



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

LUANA CARDOSO DE ANDRADE

**CENÁRIO PALEOAMBIENTAL, TAFONÔMICO E PALEOPATOLÓGICO DOS
MAMÍFEROS FÓSSEIS DO DEPÓSITO DE TANQUE ZABELÊ, CAPOEIRAS,
PERNAMBUCO, BRASIL**

Recife

2019

LUANA CARDOSO DE ANDRADE

**CENÁRIO PALEOAMBIENTAL, TAFONÔMICO E PALEOPATOLÓGICO DOS
MAMÍFEROS FÓSSEIS DO DEPÓSITO DE TANQUE ZABELÊ, CAPOEIRAS,
PERNAMBUCO, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Geociências.

Área de concentração: Geologia Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Édison Vicente Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Vanderlei Maniesi.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 UFPE/BCTG

- A553c Andrade, Luana Cardoso de.
 Cenário paleoambiental, tafonômico e paleopatológico dos mamíferos fósseis do depósito de tanque Zabelê, Capoeiras, Pernambuco, Brasil / Luana Cardoso de Andrade – Recife, 2019.
 164 f.: il., fig., tabs. e siglas.
- Orientador: Prof. Dr. Édison Vicente Oliveira.
 Coorientador: Prof. Dr. Vanderlei Maniesi.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2019.
 Inclui Referências, Apêndices e Anexos.
1. Geociências. 2. Depósito de tanque. 3. Quaternário. 4. Mamíferos fósseis. 5. Tafonomia. 6. Taxonomia. 7. Paleopatologia. I. Oliveira, Édison Vicente (Orientador). II. Maniesi, Vanderlei (Coorientador). III. Título.

551 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2019/427

LUANA CARDOSO DE ANDRADE

**CENÁRIO PALEOAMBIENTAL, TAFONÔMICO E PALEOPATOLÓGICO DOS
MAMÍFEROS FÓSSEIS DO DEPÓSITO DE TANQUE ZABELÊ, CAPOEIRAS,
PERNAMBUCO, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Geociências.

Aprovada em: 13/08/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Édison Vicente Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Alcina Magnólia França Barreto (Examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Gelson Luís Fambrini (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Hermínio Ismael Araújo Júnior (Examinador externo)
Universidade Estadual do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Jorge Luiz Lopes da Silva (Examinador externo)
Universidade Federal de Alagoas

Dedico esta Tese aos meus pais, avós e a todos meus antepassados, que permitiram que eu estivesse aqui para realizá-la.

Ao querido tio Natanael Souza *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

À Deus por permitir essa oportunidade!

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal (CAPES) pelo custeio e apoio à pesquisa, através da bolsa de doutorado concedida.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), ao Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de cursar o Doutorado.

Ao prof. Dr. Édison Vicente Oliveira, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) pela orientação deste trabalho, disponibilidade, paciência e ensinamentos.

Ao prof. Dr. Vanderlei Maniesi pela coorientação e por sempre acreditar em mim e nesse projeto, pela amizade e pelos ensinamentos para a vida pessoal e profissional.

Ao Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Unidade Recife, especialmente aos técnicos de microscopia Hismana C. Freitas e Gener pela confecção das lâminas e imenso auxílio.

Ao prof. Dr. Valdomiro S. de Souza Júnior do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela realização das análises DR-X.

Às profas. Dr. Carlinda C. Farias e Lucila Ester P. Borges pelo auxílio à interpretação dos difratogramas.

À prof. Dra. Sandra B. Barreto e ao técnico Maurílio A. de Moraes do Laboratório de Gemologia da UFPE pelas fotomicrografias das lâminas.

À prof. Dra. Sônia Tatum do Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP) pela realização das análises LOE.

Ao prof. Dr. Castor Cartelle e ao técnico Luciano V. Santos do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais-PUC-Minas, em Belo Horizonte pelo auxílio na identificação e comparação dos materiais.

À prefeitura de Capoeiras pelo auxílio nas escavações e coleta do material, bem como o acolhimento de toda a equipe do Paleolab-UFPE.

Aos professores Alcina M. F. Barreto e Paula Sucerquia e técnicos do Paleolab-UFPE Yumi A. Oliveira e Rudah Ruano pelo auxílio em campo, teórico e metodológico ao longo das etapas desse projeto. Aos colegas do Paleolab-UFPE Rafael M. Tavares, Anny Rafaela, Ludmila Prado, Johnson Sarmento, Karoline Barros, Jefferson L. Sousa, Priscilla Albuquerque, Rilda Araripe, David Holanda pelo auxílio em campo e/ou troca de

informações. Ao João Arcanjo, pela amizade, pelo auxílio com a coleção científica e troca de informações.

Ao Dr. Hermínio I. Araújo-Júnior e ao Dr. Fernando H. S. Barbosa pela parceria, paciência e ensinamentos valiosos na construção desse trabalho. A professora Maria de Fátima (Museu Câmara Cascudo) e à equipe do Museu pela receptividade.

Ao Felipe M. Simbras pelo auxílio à interpretação do perfil estratigráfico do sítio paleontológico aqui estudado.

Aos meus queridos pais Marineide A. Andrade e Cícero A. Cardoso pelo investimento e apoio imenso em todas as etapas de minha vida, especialmente a minha mãe, por sempre acreditar em mim e estimular para concretizar essa tese.

Ao meu irmão Matheus C. Andrade pelo apoio, pelas conversas, por sempre acreditar em mim.

Ao meu esposo Francisco C. L. Santos por sempre acreditar em mim, me apoiar em todos os momentos e principalmente por todo o esforço empenhado para que esse trabalho pudesse ser concretizado.

Às minhas colegas de apartamento e amigas para a vida Emanuela P. Carvalho, Gabriela M. Pereira e Jéssica M. Oliveira. Obrigada a todos pela amizade, por me acolher e me apoiar sempre!

Ao Leonardo M. Carneiro pelas conversas/áudios e apoio e incentivo e amizade. À Mariana pelo apoio, conversas e amizade.

À Duda Peters pela amizade, apoio e conversas e por mostrar outra visão das coisas.

À Aurení M. Ribeiro e a Suziane Brito, pois amigas verdadeiras superam distâncias, muito obrigada pela amizade de vocês.

A minha vizinha/amiga Walderez Celestino por sempre me auxiliar e estimular.

A todos os amigos do CEVP, especialmente Ana Wanessa e a Cássia Raquel Oliveira pelo apoio e força sempre.

À Érica M. Queiroga pela amizade, por me incluir na família Silva e transformar a minha vida e contribuir ao meu desenvolvimento pessoal.

A toda equipe do Instituto Vitta e Família Silva por contribuírem no meu desenvolvimento pessoal e profissional culminando em meu sucesso! 1,2,333,4.

A todos aqueles que colaboraram de maneira direta ou indireta para que esse trabalho fosse realizado, muito obrigado!

Se você almeja atingir a posição mais elevada, deve antes de obter a vitória, dotar-se da convicção que conseguirá infalivelmente [...]. Mais cedo ou mais tarde, quem cativa a vitória é aquele que crê plenamente: Eu conseguirei. (HILL, 2015)

RESUMO

Mamíferos pleistocênicos do depósito de tanque Zabelê em Capoeiras, Pernambuco, foram estudados com vistas à reconstituição de seu cenário paleoambiental, utilizando-se da taxonomia, paleopatologia, tafonomia, geoquímica, geocronologia e feições sedimentológicas. Os materiais estão todos depositados na coleção de macrofósseis do Departamento de geologia da Universidade Federal de Pernambuco. Os resultados mostraram uma assembleia macrofóssil dominante, paucitáxica e monodominante (*Eremotherium laurillardi*), com a ocorrência também dos táxons *Ocnotherium giganteum*, *Notiomastodon platensis*, *Toxodon platensis*, “*Pyauitherium capivarae*”, *Glyptotherium* sp., *Cerdocyon thous*, Glyptodontidae e *Pilosa* indet., além de uma rara ocorrência de um indivíduo imaturo de *Notiomastodon platensis*. A doença de deposição do pirofosfato de cálcio, lesões infecciosas, trauma e avulsão do tendão foram doenças identificadas restritamente a *E. laurillardi* e, a lesão traumática, também foi detectada em uma espécie indeterminada de mamífero. A tanatocenose foi exposta por curto período, mas devido ao agente de transporte hidráulico, mesclou ossos já depositados com outros recém-chegados no tanque. Um transporte curto causado por fluxo de detritos (enxurrada/debris flow) (identificado com base nos atributos faciológicos de textura, estruturas sedimentares e arquitetura tabular da camada fossilífera), depositou os restos ósseos no tanque, junto com clastos de área fonte próxima. A acumulação pode ser classificada como periférica e na Configuração Tafonômica B, o que indica uma diminuição nas taxas de sedimentação, retrabalhamento e aumento da atividade biogênica fatores que resultaram na fragmentação dos espécimes *in situ*. As assinaturas tafonômicas, aliadas às características sedimentológicas, estratigráficas e geomorfológicas sugerem um paleoclima semiárido no Pleistoceno Final para a região do tanque Zabelê, correlacionando-se às fases secas ocorridas previamente ao último máximo glacial. A permineralização foi o processo de fossilização predominante, sem substituição, aliado à impregnação de Fe e Mn, o que resultou em padrões de cores diferenciados. A comparação com outras assembleias de tanques revelou assinaturas tafonômicas mais raras (necrófagos e pisoteio) e menor tempo de exposição esquelética, além da influência das bordas do tanque no nível de preservação dos espécimes.

Palavras-chave: Depósito de tanque. Quaternário. Mamíferos fósseis. Tafonomia. Taxonomia. Paleopatologia.

ABSTRACT

Pleistocene mammals from the Zabelê tank deposit in Capoeiras, Pernambuco, were studied with a view to reconstructing their paleoenvironmental scenario using taxonomy, paleopathology, taphonomy, geochemistry, geochronology and sedimentological features. The materials are all deposited in the macrofossil collection of the Department of geology of the Federal University of Pernambuco. The results showed a dominant macrofossil assemblage, paucitaxic and monodominant (*Eremotherium laurillardi*), with the occurrence of the taxa *Ocnotherium giganteum*, *Notiomastodon platensis*, *Toxodon platensis*, *Glyptotherium* sp. of a rare occurrence of an immature individual of *Notiomastodon platensis*. Calcium pyrophosphate deposition disease, infectious lesions, trauma and tendon avulsion have been narrowly identified diseases to *E. laurillardi* and traumatic injury has also been detected in an undetermined mammalian species. Tanatocenosis was exposed for a short time, but due to the hydraulic transport agent, it mixed bones already deposited with other newcomers in the tank. A short transport caused by debris flow (identified based on the faciological attributes of texture, sedimentary structures and tabular architecture of the fossil layer) deposited the bone debris in the tank, along with nearby source area clasts. Accumulation can be classified as peripheral and Taphonomic Setting B, which indicates a decrease in sedimentation rates, rework and increased biogenic activity factors that resulted in fragmentation of specimens in situ. Taphonomic signatures, combined with sedimentological, stratigraphic and geomorphological characteristics suggest a semi-arid paleoclimate in the Late Pleistocene for the Zabelê tank region, correlating with the dry phases that occurred before the last glacial maximum. Permineralization was the predominant fossilization process, without substitution, combined with Fe and Mn impregnation, which resulted in different color patterns. Comparison with other tank assemblages revealed rarer taphonomic signatures (scavengers and trampling) and shorter skeletal exposure time, in addition to the influence of tank edges on specimen preservation level.

Keywords: Tank deposit. Quaternary. Fossil mammals. Taphonomy. Taxonomy. Paleopathology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema da transformação de restos orgânicos em fósseis e da mudança gradual na qualidade do registro fóssilífero.....	20
Figura 2 –	Divisões da Tafonomia, seus principais processos tafonômicos e ciências correlatas que fornecem informações.....	22
Figura 3 –	A. Localização do tanque Zabelê, município de Capoeiras, Estado de Pernambuco, Brasil. B. Imagem do Google Earth. C. Vista geral da área de estudo. Local de coleta dos fósseis (setas)	30
Figura 4 –	Mapa planialtimétrico do tanque Zabelê, município de Capoeiras, estado de Pernambuco, Brasil	31
Figura 5 –	Perfil estratigráfico esquemático do Sítio Paleontológico Zabelê, estado de Pernambuco, Brasil	33
Artigo 1		
Figure 1 –	Location of the Zabelê tank, municipality of Capoeiras, state of Pernambuco, Brazil	53
Figure 2 –	The second upper left deciduous premolar (DP2) of <i>Notiomastodon platensis</i> cf. DGEO-CTG-UFPE 8912. scale bar=30mm	53
Figure 3 –	Comparison of the second upper left deciduous premolar (DP2) of <i>Notiomastodon platensis</i>	54
Artigo 2		
Figura 1 –	A. Localização do tanque Zabelê, município de Capoeiras, estado de Pernambuco, Brasil. B. Detalhe do preenchimento sedimentar do tanque	56
Figura 2 –	Nomenclatura usada para a morfologia dos osteodermos (em vista dorsal) em <i>Glyptotherium</i> sp. Escala = 2 cm	57
Figura 3 –	Osteodermos isolados da carapaça de <i>Glyptotherium</i> sp. Escala = 5 cm	58
Figura 4 –	Osteodermos isolados da carapaça de <i>Glyptotherium</i> sp. Escala = 5 cm	59
Figura 5 –	Ástragalo direito de <i>Glyptotherium</i> sp. DGEO-CTG-UFPE 7978, proveniente do tanque Zabelê, município de Capoeiras, Pernambuco, Brasil. Escala = 7cm	59
Figura 6 –	Comparação dos astrágalos. <i>H. euphractus</i> (esq.) (DGEO-CTG-UFPE 6512),	

localidade Lagoa do Tanque, Pernambuco, Brasil Escala = 7 cm	60
--	----

Artigo 3

Figure 1 – Location map of Zabelê Paleontological Site (ZPS; UTM: 24L 0759782 E, 9035190 S), in Capoeiras municipality, Pernambuco State, Brazil	77
Figure 2 – Right astragali of <i>Eremotherium laurillardi</i> (DGEO-CTG-UFPE 7802 and DGEO-CTG-UFPE 7806). Scale bars= 5 cm	77
Figure 3 – Caudal vertebra of <i>Eremotherium laurillardi</i> (DGEO-CTG-UFPE 7822). Scale bar= 5 cm	78
Figure 4 – Caudal vertebra of <i>Eremotherium laurillardi</i> (DGEO-CTG-UFPE 7823) and radiographic images.....	78
Figure 5 – Caudal vertebra of <i>Eremotherium laurillardi</i> (DGEO-CTG-UFPE 7824).....	79
Figure 6 – Proximal fragment of femur of <i>Eremotherium laurillardi</i> (DGEO-CTG-UFPE 7828) in a cranial view and close-up of the cortical disruption	79
Figure 7 – Rib fragment of an indeterminate species (DGEO-CTG-UFPE 7825) and micro-computed tomography (μCT).....	80

Artigo 4

Figure 1 – Location of the Paleontological Site of Zabelê, state of Pernambuco, Brazil. Escala=100cm	122
Figure 2 – Disposition of the skeletal elements in the Zabelê accumulation.....	123
Figure 3 – Schematic stratigraphic profile of the Zabelê Paleontological Site, state of Pernambuco, Brazil	124
Figure 4 – Taxonomic representativity of Zabelê accumulation. Scale = 5cm	125
Figure 5 – Proportion of skeletal elements based on NISP and MNI values per taxon in the Zabelê tank	125
Figure 6 – Graphs of the biostratigraphic analyzes of Zabelê accumulation.....	126
Figure 7 – Graph showing the taphonomic signatures of the Zabelê accumulation	126
Figure 8 – Skeletal elements differences in degree of integrity in situ.....	127
Figure 9 – Analysis of the skeletal dimensions of the Zabelê accumulation	127
Figure 10 – Elements with abrasion. Scale = 5cm	128
Figure 11 – Skeletal elements with different degrees of weathering (arrows). Scale = 5cm..	128
Figure 12 – A) Undetermined rib with trampling marks associated with tapering (irregular tapering (arrows). B) Zoom marks (Obj 0.5x increase 1x). C). Note that marks are not linear and overlap. Scale = 7 cm	129

Figure 13 –	A) Gnawing mark of the genus <i>Nihilichnus nihilichus</i> on a rib of the Zabelê accumulation. Scale = 5cm. B) Zoom (Obj 0.5x magnification 1x). C) Gnawing mark ("puncture") on an undetermined rib of the Zabelê accumulation. Scale = 5cm. D) Zoom (Obj 0.5x magnification 1x)	130
Figure 14 –	A) Isolated gnawing mark on ulna of <i>Eremotherium laurillardi</i> from Zabelê...	130
Figure 15 –	A) Rib with perforation attributed to <i>Cubiculum ornatus</i> of Zabelê accumulation. B) Zoom (Obj 0.5x magnification 1x). Scale = 5cm	131
Figure 16 –	FTI from the accumulation of SPZ	131
Figure 17 –	Histological patterns exhibited in the thin sections of Zabelê.....	132
Figure 18 –	A) Diffratograms illustrating the dominant mineral phase in fossils (hydroxyapatite). B) One of the samples analyzed illustrates the predominant peak of hydroxyapatite	133
Figure 19 –	Taphogram for accumulation of Zabelê fossils with the sequence and hypothetical duration of events	134
Figure 20 –	Multivariate statistical analyzes using percentages of specimens according to the taphonomic categories for each tank deposit.....	135
Figure 21 –	A) Correspondence analysis with measurements of Euclidean distances. B) Principal component analysis (PCA) using percentages of specimens according to the taphonomic categories for each tank deposit	136
Figure 22 –	Paleoenvironmental scenario of the current region of the Zabelê Paleontological Site, Capoeiras, Pernambuco, Brazil.....	137

LISTA DE TABELAS

Artigo 2

Tabela 1 –	Medidas (mm) de osteodermos de <i>Glyptotherium</i> sp. da coleção DGEO-CTG-UFPE provenientes do tanque Zabelê, município de Capoeiras, Pernambuco, Brasil.....	58
Tabela 2 –	Medidas (mm) dos astrágalos de <i>Glyptotherium</i> sp. (DGEO-CTG-UFPE 7978), <i>Panochthus</i> sp. (DGEO-CTG-UFPE 6513) e <i>H. euphractus</i> (DGEO-CTG-UFPE 6512), provenientes da coleção DGEO-CTG-UFPE	58

Artigo 4

Table 1 –	Ages (OSL) of the layers from Zabelê tank deposit, Pernambuco, Brazil.....	138
Table 2 –	Taxa identified in Zabelê accumulation, showing NISP and MNI values	138
Table 3 –	Sedimentary facies identified in the stratigraphic profile of accumulation of Zabele tank deposit, Capoeiras, Pernambuco State, Brasil.....	138

