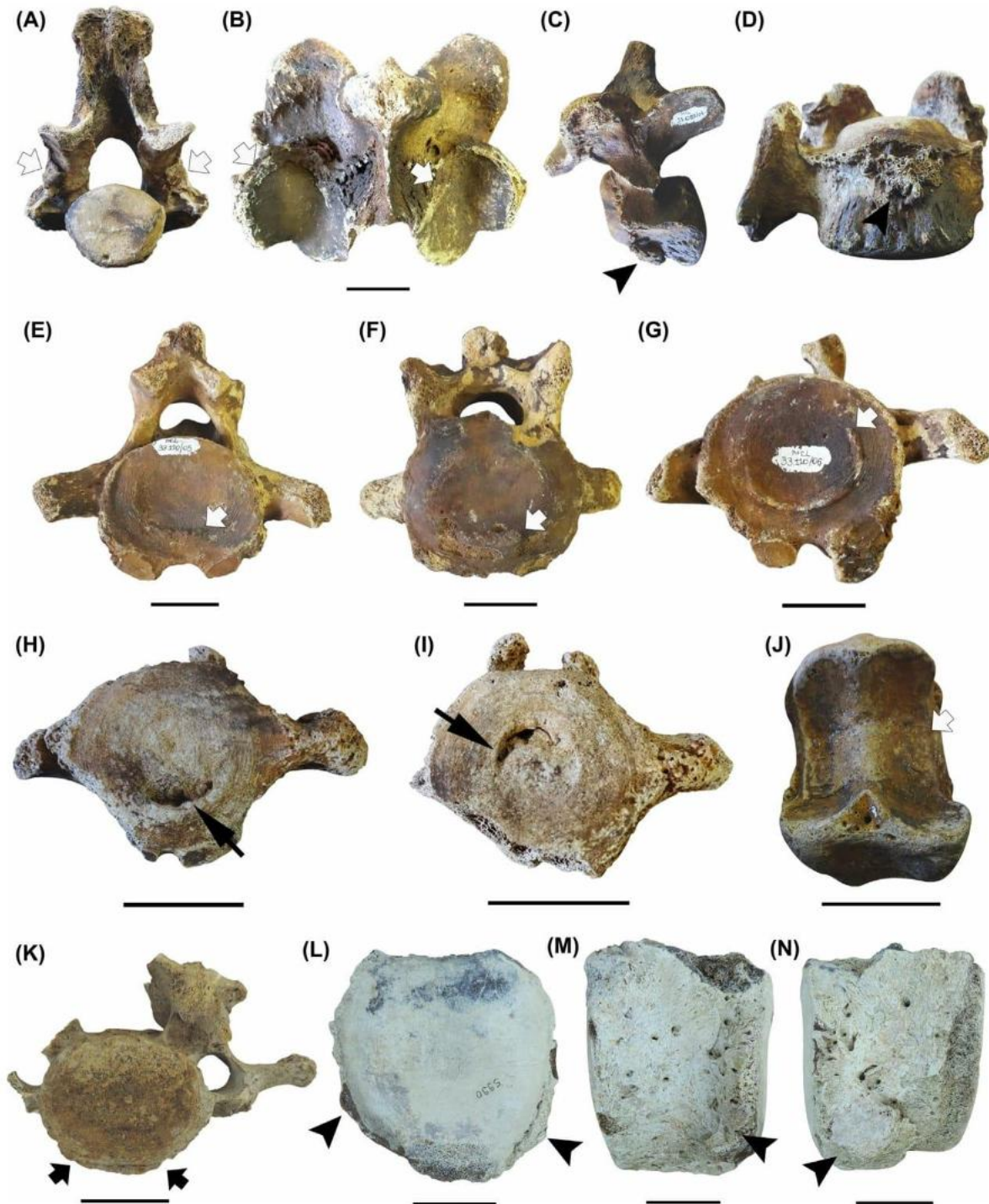


Figure 9. Joint and vertebral lesions in *Eremotherium laurillardii*. (A) axis (MCL 33 089/02) in caudal view; (B) fourth cervical vertebra (MCL 33 089/04) in dorsal view; (C) fourth cervical vertebra (MCL 33 089/04) in lateral view; (D) fourth cervical vertebra (MCL 33 089/04) in ventral view; (E) caudal vertebra (MCL 33 110/05) in cranial view; (F) caudal vertebra (MCL 33 110/05) in caudal view; (G) caudal vertebra (MCL 33 110/06) in cranial view; (H) caudal vertebrae (MCL 33 210/03) in caudal view; (I) caudal vertebrae (MCL 33 210/04) in caudal view; (J) proximal joint surface of the ungual phalange of the second digit (MCL 32 254/10); (K) cervical vertebra (DGEO-UFPE 5840) in cranial view; (L) isolated vertebral body (DGEO-UFPE 5990) in cranial view; (M) isolated vertebral body (DGEO-UFPE 5990) in right lateral view; and (N) isolated vertebral body (DGEO-UFPE 5990) in left lateral view.

Notes: White arrows indicate deposition of calcific sheet. Black arrow head indicates new bone formation. Short black arrows indicate vertebral osteophyte. Thin black arrow indicates the focal indentation bone defect. Scale bars = 5 cm.

(often referred to as arthritis): calcium pyrophosphate deposition disease (CPPD), spondyloarthropathy, osteoarthritis, osteochondritis dessicans. Additionally, two vertebral conditions are identified: Schmorl's nodes and spondylosis deformans. Below we discuss each abnormality separately.

Calcium Pyrophosphate Deposition Disease (CPPD)

The presence of calcific plate-like overgrowths on subchondral joint surfaces and marginal bone overgrowth projecting onto joint surfaces, as observed in *Valgipes bucklandi* (MCL 4264/30,

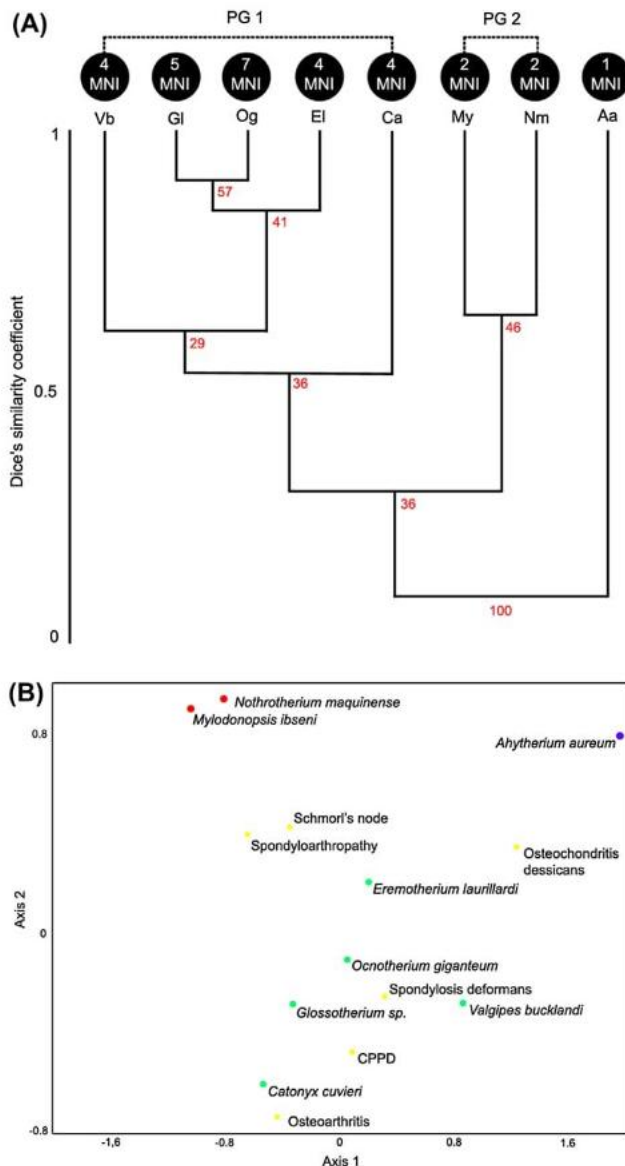


Figure 10. Cluster and correspondence analyses of taxa versus lesions. (A) dendrogram with clustering of taxa according to their types of arthritic similarities/differences (bootstrap test, $N = 10,000$; values in red); (B) diagram of coordinates with the χ^2 distances among all taxa and all types of bone alterations (yellow circles).

Notes: Abbreviations in A: PG 1 = Pathological Group 1 (green circles); PG 2 = Pathological Group 2 (red circles); Vb = *Valgipes bucklandi*; Cc = *Catonyx cuvieri*; Gl = *Glossotherium* sp.; Og = *Ocnotherium giganteum*; El = *Eremotherium laurillardi*; Mi = *Myiodonopsis ibseni*; Nm = *Nothotherium maquinense*; Aa = *Ahytherium aureum*.

MCL 4264/35, MCL 4264/36, MCL 4264/40, MCL 4264/42, MCL 4264/43, MCL 4264/45, MCL 4264/47, MCL 4264/49, MCL 4264/51, MCL 4264/71, MCL 22 211/55, MCL 22 256/01, MCL 22 263/01 and MCL 22 263/02), *Catonyx cuvieri* (MCL 22 381/02), *Glossotherium* sp. (4231/01, MCL 4304/03, MCL 4304/06, MCL 4304/07, MCL 4304/09, MCL 4304/15, MCL 4304/21 and MCL 4304/35), *Ocnotherium giganteum* (MCL 4228/03, MCL 4228/05, MCL 4228/40, MCL 4240, MCL 21 232/01, MCL 21 232/02 and MCL 21 405) and *Eremotherium laurillardi* (MCL 33 089/02, MCL 33 089/04, MCL 33 110/04, MCL 33 110/05, MCL 33 110/06, MCL 33 110/07, MCL 33 237, MCL 33 247, MCL 33 253, MCL 33 254/09, MCL 33 254/10, DGEO-UFPE 6238) are diagnostic for

calcium pyrophosphate deposition disease (CPPD), a crystalline type of arthritis (Rothschild 1982; Rothschild et al. 1992). CPPD is an inflammatory arthritis (Arie and Doherty 1989), frequently associated with osteoarthritis (Moskowitz et al. 1984).

The calcific sheets marginally located observed in some bones (e.g. MCL 4264/49, *V. bucklandi* and MCL 4231/01, *Glossotherium* sp.) could be confused with osteophytes, a marginal bone overgrowth on synovial joints that characterizes osteoarthritis (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006). However, all the new bone formation, characterized above as projecting onto the joint surface rather than parallel to that surface, is characteristic of CPPD and distinguished from osteoarthritis.

Almost all individuals diagnosed with CPPD had calcific sheets as the only evident bone change [individuals MCL 4228 (*O. giganteum*) and MCL 4231 (*Glossotherium* sp.) excepted], allowing identification of the CPPD as primary, i.e. that it developed independently of other inflammatory diseases or osteoarthritis (Rothschild et al. 1992). Primary CPPD in humans is an age-related disease, predominantly affecting adult individuals (Rothschild and Martin 2006). Except for juvenile individuals (MCL 21 256 and MCL 22 263; *Valgipes bucklandi*), all cases of CPPD were observed in adult individuals. This suggests that in the Pleistocene sloths, CPPD was also a disease that affected predominantly adult individuals.

CPPD is a rare type of arthritis in free-ranging contemporary animals (Rothschild and Woods 1993), recognized in non-human primates (Rothschild and Woods 1992, 1993), large cats (Rothschild et al. 1998) and reptiles including the Komodo dragon, *Varanus komodoensis* (Frye and Dutra 1976; Frye 1991; Barten 1996; López del Castillo 1998; Rothschild and Bruno 2009; Rothschild et al. 2012). In fossil organisms, CPPD has been seldom described. Among Xenarthra, it has been described for the glyptodonts *Glyptotherium* sp. (Barbosa et al. 2014) and *Panochthus* sp. (Barbosa and Luna 2014; Barbosa, Araújo-Júnior et al. 2017). In those cases, the CPPD was likely a secondary complication of spondyloarthropathy, similar to observations in *Varanus komodoensis* (Rothschild et al. 2012). This contrasts with the cases reported in the current study, in which the CPPD was predominantly primary, representing the first recognized cases of primary CPPD in the fossil record.

A probable additional case is that of McAfee (2016), who figured an atlas from a juvenile *Myiodon darwini* Owen, 1839 from the Pampean Formation, Buenos Aires Province, Argentina. Calcific sheets on both occipital condyle-articulating surfaces (FMNH P14288; Figure 3.1, pg. 424), similar to that observed in the atlas MCL 22 381/02 of *Catonyx cuvieri* described above (see item 3.2), likely also represent CPPD.

Spondyloarthropathy (SpA)

The smoothed, rounded and crater-shaped subchondral erosions observed in *Catonyx cuvieri* (MCL 4291/10, MCL 22 490 and MCL 22 505), *Myiodonopsis ibseni* (MCL 450/77, MCL 450/82 and MCL 450/94) and *Glossotherium* sp. (MCL 4303/08 and MCL 4303/18) are diagnostic for the peripheral joint manifestations of spondyloarthropathy (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006). The non-marginal syndesmophyte on the fused axis/

third cervical vertebrae (FUMDHAM 200–303–6) of *Catonyx cuvieri*, on the cervical vertebra (MCL 33 089/04) and on isolated vertebra (DGEO-UFPE 5990) of *Eremotherium laurillardi* are diagnostic for the axial manifestations of spondyloarthropathy (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006). The subchondral joint erosions and enthesitis in *Ocnotherium giganteum* (MCL 4228) are also diagnostic for peripheral manifestations of SpA (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006).

SpA is a category of inflammatory arthritis characterized by tendency to reactive bone formation, ossification at sites of tendon, ligaments, and capsule insertions (enthesitis), asymmetrical pauci-articular peripheral joint erosions and fusion, and axial (spine and sacroiliac) joint disease (McEwen et al. 1971; Rothschild 1982; Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006). SpA includes five subtypes: ankylosing spondylitis, reactive arthritis, psoriatic arthritis, arthritis associated with inflammatory bowel disease (ulcerative colitis or Crohn's disease) and an undifferentiated form (Rothschild 1982; Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006). Unfortunately, the limited bone alterations observed on the specimens herein described do not allow accurately distinguishing among those subtypes, except for ankylosing spondylitis. That disease presents with axial skeletal fusion, extending uniformly in a cephalad cranial direction from the pelvis. The isolated vertebral involvement in sloths is not compatible with that subtype.

Non-marginal syndesmophytes can be confused with the paravertebral ossification of the spinal longitudinal ligament observed in diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH), sometimes making an accurate diagnosis difficult or even impossible (Rothschild and Martin 2006). However, in the case of FUMDHAM 200–303–6, the direct vertebral attachments of ossification transversing the intervertebral space eliminates DISH as a diagnostic consideration, because it lacks the clear space between the ossification and vertebral body inherent to the DISH diagnosis (Resnick et al. 1978; Rothschild 1982).

MCL 4228 (*O. giganteum*) is very interesting as it illustrates complication of one disease (spondyloarthropathy) by a second one (CPPD), a phenomenon previously observed in *Varanus komodoensis* (Rothschild et al. 2012). In addition to classic findings of spondyloarthropathy, this individual also has calcific sheets deposited on the joint surfaces, features diagnostic for CPPD (see sub-item *CPPD*). Spondylosis deformans (see sub-item *Spondylosis deformans*), was also recognized. Similar association of different types of arthritis in a single individual was previously observed in the glyptodonts *Glyptotherium* sp. (Barbosa et al. 2014) and *Panochthus* sp. (Barbosa and Luna 2014).

Osteoarthritis (OA)

Marginal bone overgrowth on synovial joints that project parallel to the articular surface, as observed in the fibula (MCL 4267/04) and tibia (MCL 4267/05) of *Catonyx cuvieri*, the left femur (MCL 4231/05) of *Glossotherium* sp. and the right humerus (MCL 4228/03) of *Ocnotherium giganteum* represent articular osteophytes, the characteristic feature of osteoarthritis (Altman et al. 1986, 1991; Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006).

Osteoarthritis is extremely rare in extant wild-animals and equally rare in the fossil record (Rothschild and Woods 1992, 1993; Rothschild and Martin 2006). This rarity of osteoarthritis

in xenarthrans is supported by findings in the Pleistocene sloths discussed herein. There is no evidence of osteoarthritis in the Brazilian Pleistocene megalonichid and nothrotheriid sloths analyzed in previous work (Barbosa, Porpino, Bergqvist, et al. 2017). Among xenarthrans, all osteoarthritis identified to date has been a secondary complication of spondyloarthropathy, as noted in *Glyptotherium* sp. (Barbosa et al. 2014) and *Panochthus* sp. (Barbosa and Luna 2014). The left femur (MCL 4231/05) of *Glossotherium* sp. and right humerus (MCL 4228/03) of *Ocnotherium giganteum* likely represent cases of secondary osteoarthritis, given their association with other types of arthritis. In the first case, osteoarthritis is associated with CPPD; the latter, with SpA (see sub-item 4.2). Uniquely, the case of *C. cuvieri* seems to be primary, as it is not associated with other disease.

Osteochondritis dessicans (OD)

The bone alterations in the fragmented medial phalanx (DGEO-UFPE 6036) of *Valgipes bucklandi*, in the right tibia (MCL 21 432) and a phalanx (MCL 21 455) of *Ocnotherium giganteum* and the medial phalanx (DGEO-UFPE 7133) of *Eremotherium laurillardi* are compatible with the diagnosis of osteochondritis dessicans. This is a non-inflammatory condition characterized by bone necrosis of a segment of the surface of synovial joints (Loveland et al. 1984; Aufderheide and Rodrigues-Martín 1998; Resnick 2002). This condition had been for a long time interpreted as consequence of defective blood flow owing to trauma, particularly repeated, low-grade chronic or micro-trauma (Compare 1982; Aufderheide and Rodrigues-Martín 1998). Recently, it has been attributed to subchondral bone fractures (Resnick 2002).

Few cases of osteochondritis dessicans are reported in the fossil record (e.g. Rothschild and Tanke 2007; Clark and Goodship 2010; Thomas and Barnes 2015; Tschopp et al. 2016). In xenarthrans, osteochondritis dessicans was confidently diagnosed only in the Pleistocene megalonichid sloth *Ahytherium aureum* (Barbosa, Porpino, Bergqvist, et al. 2017).