LISTA DE SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal
DGEO-CTG-UFPE	Coleção Científica Paleontológica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco
DR-X	Difratometria de Raios-X
FTI	Fluvial Transport Index
LOE	Luminescência Opticamente Estimulada
LGM	Last Glacial Maximum
NISP	Número de Partes Esqueletais identificáveis
NMI	Número Mínimo de Indivíduos
PAST	Software Paleontological Statistics
PDF- ICDD	Powder Diffraction Files - International Centre for Diffraction Data
RIB	Região Intertropical Brasileira
SPZ	Sítio Paleontológico Zabelê
TL	Termoluminescência
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UMG	Ultimo Máximo Glacial
UV	Ultravioleta
ZPS	Zabelê Paleontological Site

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	TAFONOMIA DE VERTEBRADOS – GENERALIDADES	20
2.1.1	Histórico e importância dos estudos tafonômicos em tanques do quaternário do Nordeste do Brasil	23
2.2	ESTUDOS PALEOPATOLÓGICOS EM VERTEBRADOS – GENERALIDADES	26
2.2.1	Histórico e importância dos estudos paleopatológicos do Quaternário do Nordeste do Brasil	27
3	ÁREA DE ESTUDO	30
3.1	GEOLOGIA	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1	TERMINOLOGIA	34
4.2	ANÁLISE DOS DADOS	36
4.2.1	Análise tafonômica	36
4.2.2	Análises estatísticas multivariadas	37
4.2.3	Difratometria de raios-X(DRX)/petrografia	39
4.2.4	Análises paleopatológicas	40
4.2.4.1	Análise de raios-X convencional	40
4.2.4.2	Análise de microtomografia de raios X (μ CT)	41
4.2.5	Identificação anatômica/taxonômica	41
5	RESULTADOS	42
5.1	ARTIGO 1 - New record of calf <i>Notiomastodon</i> cf. <i>platensis</i> (Mammalia, Proboscidea) from Pernambuco state, northeastern Brazil.....	43
5.2	ARTIGO 2 - Astrágalo e osteodermos de <i>Glyptotherium</i> Osborn, 1903 do Pleistoceno Final de Pernambuco, Nordeste do Brasil.....	54
5.3	ARTIGO 3 - Revealing new bone diseases in the Quaternary megaherbivore ground sloth <i>Eremotherium laurillardi</i> (Mammalia,	

	Xenarthra, Folivora).....	63
5.4	ARTIGO 4 - Taphonomic scenario of the Zabelê tank deposit, Pleistocene of Northeast region of Brazil.....	80
6	DISCUSSÃO	139
7	CONCLUSÃO	145
	REFERÊNCIAS	147
	APÊNDICE A – MATRIZ DE DADOS, COM BASE NAS ASSINATURAS TAFONÔMICAS, UTILIZADA PARA AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS NO PAST	160
	APÊNDICE B – FIGURA COMPARANDO A MORFOLOGIA DO DEPÓSITO DE TANQUE ZABELÊ COM OUTROS TANQUES DO NORDESTE DO BRASIL	161
	APÊNDICE C – TABELA DE FÁCIES IDENTIFICADAS NO PERFIL ESTRATIGRÁFICO DA ACUMULAÇÃO DO TANQUE ZABELÊ, CAPOEIRAS, PERNAMBUCO.....	162
	ANEXO A – TABELA COM AS ASSINATURAS TAFONÔMICAS ANALISADAS NO SPZ	163
	ANEXO B – GRÁFICO COMPARANDO OS PADRÕES DE CRESCIMENTO DE ESPELEOTEMAS DO NORDESTE BRASILEIRO COM EVENTOS REGISTRADOS EM VÁRIOS ARQUIVOS PALEOCLIMÁTICOS DO HEMISFÉRIO NORTE.....	164

1 INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre os mamíferos fósseis recuperados em depósitos de tanques têm avançado nos últimos anos, abrangendo estudos isotópicos relacionando dieta/hábitat (FRANÇA et al., 2015; DANTAS et al., 2017), geocronológicos (KINOSHITA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2013), tafonômicos (SILVA, 2006; ALVES, 2007; RIBEIRO, 2010; SILVA, 2013; ARAÚJO-JÚNIOR, 2012; 2015; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013; 2015; 2017; ARAÚJO-JÚNIOR, 2016; SCHERER et al., 2017), sistemáticos (e.g. CARTELLE, 1992; PORPINO e BERGQVIST, 2002; PORPINO et al., 2004; CARTELLE e DE IULIIS, 2006; OLIVEIRA et al., 2010; GUÉRIN e FAURE, 2013; CARTELLE et al., 2014) e paleopatológicos (HENRIQUES et al., 1998; BARBOSA et al., 2017a,b,c,d).

Os depósitos de tanques são peculiares feições geomorfológicas que preenchem depressões naturais em rochas do embasamento cristalino (BRANNER, 1915; MABESOONE et al., 1990; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013), e mais raramente substratos areníticos (SILVA, J., 2008). Neles são comumente preservados restos de mamíferos do Pleistoceno Final - Nortegripiano, sendo os mais comuns: Megatheriidae (Xenarthra, Pilosa), Gomphotheriidae (Proboscidea), Toxodontidae (Notoungulata), Gliptodontidae (Cingulata), Macrauquenidae (Litopterna), Equidae (Perissodactyla) e Felidae (Carnivora) (ROLIM, 1974a,b; PAULA COUTO, 1980; MABESOONE et al., 1990; BERGQVIST et al., 1997; CARTELLE, 1999; PORPINO e BERGQVIST, 2002).

No que tange a tafonomia de depósitos de tanques, na última década, diversos estudos tem sido apresentados, abrangendo a compreensão de aspectos deposicionais, e o modo de preservação dos restos esqueléticos de vertebrados (SILVA, 2006; ALVES, 2007; RIBEIRO, 2010; SILVA, 2013; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013a,b; 2015; 2017; ARAÚJO-JÚNIOR, 2016).

No que concerne a paleopatologia, até meados de 2010 os estudos em vertebrados fósseis eram raros no contexto do Quaternário da América do Sul, bem como no Nordeste de Brasil (e.g. FERIGOLO, 1985; HENRIQUES et al., 1998; MELO et al., 2007). Mas nos últimos anos houve substancial incremento nesses estudos, principalmente os voltados a identificação, descrição e interpretação de alterações paleopatológicas em espécies fósseis (BARBOSA et al., 2013; BARBOSA et al., 2014a,b; BARBOSA et al., 2017d). Demonstrou-se a ocorrência de novos casos e novos diagnósticos para os megamamíferos do Quaternário da América do Sul e a susceptibilidade de lesões em espécies de preguiças gigantes

(BARBOSA et al., 2019) – um dos táxons mais encontrados nos depósitos de tanques do Nordeste do Brasil.

Os depósitos de tanques são restritos ao Nordeste do Brasil. Mesmo com o grande número de estudos realizados na última década, ainda são escassos os estudos embasados em escavações controladas. O presente estudo constitui-se em uma oportunidade única de obtenção de dados *in situ* em diversos aspectos do conhecimento em geociências (e.g. sedimentologia, estratigrafia e tafononomia). Aliado a isso, o uso de técnicas analíticas como a difratometria de raios-x, petrografia e geocronologia, são importantes para determinação do tipo de fossilização e idade do depósito, permitindo comparações com outros tanques e/ou outros depósitos fossilíferos quaternários. Soma-se o fato de que, essas técnicas, ainda não são amplamente difundidas em paleomastozoologia, exceto pelos estudos de Araújo-Júnior et al. (2013a) e Scherer al. (2017).

Desta forma, nesta tese são apresentados resultados dos dados coletados através dos trabalhos de escavação sistemática de um depósito de tanque no município de Capoeiras, região Agreste do Estado de Pernambuco. Esta pesquisa buscou trazer novos dados e ampliação das discussões a respeito do cenário deposicional, tafonômico, faunístico, paleopatológico e paleoambiental como um todo relacionado aos depósitos de tanques do Quaternário da América do Sul.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho irá contribuir com a interpretação paleoambiental do depósito de tanque Zabelê com base nas análises tafonômicas, feições sedimentológicas do depósito, taxonômica e paleopatológica.

1.1.1 Objetivo geral

Apresentar a história tafonômica do depósito com base nos estudos taxonômicos e paleopatológicos dos mamíferos fósseis provenientes de escavação sistemática do depósito de tanque Zabelê, município de Capoeiras, estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar taxonomicamente os fósseis coletados;
- Descrever as alterações paleopatológicas;
- Interpretar o modo de acumulação dos espécimes a partir de feições sedimentológicas do depósito;
- Aportar idades LOE (Luminescência Opticamente Estimulada) para o depósito;
- Identificar e interpretar as assinaturas tafonômicas (bioestratinômicas e fossildiagnéticas);
- Comparar as assinaturas tafonômicas dos fósseis no depósito de tanque Zabelê com as de outros sítios previamente estudados do Nordeste do Brasil.

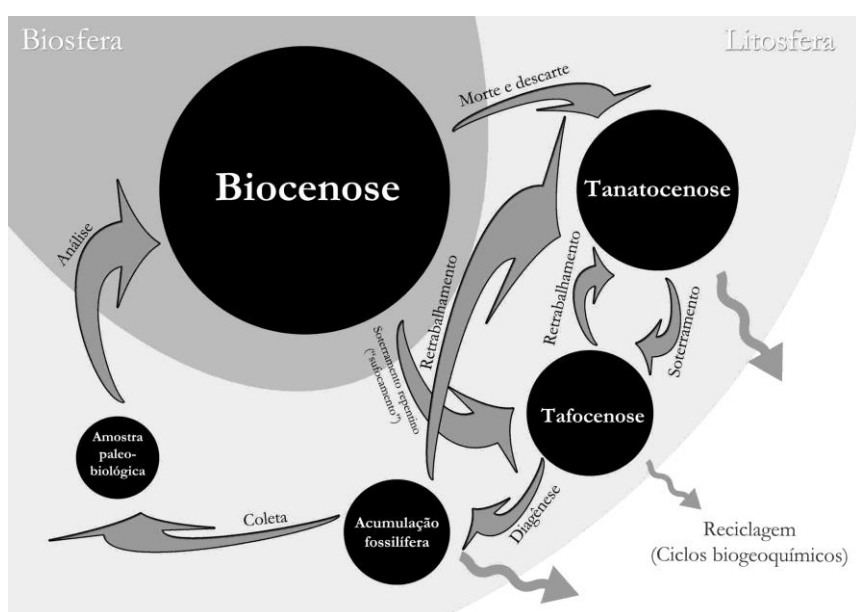
2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir será feita contextualização teórica com base nas principais referências correlacionadas a temática da tese. Será elucidada a tafonomia de vertebrados e os trabalhos realizados em depósitos de tanques, bem como a paleopatologia e os registros paleopatológicos em mamíferos do Quaternário do Nordeste do Brasil.

2.1 TAFONOMIA DE VERTEBRADOS - GENERALIDADES

A tafonomia (gr. *taphos* = sepultamento; *nomos* = leis) é a ciência que tem por objetivo compreender os processos de fossilização que alteram quali- e quantitativamente a informação biológica preservada no registro fóssil (BEHRENSMEYER et al., 2000; SIMOES et al., 2010). Um dos grandes objetivos é quantificar a influência do ambiente sedimentar sobre o grau de alteração dos respectivos restos fósseis (ERTHAL et al., 2017a). Sabe-se que o registro fossilífero é incompleto, pois fatores intrínsecos (e.g. composição do esqueleto) e extrínsecos (e.g. taxas de sedimentação) podem aumentar ou reduzir as probabilidades de preservação dos restos orgânicos (SIMÕES et al., 2010), além da informação referente aos restos; por isso a tafonomia torna-se uma importante ferramenta na compreensão dessas informações (Figura 1).

Figura 1 - Esquema da transformação de restos orgânicos em fósseis e da mudança gradual na qualidade do registro fossilífero.



Fonte: Araújo-Júnior e Bissaro-Júnior (2017).

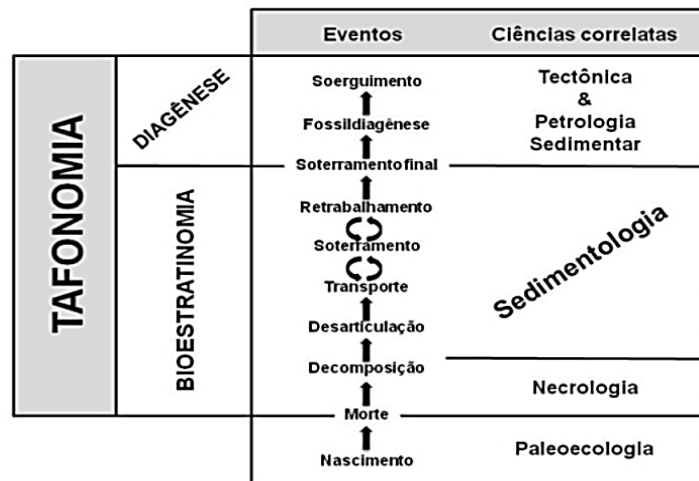
Os processos que atingem os restos de organismos podem ser agrupados em duas fases de duração de tempo desigual: a Bioestratinomia (fase mais curta, pré-soterramento) e a Fossildiagênese (fase mais longa, pós-soterramento) (MENDES, 1988; SIMÕES *et al.*, 2010 - Figura 2). Assim os vários processos tafonômicos que ocorrem entre a morte dos organismos e o soterramento final são nomeados de processos bioestratinômicos (HOLZ e SIMÕES, 2002). A modificação pós-morte dos restos esqueléticos se dá em função da sua susceptibilidade à ação desses processos e o tempo de exposição dos mesmos (ARAÚJO-JÚNIOR e BISSARO-JÚNIOR, 2017). Como estimado através de estudos experimentais (e.g. BEHRENSMEYER, 1978; BEHRENSMEYER e MILLER, 2012), a fase bioestratinômica para grandes vertebrados pode durar, em média, 30 anos, sendo que nesse período, ocorrem os processos cruciais para a alteração dos restos esqueléticos (BEHRENSMEYER, 1978; BEHRENSMEYER e MILLER, 2012). Esses processos bioestratinômicos, atuam principalmente sobre as partes duras dos organismos (BEHRENSMEYER, 1978; MARTIN, 1999; SIMÕES *et al.*, 2010; BEHRENSMEYER e MILLER, 2012).

A maior parte da informação arquivada a respeito dos processos tafonômicos pode ser adquirida quase que exclusivamente das partes duras, pois elas preservam os processos tafonômicos. Desta forma, nos processos bioestratinômicos estão incluídas a desarticulação, a reorientação, a fragmentação, o transporte, o intemperismo, a abrasão e a corrosão (SHIPMAN, 1981; BRETT e BAIRD, 1986; LYMAN, 1994; SIMÕES *et al.*, 2010). Incluem-se ainda feições como marcas de insetos (KAISER, 2000; FEJFAR e KAISER, 2005; ROBERTS *et al.*, 2007), marcas de carnívoros/carniceiros (HAYNES, 1980; 1982; 1983) e marcas de ferramentas humanas (SELVAGGIO, 1994; BLUMENSCHINE *et al.*, 1996; DEFLEUR *et al.*, 1999), também são observadas em restos fósseis de vertebrados.

Já a fossildiagênese abrange os processos físicos e químicos que alteram os restos esqueléticos após o soterramento (SEILACHER, 1976; FLESSA *et al.*, 1992). Nos vertebrados, durante a diagênese, a compactação pode levar a alterações da forma (achatamento, distorção) e à alterações químicas (permineralização, impregnação, corrosão, incrustação) a depender do ambiente sedimentar envolvido (SIMÕES *et al.*, 2010). Dentre os fatores que influenciam a fossildiagênese, a porosidade dos elementos esqueléticos é o principal fator controlador das taxas de mudanças químicas e diagenéticas; além disso, o clima e o intemperismo exercem influência nos restos esqueléticos. As tafocenoses de depósitos quaternários tendem a sofrer menor alteração fossildiagenética em relação aos depósitos de períodos mais antigos (e.g.

Cretáceo, Jurássico), dado o menor tempo de trânsito após o soterramento (ARAÚJO-JÚNIOR e BISSARO-JÚNIOR, 2017). Além desses, também há o enraizamento (=rooting) (MONTALVO, 2002).

Figura 2 - Divisões da Tafonomia, seus principais processos tafonômicos e ciências correlatas que fornecem informações.



Fonte: Adaptado de Simões *et al.* (2010).

Em uma abordagem mais desvinculada à visão tradicional, a tafonomia, ou mais especificamente, a bioestratinomia é estabelecida com um viés mais voltado à paleoecologia (ERTHAL *et al.*, 2017a). A partir dos anos 2000, essa ciência incorporou novos objetivos àqueles já existentes em seu campo de atuação, ampliando seu escopo para incluir processos que concentram restos biológicos. Neles inclui-se o controle em larga escala dos processos microbiológicos e biogeoquímicos, resolução espaço-temporal e a fidelidade das acumulações de fósseis, e a delimitação dos "megatendenciamentos" como padrões de larga escala na qualidade dos fósseis que afetam a análise paleobiológica nos níveis provincial a global, em escalas de tempo geralmente superiores a dez milhões de anos (BEHRENSMEYER *et al.*, 2000) (Figura 1). Dentre os fenômenos inerentes à análise tafonômica estão a mistura temporal e a mistura espacial.

A mistura temporal (*time averaging/temporal mixing*) refere-se à mistura de bioclastos de diferentes idades em uma única acumulação (SIMÕES *et al.*, 2010); é um fenômeno inerente ao registro sedimentar e que não pode ser removido ou eliminado pelas estratégias de coleta e análises de dados paleontológicos (KOWALEWSKI *et al.*, 1998); aliado à

preservação diferencial e os hiatos deposicionais, produz um registro paleontológico tendencioso (HOLZ e SIMÕES, 2002), o que implica, em um sentido mais amplo, na perda de algum tipo de informação da associação original (ERTHAL et al., 2017b). O processo de retrabalhamento de camadas contendo restos pré-fossilizados pode levar a mistura desses elementos com restos ainda frescos, resultando em um grau ainda maior de mistura temporal, sendo observado, principalmente, em ambientes sedimentares com alta energia (ARAÚJO-JÚNIOR e BISSARO-JÚNIOR, 2017). Para identificação e quantificação da mistural temporal, é importante reunir dados tafonômicos e sedimentológicos (BERTONI-MACHADO, 2008). É necessária para que as inferências paleoecológicas relacionadas à acumulação fossilífera tenham validade (KOWALEWSKI et al., 1998; SIMÕES et al., 2010).

Já o fenômeno de mistura espacial (*spatial mixing*) reúne partes esqueletais de organismos que ocuparam diferentes ambientes sedimentares, ou seja, não conviveram geograficamente em uma única biocenose (SIMÕES et al., 2010; ARAÚJO-JÚNIOR e BISSARO-JÚNIOR, 2017). Da mesma forma que a mistural temporal, esse processo afeta a informação paleoecológica relacionada ao hábitat original de vida dos organismos (BEHRENSMEYER e HOOK, 1992). Uma maneira de identificar a mistura espacial é avaliar o grau de transporte dos bioclastos (e.g. BEHRENSMEYER e HOOK, 1992; ARAÚJO-JÚNIOR e BISSARO-JÚNIOR, 2017). É importante a identificação e quantificação da mistura temporal/espacial nas acumulações fósseis, tanto que, os estudos evolutivos não podem ser realizados com sucesso se os estudos tafonômicos não confirmam ou excluem a ocorrência de misturas e estabelecem o grau de mistura (FERNANDEZ- JALVO et al., 2011).