Schmorl's node (SN)

The focal irregular indentation and hemispherical defects observed in vertebral endplates of *Glossotherium* sp. (MCL 4320; cervical vertebra), *Ocnotherium giganteum* (MCL 21 292; indeterminate vertebra) and *Eremotherium laurillardi* (MCL 33 210/03 and MCL 33 210/04; caudal vertebrae) are suggestive of Schmorl's nodes (Pfmann and Resnick 2001; Resnick 2002; Peng et al. 2003). This condition is usually associated with herniation of the nucleus pulposus through the annulus fibrosus linking vertebral centra (Schmorl and Junghans 1971). Nevertheless, osteonecrosis has been recently and controversially suggested as the basic condition for development of Schmorl's nodes, herniation being a secondary phenomenon (Peng et al. 2003).

Schmorl's nodes have been rarely identified in the fossil record: A *Notiomastodon platensis* lumbar vertebra (Barbosa, Porpino, Rothschild, et al. 2017) and a small Pleistocene ground sloth (*Nothrotherium maquinense*) caudal vertebra (Barbosa, Porpino, Bergqvist, et al. 2017). The present study shows that this condition also occurred in large Pleistocene ground sloths (*Glossotherium* sp., *O. giganteum* and *E. laurillardi*).

Spondylosis deformans (SD)

Marginal bone overgrowths parallel to vertebral endplates, observed in the taxa *Valgipes bucklandi* (MCL 4264/22; thoracic vertebra), *Glossotherium* sp. (MCL 4304/12), *Ocnotherium giganteum* (MCL 4228/26; lumbar vertebra, MCL 4228/33; thoracic vertebra and MCL 21 433; cervical vertebra) and *Eremotherium laurillardi* (DGeo-UFPE 5840; cervical vertebra), are osteophytes. However, they are not diagnostic for osteoarthritis, as the latter is a term restricted to disease of synovial joints, not disk spaces (Rothschild 1982; Rothschild and Woods 1987; Rothschild and Martin 2006). The appropriate term for this bone alteration (i.e. osteophytes on vertebral endplates) is spondylosis deformans (Resnick 2002; Rothschild 2015).

Spondylosis deformans appears to be a nonspecific, asymptomatic phenomenon of aging, with no diagnostic or prognostic significance (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006; Rothschild 2015). In contrast to osteoarthritis, spondylosis deformans is not a pathological condition. This type of the vertebral alteration was also common in dinosaurs (Rothschild 1990), but not accurately reviewed or separately analyzed from actual osteoarthritis in extinct mammals (this article excepted).

Multivariate analyses implications

Association among SpA, CPPD, SN and SD is unknown. Although CPPD may occur secondarily to SpA (Rothschild and Martin 2006; Barbosa et al. 2014), the distance between them in the plotting of the correspondence analysis is higher than the distances between CPPD and SD, and SpA and SN. Therefore, the possible secondary condition of CPPD to SpA cannot be considered alone in explaining the formation of PG 1. On the other hand, the size of taxa clustered in PG1 (*C. cuvieri*, *V. bucklandi*, *Glossotherium* sp., *O. giganteum* and *E. laurillardi*) is a possible explanation for this grouping, as the larger-sized taxa may be more vulnerable to certain abnormalities (based on the available literature so far; Rothschild et al. 1994, 1998; Barbosa et al. 2014; Barbosa and Luna 2014).

The plotting of PG 2 (*N. maquinense* and *M. ibseni*) in the correspondence analysis is strongly influenced by the presence of SpA and secondarily by SN. Clearly, their position is not related to specific body size, as PG 2 includes species of different sizes. In fact, SpA – the main disease among the species clustered in PG 2 – affects species with different body sizes since Permian (Rothschild et al. 2012). The isolated positions of *A. aureum* in the cluster and correspondence analyses (see Figure 10) agree with previous studies showing that such diseases were rare among Brazilian megalonychids (see Barbosa, Porpino, Bergqvist, et al. 2017).

Conclusions

Six different types of skeletal abnormalities, including Calcium Pyrophosphate Deposition Disease (CPPD), Spondyloarthropathy (SpA), Osteoarthritis (OA), Osteochondritis Dessicans (OD), Schmorl's Node (SN) and Spondylosis Deformans (SD), affected six Pleistocene ground sloths species from the BIR. Considering the material analyzed in this paper and previous studies, SpA is the most common

abnormality and *Ocnotherium giganteum* is the species with higher variability of the lesions (it has all lesions herein diagnosed) among the ground sloths of the BIR. According to multivariate analyses, body size seems to be the preponderant factor on the types of abnormalities that affected Pleistocene ground sloths from Brazilian Intertropical Region.

Acknowledgments

We are grateful to C. Cartelle (Museu de Ciências Naturais da PUC-MG), E. V. Oliveira (Universidade Federal de Pernambuco) and N. Guidon (Fundação Museu do Homem Americano) who kindly gave us access to the specimens studied here, L. V. Santos (Museu de Ciências Naturais da PUC-MG) for the crucial help with the identification of the material, and B. das M. Rosário for the help with the acquisition of the images. We are also grateful to two anonymous reviewers whose suggestions and comments improved the manuscript.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Funding

This study was funded by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq; grants: 159733/2013-8, 308013/2015-8, 307405/2012-5].

References

- Altman R, Asch E, Bloch D, Bole G, Borenstein D, Brandt K, Christy W, Cooke TD, Greenwald R, Hochberg M, et al. 1986. Criteria for classification and reporting of osteoarthritis: classification of osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum.* 29:1039–1049.
- Altman R, Alarcón G, Appelrouth D, Bloch D, Borenstein D, Brandt K, Brown C, Cooke TD, et al. 1991. Criteria for classification and reporting of osteoarthritis of the hip. *Arthritis Rheum.* 33:1601–1610.
- Alves RS, Barreto AMF, Lucila EPB, Farias CC. 2007. Aspectos tafonômicos no depósito de mamíferos pleistocênicos de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco: *Estud Geol.* 17:114–122.
- Araújo-Júnior HI, Porpino KO, Ximenes CL, Bergqvist LP. 2013. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: A study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. *Palaeogeogr Palaeoclimatol.* 378:52–74.
- Araújo-Júnior HI, Porpino KO, Bergqvist LP, Avilla LS. 2017. Nova Ocorrência de Mamíferos do Quaternário nos Tanques de Taperoá (Paraíba) e Alagoinha (Pernambuco), Nordeste do Brasil: Implicações Paleambientais [New occurrence of Quaternary mammals in the tanks of Taperoá (Paraíba) and Alagoinha (Pernambuco), northeastern Brazil: Paleoenvironmental implications]. *An Geoc.* 40(1):37–46. Portuguese.
- Arie A, Doherty M. 1989. Crystal-associated rheumatic disease. *Drugs.* 37:566–576.
- Aufderheide AC, Rodrigues-Martín C. 1998. *The Cambridge encyclopedia of human paleopathology.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Barbosa FHS, Luna C. 2014. Lesiones en la coraza y endoesqueleto de un ejemplar de *Panochthus* Burmeister, 1866 (Mammalia, Glyptodontia) de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Rev Museo Provinc Cienc Nat "Dr Arturo Umberto Illia".* 1:9–26.
- Barbosa FHS, Porpino KO, Fragoso AB, Oliveira EV. 2014. Arthritis in a glyptodont (Mammalia, Xenarthra, Cingulata). *PLoS One.* 9:e88646.
- Barbosa FHS, Porpino KO, Bergqvist LP, Rothschild BM. 2017. Elucidating the bones diseases in the Brazilian Pleistocene sloths (Xenarthra, Pilosa, Folivora): first cases reported for the Nothrotheriidae and Megalonychidae families. *Ameghiniana.* 54:331–340.
- Barbosa FHS, Araújo-Júnior HI, Mothé D, Avilla LS. 2017. Osteological diseases in an extinct *Notiomastodon* (Mammalia, Proboscidea) population from the Late Pleistocene of Brazil. *Quat Int.* 443:228–232.

- Barbosa FHS, Porpino KO, Rothschild BM, Cabral UG, Bergqvist LP. 2017. Arthritic lesions and congenital fusion in foot bones of *Panochthus* sp. (Xenarthra, Cingulata). *An Acad Bras Cienc*.
- Barten SL. 1996. Shell damage. In: Mader DR, editor. *Reptile medicine and surgery*. Philadelphia (PA): Saunders; p. 413–417.
- Bergqvist LP, Gomide M, Cartelle C, Capilla R. 1997. Faunas-locais de mamíferos pleistocênicos de Itaipoca/Ceará, Taperoá/Paraíba e CampinaGrande/Paraíba. Estudo comparativo, bioestratigráfico e paleoambiental [Pleistocene mammal local-fauna from Itaipoca/Ceará, Taperoá/Paraíba and Campina Grande/Paraíba. Comparative, biostratigraphic and palaeoenvironmental study]. *Geociências*. 11(6):23–32. Portuguese.
- Cartelle C. 1999. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: Eisenberg JB, Redford KH, editors. *Mammals of the neotropics: the central tropics*. Chicago (IL): University of Chicago Press; p. 27–46.
- Cartelle C, De Iullis G. 2006. *Eremotherium laurillardi* (Lund) (Xenarthra, Megatheriidae), the Panamerican giant ground sloth: taxonomic aspects of the ontogeny of skull and dentition. *J Syst Palaeontol* 4:199–209.
- Cartelle C, De Iullis G, Pujos F. 2014. *Eremotherium laurillardi* (Lund, 1842) (Xenarthra, Megatheriinae) is the only valid megatheriine sloth species in the Pleistocene of Intertropical Brazil: A response to Faure *et al.* *Cr Acad Palevol*. 14:15–23.
- Casali DM, Perini FA. 2017. The evolution of hyoid apparatus in Xenarthra (Mammalia: Eutheria). *Hist Biol*. 29:777–788.
- Clark EA, Goodship AE. 2010. A severely disabled mammoth – The palaeopathological evidence. *Quatern Int*. 228:210–216.
- Clarke KR, Warwick RM. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth: PRIMER-E.
- Compare CL. 1982. Osteochondritis dissecans or osteoarthritis? *J Am Med Assoc*. 247:1650.
- Dantas MAT. 2009. Primeiro registro de fósseis de mamíferos pleistocênicos em caverna de Sergipe. *Brasil Rev Bras Paleontol*. 12:61–164.
- Esteban-Trivigno D, Mendoza M, De Renzi M. 2008. Body mass estimation in xenarthra: a predictive equation suitable for all quadrupedal terrestrial placentals? *J Morphol*. 269:1276–1293.
- Fariña RA, Vizcaíno SF, Bargo MS. 1998. Body mass estimations in Lujanian (Late Pleistocene-early Holocene of South America) mammal megafauna. *Mastozoologia Neotropical*. 5(2):87–108.
- Ferigolo J. 1985. Patologias em preguiça terrícola – Artrose. Coletânea de Trabalhos Paleontológicos. Rio de Janeiro: DNPM; p. 35–41.
- Frye FL. 1991. Common pathologic lesions and disease processes. In: Frye FL, editor. *Biomedical and surgery aspects of captive reptile husbandry*. Malabar: Krieger Publishing Co.; p. 530–617.
- Frye FL, Dutra FR. 1976. Articular pseudogout in a turtle (*Chrysemys s. elegans*). *Vet Med Sm Anim Clin*. 71:655–659.
- Gaudin TJ. 2003. Phylogeny of the Xenarthra (Mammalia). *Senckenb biol*. 83(1):27–40.
- Gaudin TJ. 2004. Phylogenetic relationships among sloths (Mammalia, Xenarthra, Tardigrada): the craniodental evidence. *Zool J Linn Soc*. 140:255–305.
- Hammer Ø, Harper DTA. 2006. *Paleontological data analysis*. Hoboken (NJ): Blackwell Publishing.
- Hammer Ø, Harper DTA, Ryan PD. 2001. PAST: paleontological statistic software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron*. 4:1–9.
- López del Castillo C. 1998. Metabolic diseases: Gout and articular pseudogout. *Reptilia*. 3:13–16.
- Loveland CJ, Gregg JB, Bass WM. 1984. Osteochondritis dissecans from the Great Plains in North America. *Plains Anthropol*. 29:239–246.
- Lyman RL. 1994. *Vertebrate taphonomy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McAfee RK. 2016. Description of new postcranial elements of *Myiodon darwini* Owen 1839 (Mammalia: Pilosa: Mylodontinae), and functional morphology of the forelimb. *Ameghiniana*. 53:418–443.
- McEwen C, Di Tata D, Lingg J. 1971. Ankylosing spondylitis and spondylitis accompanying ulcerative colitis, regional enteritis, psoriasis and reiter's disease. a comparative study. *Arthritis Rheumatol*. 14:291–318.
- Moskowitz RW, Howell DS, Goldberg VM, Mankin HJ. 1984. *Osteoarthritis: diagnosis and management*. Philadelphia (PA): Saunders.
- Oliveira AL, Becker-Kerber B, Cordeiro LM, Borghezian R, Avilla LS, Pacheco MIAF, Santos CMD. 2017. Quaternary mammals from central Brazil (Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul) and comments on paleobiogeography and paleoenvironments. *Rev Bras Paleontol*. 20:31–44.
- Peng B, Wu W, Hou S, Shang W, Wang X, Yang Y. 2003. The pathogenesis of Schmorl's nodes. *J Bone Joint Surg Am*. 85-B:879–882.
- Pfirrmann CWA, Resnick D. 2001. Schmorl nodes of the thoracic and lumbar spine: Radiographic-pathologic study of prevalence, characterization, and correlation with degenerative changes of 1650 spinal levels in 100 cadavers. *Radiology*. 219:368–374.
- Resnick D. 2002. *Diagnosis of bone and joint disorders*. Philadelphia (PA): Saunders.
- Resnick D, Shapiro RF, Wiesner KB. 1978. Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH) (ankylosing hyperostosis of Forestier and Rotes-Querol). *Semin Arthritis Rheum*. 7:153–187.
- Rothschild BM. 1982. *Rheumatology: a primary care approach*. New York (NY): Yorke Medical Press.
- Rothschild BM. 1990. Radiologic assessment of osteoarthritis in dinosaurs. *Ann Carnegie Mus*. 59:295–301.
- Rothschild BM. 2015. Lumbar spondylosis. *Medicine, Obstetrics, Gynecology, Psychiatry and Surgery. eMedicine* [accessed 2017 July 01]. <http://emedicine.medscape.com/article/249036-overview#showall>.
- Rothschild BM, Bruno MA. 2009. Calcium pyrophosphate deposition disease: eMedicine. [accessed 2017 July 01]. <http://www.emedicine.com/radio/TOPIC125.HTM>.
- Rothschild BM, Martin LD. 2006. *Skeletal impact of disease*. Albuquerque: New Mexico Museum of Natural History and Science, Division of the Department of cultural affairs (Bulletin 33).
- Rothschild BM, Tanke DH. 2007. Osteochondrosis in Late Cretaceous Hadrosauria: a manifestation of ontologic failure. In: Carpenter K, editor. *Horns and beaks: Ceratopsian and Ornithomimid Dinosaurs*. Bloomington: Indiana University Press; p. 171–183.
- Rothschild BM, Woods RJ. 1987. Osteoarthritis in prehistoric Native Americans. *Age*. 10:161.
- Rothschild BM, Woods RJ. 1992. Osteoarthritis, calcium pyrophosphate deposition disease, and osseous infection in old world monkeys and prosimians. *Am J Phys Anthropol*. 87:341–347.
- Rothschild BM, Woods RJ. 1993. Arthritis and new world monkeys: osteoarthritis, calcium pyrophosphate deposition disease, and spondyloarthropathy. *Int J Primatol*. 14:61–78.
- Rothschild BM, Woods RJ, Rothschild C. 1992. Calcium pyrophosphate deposition disease: description in defleshed skeletons. *Clin Exp Rheumatol*. 10:557–564.
- Rothschild BM, Wang X-M, Shoshani J. 1994. Spondyloarthropathy in proboscideans. *J Zoo Wildl Med*. 25:360–366.
- Rothschild BM, Rothschild C, Woods RJ. 1998. Inflammatory arthritis in large cats: an expanded spectrum of spondyloarthropathy. *J Zoo Wildl Med*. 29(3):279–284.
- Rothschild BM, Schultze HP, Pellegrini R. 2012. *Herpetological osteopathology: Annotated bibliography of amphibians and reptiles*. New York (NY): Springer Science & Business Media.
- Schmorl G, Junghans H. 1971. *The human spine in health and disease*. New York (NY): Grune and Stratton.
- Slater GJ, Cui P, Forasiepi AM, Lenz D, Tsangaras K, Voirin B, Moares-Barros N, MacPhee RDE, Greenwood AD. 2016. Evolutionary relationships among extinct and extant sloths: the evidence of mitogenomes and retroviruses. *Genome Biol Evol*. 8:607–621.
- Thomas HW, Barnes LG. 2015. The bone joint pathology osteochondrosis in extant and fossil marine mammals. *Contrib sci*. 523:1–35.
- Tschopp E, Wings O, Frauenfelder T, Rothschild BM. 2016. Pathological phalanges in a camarasaurid sauropoda dinosaur and implications on behavior. *Acta Palaeontol Pol*. 61:125–134.