2.1.1 Histórico e importância dos estudos tafonômicos em depósitos de tanques do Quaternário do Nordeste do Brasil

Os tanques são depressões naturais de formato variado, que se formam em rochas do embasamento cristalino, a partir da atuação do intemperismo físico-químico (MABESOONE et al., 1990; BERGQVIST et al., 1997; SANTOS, 2001; ARAÚJO-JÚNIOR e PORPINO, 2011), podendo eventualmente se formar também em substrato arenítico (LOPES J., 2008). Recentemente, Araújo-Júnior et al. (2013a) distinguiram os tanques naturais dos depósitos de tanque. Para os autores, os tanques naturais consistem nas depressões produzidas pelo processo de intemperismo físico-químico em rochas do embasamento, enquanto que os depósitos de tanques compreendem o conteúdo sedimentar que preencheu essas depressões durante o Pleistoceno Final-Holoceno inicial (*sensu* ARAÚJO-JUNIOR et al., 2013a) os quais

contêm fósseis de vertebrados, principalmente de megamamíferos. Seus restos esqueléticos foram carreados até o interior dos tanques, considerando-se que esses eram os últimos remanescentes de água durante o Pleistoceno Final (PAULA COUTO, 1980). Com uma menor frequência, são encontrados restos de répteis, aves e anfíbios, além de conchas de gastrópodes e vegetais (VIDAL, 1946; PAULA COUTO, 1980; XIMENES, 2009; ARAÚJO-JÚNIOR e MOURA, 2014).

Nos depósitos de tanques, as primeiras observações tafonômicas surgiram a partir dos estudos de Branner (1902) e, posteriormente, nas décadas de 1970 e 1980 (BRANNER, 1902; MOREIRA et al., 1971; PAULA COUTO, 1980). Esses autores associavam a preservação de megamamíferos em tanques à morte acidental. Posteriormente, Paula Couto (1980) realizou estudo tafonômico em fósseis do Ceará, no depósito de tanque João Cativo. Alguns anos mais tarde, Oliveira, L. e Damasceno (1987) realizaram a primeira análise fossildiagenética em material proveniente de um tanque, os quais identificaram o processo de permineralização em espécimes do tanque de Lagoa do Cruz, Rio Grande do Norte. Na Paraíba, Bergqvist (1989) e Gomide (1989) estudaram aspectos tafonômicos dos depósitos de tanques de Taperoá e Campina Grande, e no Ceará Itapipoca, sugerindo, pela primeira vez, que os animais poderiam ter morrido ao redor dos tanques e dali teriam sido carreados até o interior do tanque por enxurradas.

Na década de 1990 ainda eram escassos os trabalhos tafonômicos. Um desses trabalhos foi o de Bergqvist et al. (1997) que descreveram os padrões preservacionais em acumulações fossilíferas de depósitos de tanques da Paraíba e Ceará. Foi a partir dos anos 2000 que houve aumento significativo no número de estudos tafonômicos. Santos (2001) e Silva (2001) realizaram estudos tafonômicos de acumulações de depósitos de tanques do Rio Grande do Norte e de Alagoas, respectivamente. Porpino et al. (2001) descreveram a preservação diferencial entre elementos esqueléticos, e Porpino e Santos (2002) mostraram a importância de abordagens tafonômicas em fósseis do Rio Grande do Norte para complementar os estudos paleontológicos do Nordeste brasileiro. Alves (2007) e Alves et al. (2007) estudaram os aspectos bioestratinômicos e diagenéticos dos fósseis de depósito de tanque Fazenda Nova, no município de Brejo da Madre de Deus, PE, destacando aspectos sedimentológicos, além da taxonomia, retrabalhamento e transporte. Dantas e Tasso (2007) mostraram a ocorrência de episódios de enxurradas, um curto transporte e mistura temporal dos elementos esqueléticos, apontando aspectos do processo de permineralização em um tanque localizado em Vitória da Conquista, Bahia. Silva, J., (2008) estudou os depósitos de

tanques dos municípios de Maravilha e Poço das Trincheiras no Estado de Alagoas descrevendo os processos de fossilização, e a diagênese das tafocenose. Silva (2009) estudou as acumulações fossilíferas de mamíferos coletados em depósitos de tanques no município de Afrânio, aportando dados sobre seus aspectos diagenéticos.

A partir de 2011, os estudos abrangeram análises mais amplas, incrementando o estudo tafonômico com análises estatísticas. Araújo-Júnior e Porpino (2011) estudaram depósitos de tanques de Rio Grande do Norte. Faria et al. (2013) analisaram feições de intemperismo em Baixa Grande, Bahia. Araújo-Júnior et al. (2011) relataram a ocorrência de marcas de carnívoros/carniceiros em mamíferos de Itapipoca, Ceará. Araújo-Júnior et al., (2012) aplicaram o *Fluvial Transport Index- FTI*, demonstrando sua utilidade como ferramenta em análise de transportabilidade de bioclastos em acumulações em tanques. Araújo-Júnior et al. (2013a) realizaram um estudo tafonômico comparativo da acumulação do tanque de Jirau, Ceará. Nesse mesmo período, Araújo-Júnior et al. (2013b) realizaram estudo tafonômico da acumulação de Lage Grande, Pernambuco. Araújo-Júnior et al. (2015) realizaram estudo detalhado da acumulação tanque Curimatãs, Paraíba. Silva (2013) realizou estudos sistemáticos, tafonômicos, sedimentológicos e geocronológicos do tanque de Fazenda Nova, Pernambuco. Araújo-Júnior (2016) classificou as assembleias dos depósitos de tanques em relação ao transporte da área fonte. Araújo-Júnior et al. (2017) classificaram as acumulações dos depósitos de tanques em relação a sua origem. Por fim, Scherer et al. (2017) conduziram estudos tafonômicos e geocronológicos de um depósito de tanque da Bahia.

De maneira geral, esses estudos têm sugerido que o preenchimento sedimentar dos tanques tem como origem fluxos gravitacionais e inundações, depositando os restos esqueléticos (já desarticulados, intemperizados e abradidos), podendo misturá-los com os outros restos já depositados, resultando em mistura espacial e temporal (ARAÚJO-JÚNIOR, 2016; ARAÚJO-JÚNIOR et al. 2017). Esses depósitos são pouco variáveis em sequência, caracterizando-se por cascalhos matriz-sustentado (e.g. ALVES, 2007; ARAÚJO-JÚNIOR, 2013a), e, mais raramente podem ocorrer conglomerado matriz sustentado, arenito no topo e geometria tabular (vide adiante). Através das assinaturas tafonômicas mais comuns nas acumulações dos depósitos de tanques (desarticulação, fragmentação, moderada abrasão e intemperismo) e uso de análises multivariadas, foi possível distinguir diferentes tipos de acumulações, com assembleias menos ou mais influenciadas pelo grau de retrabalhamento e mistura temporal e espacial, interferindo na confiabilidade das informações paleoecológicas dessas assembleias.

2.2 ESTUDOS PALEOPATOLÓGICOS EM VERTEBRADOS – GENERALIDADES

A paleopatologia (do grego *paleo*=antigo; *páthos*=sofrimento ou doença e *logos*=estudo, *sensu* RUFFER, 1914) é o ramo de estudo que trata das evidências de doenças em humanos e não humanos em esqueletos antigos (variando de centenas a milhares de anos). É um estudo multidisciplinar e concentra-se em fontes de evidências primárias e secundárias (ROBERTS e MANCHESTER, 2010). Moodie (1917) ressaltou a importância do estudo paleopatológico em vertebrados fósseis e, provavelmente, foi um dos que mais contribuiu para esses estudos. Os primeiros estudos paleopatológicos foram desenvolvidos por Esper em 1774, descrevendo osteosarcoma em um fêmur de Ursidae do Pleistoceno.

A análise macroscópica dos restos físicos é a forma mais direta de estudo (WALDRON, 2009). Entretanto existem algumas limitações em estudos paleopatológicos. As populações, em geral, não podem ser estudadas, e a pesquisa se restringe a um número pequeno de indivíduos, impedindo inferências sobre a prevalência da doença em nível populacional, além dos restos esqueléticos comumente sofrerem danos *post-mortem*, o que pode atrapalhar na determinação do diagnóstico (ROBERT e MANCHESTER, 2005). Além desses fatores, a ausência dos tecidos moles, na maioria dos casos, impossibilita testes bioquímicos e histórico médico (ORTNER, 2003); a forma como os ossos respondem aos agentes estressores é restrita (não permite sintomatologia nem progresso da doença) (PFEIFFER, 1991) e, não se pode determinar a *causa mortis* a partir apenas da análise osteológica, já que as doenças que causam a morte dos indivíduos são expressas na forma aguda (WALDRON, 2009).

No caso dos restos fósseis a interpretação de dados paleopatológicos depende, fundamentalmente, de um diagnóstico diferencial a partir de sinais de doenças aparentes macroscopicamente (ROBERTS e MANCHESTER, 2010). O primeiro passo é a observação macroscópica para diferenciar as paleopatologias (*antemortem*) das pseudopatologias (*post-mortem*). Os processos destrutivos *antemortem* em restos esqueléticos apresentam como características morfológicas os seguintes aspectos: bordas lisas ou arredondadas e, a maioria das erosões destrutivas, terá alguma evidência de reparo osteoblástico em algum ponto (ORTNER, 2003). As alterações *post-mortem* apresentam coloração distinta do córtex danificado, sendo mais claro que o resto do osso, apresentando bordas agudas ou denteadas (WALDRON, 2009). Feita a identificação da alteração óssea como *ante-mortem*, parte-se

para o diagnóstico diferencial, onde serão descritas as alterações anormais no resto esquelético e, se possível, reconstruído o processo patológico e sua origem.

A observação macroscópica é um método de estudo amplamente difundido na paleopatologia (ROBERTS e MANCHESTER, 2010) e o mais utilizado. Adicionalmente, algumas técnicas podem ser utilizadas para auxiliar a descrição das alterações paleopatológicas. A radiografia (Raios-x convencional e microtomografia de Raios-X- μ CT) tem um papel importante no diagnóstico da doença e do trauma; o microscópio eletrônico de varredura (MEV) e de luz transmitida expandem a imagem e aumentam a precisão do diagnóstico (ROBERTS e MANCHESTER, 2010). Além disso, podem ser utilizadas técnicas químicas e análises complementares (e.g. histologia, DNA ancestral) (ORTNER, 2003). No que se refere ao uso das técnicas como Raios-x convencional e microtomografia de Raios-X (μ CT), estas vem sendo amplamente utilizadas ao longo de mais de 100 anos (CHHEM, 2008) como ferramentas complementares ao diagnóstico paleopatológico, principalmente, na extensão da lesão (FERIGOLO, 1987).

2.2.1 Histórico e importância dos estudos paleopatológicos do Quaternário do Nordeste do Brasil

As primeiras observações paleopatológicas em mamíferos do Quaternário do Nordeste do Brasil foi realizada por Henriques et al. (1998), que relataram a reação óssea e artrose em *Panochthus*, do Pleistoceno da Paraíba. Mais recentemente, a partir dos anos 2000 cresceram os estudos de ocorrências de paleopatologias, principalmente em megamamíferos. Barbosa et al. (2012) relataram a ocorrência de fratura *ante mortem* em vértebras de *E. laurillardi* do Pleistoceno de uma caverna de Jacobina, Bahia. Araújo-Júnior et al. (2013) descreveram duas vértebras anormais de *E. laurillardi*, proveniente de um depósito de tanque do Ceará, exibindo discopatia e um calo pós-traumático.

Nos últimos anos houve um significativo aumento de trabalhos sobre paleopatologia do Quaternário do Nordeste do Brasil, sendo que as principais contribuições foram realizadas por F.H.S. Barbosa. O primeiro trabalho desse autor e colaboradores foi Barbosa et al. (2013), no qual descrevem um caso de osteomielite para *Notiomastodon platensis* do Rio Grande do Norte. Barbosa et al. (2014) reportaram um caso de artrite afetando um eixo de *E. laurillardi*, procedente de Pernambuco. Barbosa et al. (2014) relataram um caso de espondiloartropatia (SpA) em gliptodontídeos do Rio Grande do Norte. Recentemente, Barbosa et al. (2017b) reconheceram a SpA, nódulo de Schmorl (NS) e uma infecção inespecífica em *Nothrotherium*

maquinense e osteocondrite dissecante (OD) em *Ahytherium aureum*. Barbosa e Oliveira (2017) relataram um defeito linear em vértebra de Equidae, procedente de Pernambuco. Barbosa et al. (2017d) reportaram a ocorrência de artrite e a doença de deposição do pirofosfato de cálcio (DDPC) em *Panochthus* do Rio Grande do Norte. Barbosa et al. (2017c) realizaram estudo etiológico das doenças reconhecidas em seis espécies de preguiças do Quaternário da RIB, sendo estas: a doença de deposição do pirofosfato de cálcio (DDPC), Espondiloartropatia (SpA), Osteoartrite (OA), nódulo de Schmorl (NS), Osteocondrite dissecante (OD) e Espondilose Deformante (ED). Ressalta-se que através desse estudo mostrou-se a susceptibilidade de lesões dentre as espécies de preguiças do Quaternário da RIB. Nesse sentido, os estudos acima apontados corroboram Ferigolo (1987), que ao estudar mamíferos fósseis do Rio Grande do Sul (megaterídeos, milodontídeos, toxodontídeo e macrauchenídeos) pontuou que as alterações degenerativas (como a osteoartrite), traumas (lesões cicatrizadas), infecções (osteomielites piogênicas ou não), alterações dentárias e nutricionais (hipoplasia do esmalte dentário), estavam entre as alterações paleopatológicas mais comuns nesses indivíduos.

Demonstra-se assim, a importância dos estudos paleopatológicos. Ressalta-se que as marcas deixadas pelas enfermidades nos fósseis foram geradas dentro de um contexto ecológico, e podem estar diretamente ligadas às características ecológicas particulares das espécies (autoecologia) ou as suas relações tróficas com os demais componentes do ecossistema (sinecologia) (BARBOSA, 2013). Fatores ambientais como a latitude, a longitude e o clima, associados, têm um efeito profundo sobre a incidência de certas doenças (PATZ et al., 1996), podendo ocasionar distúrbios metabólicos causadores de doenças. São diversas as alterações provocadas por patógenos (bactérias, vírus e fungos) ou pela relação predador-presa, disputas territoriais e/ou parceiros sexuais e doenças correlacionadas ao esmalte dentário (do tipo hipoplasia) (BRAUNN e FERIGOLO, 2004). Ainda podem ocorrer doenças associadas à biomecânica (peso corporal e sobrecarga) e envelhecimento, como a alguns tipos de artrite vertebral (FERIGOLO, 1987).

Nesse sentido, os tecidos dentários emitem o mesmo sinal de resposta para vários fatores ambientais distintos (FERIGOLO, 2007), sendo assim ótimos indicadores das histórias individuais dos organismos extintos, sobre as quais as forças extrínsecas ambientais agiram, como o estresse ambiental e/ou nutricional, deixando alterações paleopatológicas (FERIGOLO, 1987; FERIGOLO, 2007; MELO, 2007). Nesse caso, a hipoplasia de esmalte em *Toxodon* pode ter decorrido de déficits nutricionais sazonais cíclicos (FERIGOLO, 2007;

MELO, 2007; BRAUNN et al., 2014), correlacionada às mudanças climáticas e a provável relação com a extinção dos megamamíferos no Pleistoceno Final da América do Sul (FERIGOLO, 1999). Ferigolo (1999) sugere ainda que as infecções geradas pela introdução de patógenos exógenos trazidos por mamíferos norte-americanos, seria um dos fatores que poderiam ter contribuído na extinção da megafauna sul-americana, somado ao conjunto de fatores como: mudanças climáticas, predação, etc. (e.g. HAYNES, 2009). Assim, a detecção das lesões deixadas por esses patógenos nos fósseis servem de testes falseadores (ou corroborativos) dessa hipótese como, por exemplo, os achados de lesões infecciosas em megaterídeos da RIB (e.g. BARBOSA et al., 2017b,c).

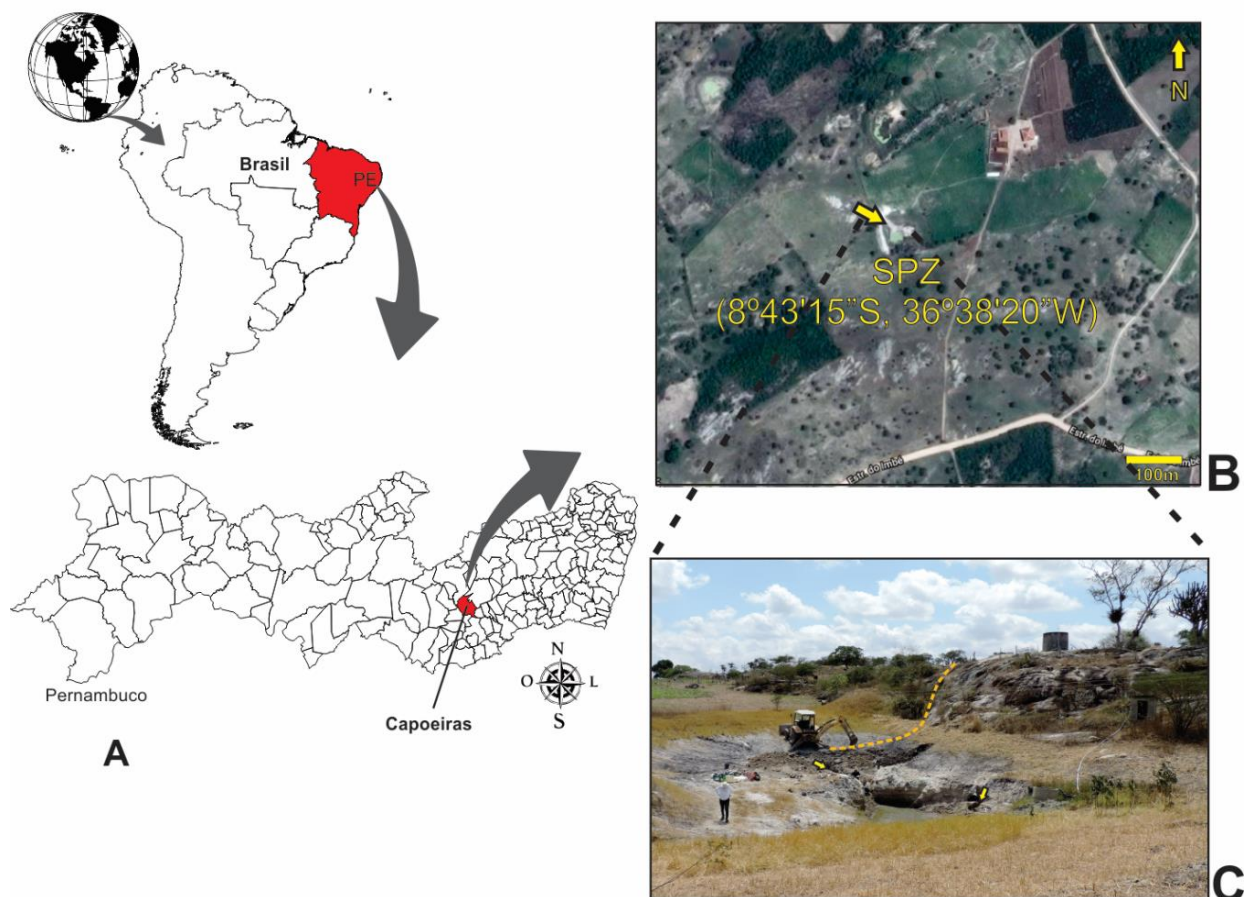
O estudo das paleopatologias e outras alterações nos ossos e dentes de mamíferos fósseis permite um meio indireto para entender os múltiplos aspectos dos indivíduos como: processos adaptativos, hábitos, estilo de vida e dieta, distúrbios biomecânicos, metabólicos e nutricionais (FETTUCIA et al., 2013). Eventos diferentes podem deixar marcas permanentes nos ossos e revelar aspectos importantes da história de vida de um animal em particular, mas nem sempre é simples reconhecer quais processos estão envolvidos (SIMÕES-LOPES et al., 2008). O estudo paleopatológico é de extrema importância, pois se as paleopatologias não forem reconhecidas, numerosos dados sobre a vida dos grupos extintos serão perdidos e, além disso, é imprescindível que as alterações patológicas e senis ou mesmo anatômicas, devam ser identificadas (FERIGOLO, 1987).