ANEXO C

**Tuberculosis versus brucellosis: Granulomatous infections in Pleistocene sloths
(Xenarthra, Folivora) from Brazil**

Fernando Henrique de Souza Barbosa

Bruce M. Rothschild

Kleberson de Oliveira Porpino

Lílian Paglarelli Bergqvist

(Manuscrito submetido ao periódico científico *The Science of Nature*: Manuscript ID: NAWI-D-17-00302)

The Science of Nature

Tuberculosis versus brucellosis: Granulomatous infections in Pleistocene sloths (Xenarthra, Folivora) from Brazil --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	NAWI-D-17-00302	
Full Title:	Tuberculosis versus brucellosis: Granulomatous infections in Pleistocene sloths (Xenarthra, Folivora) from Brazil	
Article Type:	Original Article	
Corresponding Author:	Fernando Barbosa Universidade do Estado do Rio de Janeiro BRAZIL	
Corresponding Author Secondary Information:		
Corresponding Author's Institution:	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	
Corresponding Author's Secondary Institution:		
First Author:	Fernando Barbosa	
First Author Secondary Information:		
Order of Authors:	Fernando Barbosa Bruce Rothschild Kleberson Porpino Lilian Bergqvist	
Order of Authors Secondary Information:		
Funding Information:	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (159733/2013-8) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (308013/2015-8) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (307405/2015-5)	Dr. Fernando Barbosa Dr Kleberson Porpino Dr Lilian Bergqvist
Abstract:	We identified a set of lesions in skeletal remains assigned to two Pleistocene ground sloths species Valgipes bucklandi and Eremotherium laurillardi from the Brazilian Intertropical Region (BIR) that can be interpreted as granulomatous infections. Among the possible types of granulomatous infectious, the cases herein presented appear to be associated with either tuberculosis or brucellosis. These are the oldest cases of granulomatous disease in the South American fossil record and the first identification of either disease in Xenarthra. We ruled out pyogenic and fungal osteomyelitis and metastatic cancer as possible causes. The diagnoses were based on macroscopic evidences of skeletal remains.	
Suggested Reviewers:	Caroline Rinaldi University of Missouri Kansas City School of Medicine rinaldic@umkc.edu Frank Rühli frank.ruhli@anatom.uzh.ch Ken Pritzker University of Toronto kenpritzker@gmail.com Allison Tumarkin-Deratzian	

	Temple University altd@temple.edu
	Jeno Sebes University of Tennessee jenseb20@aol.com
Opposed Reviewers:	



Fernando H. de S. Barbosa
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, Brazil
fhsbarbosa@gmail.com

October 25th, 2017

Dear Dr. Sven Thatje:

We would like to submit the manuscript entitled “Tuberculosis versus brucellosis: Granulomatous infections in Pleistocene sloths (*Xenarthra*, *Folivora*) from Brazil” for consideration in *The Science of Nature* as an original article. In this paper, we described, by the first time, granulomatous infectious – probably either tuberculosis or brucellosis – in a *Xenarthra* (Mammalia). This finding is significant by contributing to better understanding of the types of diseases that affected the Pleistocene fauna of the South America. Furthermore, these new cases will be useful to elucidate the evolutionary history of some infections and their influence on the South American megafauna extinction.

I declare that all authors have read the manuscript and agreed with the submission; that this work is unpublished, and it has not been submitted to any other journal for publication.

We have no conflicts of interest to disclose.

Thank you for your consideration of this manuscript.

Sincerely,

Fernando H. de S. Barbosa

**Tuberculosis versus brucellosis: Granulomatous infections in Pleistocene sloths
(Xenarthra, Folivora) from Brazil**

**Fernando H. de S. Barbosa^{1,*} • Bruce M. Rothschild^{2,3} • Kleberson de O. Porpino⁴
• Lilian P. Bergqvist¹**

¹ Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ,
Brazil

² Carnegie Museum of Natural History, 4400 Forbes Ave, Pittsburg, PA, 44272, USA

³ West Virginia University School of Medicine, Morgantown, WV, 26506, USA

⁴ Departamento de Ciências Biológicas, Laboratório de Sistemática e Ecologia Animal,
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Av. Professor Antônio Campos, S/N,
Costa e Silva, Mossoró, RN, Brazil

*Corresponding author: fhsbarbosa@gmail.com; +5521965390593

Abstract

We identified a set of lesions in skeletal remains assigned to two Pleistocene ground sloths species *Valgipes bucklandi* and *Eremotherium laurillardii* from the Brazilian Intertropical Region (BIR) that can be interpreted as granulomatous infections. Among the possible types of granulomatous infectious, the cases herein presented appear to be associated with either tuberculosis or brucellosis. These are the oldest cases of granulomatous disease in the South American fossil record and the first identification of either disease in Xenarthra. We ruled out pyogenic and fungal osteomyelitis and

metastatic cancer as possible causes. The diagnoses were based on macroscopic evidences of skeletal remains.

Key words: granulomatous infection, ground sloths, Pleistocene, Brazilian Intertropical Region

Acknowledgments

This study was funded by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; grants: 159733/2013-8, 308013/2015-8, 307405/2012-5). We are grateful to C. Cartelle (Museu de Ciências Naturais da PUC-MG) and E. V. Oliveira (Universidade Federal de Pernambuco) who kindly gave us access to the specimens studied here and Luciano V. Santos (Museu de Ciências Naturais da PUC-MG) for the crucial help with the identification of the material.

Introduction

Two endemic diseases that have a major impact on human history are tuberculosis and brucellosis, the former afflicting one-third of humanity and the second predominantly its food supply (Flynn and Chan 2001). These diseases, along with other (e.g. fungal infection and syphilis) are named granulomatous diseases. Tuberculosis clearly had a pre-Columbian worldwide occurrence (Rothschild and Martin 2006), while brucellosis is considered more limited in its synchronic distribution (D'Anastasio et al. 2010), Ortner's (2003) speculative Mexican case excepted.

Tuberculosis (TB) is a bacterial infection caused by a member of the *Mycobacterium tuberculosis* complex (*M. tuberculosis*, *M. bovis*, *M. bovis* BCG, *M. africanum* and *M. microti*) or by an atypical mycobacterium (e.g. *M. kansasii*, *M. avium-intracellulare*)

(Aufderheide and Rodríguez-Martín 1998; Rothschild and Martin, 2006). Nowadays, it is one of the major health problems, leading to nearly 1.4 million deaths in 2015 alone (WHO 2016).

TB has been considered an ancient disease (Rothschild et al. 2001; Minnikin et al. 2012), with the oldest proven case identified in bones of *Bison antiquus* dated to 17.000 yr BP (Rothschild et al. 2001; Lee et al. 2012). Other cases have been suggested based on abnormalities in skeletal remains of ice-age bovids (Rothschild and Martin 2006) and mastodon (Rothschild and Laub 2006). In humans, on the other hand, the oldest cases diagnosed are dated to 9.000 yr BP in Mediterranean (Herskovitz et al. 2008) and 2.100-1.900 yr BP in the Americas (Klaus et al. 2010). Tuberculosis is likely an animal disease that subsequently infected humans (Lee et al. 2008). The dating of all these cases suggests an immigration pathway for the disease from Eurasia to North America (Lee et al. 2012).

Tuberculosis has been rarely recognizable in the fossil record, as morphological changes it produces in bones are generally non-specific (Salo 1994; Holloway et al. 2011), except for those in bovids and mastodon (Spigelman and Lemma 1993; Donoghue 2009; Minnikin 2012). The validity of the morphological diagnostic approach in those groups has been improved by the emergence of new biomolecular methods, including recovery of specific ancient DNA and lipid biomarkers (e.g. Eisenach et al. 1990; Spigelman and Lemma 1993; Donoghue 2009; Minnikin 2012).

Brucellosis is an infection caused by one of the gram-negative species belonging to the genus *Brucella* (mainly *B. melitensis*, *B. abortus* or *B. suis*) and, just like TB, it can affect soft and skeletal tissues (Aufderheide and Rodríguez-Martín 1998). *Brucella* has been isolated from cattle, pigs, goats, sheep, and a grey weasel in Argentina (Lucero et al. 2007), the most important reservoirs for human infection. Although brucellosis has

been eradicated in some areas, it remains as an important zoonosis around the world, especially Mediterranean countries of Europe, northern and eastern Africa, Near East countries, India, Central Asia, Mexico and Central and South America (Dean et al. 2012; Madkour 2001).

Brucellosis has also been considered an ancient disease with several suggestive archeological reports (*e.g.* Capasso 1999; Etxeberria 1994; Rashidi et al. 2001). The oldest possible case is in *Australopithecus africanus* from the late Pliocene (23-25 kyr BP) hominin site of South Africa (D'Anastacio et al. 2009). The oldest DNA-documented case is in a modern human dated to 10–13th century AD (Mutolo et al. 2012). In wildlife, it has a wide distribution including canids, felids, bears, mustelidae, procyanidae, ovids, swine, camelids, deer, rabbits, mice, rats, opossum and geese (Vana 1980).

Fossil evidence of TB has been restricted to Eurasia (Rothschild & Laub, 2006) and North America (Rothschild et al. 2001; Rothschild and Martin 2006; Lee et al. 2012), whereas brucellosis seems to be entirely unknown. A possible case was recognized in the Pleistocene Maltese *Hippopotamus melitensis* by one of the authors (BMR). The purpose of the present study is to describe the presence of a granulomatous disease (tuberculosis or brucellosis) in two species of Pleistocene sloths from South America, shedding light on the evolutionary history of these diseases.

Material and methods

We carried out a macroscopic examination on 10 bones of a single adult individual assigned to *Valgipes bucklandi* (Lund, 1839), including: second (MCL 4293/21), third (MCL 4293/22), eighth (MCL 4293/28) and ninth (MCL 4293/29) caudal vertebrae; a hemal arch (MCL 4293/37); left metacarpus IV (MCL 4293/67); left metacarpus V

(MCL 4293/68); right ungual phalanx of the fourth digit (MCL 4293/91); right proximal + medial phalanx of the fourth digit (MCL 4293/92); and left metatarsus V (MCL 4293/96). All specimens are housed in the paleontological collection of the Museu de Ciências Naturais of the Pontifícia Universidade Católica of Minas Gerais (PUC-MG), Belo Horizonte city, Minas Gerais State, Brazil. We also analyzed two isolated caudal vertebrae of *Eremotherium laurillardi* (Lund, 1842) housed in the paleontological collection of the Departamento de Geologia of the Universidade Federal de Pernambuco (DGEO-UFPE), Recife city, Pernambuco State, Brazil.

The specimens assigned to *V. bucklandi* were recovered from Volta da Serra III cave, São João das Missões municipality, Minas Gerais State, Brazil (23 L 599484.003 E; 8344922.468 S). Unfortunately, this site is not dated. Geochronological studies of other Brazilian caves deposits have provided different ages, mostly Late Pleistocene (e.g. Auler et al. 2006; Hubbe et al. 2013), but some dates are older (e.g. Auler et al. 2006) and younger (e.g. Auler et al. 2006; Baffa et al. 2000), so that we attribute the material from Volta da Serra Três cave here analyzed to the Pleistocene *sensu lato*.

The two isolated caudal vertebrae of *E. laurillardi* were collected from a natural tank (*i.e.* natural depressions formed by physical-chemical weathering in fractures on basement outcrops; Paula-Couto 1980; Araújo-Júnior and Porpino 2011; Araújo-Júnior et al. 2015), at the Logradouro farm, Incó site, Fazenda Nova district (24 L 812329 E; 9094439 S), Brejo da Madre de Deus municipality, Pernambuco State, Brazil. The Quaternary sediments where both vertebrae were collected are dated by Optically Stimulated Luminescence method between 45.4 ± 4 ka and 12.7 ± 1 ka, *i.e.* Late Pleistocene (Silva & Correa 2009; Silva 2013).

Results

The specimens assigned to the adult individual of *Valgipes bucklandi* have lesions distributed in both right and left hands, left foot and in caudal vertebrae. In the right manus, the proximal + medial (MCL 4293/92) and ungual (MCL 4293/91) phalanges of the fourth digit were affected (Fig. 1 a, b). The proximal + medial phalanx (MCL 4293/92) has a large erosion undermining the distal joint surface, associated with periosteal reaction on the dorsal and lateral faces of the diaphysis. The erosion on the proximal joint surface of the articulating ungual phalanx is located opposite the lesion found in MCL 4293/92. In the left manus, the metacarpus IV (MCL 4293/67) and metacarpus V (MCL 4293/68) are also affected. Metacarpus IV (MCL 4293/67) has a bone erosion on its distal joint surface. Metacarpus V (MCL 4293/68) has the distal third missing, while the proximal third is swollen (dactylitis) and disorganized (compared with the antimere; Fig. 1 c, d). In the left foot, only metatarsus V (MCL 4293/96) bears pathologic alteration: A large abscesses surrounded by slight periosteal reaction on its dorsal face (Fig. 1 e, f).

In the caudal sequence of the spine, four vertebrae were infected, including the second (MCL 4293/21), third (MCL 4293/22), eighth (MCL 4293/28) and ninth (MCL 4293/29) (Fig. 2 a-f). The second vertebra (MCL 4293/21) has bone destruction of the posterior vertebral endplate extending to its neural arches, prezygapophysis and postzygapophysis; the left postzygapophysis is missing. The third caudal vertebra (MCL 4293/22) has bone destruction on its anterior endplate, adjacent to the damage in the second caudal vertebra. Posterior elements of this vertebra were destroyed and neural arches are fractured at the base. Lastly, both eighth (MCL 4293/28) and ninth (MCL 4293/29) caudal vertebrae have destruction of the posterior vertebral endplate. Besides the injuries in these four caudal vertebrae, a hemal arch (MCL 4293/37) is also affected, with irregular new bone formation connecting the ends (osseous bridge; Fig. 2 g, h).

Two isolated caudal vertebrae (DGEO-UFPE 5966 and DGEO-UFPE 5973) assigned to *Eremotherium laurillardi* have lytic lesions on their endplates (Fig. 2 i-k). DGEO-UFPE 5966 has bone destruction on both anterior and posterior vertebral endplates. The lytic lesion on the anterior vertebral endplate is surrounded by a zone of resorption (a macroscopic regional phenomenon surrounding lytic lesions; Hershkovitz et al. 1998). There is a small collapse near the dorsolateral edge of the anterior vertebral endplate. DGEO-UFPE 5973 shows lytic destruction in the anterior vertebral endplate, associated with a zone of resorption.

Discussion

Vertebral and extra-vertebral lesions in an almost completely preserved individual (*V. bucklandi*; MCL 4293) and in the two isolated vertebrae assigned to *E. laurillardi* (DGEO-UFPE 5966 and DGEO-UFPE 5973) document the presence of a granulomatous infection, attributable to either tuberculosis or brucellosis.

Accurate diagnosis of tuberculosis and brucellosis in isolated bones is often problematic because most alterations only document the presence of an infection, but are not diagnostic for the specific infectious process (Aufderheide and Rodríguez-Martín 1998; Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006; Fernandes et al. 2014). Some alterations, however, apparently have specificity, both with respect to morphological characters and skeletal distribution (Aufderheide and Rodríguez-Martín, 1998; Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006).

Undermining of articular surfaces has been documented as definitive for tuberculosis (Spigelman and Lemma 1993; Rothschild and Martin 2006; Donoghue 2009; Minnikin 2012). However, in the examined material, undermining is part of a large continuous erosion, not limited to the undersurface of the articulating margin.

Multiple vertebral involvement with anterior centra involvement and relative sparing of posterior vertebral elements (transverse process, lamina and spinous process) is characteristic of tuberculosis, with collapse producing an angular kyphosis (referred to as gibbus formation, which occurs in 5% of bone-involvement) and considered diagnostic (Fernandes 2014; Morse 1961; Resnick, 2002; Rothschild and Martin, 2006). However, all these features are also common in brucellosis (Lifeso et al. 1985; Demirci et al. 1989; Mutolo et al. 2012). Gibbus deformity is found in 1% of brucellosis and 5% of tuberculosis (Erdem et al. 2015), so that it is not a definitive character in isolated individuals. Paravertebral abscess, considered very common in TB, occurs in 10-20% of brucellosis cases (Gotuzzo 2011).

Less definitive, although considered characteristic of tuberculosis-related damage, is its primarily lytic/erosive character related to zones of resorption (HersHKovitz et al. 1998) with only limited periosteal reaction and dactylitis (spina ventosa). Dactylitis has been documented in tubercular infections (Fernandes et al. 2014), but has not been studied in brucellosis (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006).

The main differences between TB and brucellosis are that: 1. brucellosis primarily involves endplates, with secondary involvement of the rest of the vertebral centra (Madkour and Sharif 2001); 2. the lytic lesions in brucellosis are sharply defined with sclerotic margins (Madkour and Sharif 2001); and 3. proliferative bone changes are more common in brucellosis than in TB (Samra et al. 1982).

The pathology described in *V. bucklandi* and in isolated vertebrae of *E. laurillardii* are predominantly lytic, except for metacarpus V (MCL 4293/96), in which dactylitis is present (see Fig. 1c). Undermining of articular surface has been documented as pathognomonic for tuberculosis in Bovidae and Proboscidea, but has not been studied in Xenarthra. However, the undermining in the current case is not limited to the zone

immediately subjacent to the vertebral endplate, which may just imply partial resistance of the endplate to the lytic process. Involvement of multiple vertebrae in *V. bucklandi* is characteristic of both diseases (Resnick 2002). The vertebral endplate damage in *E. laurillardii* (DGEO-UFPE 5966 and DGEO-UFPE 5973) allows recognizing the presence of a granulomatous disease, but are not sufficient to diagnose brucellosis or tuberculosis.

Among living vertebrates, tuberculosis has been recognized in snakes, turtles, lizards (von Ippen 1962) and several mammals (e.g. Buchan and Griffin 1990; Fox 1939; Lovell 1990). *Brucella*, in turn, has been isolated from cattle, pigs, goats, sheep, and a grey weasel in Argentina (Lucero et al. 2007). However, both tuberculosis and brucellosis have not been reported in contemporary sloths (Gilmore et al. 2001). Thus, is not possible to perform comparative analysis of the skeletal findings with modern representatives.

Diagnosis of pyogenic osteomyelitis – a type of infection caused by pus-generating bacteria (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006), which also produces cloacae is rejected due to the presence of undermining surfaces, absence of reactive bone alterations and the presence of dactylitis (Fernandes 2014; Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006). Fungal osteomyelitis is also discarded as a possible cause because this type of infection is characterized by fronts rather than resorption and by the expansion of the involved areas in a spheroid manner (HersHKovitz et al. 1998). Conversely, the presence of multifocal bone erosions, zones of resorption, articular surface undermining, dactylitis, and a cloaca in the left metatarsus V (MCL 4293/96) allows rejecting metastatic cancer as a possible cause.