Paleopatologias são importantes também na interpretação da história tafonômica de assembléias fósseis, pois nem sempre é tarefa fácil diferenciar entre feições tafonômicas e paleopatológicas, especialmente tratando-se de paleopatologias com características erosivas, potencialmente geradoras de ruídos no diagnóstico (BARBOSA, 2013). Desta forma, aliada a tafonomia, a paleopatologia torna-se uma importante ferramenta para a compreensão do cenário paleoecológico do Quaternário do Nordeste do Brasil e de maneira geral da América do Sul.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao Sítio Paleontológico Zabelê (SPZ) ($8^{\circ}43'15''$ S, $36^{\circ}38'20''$ W, altitude 963m). Está localizado na microrregião do Vale do Ipojuca, mesorregião do agreste pernambucano, Nordeste do Brasil. Partindo-se da capital Recife, o acesso ao tanque pode ser feito através da BR-232 sentido Caruaru e, em seguida, pela PE-193. (Figura 3). O depósito de tanque situa-se geograficamente na folha Venturosa SC.24-X-B-V, na escala 1:100.000.

Figura 3 – Localização do Sítio Paleontológico Zabelê (SPZ), município de Capoeiras, estado de Pernambuco, Brasil.



Fonte: A autora (2019).

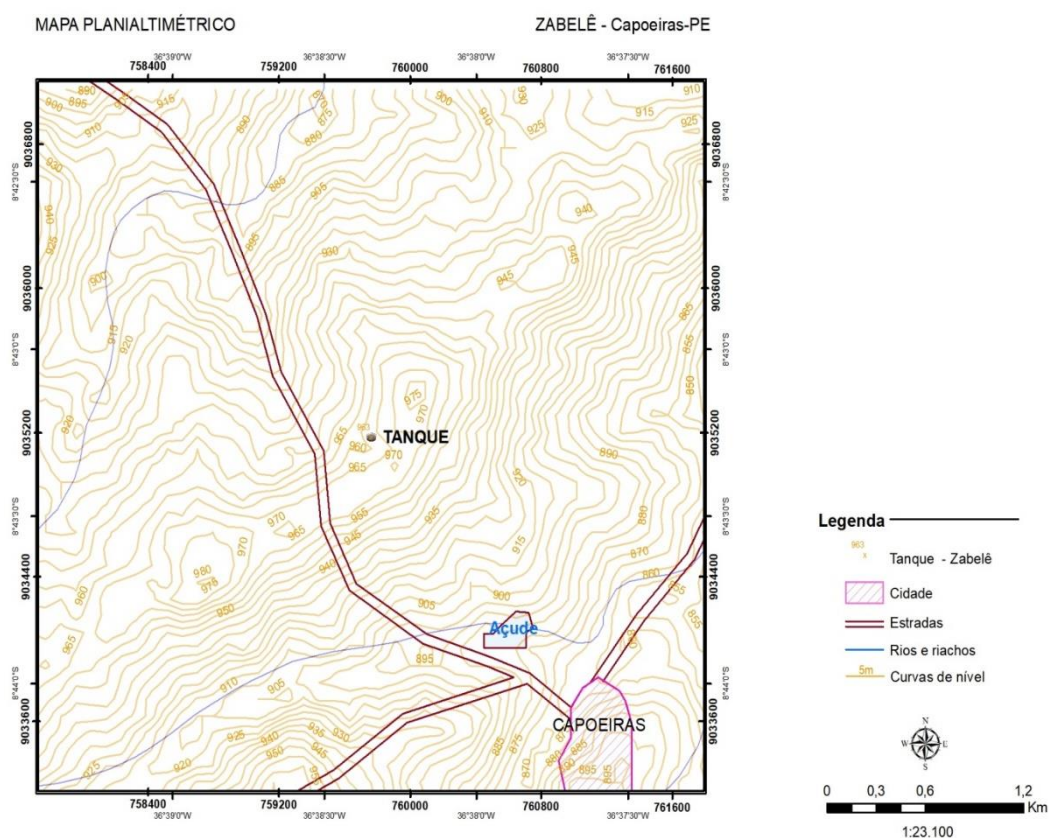
A. Mapa de localização. B. Imagem do Google Earth. C. Vista geral da área de estudo.
Nota: Local de coleta dos fósseis (setas). Notar o formato em poltrona do tanque (tracejado).

3.1 GEOLOGIA

Geologicamente, o tanque está inserido na Província Borborema, constituída pelos litotipos mesoproterozoicos dos Complexos Cabrobó e Belém do São Francisco e pelos granitoides neoproterozoicos da Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa (CPRM, 2005). O embasamento rochoso do tanque é composto por granitoides neoproterozoicos, idade de 580 M.a. (BRITO NEVES et al., 2000), que intemperizam para um material argilo-siltico-arenoso (CPRM, 2005).

A ocorrência de tanques nessa região insere-se na Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa. No mapa planialtimétrico, as cotas situadas próximas ao tanque, são as mais elevadas, de topos de morro situados a NE, variando entre 970-975 m. As cotas menores (< 900 m) estão situadas nas drenagens atuais, que cruzam a cerca de 1,3 km no sentido sudeste-noroeste e a ~2 km ao norte-oeste do SPZ (Figura 4).

Figura 4 – Mapa planialtimétrico do depósito de tanque Zabelê, município de Capoeiras, estado de Pernambuco, Brasil.



Fonte: César Filgueiras (2019).

No tocante ao tamanho, o depósito de tanque apresenta 6m de largura por 10m de comprimento (no sentido N-S). De sua área total foi escavado cerca de 40 %. É um tanque natural (forma não-fluvial) do tipo raso, de fundo em poltrona (Figura 3C), em estágio de desenvolvimento final (ver WALDHER et al., 2018). Possui formato elíptico, semelhante a uma lagoa, com bordas menos íngremes quando comparado com outros tanques. Sua profundidade é de aproximadamente 1,5 m. É preenchido por clastos terrígenos.

Nos trabalhos de campo, em 2015, foi escavada uma tricheira (80 cm x 100 cm, 8:1), a partir da qual foi produzido um perfil estratigráfico da seção mais representativa do depósito (Figura 5).

O preenchimento sedimentar do depósito de tanque tem 180 cm de espessura, e consiste em quatro camadas distintas (da base para o topo):

Camada I. (Fácies Gm) (50-60 cm de espessura) é constituída pela fácies paraconglomerado monomítico maciço, com matriz siltica-arenosa e arcabouço composto por seixos grossos de granitoides, sem indícios de imbricação. Os restos de mamíferos foram recuperados da base desta camada, com orientação preferencial dos maiores eixos dos elementos ósseos longos com direção NE-SW. Amostras de sedimentos coletados a partir das porções de base e de topo desta camada foram datadas em 41.200 ± 2.100 anos AP e 40.300 ± 8.600 anos AP (Pleistoceno Superior), respectivamente, com base no método de Luminescência Opticamente Estimada (LOE). O topo da camada I (fácies Gms) apresenta uma descontinuidade lateralmente devido a possível truncamento erosivo da camada II.

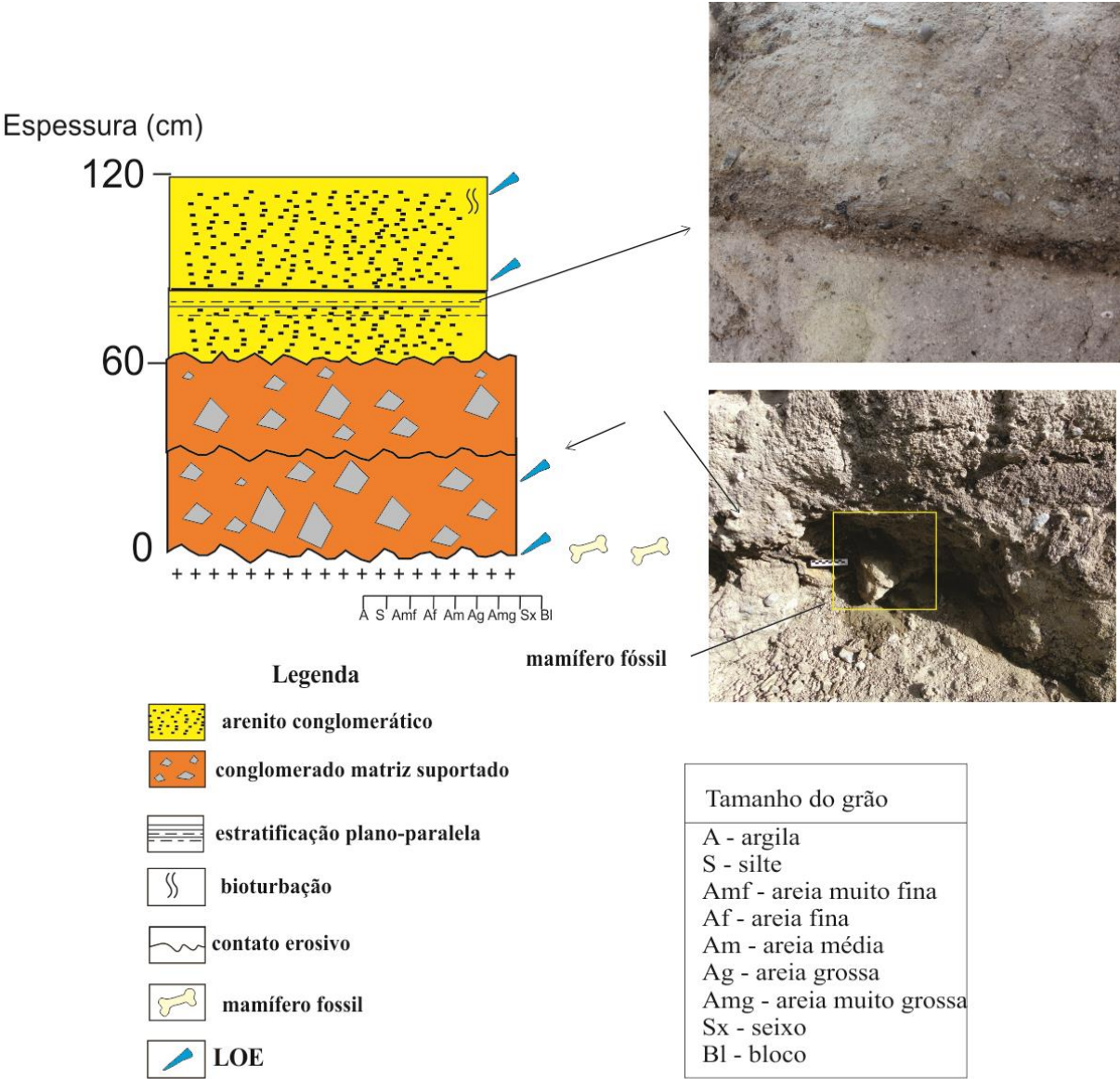
Camada II. fácies Gm. (20 cm de espessura) é formada por conglomerado grosso monomítico, cujo arcabouço é composto seixos médios a grossos (variando de 25 a 40 mm) de quartzo subangulosos, com estratificação plano-paralela. A porção superior da camada II é constituída por fácies de paraconglomerado, com matriz arenosa grossa com presença de seixos grossos dispersos.

Camada III. fácies Sp. (~20cm de espessura) é composta por arenito conglomerático com restos de matéria orgânica possuindo estratificação plano-paralela no topo.

Camada IV. fácies St. (~20cm de espessura) possui ~20cm de espessura é formada pela fácies arenito conglomerático monomítico/polimítico com seixos subangulosos, restos de matéria orgânica, estratificação cruzada e provável bioturbação no topo. Amostras de rocha coletadas na base e no topo da camada IV foram datados por LOE em 35.300 ± 1.200 anos AP e 30.900 ± 1.200 anos AP (Pleistoceno Superior).

Camada V. (varia 30 a 60 cm de espessura) é o topo da seção. É constituída pelo Horizonte C do solo – saprólito (Figura 5). A tabela de fácies consta no apêndice C.

Figura 5 - Perfil estratigráfico esquemático do Sítio Paleontológico Zabelê, estado de Pernambuco, Brasil.



Fonte: A autora (2019).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O material coletado encontra-se atualmente depositado na coleção científica paleontológica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco (DGEO-CTG-UFPE), Recife, Estado de Pernambuco, Brasil. Os trabalhos de campo foram realizados no ano de 2015 em duas etapas. Assim buscou-se entender a dinâmica de deposição correlata à acumulação esquelética e o contexto tafonômico.

Os materiais coletados e catalogados compreendem 342 espécimes, correspondendo a dentes isolados, osteodermos, ossos cranianos e pós-cranianos. Dentes e osteodermos foram excluídos da análise tafonômica visto que o comportamento tafonômico desses elementos é desconhecido (e.g. VOOHIES, 1969; BEHRENSMEYER, 1975; 1978). Portanto, apenas 305 espécimes foram utilizados na análise.

4.1 TERMINOLOGIA

Adota-se a nomenclatura “depósito de tanque” com base na morfologia do depósito estudado e no conceito de Araújo-Júnior e Porpino (2011, p. 70), os quais abordam que “as lagoas podem ser tanques de grandes dimensões, com o contorno recoberto por sedimentos”. O termo depósito de tanque, segue Araújo-Júnior et al. (2013a), referindo-se ao conteúdo sedimentar que preenche as rochas do embasamento.

Os termos biocenoses, tanatocenoses e tafocenoses seguem Lyman (1994), onde: A) biocenose-significa assembleia vivente; B) tanatocenose significa assembleia morta, derivada da biocenose e posteriormente modificada por processos bioestratinômicos; C) tafocenose significa assembleia enterrada e preservada.

Com relação ao uso das terminologias para o porte dos indivíduos, os termos megamamíferos, mamíferos de grande porte, mamíferos de médio porte e mamíferos de pequeno porte, seguem Cione (2009) e Araújo-Júnior e Porpino (2011): (A) megamamíferos >1000 kg; (B) mamíferos de grande porte, entre 100 e 1000 kg; (C) mamíferos de médio porte, entre 10 e 100 kg e (D) mamíferos de pequeno porte, < 10 kg. A estimativa de massa corporal de cada espécie foi retirada de estudos anteriores (e.g. FARIÑA et al., 1998; PREVOSTI e VIZCAÍNO, 2006). As estimativas corporais mais recentes pontuam os

seguintes valores para os táxons de megamamíferos: *E. laurillardi* – 6650 kg; *N. platensis* – 6000 kg e *T. platensis* – 3090 kg (DANTAS et al., 2017).

O termo “espécime” corresponde a uma “unidade observacional”, seja um osso completo (elemento esquelético) ou um simples fragmento ósseo. O elemento esquelético corresponde a uma “unidade anatômica natural discreta de um esqueleto, como um úmero, uma tíbia ou um dente”, de acordo com a nomenclatura estabelecida por Lyman (1994) e também adotada por Araújo-Júnior et al. (2013b).

As classificações das acumulações de vertebrados seguem Eberth et al. (2007b), incluindo: (A) macrofossil dominante, quando mais de 75% do Número de Partes Esqueléticas Identificáveis - NISP é composto de ossos ou fragmentos ósseos com dimensões maiores que 5 cm; (B) microfossil dominante, quando mais de 75% do NISP é composto de ossos ou fragmentos ósseos com dimensões menores que 5 cm; (C) acumulações mistas, conjuntos contendo misturas significativas de macrofósseis e microfósseis e mais de 25% do NISP cada. Foram utilizados os termos monotáxica, paucitáxica e multitáxica, seguindo Eberth et al. (2007b): (A) monotáxica, assembleia constituída por uma única espécie; (B) paucitáxica, de duas a nove espécies; E (C) multitáxica, mais de nove espécies.

Seguiu-se a classificação da assembleia fóssilífera dos conjuntos de vertebrados fósseis de depósitos de tanques, estabelecidos por Araújo-Júnior (2016), a qual utiliza como base a distância em relação à área fonte. As classificações são: assembleia preservada *in situ* (acumulação esquelética derivada de indivíduos que morreram dentro dos tanques e preservados dentro deles); assembleia periférica (acumulação esquelética derivada de indivíduos que morreram ao redor dos tanques, foram transportados e preservados dentro dos tanques); e assembleia preservada *ex situ* (uma acumulação esquelética derivada de indivíduos que morreram longe dos tanques, foram transportados e preservados dentro dos tanques).

Com relação às cores foram estabelecidas com base na observação macroscópica de cada espécime. Para cada cor, foi utilizada o código de cores padrão da tabela The Globe®, versão 2004, sendo estas: bege (cor 7.5 YR 8/1), marrom (varia entre as cores 7.5 YR 5/3 e 7.5 YR 4/3); cinza (varia entre as cores 10 YR 8/1 e 10 YR 7/1); mista (marrom e preto) (marrom, varia entre as cores 7.5 YR 5/3 e 7.5 YR 4/3) (preto, corresponde a cor 7.5 YR 2.5/1).

4.2 ANÁLISES DOS DADOS

Neste trabalho, a análise dos dados correspondeu a: análises tafonômicas, estatística multivariada, química (DR-X) e petrografia, inspeções paleopatológicas, análise de raios-X convencional, microtomografia de raios-X (μ CT) além da taxonomia.

4.2.1 Análise tafonômica

A análise e a interpretação das modificações dos elementos esqueléticos seguirá os critérios de Behrensmeyer (1978, 1986; 1991), Hill (1979), Haynes (1980, 1983), Mikuláš, (2006), Pirrone (2014), Domínguez-Rodrigo (2009), Shipman (1981), Lyman (1994), Holz e Simões (2002), Montalvo (2002). Eberth et al. (2007a) e Araújo-Júnior e Bissaro-Júnior (2017). A tabela das assinaturas tafonômicas utilizadas consta no Anexo A.