Granulomatous disease (heretofore GR), recognized in the Xenarthrans described herein, has a limited derivation: tuberculosis and brucellosis (Resnick 2002; Rothschild

and Martin 2006). If tuberculosis is responsible for the GR, this would represent its first documentation in a Xenarthran and additionally, its first recognition in the South America zoological record. If brucellosis is responsible for the GR in the analyzed material, it would be the first recognized occurrence in South America.

Whether caused by tuberculosis or brucellosis, this is the oldest documented observation of granulomatous disease in the South American fossil record and the first identification of either disease in Xenarthra.

References

- Araújo-Júnior HI, Porpino KO (2011) Assembleias fossilíferas de mamíferos do Quaternário do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil: diversidade e aspectos tafonômicos e paleoecológicos. *Pesquisas Geoc* 38:67-83
- Araújo-Júnior HI, Porpino KO, Bergqvist LP (2015) Vertebrate taphonomy and paleoecology in an Upper Pleistocene tank deposit of Paraíba, Brazil: Taphonomic modes, evidence of temporal and spatial resolutions and paleoecological patterns of the Brazilian Intertropical Region. *Palaeogeogr Palaeoclimatol* 437:1-17. doi: 10.1016/j.palaeo.2015.07.009
- Aufderheide AC, Rodríguez-Martín C (1998) *The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology*. Cambridge University Press, Cambridge, 478 pp.
- Auler AS, Piló LB, Smart PL, Wang X, Hoffmann D, Richards DA, Edwards RL, Neves WA, Cheng H (2006) U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeogr Palaeoclimatol* 240(3):508-522. doi: 10.1016/j.palaeo.2006.03.002

- 250 Baffa O, Brunetti A, Karmann I, Dias Neto CM (2000) ESR dating of a *Toxodon* tooth
 251 from a Brazilian karstic cave. *Appl Radiat Isotopes* 52:1345-1349. doi: 10.1016/S0969-
 252 8043(00)00093-2
- 253 Buchan GS, Griffin JF (1990) Tuberculosis in domesticated deer (*Cervus*
 254 *elaphus*): A large animal model for human tuberculosis. *J Comp Pathol* 103:11-22. doi:
 255 10.1016/S0021-9975(08)80131-4
- 256 Capasso L (1999) Brucellosis at Herculaneum. *Int J Osteoarchaeol* 9:277-288. doi:
 257 10.1002/(SICI)1099-1212(199909/10)9:5<277::AID-OA489>3.0.CO;2-0
- 258 D'Anastasio R, Zipfel B, Moggi-Cecchi J, Stanyon R, Capasso L (2009) Possible
 259 brucellosis in an early Hominin skeleton from Sterkfontein, South Africa. *PLoS One*
 260 4:e6439. doi: 10.1371/journal.pone.0006439
- 261 D'Anastasio R, Staniscia T, Milia ML, Manzoli L, Capasso L (2010) Origin, evolution
 262 and paleoepidemiology of brucellosis. *Epidemiol Infect* 139:149-156. doi:
 263 10.1017/S095026881000097X
- 264 Dean AS, Crump L, Greter H, Schelling E, Zinsstag J (2012) Global burden of human
 265 brucellosis: A systematic review of disease frequency. *Plos Neglect Trop D* 6:e1865.
 266 doi:10.1371/journal.pntd.0001865
- 267 Demirci M, Tan E, Durguner M, Zileli T, Eryilmaz M (1989) Spinal brucellosis. A case
 268 with “cauliflower” appearance on CT. *Neuroradiology* 31:282-283. doi:
 269 10.1007/BF00344362
- 270 Donoghue HD (2009) Human tuberculosis – an ancient disease, as elucidated by ancient
 271 microbial biomolecules. *Microbes Infect* 11:1156-1162. doi:
 272 10.1016/j.micinf.2009.08.008

- 273 Eisenach KD, Cave MD, Bates JH, Crawford JD (1990) Polymerase chain reaction
 274 amplification of a repetitive DNA sequence specific for *Mycobacterium tuberculosis*. J
 275 Infect Dis 161:977-81. doi: 10.1093/infdis/161.5.977
- 276 Erdem H, Elaldi N, Batirel A, Aliyu S, Sengoz G, Pehlivanoglu F. et al (2015)
 277 Comparison of brucellar and tuberculous spondylodiscitis patients: Results of the
 278 multicenter "Backbone-1 Study." Spine J 15:2509-2517. doi:
 279 10.1016/j.spinee.2015.09.024
- 280 Etxeberria F (1994) Vertebral epiphysitis: early signs of brucellar disease. J
 281 Paleopathology 6:41-49
- 282 Fernandes ARC (2014) Doença Infecciosa da Coluna Vertebral. In: Silva CI, D'Ippolito
 283 G, Rocha AJ (eds). Série Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem:
 284 Coluna Vertebral. Elsevier, Rio de Janeiro, pp 245-286
- 285 Fernandes, ARC, ZONER CS, Yanaguizawa M (2014) Infecção. In: Müller CIS,
 286 D'Ippolito G, Rocha AJ (eds) Série Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por
 287 Imagem: Muscoloesquelético. Elsevier, Rio de Janeiro, pp 643-674
- 288 Flynn JL, Chan J (2001) Tuberculosis: latency and reactivation. Infect Immun 69:4195-
 289 4201. doi: 10.1128/IAI.69.7.4195-4201.2001
- 290 Fox H (1939) Chronic arthritis in wild animals. T Am Philol Soc 31:73-148
- 291 Gilmore DP, Costa CP, DUARTE DP (2001) Sloth biology: An update on their
 292 physiological ecology, behavior and role as vectors of arthropods and arboviruses. Braz
 293 J Med Biol Res 34:9-25. doi: 10.1590/S0100-879X2001000100002
- 294 Gotuzzo E (2011) Brucellosis. In: Guerrant RL, Walker DH, Weller PF (eds) Tropical
 295 Infectious Diseases: Principles, Pathogens, & Practice. Churchill Livingstone,
 296 Philadelphia, pp 498-504

- 297 Hershberg R, Lipatov M, Small PM, Sheffer H, Niemann S, Homolka S, Roach JC,
 298 Kremer K, Petrov DA, Feldman MWA, Gagneux S (2008) High functional diversity in
 299 *Mycobacterium tuberculosis* driven by genetic drift and human demography. Plos Biol
 300 6:e311. doi: 10.1371/journal.pbio.0060311
- 301 Hershkovitz I, Rothschild BM, Dutour O, Greenwald C (1998) Clues to recognition of
 302 fungal origin of lytic skeletal lesions. Am J Phys Anthropol 106:47-60. doi:
 303 10.1002/(SICI)1096-8644(199805)106:1<47::AID-AJPA4>3.0.CO;2-A
- 304 Hershkovitz I, Donoghue HD, Minnikin DE, Besra GS, Lee OY-C, et al. (2008)
 305 Detection and molecular characterization of 9000-year-old *Mycobacterium tuberculosis*
 306 from a neolithic settlement in the eastern Mediterranean. PLoS ONE 3:e3426. doi:
 307 Holloway KL, Henneberg RJ, Barros Lopes M, Henneberg M (2011) Evolution of
 308 human tuberculosis: A systematic review and meta-analysis of paleopathological
 309 evidence. HOMO 62:402-458. doi: 10.1016/j.jchb.2011.10.001
- 310 Hubbe A, Hubbe M, Karmann I, Cruz FW, Neves WA (2013) Insights into Holocene
 311 megafauna survival and extinction in southeastern Brazil from new AMS 14 C dates.
 312 Quat Res 79(2):152-157. doi: 10.1016/j.yqres.2012.11.009
- 313 Klaus HD, Wilbur AK, Temple DH, Buikstra JE, Stone AC, Fernandez M, Wester C,
 314 Tam ME (2010) Tuberculosis on the north coast of Peru: skeletal and molecular
 315 paleopathology of late pre-Hispanic and post-contact mycobacterial disease. J Archaeol
 316 Sci 37:2587-2597. doi: 10.1016/j.jas.2010.05.019
- 317 Lifeso RM, Harder, E, McCorkell SJ (1985) Spinal brucellosis. J Bone Joint Surg 67-
 318 B:345-351
- 319 Lovell N (1990) Patterns of Injury and Illness in Great Apes. Smithsonian Institution
 320 Press, Washington DC