As seguintes feições tafonômicas foram avaliadas: 1) integridade física (completos (>90% dos ossos preservados); parcial (50 e 90% de osso preservado); e fragmento (<50% do osso preservado) (BEHRENSMEYER, 1991); 2) padrões de quebras nos ossos longos (quebras perpendiculares lisas, irregulares, espiral, longitudinal, compressão, colunar, descamada/lascada e longitudinais e em “Y” (SHIPMAN,1981; LYMAN,1994); o intemperismo ósseo é identificado com base nas marcas de dessecação nos estágios de intemperismo estabelecidos por Behrensmeyer (1978), os quais variam de 0 a 5; o estágio 0 corresponde aos elementos sem marcas de dessecação e sem exposição subaérea e o estágio 5 aos elementos bastante intemperizados e com uma exposição subaérea mais prolongado; 4) marcas de pisoteio são identificadas a partir de depressões lineares subparalelas e rasas, utilizando-se a classificação de Behrensmeyer (1986) e Domínguez-Rodrigo (2009); 5) para marcas geradas por carnívoros/carniceiros, seguiu-se os padrões de identificação estabelecidos por Haynes (1980; 1983) e os critérios para classificação dos icnotáxons Pirrone et al. 2014; 6) para marcas de insetos seguiu-se os critérios para classificação dos icnotáxons de Pirrone (2014); 7) o desgaste por abrasão foi inferido pelo grau de arredondamento de quebras oriundas do choque mecânico de partículas e o osso, na classificação de Shipman (1981); 8) as alterações antropogênicas foram avaliadas de acordo com Lyman (1994); 9) as marcas de raízes foram avaliadas segundo os critérios de Montalvo (2002), Araújo-Júnior e Bissaro-Júnior (2017); 10) a coloração dos espécimes segue os critérios de Araújo-Júnior e Bissaro-Júnior (2017).

Para mensuração das características microscópicas dos espécimes (e.g. alterações biogênicas) foi utilizado software Fiji (SCHINDELIN et al., 2012).

Para fins de interpretações a respeito dos tipos de morte, tendenciamento tafonômico e aspectos paleocológicos, foram considerados o espectro ontogenético dos táxons identificados e a representatividade óssea e taxonômica. Os critérios para estimar estágios ontogenéticos foram tomados a partir do grau de fuscionamento das epífises de ossos longos e grau de preservação de elementos dentários (desgaste, presença de cúspides, cristas, raízes, etc.).

Utilizou-se o *Fluvial Transport Index* (FTI) (FRISON e TODD, 1986) com o objetivo de se analisar o grau de transporte das tafocenoses em relação aos locais de morte. Optou-se por utilizar o FTI ao invés dos clássicos grupos de Voorhies (VOORHIES, 1969), visto que, no caso de mamíferos de grande porte e megamamíferos, o FTI é melhor aplicável dada a semelhança entre o porte dos indivíduos da megafauna quaternária e a espécie vivente *Elephas maximus* utilizada por Frison e Todd (1986). Araújo-Júnior et al. (2012) aplicaram a análise de FTI e o grupo de Voorhies nas concentrações de megamamíferos oriundas de depósitos de tanques e fluviais, demonstrando estatisticamente que a aplicação do grupo de Voorhies nessas concentrações, obteve resultados diferentes da transportabilidade real, enquanto que o uso de FTI, representou a real transportabilidade dos espécimes. Além disso, *Elephas maximus* possui o peso, forma e densidade análogos aos de megamamíferos extintos, o que torna as inferências em relação ao transporte mais fidedignas.

A representação taxonômica foi avaliada considerando-se o “Número de Partes Esqueléticas Identificáveis” (NISP) e o “Número Mínimo de Indivíduos” (NMI) para quantificar táxons e partes esqueléticas, respectivamente (BADGLEY, 1986; LYMAN, 1994;). Para cada taxon, o MNI foi calculado usando o elemento esquelético mais abundante do lado esquerdo ou direito do animal (LYMAN, 1994).

4.2.2 Análise estatística multivariada

Foram realizadas análises estatísticas multivariadas utilizando-se o *software Paleontological Statistics* versão 2.16c (PAST) (HAMMER et al., 2001).

O SPZ (NISP=305) foi comparado com outros cinco depósitos de tanques estudados anteriormente na RIB, localizados em diferentes regiões do Nordeste. Os tanques comparados com o SPZ foram: Jirau (3°21'23"S 39°42'20"W) (NISP=1405), João Cativo (3°30'17"S 39°40'24"W) (NISP=556), Campo Alegre (7°15'18.55"S 36°44'26.35"W) (NISP=331),

Curimatãs (7°07'36"S 36°07'48"W) (NISP=118) e Lage Grande (8°25'27"S 36°43'20"W) (NISP=230). A matriz de dados para estas localidades foi apresentada por Araújo-Júnior et al. (2017).

Análises de correspondência e agrupamento (modos Q e R) dos seis (6) depósitos de tanques foram realizadas para identificar tanto as categorias típicas e atípicas das características tafonômicas quanto os contextos tafonômicos dos depósitos. Foi produzida uma matriz de dados para as categorias de atributos tafonômicos (Apêndice), os quais foram pontuados usando valores percentuais para cada sítio paleontológico. A matriz de dados resultante foi submetida às análises de cluster (modo-Q e modo-R) e correspondência, usando a média de pares de grupos não ponderados (*weighted pair group method with simple arithmetic averages*-UPGMA) e, por fim, um teste de permutação ANOSIM (*one-way*) foi aplicado de modo a avaliar a significância das diferenças entre os agrupamentos obtidos através da análise de cluster. Em todas as análises utilizou-se como índice a distância euclidiana.

Na análise de agrupamento no Modo-Q, SPZ foi agrupado com base na similaridade de suas categorias de assinaturas tafonômicas com os demais sítios analisados e esse agrupamento foi usado para identificar sítios com contextos tafonômicos similares na RIB.

Na análise do Modo-R, as categorias de assinaturas tafonômicas foram agrupadas com base na similaridade das porcentagens com as quais elas ocorrem entre os sítios paleontológicos. Em ambas as análises, R e Q, um teste ANOSIM de permutação (*one-way*) foi empregado para avaliar a significância das diferenças entre os grupos obtidos. Esse teste fornece um R estatístico que varia de -1 a +1, onde valores de R igual a +1 são obtidos somente quando todas as amostras dentro dos grupos são mais semelhantes entre si do que a qualquer outra amostra de outros grupos (CLARKE e WARWICK, 2001). O valor de significância (*p*) dos agrupamentos também foi obtido a partir deste teste.

A análise de correspondência (*correspondence analysis*-CA) especifica as distâncias qui-quadradas (χ^2) entre os sítios paleontológicos da RIB, utilizando as distâncias em Qui-quadrado (χ^2) entre as principais categorias tafonômicas nas assembleias como *background*. De acordo com Hammer (2013, p. 97), “[...]. Se os seus dados são “bem comportados”, as taxas [no nosso caso, sítios paleontológicos] típicos de uma associação devem ser plotados nas proximidades dessa associação [...]”. Neste estudo, os sítios paleontológicos plotados fora da vizinhança do agrupamento principal de localidades foram considerados como representando *outliers* tafonômicos, indicando uma possível assembleia “exótica” (misturada

temporal ou espacialmente) em comparação com as tafocenoses remanescentes, que representam as assembleias típicas (ver HAMMER et al., 2001 e HAMMER e HARPER, 2006).

A análise dos componentes principais (*Principal components analysis* – PCA) é usada para reduzir o conjunto de dados a apenas duas variáveis (os dois primeiros componentes) para fazer gráficos; sendo hipotetizado que os componentes mais importantes estejam correlacionados com outras variáveis. Desta forma, as porcentagens da variância levada em conta por estes componentes é também fornecida. “Se a maior parte da variância for levada em conta pelos dois primeiros componentes, a análise foi um sucesso, mas se a variância estiver distribuída de forma mais ou menos uniforme entre os componentes, a PCA foi, de um certo modo, pouco sucedida” (HAMMER, 2012).

4.2.3 Difratometria de raios-x (DRX)/petrografia

Da camada fossilífera foram coletadas 5 amostras de sedimentos para datação por Luminescência Opticamente Estimulada - LOE. Foram selecionados ainda seis fragmentos de ossos pós-cranianos de diferentes cores e densidades para análise fossildiagenética por Difratometria de raios-X (DRX).

A análise de LOE foi realizada pelo Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). As curvas LOE foram medidas utilizando um leitor Termoluminescência-TL/OSL automatizado, modelo RisØ-DA20. A luminescência foi detectada na região Ultravioleta-UV utilizando um filtro U-340. O protocolo de dose regenerativa de alíquota única (SAR) em quartzo de grãos grossos foi empregado para avaliação (MURRAY e WINTLE, 2000).

A análise por DRX foi realizada no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Para a realização dos testes de difração de raios-X nos fósseis analisados, foi utilizado o método de Pó (Debye-Scherrer), com o objetivo de obter uma análise qualitativa da composição da amostra (BORGES, 2000).

De cada amostra, foi retirada uma porção de aproximadamente 1 g de estruturas ósseas, trituradas com o auxílio de um microretífica Dremel 3000, modelo 225, até tornarem-se pó (fração argila, menor que 0,002 mm). O material foi posto em porta amostra de alumina e, em seguida analisado por difração de raios X (DRX), utilizando-se um difratômetro Shimadzu XRD 6000, aplicado a voltagem de 40 KVA e amperagem de 30 mA. A análise foi

realizada sob as seguintes condições: radiação $K\alpha$ -Cu, em um intervalo de varredura de 5 a $70^\circ 2\theta$ e velocidade de varredura de $1,5^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$. A identificação de fases minerais foi feita através da comparação do padrão difratométrico obtido com fichas do banco de dados do PDF- ICDD.

As fotomicrografias foram realizadas no Laboratório de Gemologia (LabGem) da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Para análise fossildiagenética, foram confeccionadas 10 lâminas delgadas dos fósseis de diferentes espécimes (e.g. costelas e vértebras) e com cores e densidades distintas. As lâminas delgadas foram confeccionadas no Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Unidade Recife, seguindo os protocolos tradicionais de confecção das lâminas delgadas para amostras de fósseis (PADIAN e LAMM, 2013).

Na análise de integridade histológica foi utilizado o índice histológico de Hedges e Millard (1995), o qual classifica em 5 estágios a histologia óssea de acordo com o grau (%) de degradação diagenética.

4.2.4 Análises paleopatológicas

Todos os 305 elementos ósseos foram analisados morfologicamente em busca de alterações paleopatológicas observáveis a olho nu; alguns espécimes foram observados com o auxílio de uma lupa de mão. A descrição das alterações ósseas foi baseada na literatura especializada, incluindo Ortner (1988; 2003), Rothschild et al. (1992; 2014), Lovell (1997), Aufderheide e Rodríguez-Martín (1998), Peng et al. (2003), Rothschild e Martín (2006), Waldron (2009) e Vaccaro et al. (2013). Para os casos de determinação da natureza da lesão, aplicou-se análises específicas.

4.2.4.1 Análise de raios-X convencional

O espécime DGEO-CTG-UFPE 7823 foi submetido a análise radiográfica convencional em sistema de imagem radiográfica em uma clínica de radiologia médica em Recife, Pernambuco. A amostra foi digitalizada no aparelho de raios-X digital Carestream CR vita-Tecno-Desing TD 200 S (especificações: 120 mA e 75-80 kV) e as imagens foram analisadas usando o software Carestream Health Image Suite® (versão 2.0).

4.2.4.2 Análise de microtomografia de raios-X (μ CT)

Para entender-se melhor a natureza da lesão no espécime DGEO-CTG-UFPE 7825, submeteu-se o espécime a uma análise de microtomografia de raios-X (μ CT). O escaneamento do espécime foi realizado no Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN), na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. As varreduras foram feitas usando o sistema de microtomografia de alta energia Bruker SkyScan 1173 X-Ray μ CT, equipado com uma fonte de raios-X de tungstênio Hamamatsu 130/300, alimentado por uma corrente de 130kV em uma intensidade de 61 μ A. Foi utilizado um detector de painel plano (2240 x 2240) para registrar a transmissão do feixe de raios X do cone. As imagens de projeção foram realizadas a 360 ° em cada etapa de rotação de 0,5 °. As imagens μ CT e reconstrução são realizadas com o software NRecon®, versão 1.6.9.4, para criar cortes transversais da amostra usando um algoritmo baseado na retroprojeção filtrada (Feldkamp et al., 1984). Todas as fatias reconstruídas foram salvas como arquivos de bitmap e gerando um arquivo com 16,6 GB de tamanho. O conjunto de dados foi importado para o CTVox versão 3.2.0 (Bruker CT®) no Windows 10 de 64 bits para visualização e análise do material. A área de algumas lesões descritas a frente foi medida usando o software de código aberto Fiji (SCHINDELIN et al., 2012).

4.2.5 Identificação antonômica/taxonômica

A identificação anatômica e taxonômica foi feita através de comparações com os materiais da coleção científica Paleontológica da Universidade Federal de Pernambuco (DGEO-CTG-UFPE) e com a coleção de paleomastozoologia do Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais-PUC-Minas, em Belo Horizonte, além da literatura específica (e.g. ROTH, 1898; SIMPSON e PAULA COUTO, 1957; PAULA COUTO, 1979; GILLETTE e RAY 1981; CARTELLE, 1992; OLIVEIRA et al., 2010; ZURITA et al., 2011; MOTHÉ et al., 2013).

5 RESULTADOS

Os resultados desta tese estão estruturados na forma de artigos científicos em periódicos indexados na área de Geociências da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal (CAPES), em conformidade com o regimento do Programa de Pós-Graduação de Geociências (PPGEOC/UFPE). Encontram-se organizados em quatro manuscritos: submetidos (Artigos 1 e 3), publicado (Artigo 2) ou em vias de submissão (Artigo 4).

O **Artigo 1** é intitulado “*New record of calf Notiomastodon cf. platensis (Mammalia, Proboscidea) from Pernambuco state, northeastern Brazil*” aprovado para publicação no periódico *Revista Brasileira de Paleontologia* (Qualis Capes B2). Neste manuscrito é feita a descrição taxonômica de um raro espécime juvenil de *Notiomastodon platensis* coletado no tanque Zabelê, fazendo correlações com ontogenia e tafonomia (temática da tese), ampliando os achados desses indivíduos para o Quaternário da América do Sul.

O **Artigo 2** é intitulado “*Astrágalo e osteodermos de Glyptotherium Osborn, 1903 do Pleistoceno Final de Pernambuco, Nordeste do Brasil*”, que se encontra publicado no periódico *Revista Brasileira de Paleontologia*, v21. n1. 2018 (Qualis Capes Geociências B2). Neste manuscrito é descrito ocorrência de *Glyptotherium* sp. em uma nova localidade, o depósito de tanque Zabelê, ampliando os achados desse táxon e permitindo correlações com outras ocorrências desse táxon no Quaternário da América do Sul.

O **Artigo 3** é intitulado “*Revealing new bone diseases in the Quaternary megaherbivore ground sloth Eremotherium laurillardi*” o qual foi submetido ao periódico *Historical Biology* (Qualis Capes A3). Este artigo aborda a identificação e descrição de lesões, algumas inéditas, nos espécimes de *E. laurillardi* do depósito de tanque Zabelê. Esse registro amplia o número de doenças nas espécies de preguiças gigantes do Quaternário da América do Sul e, fornece dados, para estimativas futuras de suscetibilidade de doenças nessas preguiças.

O **Artigo 4** é intitulado “*The taphonomic scenario of the Zabelê tank deposit, Pleistocene of the Northeast region of Brazil*” o qual está em vias de submissão ao periódico *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Qualis Capes A1). Este artigo é o principal trabalho elaborado a partir dos vários dados coletados nessa tese. O artigo integra estudos tafonômicos, geocronológicos, sedimentológicos, paleoecológicos reconhecidos na acumulação fóssilífera de mamíferos quaternários de SPZ e também é feita uma comparação

com outros depósitos de tanques da RIB elucidando o cenário tafonômico e paleoambiental durante o Pleistoceno Final.

5.1 ARTIGO 1 - New record of calf *Notiomastodon cf. platensis* (Mammalia, Proboscidea) from Pernambuco state, northeastern Brazil

Autores: Luana Cardoso de Andrade, Édison Vicente Oliveira, Dimila Mothé & Vanderlei Maniesi

Status: Aceito para publicação

Periódico: Revista Brasileira de Paleontologia (Qualis Capes B2)

[RBP] Decisão editorial  Caixa de entrada x   

 **Revista Brasileira de Paleontologia** <contato@sbspbrasil.org> seg, 12 de ago 19:56   

para eu ▼

Luana Cardoso Andrade:

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido à Revista Brasileira de Paleontologia, "NEW RECORD OF AN IMMATURE NOTIOMASTODON CF. PLATENSIS (MAMMALIA, PROBOSCIDEA) FROM PERNAMBUCO STATE, NORTHEASTERN BRAZIL".

A decisão é: o trabalho tem mérito e poderá ser publicado na RBP como uma nota científica após a incorporação dos ajustes sugeridos por ambos os revisores (ver comentários abaixo e arquivos anexos)

Kleber de Oliveira Porpino
UERN
kleporpino@yahoo.com.br

NEW RECORD OF AN IMMATURE *NOTIOMASTODON* CF. *PLATENSIS* (MAMMALIA, PROBOSCIDEA) FROM PERNAMBUCO STATE, NORTHEASTERN BRAZIL

LUANA CARDOSO DE ANDRADE

Programa de Pós-graduação em Geociências, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50740-530, Recife, Pernambuco, Brazil.
luanacardosodeandrade@gmail.com

ÉDISON V. OLIVEIRA

Programa de Pós-graduação em Geociências, Departamento de Geologia, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50740-530, Recife, Pernambuco, Brazil. vicenteedi@gmail.com

DIMILA MOTHÉ

Laboratório de Mastozoologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Av. Pasteur, 458, sala 501, Urca, CEP 22290-240, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biologia Evolutiva, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências da Saúde. Av. Carlos Chagas Filho, 373, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. dimothe@hotmail.com

VANDERLEI MANIESI

Departamento de Geografia, Grupo de Pesquisa Geociências Universidade Federal de Rondônia Porto Velho, Rondônia, Brazil; Av. Presidente Dutra, 2965, Centro, 76801-974, Porto Velho, Rondônia, Brazil.
maniesi@unir.br

ABSTRACT - Proboscideans are megamammals widely recorded in South America Quaternary deposits, especially in Brazil, where many specimens were found in tanks and caves. In tank deposits, the fossil remains are usually recognized as adult individuals, although highly and generally fragmented. The records of immature proboscideans are rare, consisting of isolated teeth and jaw fragments, especially from tank deposits. Here we describe a new and rare occurrence of an immature proboscidean -- a second upper left deciduous premolar (DP2) of *Notiomastodon* cf. *platensis* -- from Pernambuco state, Brazil. This record increases the number of immature individuals known for *Notiomastodon* in Brazil, contributes to the understanding of the frequency of immature individuals in tank deposits, and increases *Notiomastodon* geographic distribution in South America.