- 321 Lucero NE, Ayala SM, Escobar GI, Jacob NR (2007) *Brucella* isolated in humans and
- 322 animals in Latin America from 1968 to 2006. *Epidemiol Infect* 136:496-503
- 323 Lee OY-C, Wu HHT, Donoghue HD, Spigelman M, Greenblatt CL, Bull ID, Rothschild
- 324 BM, Martin LD, Minnikin DE, Besra GS (2012) *Mycobacterium tuberculosis* Complex
- 325 Lipid Virulence Factors Preserved in the 17,000-Year-Old Skeleton of an Extinct Bison,
- 326 *Bison antiquus*. *Plos one* 7(7):e41923. doi: 10.1371/journal.pone.0041923
- 327 Madkour MM (2001) Madkour's Brucellosis. Springer, Berlin
- 328 Madkour MM, Sharif H (2001) Bone and joint imaging. In: Madkour MM (ed),
- 329 Madkour's Brucellosis. Springer, Berlin, pp 90-132
- 330 Meagher M, Meyer ME (1994) On the origin of brucellosis in bison of Yellowstone
- 331 National Park: A review. *Conserv Biol* 8:645-653. doi: 10.1046/j.1523-
- 332 1739.1994.08030645.x
- 333 Minnikin DE, Lee OY-C, Wu, HHT, Besra GS, Donoghue HD (2012) Molecular
- 334 biomarkers for ancient tuberculosis. In: Cardona P-J (ed). *Understanding Tuberculosis –*
- 335 *Deciphering the Secret Life of the Bacilli*. Rijeka, Croatia. InTech - Open Access
- 336 Publisher pp 1-36. [http://www.intechopen.com/books/understanding-tuberculosis-](http://www.intechopen.com/books/understanding-tuberculosis-deciphering-the-secret-life-of-the-bacilli)
- 337 [deciphering-the-secret-life-of-the-bacilli](http://www.intechopen.com/books/understanding-tuberculosis-deciphering-the-secret-life-of-the-bacilli) ISBN-13: 978-953-307-946-2. Accessed 18
- 338 October 2017
- 339 Morse D (1961) Prehistoric tuberculosis in America. *Am Rev Respir Dis* 83:489-504
- 340 Mutolo MJ, Jenny LL, Buszek AR, Fenton, TW, Foran DR (2012) Osteological and
- 341 molecular identification of brucellosis in ancient Butrint, Albania. *Am J Phys Anthropol*
- 342 147:254-263. doi: 10.1002/ajpa.21643
- 343 Ortner JD (2003) *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*.
- 344 Academic Press, San Diego

- Paula-Couto C (1980) Fossil Pleistocene to sub-recent mammals from northeastern Brazil. I-Edentata Megalonychidae. An Acad Bras Cienc 52:143-151
- Rashidi JS, Ortner DJ, Frohlich B, Jonsdottir B (2001) Brucellosis in early Bronze age Jordan and Bahrain: an analysis of possible cases of brucella spondylitis. Am J Phys Anthropol 114:122-123
- Resnick D (2002) Diagnosis of Bone and Joint Disorders. Philadelphia, Saunders
- Rothschild BM, Martin LD (2006a) Skeletal impact of disease. New Mexico Museum of Natural History and Science, Albuquerque (Bulletin 33)
- Rothschild BM, Martin LD (2006b) Did ice-age bovids spread tuberculosis? Naturwissenschaften 93:565-569. doi: 10.1007/s00114-006-0145-7
- Rothschild BM, Laub R (2006) Hyperdisease in the late Pleistocene: validation of an early 20th century hypothesis. Naturwissenschaften 93:557-564. doi: 10.1007/s00114-006-0144-8
- Rothschild BM, Martin LD, Lev G, Bercovier H, Bar-Gal GK, Greenblatt C, Donoghue H, Spigelman M, Brittain D (2001) *Mycobacterium tuberculosis*-complex DNA from an extinct bison dated 17,000 years. Clinical Infectious Diseases 33:305-311. doi: 10.1086/321886
- Salo W, Aufderheide A, Buikstra J, Holcomb T (1994) Identification of *Mycobacterium tuberculosis* DNA in a pre-Columbian Peruvian mummy. P Natl Acad Sci USA 91:2091-2094.
- Samra Y, Hertz M, Shaked Y, Zwas S, Altman G (1982) Brucellosis of the spine. J Bone Joint Surg 64-B:429-431
- Silva FM (2013) Tafonomia em tanque de Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus, Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Ph.D thesis, Universidade Federal de Pernambuco.

- 370 Silva D, Correa ACB (2009) Evolução paleoambiental dos depósitos de tanques em
 371 Fazenda Nova, Pernambuco – Nordeste do Brasil. Rev Bras Geogr Fis 2:43-56
 372 Spiegelman M, Lemma E (1993) The use of the polymerase chain reaction (PCR) to
 373 detect *Mycobacterium tuberculosis* in ancient skeletons. Int J Osteoarchaeol 3:137-143.
 374 doi: 10.1002/oa.1390030211
 375 Vana S (1980) Brucellosis in Wildlife. Iowa State U Veterinarian 42(2):65-68
 376 Von Ippen R (1962) Die spontane Tuberkulose bei Kaltblutern. Nord Vet 14:183-192
 377 WORLD HEALTH ORGANIZATION (2016) Global tuberculosis report 2016. Who
 378 Library Cataloguing-in-Publication Data, Geneva.
 379 http://www.who.int/tb/publications/global_report/en/. Accessed 18 October 2017

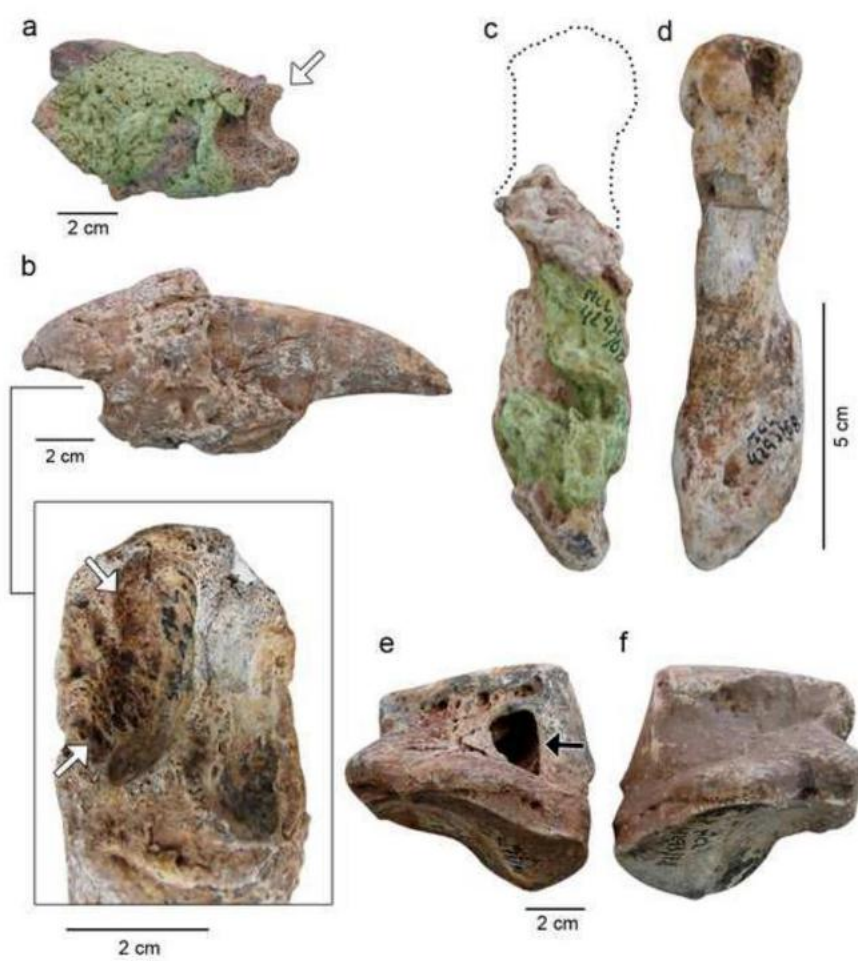
381 **Figures**

384 **Fig. 1** Extra-vertebral lesions in *Valgipes bucklandi*. **a** the proximal + medial phalange
 385 (MCL 4293/92). **b** ungual phalange (MCL 4293/91) and detail of the erosive lesion on
 386 proximal joint of ungual phalange (MCL 4293/91). **c** left metacarpus IV (MCL
 387 4293/67). **d** right metacarpus IV (MCL 4293/66) not affected. **e** left metatarsus V (MCL
 388 4293/96). **f** right metatarsus V (MCL 4293/97) not affected. White arrows indicate
 389 erosive lesions, black arrow indicate the cloaca, detached areas indicate periosteal
 390 reaction and dashed line indicates bone loss.

392 **Fig. 2** Vertebral lesions in the caudal sequence of vertebrae of *Valgipes bucklandi* and
 393 in two isolated caudal vertebrae of *Eremotherium laurillardi*. **a** second caudal vertebra
 394 (MCL 4293/21) of *V. bucklandi*, in posterior view. **b** second caudal vertebra (MCL

395 4293/21) of *V. bucklandi* in dorsal view. **c** third caudal vertebra (MCL 4293/22) of *V.*
396 *bucklandi* in anterior view. **d** third caudal vertebra (MCL 4293/22) of *V. bucklandi* in
397 dorsal view. **e** octave caudal vertebra (MCL 4293/28) of *V. bucklandi* in posterior view.
398 **f** none caudal vertebra (MCL 4293/29) of *V. bucklandi* in posterior view. **g** hemal arch
399 (MCL 4293/37) of *V. bucklandi* in posterior view. **h** hemal arch (MCL 4293/37) of *V.*
400 *bucklandi* in dorsal view. **i** caudal vertebra of *E. laurillardi* (DGEO-UFPE 5966) in
401 anterior view. **j** caudal vertebra of *E. laurillardi* (DGEO-UFPE 5966) in anterior view.
402 **k** caudal vertebra of *E. laurillardi* (DGEO-UFPE 5973) in anterior view.

Figure

[Click here to download Figure Figure 1.tif](#)

Figure

[Click here to download Figure Figure 2.tif](#)