Keywords: South America, Quaternary, *Notiomastodon platensis*, immature, tank deposit.

RESUMO - Os proboscídeos são megamamíferos amplamente encontrados nos depósitos quaternários da América do Sul, especialmente no Brasil, onde muitos espécimes encontrados em tanques e cavernas. Em depósitos de tanques, grande parte dos restos é reconhecida como indivíduos adultos, embora geralmente sejam altamente fragmentados. Os registros de proboscídeos imaturos são raros, constituindo-se de dentes isolados e fragmentos de mandíbulas, especialmente para depósitos de tanques. Aqui, descrevemos uma ocorrência nova e rara de um proboscídeo imaturo -- o segundo pré-molar decíduo superior esquerdo (DP2) de um *Notiomastodon* cf. *platensis* -- do estado de Pernambuco, Brasil. Esse registro aumenta o número de indivíduos imaturos conhecidos para *Notiomastodon* no Brasil, contribui para o entendimento da frequência de indivíduos imaturos em depósitos de tanques e aumenta a distribuição geográfica de *Notiomastodon* na América do Sul.

Palavras-chave: América do Sul, Quaternário, *Notiomastodon platensis*, indivíduo imaturo, depósito de tanque.

INTRODUCTION

The diversity of fossil proboscideans in South America comprises two species: *Notiomastodon platensis* Ameghino 1888 and *Cuvieronius hyodon* Fischer 1814 (Mothé et al., 2017). The latter is recorded in Bolivia, Peru, Colombia and Ecuador (in addition to Central and North Americas), while the first is endemic to South America, being recorded all over the continent (Ferretti, 2008; Lucas, 2013; Mothé et al., 2017). All Brazilian records are recognized as the proboscidean *Notiomastodon platensis*, although several specimens are not identified at species level due the lack of diagnostic features (Mothé & Avilla, 2015).

Most of South America records of proboscideans comprise remains of adult individuals, although a few localities have provided remains of newborn/immature proboscideans, such as Tarija (Bolivia, with records of *C. hyodon*; Liendo-Lazarte, 1946; Mothé et al., 2016), Valle del Cauca (Colômbia, with records of *N. platensis*; Mothé et al., 2019; *pers. commun.*), Toca dos Ossos (Bahia, Brazil, with records of *N. platensis*; Simpson & Paula Couto, 1957; Cartelle, 1992; Mothé, 2010), Coronel João de Sá (Bahia, Brazil, with records of *N. platensis*; Dantas & Zucon, 2007) and Lage Grande (Pernambuco, Brazil, with records of *N. platensis*; Vidal, 1946, Castellanos, 1948, Simpson & Paula Couto, 1957; Araújo-Júnior et al., 2013b).

In northeast Brazil, there is a large record of *Notiomastodon platensis*, mainly from tank deposits (*e.g.* Rolim, 1974a,b, Alves et al., 2007, Araújo-Júnior et al., 2013a,b Araújo-Júnior et al., 2015, Araújo-Júnior et al., 2017), and the same age profile is recognized (predominance of adults of *N. platensis*, with rare exceptions, such as Lage Grande tank and the Toca dos Ossos cave). The tanks are natural depressions developed in outcrops of basement rocks, filled by sediments that usually contain remains of Quaternary vertebrates, such as megafauna fragmented bones and teeth, among others (Araújo-Júnior et al., 2013a, 2017).

In this paper, we described a new fossil specimen of an immature proboscidean from a Quaternary tank deposit in Pernambuco, northeastern Brazil.

MATERIALS AND METHODS

The material described here is a small and partly fragmented tooth, collected in the Zabelê tank (ZPS; UTM: 24L 0759782 E, 9035190 S), in Capoeiras municipality, Pernambuco state, northeastern Brazil (Figure 1).

Figure 1. Location of the Zabelê tank, municipality of Capoeiras, state of Pernambuco, Brazil.

The material is housed at the collection of the Laboratory of Paleontology at Department of Geology, Federal University of Pernambuco, in Recife, Pernambuco, Brazil, under the Collection number DGEO-CTG-UFPE 8912. The specimen morphology was compared to specimens from the Colombian collection (GKS, in the ICESI University) and from specific literature of South American proboscideans, such as Simpson & Paula-Couto (1957), Mothé (2010), and Mothé et al. (2012, 2013, 2017). The dental morphology nomenclature followed Tassy (1996), Green & Hulbert (2005) and Mothé (2010).

RESULTS AND DISCUSSION

The specimen DGEO-CTG-UFPE 8912 was identified as the second upper left deciduous premolar (DP2), due to several morphological features, such as bunodont cusps (tooth with cusps in the shape of inflated cones) and bilophodonty, i.e., presence of only two pairs of main cusps/lophs, a feature of *Notiomastodon* teeth morphology (Mothé & Avilla, 2015). The tooth measures approximately 29.2mm length and 36.8mm width. The metaloph (second pair of main cusps) is wider than the protoloph (first pair of main cusps) and, even fragmented, it is possible to note the characteristic “pear shape” (in occlusal view) of the DP2. The distal cingulum is also preserved, although fragmented in the pretrites region (Figure 2).

Due the fragmentary nature of the specimen, only part of the anterior cusps (protoloph) is visible. The metaloph is formed by a pair of cusps united by the base, where it is possible to note the metacone. There are several small accessory cusps near the central sulcus and distal cingulum (Figure 2). Only the distal cingulum is preserved (in the pretrite region, this structure is slightly worn), being formed by small cusps, arranged laterally, and reaching the lingual region. In the specimen, it is possible to note the preserved dental roots

(lateral view, Figure 2B), which could indicate that the tooth was still in use by the animal at the time of death. Compared to another DP2 specimen of *Notiomastodon* (GKS 000082) and specialized literature, we observed the similarity of the dental crown morphology (Figure 3).

Regarding the specimen level of dental wear, we recognized the wear stage 3 (advanced wear with cusps still visible; Simpson & Paula-Couto, 1957), which allowed us to infer that it belonged to an individual between 2-3 years old, i.e., an immature individual (Mothé et al., 2010, 2016). In Quaternary proboscideans, it is estimated that the deciduous second pre-molar erupts between 6 months and 1 year old, and is lost at about 2-3 years old (Moss, 1996; Vaughan et al., 2000). At this age, the calf is in the process of weaning, i.e., its diet includes the mother's milk and soft vegetation (Moss, 1996). The wear pattern observed on dental crown is caused by the mastication of abrasive particles in the consumed vegetation (Simpson & Paula Couto, 1957, Mothé & Avilla, 2015). In the South American proboscideans, the deciduous dentition is totally replaced by the permanent teeth as soon as the proboscidean reaches sexual maturation (Mothé, 2010).

Figure 2. The second upper left deciduous premolar (DP2) of *Notiomastodon platensis* cf. DGEO-CTG-UFPE 8912. Occlusal (A) and lateral (B) views of the specimen. scale bar=30mm

Figure 3. Comparison of the second upper left deciduous premolar (DP2) of *Notiomastodon platensis*. A. Specimen DGEO-CTG-UFPE 8912. B. Specimen GKS 000082 - Valle del Cauca, Cali, Colombia.

Overall, DGEO-CTG-UFPE 8912 is fragmented and worn, which renders more difficult to describe its dental crown structures. In addition, there are no papers describing the differences of the deciduous premolars structures of *Notiomastodon* and *Cuvieronius*, the two

proboscideans known for South America, and only the calf mandibles are better described by literature (e.g. Liendo-Lazarte, 1946; Mothé et al., 2016). Both DP2 of *Notiomastodon* (GKS 000082 and DGEO-CTG-UFPE 8912) are bunodonts and have molariform aspect. However, the wear pattern of DGEO-CTG-UFPE 8912 is a simple trefoil pattern, a diagnostic feature of *Notiomastodon* premolars (Mothé, 2010; Mothé et al., 2017). Thus, considering the dental crown morphology of the specimen described and the fossil record of *Notiomastodon platensis* in Brazil, including previously described immature individuals from Pernambuco (e.g. Simpson & Paula-Couto, 1957, Rolim, 1974a, b, Cartelle, 1992, Alves, 2007, Silva et al. 2010, Araújo-Júnior et al., 2013a, b; Araújo-Júnior et al., 2015; 2017), we identified DGEO-CTG-UFPE 8912 as *Notiomastodon cf. platensis*.

In tank deposits from northeast Brazil, there is a predominance of adult specimens of *N. platensis*, instead of immature individuals (e.g. Araújo-Júnior et al., 2013a,b, 2015). In this study, considering the lack of distribution of distinct age groups of *N. platensis* from the ZPS biocenosis, the unique record of an immature *Notiomastodon cf. platensis* represents one the rare preservation of immature remains of proboscideans in South America (Liendo-Lazarte, 1946; Simpson & Paula Couto, 1957; Mothé, 2010; Mothé et al., 2016). It is difficult to infer the type of death of individuals preserved in fossiliferous assemblages from tank deposits, as they are usually affected by temporal mixing (Araújo-Júnior et al., 2013a, 2015, Araújo-Júnior and Bissaro-Júnior, 2017). It is possible to infer that the tooth described here was in use at the moment of death, since it is in an intermediary wear stage (stage 3 of Simpson and Paula-Couto, 1957) with roots, which excludes the possibility of natural loss or discard of the completely worn tooth (in an expected wear stage 4).

This occurrence might indicate that, probably, in other tanks deposits, newborn or immature *N. platensis* specimens might have not been preserved due to taphonomic processes (transport, tank shape, e.g. size of the material, resistance to transport and frequency of

immature individuals). In tank deposits, specimens with size between 50-100 mm (Araújo-Junior et al., 2013a; 2015) are common, in contrast to the size of the specimen described here (<50 mm); in addition, the deciduous teeth have lower resistance compared to other elements of adult proboscideans (e.g. teeth, vertebra, long bones), more abundant in tanks deposits, since they have a thinner layer of enamel, smaller cusps and smoother dentine. However, the record described here increases the discussion of immature individuals and taphonomic bias in tank deposits of Quaternary of South America, elucidating discussions about the osseous resistance of the remains found in these accumulations. Even as an isolated finding, the specimen DGEO-CTG-UFPE 8912 widens the sparse record of newborn and immature *Notiomastodon platensis* individuals in South America, and contributes to the understanding of individual variations in proboscideans.

FINAL REMARKS

We registered here a new occurrence of a DP2 of an immature proboscidean (between 2-3 years old) corresponding to *Notiomastodon* cf. *platensis* from a tank of Pernambuco state, Brazil, Quaternary of South America. This occurrence provides new data for the understanding the record of immature proboscideans in tank deposits which is related to lower osseous resistance. It is a rare occurrence, increasing the number of immature individuals of *N. platensis* recorded for assemblages from the Quaternary deposits of South America.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), and Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) for the Post-doctoral scholarship 202.375/2018 and 202.376/2018 of author D.M. The authors thanks the City council and the Department of Culture of the

Capoeiras city (PE) for the support and the PaleoLab/UFPE paleontology team for the assistance during fieldwork.

REFERENCES

- Alves, R.S.; Barreto, A.M.F.; Borges, L.E.P. & Farias, C.C. 2007. Aspectos tafonômicos no depósito de mamíferos pleistocênicos de brejo da Madre de Deus, Pernambuco. *Estudos Geológicos*, **17**:114-122.
- Araújo-Júnior, H.I.; Porpino, K.O.; Ximenes, C.L. & Bergqvist, L.P. 2013a. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: a study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **378**:52-74, 2013a. doi:10.1016/j.palaeo.2013.04.001.
- Araújo-Júnior, H.I.; Porpino, K.O. & Bergqvist, L.P. 2013b. Taphonomic analysis of a late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande Paleontological Site, Pernambuco State, northeastern Brazil: New remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quaternary International*, **317**: 88-101. doi:10.1016/j.quaint.2013.08.016.
- Araújo-Júnior, H.I.; Porpino, K.O. & Bergqvist, L.P. 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. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **437**:1-17. doi:10.1016/j.palaeo.2015.07.009.
- Araújo-Júnior, H.I.; Porpino, K.O.; Bergqvist, L.P. & Ávila, L.S. 2017. Nova Ocorrência de Mamíferos do Quaternário nos Tanques de Taperoá (Paraíba) e Alagoinha (Pernambuco), Nordeste do Brasil: Implicações Paleoambientais. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*, **40**:37-46. doi:10.11137/2017_2_37_46
- Araújo-júnior, H.I.; Bissaro-Júnior, M.C. 2017. Tafonomia de vertebrados em ambientes continentais. In: Horodyski, R. S.; Erthal, F. (Orgs.). *Tafonomia: métodos, processos e aplicações*. Curitiba: Editora CRV, p. 374.
- Castellanos, A. 1948. “Ney Vidal e Contribuição ao conhecimento da Paleontologia do Nordeste brasileiro: Notícia sobre a descoberta de vertebrados pleistocênicos no município de Pesqueira, em Pernambuco” [review]. *Publicación del Instituto de Física Geológica*, 138-140.

- Cartelle, C. 1992. *Edentata e megamamíferos herbívoros extintos da Toca dos Ossos (Ourolândia, Bahia, Brasil)*. Tese, Programa de Pós-Graduação em Morfologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Tese de Doutorado, 700p.
- Dantas, M.T. & Zucon, M.H. 2007. Sobre a ocorrência de fósseis da megafauna do Pleistoceno Final em Coronel de Sá, Bahia, Brasil. *Revista UnG-Geociências*, **6**: 191-200.
- Ferretti, M.P. 2008. Enamel structure of *Cuvieronius hyodon* (Proboscidea, Gomphotheriidae) with a discussion on enamel evolution in Elephantoids. *Journal of Mammalian Evolution*, **15**:37-58. doi:10.1007/s10914-007-9057-3.
- Green, J.L. & Hulbert, R.C. 2005. The deciduous premolar of *Mammut americanum* (Mammalia, Proboscidea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **25**:702-715. doi: 10.1671/0272-4634(2005)025[0702:tdpoma]2.0.co;2
- Holz, M. & Simões, M. G. 2002. Elementos Fundamentais de Tafonomia. Porto Alegre: Editora da Universidade-UFRGS, p.231.
- Liendo-Lazarte M. 1946. Algunas consideraciones sobre los Mastodontes de Tarija. *Mus Nac Tiahuanacu Sec Paleont*, **1-14**.
- Lucas, S.G. 2013. The palaeobiogeography of South American gomphotheres. *Journal of Palaeogeography*, **2**:19-40. doi: 10.3724/sp.j.1261.2013.00015.
- Moss, C. 1996. Getting to know a population. In: Kangwana, K. Studying Elephants. Kenya: African Wildlife Foundation.
- Mothé, D. 2010. *A dentição decídua dos mastodontes sul-americanos (Proboscidea, Gomphotheriidae): morfologia e padrões de substituição e desgaste*. Especialização em Geologia do Quaternário, Monografia, Museu Nacional, 36p.
- Mothé, D.; Avilla, L.S.; Cozzuol, M. & Winck, G.R. 2012. Taxonomic revision of the Quaternary gomphotheres (Mammalia: Proboscidea: Gomphotheriidae) from the South American lowlands. *Quaternary International*, 276 -277. doi: 10.1016/j.quaint.2011.05.018
- Mothe, D., Avilla, L.S. & Cozzuol, M., 2013. The South American gomphotheres(Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae): taxonomy, phylogeny and biogeography. *Journal of Mammalian Evolution*, 20, 23 e 32. doi: 10.1007/s10914-012-9192-3.
- Mothé, D. & Avilla, L.S. 2015. Mythbusting evolutionary issues on South AmericanGomphotheriidae (Mammalia: Proboscidea). *Quaternary Science Reviews*, **110**:23-35. doi:10.1016/j.quascirev.2014.12.013.

- Mothé, D.; Ferreti, M.P. & Avilla, L.S. 2016. The Dance of Tusks: Rediscovery of Lower Incisors in the Pan-American Proboscidean *Cuvieronius hyodon*. *Revises Incisor Evolution in Elephantimorpha*. *PLoS ONE*, **11**.
doi.org/10.1371/journal.pone.0147009.
- Mothé, D.; Aguanta, W.F.; Belatto, S.L. & Avilla, L. 2017. First record of *Notiomastodon platensis* (Mammalia, Proboscidea) from Bolivia. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **20**:149-152. doi: 10.4072/rbp.2017.1.12.
- Rolim, J.L. 1974a Calcário secundário com restos fósseis de mamíferos pleistocênicos em Pernambuco. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **46**:417-422.
- Rolim, J.L. 1974b. *Paleontologia e estratigrafia do Pleistoceno Continental do Nordeste brasileiro "Formação Cacimbas"*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Dissertação de Mestrado, UFRGS: 117p.
- Silva, F.M.; Filgueiras, C.F.; Barreto, A.M.F. & Oliveira, E.V. 2010. Mamíferos do Pleistoceno Superior de Afrânio, Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, **2**:1-11.doi.org/10.5380/abequa.v2i1-2.14182.
- Simpson, G.G. & Paula Couto, C. 1957. The mastodonts of Brazil. *Bulletin of American Museum of Natural History*, **112**:1-65. doi:10.5380/abequa.v2i1-2.14182
- Tassy, P. 1996. Dental homologies and nomenclature in the Proboscidea. In: J. Shoshani; & P. Tassy (eds.). *The Proboscidea: Evolution and Palaeoecology of Elephants and Their Relatives*. Oxford University Press, p. 21-25.
- Vaughan, T.R., Ryan, J.M., Czaplewski, N.J. 2000. *Mammalogy*. Saunders College Publishing, New York, 576 pp.
- Vidal, N. 1946. Contribuição ao conhecimento da paleontologia do Nordeste Brasileiro: notícia sobre a descoberta de vertebrados pleistocênicos no município de Pesqueira, em Pernambuco. *Boletim do Museu Nacional*, **6**:1-15.

List of figures:

Figure 1. Location of the Zabelê tank, municipality of Capoeiras, state of Pernambuco, Brazil.

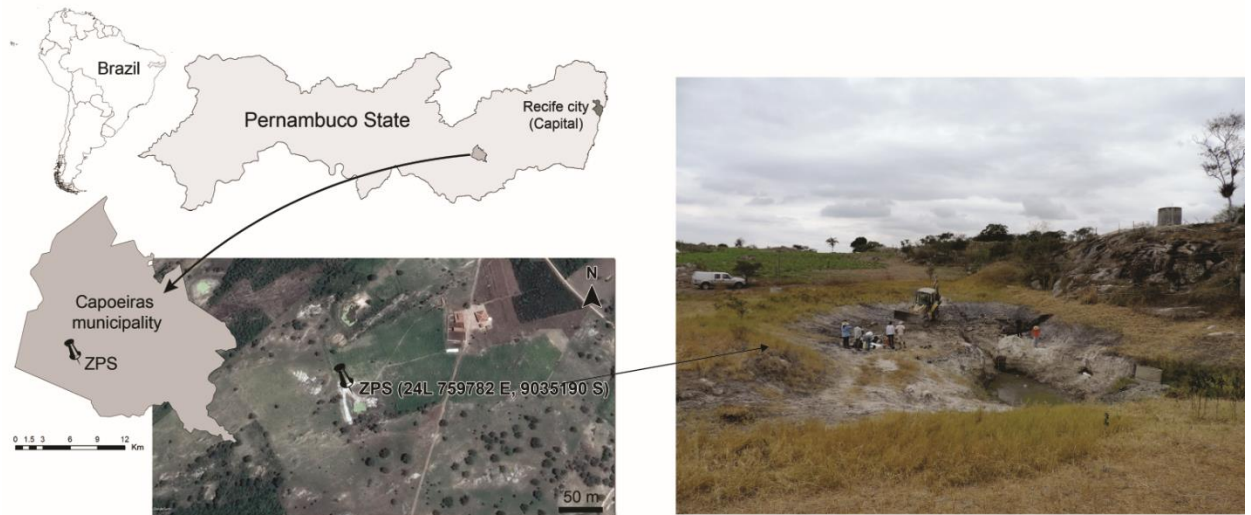


Figure 2. The second upper left deciduous premolar (DP2) of *Notiomastodon platensis* cf. DGEO-CTG-UFPE 8912. Occlusal (A) and lateral (B) views of the specimen. scale bar=30mm

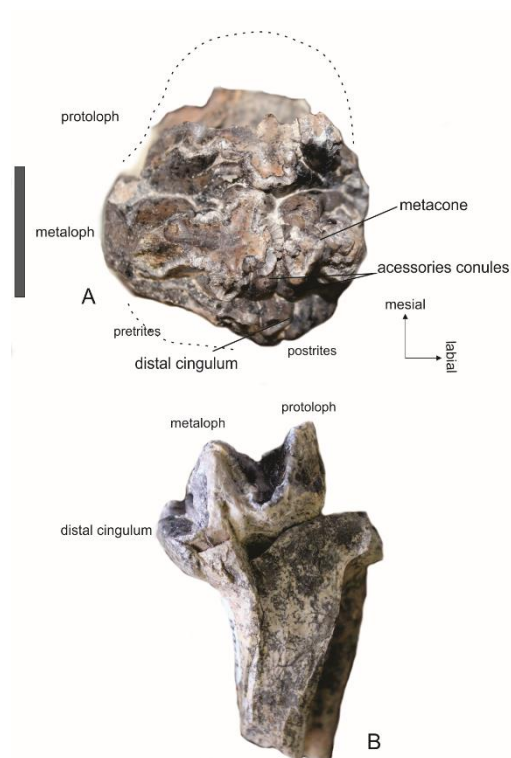
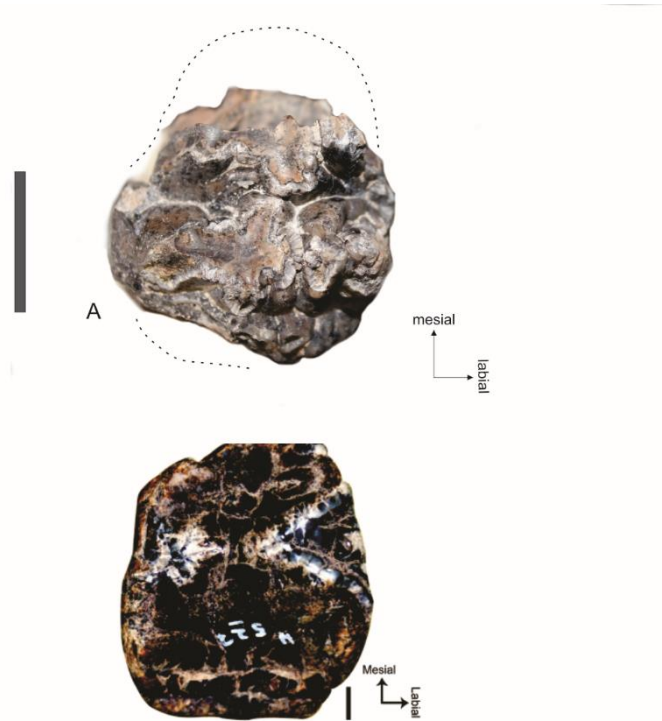


Figure 3. Comparison of the second upper left deciduous premolar (DP2) of *Notiomastodon platensis*. A. Specimen DGEO-CTG-UFPE 8912. B. Specimen GKS 000082 - Valle del Cauca, Cali, Colombia. (Photography of specimen in B provided by Mothé et al., in prep.).



5.2 ARTIGO 2 - Astrágalo e osteodermos de *Glyptotherium* Osborn, 1903 do Pleistoceno Final de Pernambuco, Nordeste do Brasil

Autores: Luana Cardoso de Andrade, Édison Vicente Oliveira, Vanderlei Maniesi & Sônia Hatsue Tatumí

Status: Publicado

Periódico: Revista Brasileira de Paleontologia (Qualis Capes B2)



ASTRÁGALO E OSTEODERMOS DE *GLYPTOTHERIUM* OSBORN, 1903 DO PLEISTOCENO SUPERIOR DE PERNAMBUCO, NORDESTE DO BRASIL

LUANA CARDOSO DE ANDRADE

Programa de Pós-Graduação em Geociências, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, 50670-901, Recife, Pernambuco, Brasil.
 luanacardosodeandrade@gmail.com

ÉDISON VICENTE OLIVEIRA

Departamento de Geologia, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, 50670-901, Recife, Pernambuco, Brasil. vicenteedi@gmail.com

VANDERLEI MANIESI

Departamento de Geografia, Grupo de Pesquisa Geociências, Universidade Federal de Rondônia, Campus - BR 364, Km 9,5, 76801-059, Porto Velho, Rondônia, Brasil. maniesi@unir.br

SÔNIA HATSUE TATUMI

Departamento de Ciências do Mar, Universidade Federal de São Paulo, Rua Dr. Carvalho de Mendonça, 144, 11070-100, Santos, SP, Brasil. sonia.tatumi@gmail.com

ABSTRACT – Astragals and osteoderms of *Glyptotherium* Osborn, 1903 from the Upper Pleistocene of Pernambuco, Northeast of Brazil. In Brazil, *Glyptotherium* findings occur mainly in the Northeastern region. In the northeast, Brazilian Intertropical Region (BIR), there are records of *Glyptotherium* of the Upper Pleistocene, mainly in the State of Pernambuco. This work reports new findings of *Glyptotherium* in a tank deposit from the Upper Pleistocene of Pernambuco, corresponding to isolated osteoderms and an astragalus which approaches in detail to North American forms. This record expands both the distribution of *Glyptotherium* to the BIR, and the data regarding the paleobiogeographic relations among the faunas of megamammals of the North of South America, Central America, and the South of North America during the Late Pleistocene.

Keywords: *Glyptotherium*, taxonomy, Late Pleistocene, tank deposit, Brazil.

RESUMO – No Brasil, os achados de *Glyptotherium* ocorrem, principalmente, na região Nordeste. No Nordeste, Região Intertropical Brasileira (RIB), há registros de *Glyptotherium* do Pleistoceno Superior, principalmente no Estado de Pernambuco. Este trabalho reporta novos achados de *Glyptotherium* em um depósito de tanque do Pleistoceno de Pernambuco, correspondendo a osteodermos isolados e um astrágalo que se aproxima em detalhe as formas norte-americanas. Esse registro amplia tanto a distribuição de *Glyptotherium* para a RIB quanto os dados referentes às relações paleobiogeográficas entre as faunas de megamamíferos do norte da América do Sul, da América Central e do sul da América do Norte durante o Neopleistoceno.

Palavras-chave: *Glyptotherium*, taxonomia, Pleistoceno Superior, depósito de tanque, Brasil.

INTRODUÇÃO

Os extintos Glyptodontinae são um dos grupos de mamíferos Xenarthra mais registrados para a América do Sul, com grande diversidade durante o Cenozoico (McKenna & Bell, 1997; Zurita *et al.*, 2012). O conhecimento da distribuição paleobiogeográfica dos Glyptodontinae pleistocênicos na América do Sul em especial, tem sido reformulado com base em revisões recentes (*e.g.* Carlini *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2010; Zurita *et al.*, 2012).

Um dos casos mais notáveis tem sido a identificação do gênero norte-americano *Glyptotherium* na América do Sul, adicionando um novo elemento ao Grande Intercâmbio Faunístico Americano – GABI. Os registros abrangem, além da Venezuela, parte da região Nordeste do Brasil (Zurita *et al.*, 2012), pertencente à Região Intertropical Brasileira (*sensu* Cartelle, 1999).

Os materiais atribuídos a *Glyptotherium* no nordeste do Brasil compreendem, até o momento, osteodermos isolados oriundos de Conceição das Creoulas e Fazenda

Nova, Pernambuco, materiais do esqueleto apendicular e osteodermos coletados em cavernas calcárias de Lajedo da Escada, Rio Grande do Norte (Oliveira *et al.*, 2010; Barbosa *et al.*, 2014) e osteodermos isolados de um depósito de tanque no município do Congo, Paraíba (Andrade *et al.*, 2016, 2017).

Os registros de *Glyptotherium* no nordeste do Brasil ainda são escassos, quando comparados a outros táxons coletados em depósitos de tanques, incluindo Pernambuco (e.g. *Eremotherium laurillardii*) (Araújo Júnior *et al.*, 2013). Neste trabalho, registram-se novos materiais de *Glyptotherium* provenientes de um depósito de tanque do Pleistoceno Superior do Estado de Pernambuco, e elucidam-se suas implicações paleobiogeográficas.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E ESTRATIGRÁFICA

O material estudado foi coletado no tanque Zabelê (8°43'15" S, 36°38'20" W, altitude 885m), localizado na microrregião do Vale do Ipojuca, mesorregião do agreste pernambucano, Nordeste do Brasil. Partindo-se da capital Recife, o acesso ao tanque pode ser feito através da BR-232 sentido Caruaru e, em seguida, pela PE-193 (Figura 1).

O tanque Zabelê apresenta um formato elíptico com cerca de 250 cm de profundidade. O material descrito foi encontrado juntamente com restos esqueléticos da megamamíferos atribuídos a *Eremotherium laurillardii*, *Notiomastodon platensis*, *Toxodon platensis*, *Glyptotherium* sp., e *Procyon troglodites*.

Geologicamente, o tanque está inserido na Província Borborema, constituída pelos litotipos mesoproterozoicos dos Complexos Cabrobó e Belém do São Francisco e pelos granitoides neoproterozoicos da Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa (CPRM, 2005). O embasamento rochoso do tanque é composto por granitoides neoproterozoicos, idade de 580 M.a. (Brito Neves *et al.*, 2000), que intemperizam para um material argilo-siltico-arenoso (CPRM, 2005).

O preenchimento sedimentar do depósito de tanque consiste em quatro camadas distintas (da base ao topo): **Camada I.** De 50 cm de espessura constituída por areia média a grossa com matriz composta de argila, silte e litoclastos (retrabalhada do embasamento). **Camada II.** De 30 a 40 cm de cascalho com seixos subangulosos de quartzo que variam de 25 a 40 mm no eixo principal. A matriz é predominantemente de areia com restos de mamíferos e não apresentam orientação preferencial. Os sedimentos da porção intermediária desta Camada II foram datados em 41.000

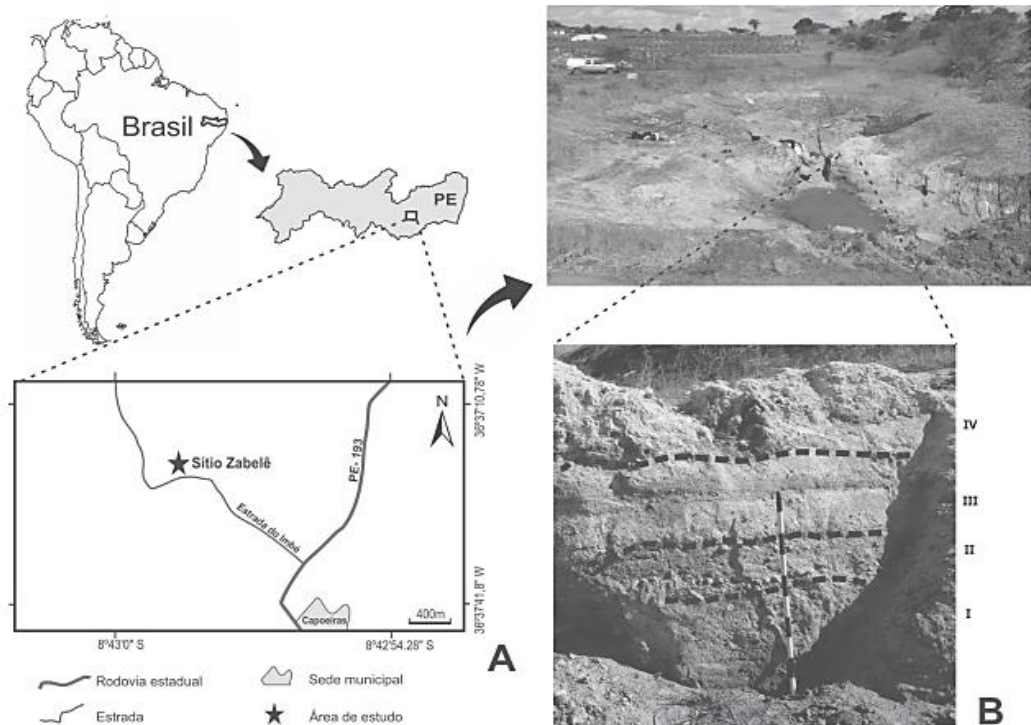


Figura 1. A, localização do tanque Zabelê, Município de Capoeiras, Estado de Pernambuco, Brasil. B, detalhe do preenchimento sedimentar do tanque.
Figure 1. A, location of Zabelê tank, Municipality of Capoeiras, State of Pernambuco, Brazil. B, detail of the sedimentary infilling of the tank.

A.P. $\pm$ 2.100 AP (Neopleistoceno), com base no método de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), realizada pelo Laboratório Espectrometria Gama e Luminescência, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). Os fósseis ocorrem acima e abaixo dos sedimentos datados. **Camada III.** De 50 cm de espessura ligeiramente bioturbada, constituída por sedimentos arenosos com grânulos e seixos subangulares dispersos. **Camada IV.** De 110 cm de espessura de sedimentos enlameados ricos em conteúdo orgânico. Considerando apenas os aspectos texturais da camada fossilífera, sua origem é relacionada a um sistema aluvial ou fluvial.

MATERIAL E MÉTODOS

O material estudado é parte da coleção de macrofósseis do Laboratório de Paleontologia do Departamento de Geologia (DGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em Recife. A abreviatura utilizada para identificar a coleção científica é DGEO-CTG-UFPE. Os materiais estudados foram comparados com osteodermos de *Glyptotherium* sp. e astrágalos de *Panochthus* sp. e *Hoplophorus euphractus* da Coleção de referência do DGEO-CTG-UFPE e com figuras e descrições na literatura específica: Owen (1841), Winge (1915), Gillette & Ray (1981), Porpino & Bergqvist (2002) e Porpino *et al.* (2014).

A taxonomia e a nomenclatura usadas seguem Carlini *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2009, 2010), Zurita *et al.* (2012) e Porpino *et al.* (2010). As estruturas da ornamentação externa dos osteodermos consideradas neste trabalho estão ilustradas na Figura 2.

Nos osteodermos estudados foram realizadas medições em mm. Para melhor visualização da morfologia dos osteodermos, como, por exemplo, a ocorrência de orifícios com pequeno diâmetro (1-1,5mm), foi utilizada a lupa estereoscópica com as objetivas de 0,5x a 1,5x e aumento de até 2x.

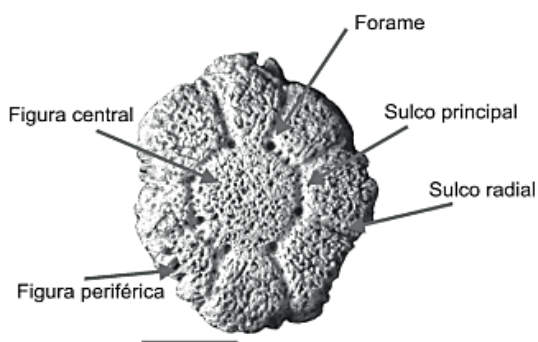


Figura 2. Nomenclatura usada para a morfologia dos osteodermos (em vista dorsal) em *Glyptotherium* sp. Modificado de Oliveira *et al.* (2010). Escala = 2 cm.

Figure 2. Nomenclature used for the morphology of osteodermis (in dorsal view) in *Glyptotherium* sp. Modified from Oliveira *et al.* (2010). Scale bar = 2 cm.

PALEONTOLOGIA SISTEMÁTICA

XENARTHRA Cope, 1889
CINGULATA Illiger, 1811
GLYPTODONTIDAE Burmeister, 1879
GLYPTODONTINAE Gray, 1869
(*nom. transl.* Trouessart, 1898)

Glyptotherium Osborn, 1903
(Figuras 3–6; Tabelas 1–2)

Materiais referidos. Osteodermos isolados da região dorsal (DGEO-CTG-UFPE 7814, 7815, 7816, 7817, 7819) e do anel caudal (DGEO-CTG-UFPE 7820); astrágalo direito (DGEO-CTG-UFPE 7978).

Descrição. Osteodermos: os pertencentes à região dorsal da carapaça apresentam formato hexagonal, superfície externa uniformemente perfurada, configurando orifícios com diâmetro entre 1 e 1,5 mm, resultando em um aspecto rugoso. Os forames, com diâmetro entre 1,5 a 2,5 mm, estão situados nas intersecções dos sulcos radiais com o principal ou próximos dessas (DGEO-CTG-UFPE 7814, 7815 e 7817). A figura central é plana, variando de circular a subcircular e as figuras periféricas variam de seis a oito, com formato poligonal e com tamanho similar (quando preservadas). O espécime DGEO-CTG-UFPE 7817, região dorsal da carapaça, é composto por dois osteodermos fusionados (Figura 3A, Tabela 1). Já o espécime DGEO-CTG-UFPE 7819 preserva o formato hexagonal e a dimensão e morfologia de osteodermos da região dorsal da carapaça, porém, devido ao forte grau de abrasão, não exibe figuras centrais e periféricas na superfície externa (Figura 3C).

O espécime DGEO-CTG-UFPE 7816 possui a superfície ventral côncava (vista lateral). Em vista ventral, os forames situados na porção central estão ausentes, possivelmente devido ao grau de abrasão (Figuras 4A', A''). A porção central da superfície externa apresenta ausência da figura central e sulcos radiais distintos (Figura 4A). Possui, ainda, menor espessura e tamanho (Tabela 1). Nas Figuras 4A' e 4A'' é possível notar, apesar do desgaste, uma figura principal mais elevada, o que também pode indicar característica de espécimes juvenis (Zurita *et al.*, 2011; Gillette *et al.*, 2015).

O osteodermo da região do anel caudal, possivelmente da porção mais posterior (DGEO-CTG-UFPE 7920) (Figura 4B), é subquadrangular (vista externa) com superfície externa muito pontuada e rugosa, possuindo uma proeminência cônica moderadamente desenvolvida e maior espessura em relação aos demais osteodermos. Encontra-se fraturado na borda lateral (vista lateral) (Figura 4B). Os osteodermos da região mais posterior do anel caudal são marcadamente cônicos (Figura 4B) (Gillette & Ray, 1981).

Astrágalo: comparativamente, o ástragalo apresenta a tróclea assimétrica, com projeção mais proximal da que lateral, assim como em *Glyptodon* (Owen, 1841), mas difere de *Panochthus* sp. e *Hoplophorus euphractus* onde ela é fortemente assimétrica, com a crista lateral mais desenvolvida (Figuras 6A–D). O sulco entre as cristas da tróclea astrágalar

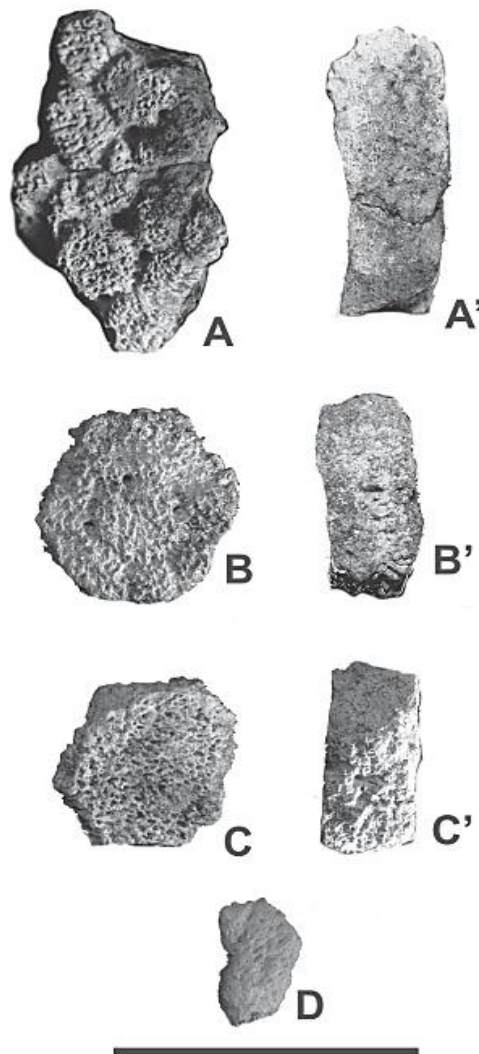


Figura 3. Osteodermos isolados da carapaça de *Glyptotherium* sp. A, DGEO-CTG-UFPE 7817, vista externa; A', vista lateral. B, DGEO-CTG-UFPE 7814, vista externa; B', vista lateral. C, DGEO-CTG-UFPE 7819, vista externa; C', vista lateral. D, DGEO-CTG-UFPE 7815, vista externa. Escala = 5 cm.

Figure 3. Isolated osteoderms of carapace of *Glyptotherium* sp. A, DGEO-CTG-UFPE 7817, external view; A', lateral view. B, DGEO-CTG-UFPE 7814, external view; B', lateral view. C, DGEO-CTG-UFPE 7819, external view; C', lateral view. D, DGEO-CTG-UFPE 7815, external view. Scale bar = 5 cm.

é mais raso e estreito, assim como em *Glyptodon*, sendo menos marcado e desenvolvido do que em *Panochthus* sp. e *H. euphractus* (Figuras 6A–D).

Tabela 1. Medidas (mm) de osteodermos de *Glyptotherium* sp. da Coleção DGEO-CTG-UFPE provenientes do tanque Zabelê, Município de Capoeiras, Pernambuco, Brasil. **Abreviações:** *, espécime fraturado, medidas comprometidas; 1, largura; 2, comprimento anteroposterior; 3, espessura; 4, comprimento da figura central; 5, largura da figura central.

Table 1. Measurements (mm) of osteoderms of *Glyptotherium* sp. of the DGEO-CTG-UFPE Collection from Zabelê tank, Capoeiras Municipality, Pernambuco, Brazil. **Abbreviations:** *, fractured specimen, estimated measurements; 1, width; 2, anteroposterior length; 3, thickness; 4, length of central figure; 5, width of central figure.

<i>Glyptotherium</i> sp.	Medidas				
Espécimes	1	2	3	4	5
DGEO-CTG-UFPE 7814	44	44,5	18	18	19,5
DGEO-CTG-UFPE 7815*	29	40	16	-	-
DGEO-CTG-UFPE 7816	30	40	16	-	-
DGEO-CTG-UFPE 7817**	42	73	23	15	25,5
DGEO-CTG-UFPE 7819	42	40	20	-	-
DGEO-CTG-UFPE 7820	46	53	33	-	-

Tabela 2. Medidas (mm) dos astrágalos de *Glyptotherium* sp., *Panochthus* sp. e *Hoplophorus euphractus*, provenientes da Coleção DGEO-CTG-UFPE. **Abreviações:** 1, comprimento máximo; 2, altura máxima; 3, comprimento da faceta sustentacular; 4, altura da faceta sustentacular; 5, comprimento da faceta ectal; 6, altura da faceta ectal.

Table 2. Measurements (mm) of the astragalus of *Glyptotherium* sp., *Panochthus* sp., and *Hoplophorus euphractus*, from DGEO-CTG-UFPE Collection. **Abbreviations:** 1, maximum length; 2, maximum height; 3, length of the sustentacular facet; 4, height of the sustentacular facet; 5, length of the ectal facet; 6, height of the ectal facet.

Espécimes	Medidas					
	1	2	3	4	5	6
<i>Panochthus</i> sp.						
(DGEO-CTG-UFPE 6513)	111	84	27	43	42	49
<i>H. euphractus</i>						
(DGEO-CTG-UFPE 6512)	75	58,5	20,2	32,5	34	41,2
<i>Glyptotherium</i> sp.						
(DGEO-CTG-UFPE 7978)	90	72	34	40	34	39

As facetas articulares para o calcâneo diferem. A faceta ectal em DGEO-CTG-UFPE 7978 é mais alongada proximodistalmente, subretangular, com contorno arredondado, sendo que em *Panochthus* sp. e *Hoplophorus euphractus* é marcadamente triangular (Figuras 6E–H). Já a faceta sustentacular é côncava e irregular, com formato elipsoide, mais semelhante a *Glyptodon* e diferindo de *Panochthus* sp. e *H. euphractus*, que apresentam uma faceta plana, elipsoide, porém elevada (Figuras 6E–H). O *sulcus tali* é menos profundo e mais estreito em DGEO-CTG-UFPE 7978 do que em *Panochthus* sp. e *H. euphractus* (Figuras 6E–H). A tuberosidade navicular ocorre proximalmente junto à borda dorsal da faceta navicular, tendo o formato cilíndrico semelhante à *Glyptotherium texanum* (Figuras 5 e 6).

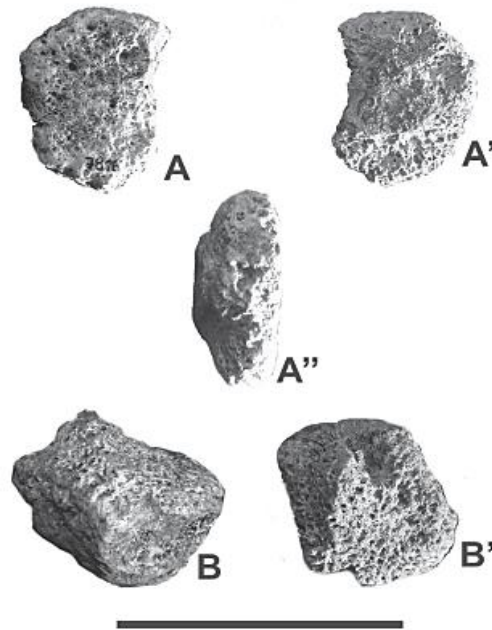


Figura 4. Osteodermos isolados da carapaça de *Glyptotherium* sp. A, DGEO-CTG-UFPE 7816, região dorsal (vista externa); A', vista anterior; A'', vista lateral. B, DGEO-CTG-UFPE 7820, anel caudal (vista lateral); B', vista externa. Escala = 5 cm.

Figure 4. Isolated osteoderms of carapace of *Glyptotherium* sp. A, DGEO-CTG-UFPE 7816, dorsal region (external view); A', anterior view; A'', lateral view. B, DGEO-CTG-UFPE 7820, caudal ring (lateral view); B', external view. Scale bar = 5 cm.

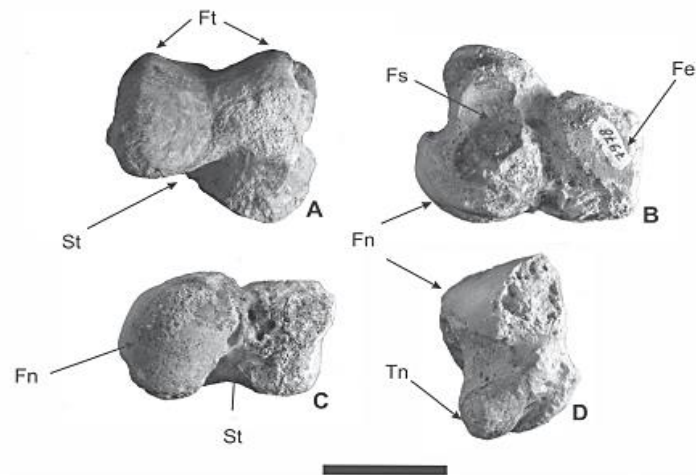


Figura 5. Ástragalo direito de *Glyptotherium* sp. DGEO-CTG-UFPE 7978, proveniente do tanque Zabelê, Município de Capoeiras, Pernambuco, Brasil. A, vista dorsal; B, vista plantar; C, vista distal; D, vista cranial. Abreviações: Ft, faceta troclear; St, sulcus tali; Fe, faceta ectal; Fs, faceta sustentacular; Fn, faceta para o navicular; Tn, tuberosidade para o navicular. Escala = 7 cm.

Figure 5. Right astragalus of *Glyptotherium* sp. DGEO-CTG-UFPE 7978 from Zabelê tank, Capoeiras Municipality, Pernambuco, Brazil. A, dorsal view; B, plantar view; C, distal view; D, cranial view. Abbreviations: Ft, trochlear facet; St, sulcus tali; Fe, ectal facet; Fs, sustentacular facet; Fn, facet for the navicular; Tn, tuberosity for the navicular. Scale bar = 7 cm.

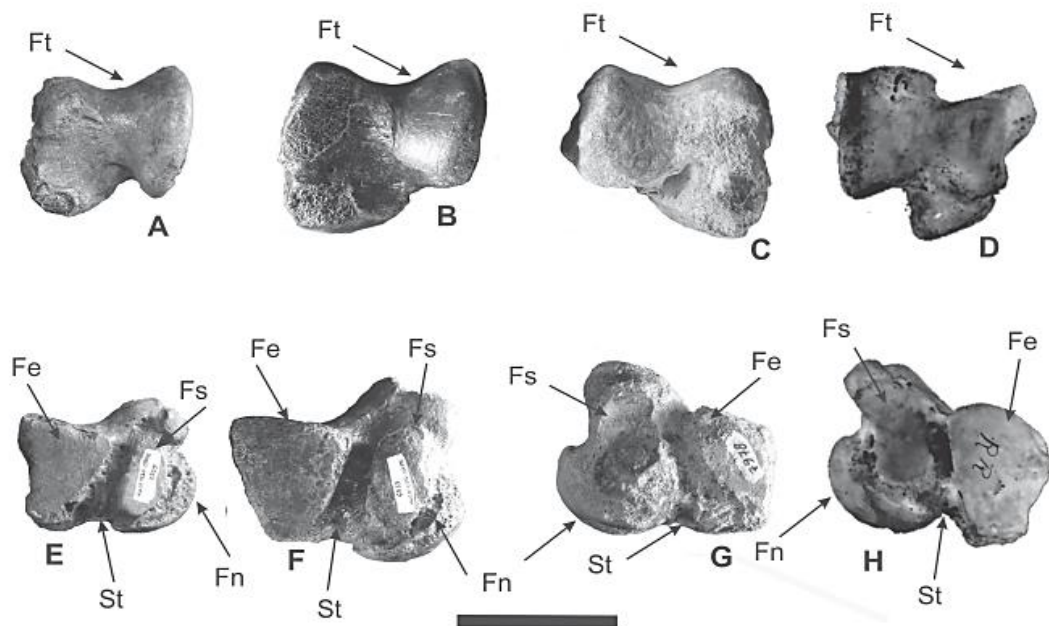


Figura 6. Comparação dos astrágalos. *Hoplophorus euphractus* (esq.) (DGEO-CTG-UFPE 6512), localidade Lagoa do Tanque, Pernambuco, Brasil (A, vista proximal; E, vista plantar). *Panochthus* sp. (esq.) (DGEO-CTG-UFPE 6513), localidade Lagoa do Tanque, Pernambuco, Brasil (B, vista proximal; F, vista plantar). *Glyptotherium* sp. (DGEO-CTG-UFPE 7978), tanque Zabelê, Pernambuco, Brasil (C, vista proximal; G, vista plantar). *Glyptotherium texanum* (dir.) (AM 95737), localidade "Tusker local fauna", Graham County, Arizona (modificado de Gillette & Ray, 1981) (D, vista proximal; H, vista plantar). Abreviações: Ft, faceta troclear; St, sulcus tali; Fe, faceta ectal; Fs, faceta sustentacular; Fn, faceta para o navicular; Tn, tuberosidade para o navicular. Escala = 7 cm.

Figure 6. Comparison of astragali. *Hoplophorus euphractus* (left) (DGEO-CTG-UFPE 6512), Lagoa do Tanque locality, Pernambuco, Brazil (A, proximal view; E, plantar view). *Panochthus* sp. (left) (DGEO-CTG-UFPE 6513), Lagoa do Tanque locality, Pernambuco, Brazil (B, proximal view; F, plantar view). *Glyptotherium* sp. (DGEO-CTG-UFPE 7978), Zabelê tank, Pernambuco, Brazil (C, proximal view; G, plantar view). *Glyptotherium texanum* (right) (AM 95737), "Tusker local fauna" locality, Graham County, Arizona (modified from Gillette & Ray, 1981) (D, proximal view; H, plantar view). Abbreviations: Ft, trochlear facet; St, sulcus tali; Fe, ectal facet; Fs, sustentacular facet; Fn, facet for the navicular; Tn, tuberosity for the navicular. Scale bar = 7 cm.

DISCUSSÃO

Os osteodermos estudados pertencem a *Glyptotherium* sp. por apresentar a combinação de características propostas por Oliveira *et al.* (2009, 2010): figura central plana, de maior diâmetro, superfície externa muito perfurada, aparência rugosa, sulcos radiais e principais mais rasos e um número de oito ou nove figuras periféricas. Trata-se de um padrão de ornamentação tido como primitivo (Carlini *et al.*, 2008). Os caracteres morfológicos aqui discutidos diferem de *Glyptodon*, pois neste gênero os osteodermos possuem superfície externa mais lisa, sulco principal e sulcos radiais mais profundos e um número menor de figuras periféricas (Ameghino, 1889; Castellanos, 1953; Soibelzon *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2009, 2010). A morfologia dos osteodermos aqui descrita é semelhante àquela encontrada em outras regiões da RIB (e.g. Lajedo da Escada, Rio Grande do Norte, Oliveira *et al.*, 2010) e da região de Lagoa Santa, Minas Gerais, atribuídos à *Glyptotherium* sp. (Oliveira *et al.*, 2009, 2010).

O astrágalo é atribuído a *Glyptotherium* sp. por possuir as características descritas por Gillette & Ray (1981) como, por exemplo, as facetas articulares pequenas, sendo a faceta sustentacular côncava, irregular e com forma elipsoide e a faceta ectal com formato subretangular. DGEO-CTG-UFPE 7978 apresenta morfologia semelhante à de *Glyptodontinae*, em especial a *G. texanum* (Gillette & Ray, 1981), com pequenas diferenças como, por exemplo, a faceta sustentacular, que é mais desenvolvida na espécie norte-americana. Entretanto, essas diferenças também podem ter sido acentuadas pelo grau de abrasão do espécime aqui referido. Como aqui se trata de um único espécime, inferências morfológicas comparativas tornam-se limitadas.

Em relação aos *Hoplophorinae*, há diferenças significativas principalmente no que diz respeito às facetas ectais (triangulares) e sustentacular (mais elevada) e ao sulcus tali (mais profundo) nesses indivíduos do que em DGEO-CTG-UFPE 7978. Os espécimes diferem também, em relação às dimensões, pois quando comparado ao espécime

DGEO-CTG-UFPE 7978, *Panochthus* sp. apresenta maiores dimensões enquanto que o *Hoplophorus euphractus* possui menores dimensões.

Além disso, a distribuição paleobiogeográfica corrobora a atribuição a *Glyptotherium*, já que esses indivíduos ocorrem na região Nordeste do Brasil (Carlini et al., 2008; Zurita et al., 2012), diferentemente de *Glyptodon* que é encontrado na região sul do Brasil (e.g. Oliveira et al., 2010).

As ocorrências de *Glyptotherium* no Pleistoceno Superior da América do Sul (41.000 ± 2.100 AP, LOE-camada fossilífera), representam o resultado de eventos de migrações massivas da América do Norte ou vice-versa durante o Último Máximo Glacial (UMG) ou um pouco antes desse evento, por meio de possíveis corredores biogeográficos em áreas de planícies, já que o nível do mar estava abaixo do atual (Carlini et al., 2008; Woodburne, 2010).

Esse e outros achados de *Glyptotherium* na RIB mostram relações paleobiogeográficas mais complexas entre as faunas de mamíferos do norte da América do Sul, da América Central e do sul da América do Norte durante o Neopleistoceno. Além disso, é possível inferir condições climáticas e ecológicas similares para essas regiões (Scillato-Yané et al., 2005; Carlini et al., 2008).

CONCLUSÃO

Os osteodermos e o astrágalo coletados no tanque Zabelé em Capoeiras, Pernambuco, pertencem a *Glyptotherium* sp. Os osteodermos apresentam a combinação de caracteres típicos para o gênero. Já o astrágalo é morfologicamente distinto de Hoplophorinae, assemelhando-se à Glyptodontinae, exibindo caracteres potencialmente derivados presentes em espécies de *Glyptotherium* norte-americanas, como as facetas articulares pequenas e curvadas, sendo a faceta ectal côncava, irregular e com forma elipsoidal e a faceta sustentacular com formato subretangular.

Os novos achados de *Glyptotherium* para Pernambuco aliados aos dados geocronológicos (41.000 AP ± 2.100 AP) corroboram o intervalo temporal dos tanques da RIB e suas relações paleobiogeográficas no Neopleistoceno entre os mamíferos da RIB e da América do Sul, da América Central e do Sul da América do Norte.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/CAPES pela bolsa concedida à primeira autora. A equipe do Laboratório de Paleontologia-PALEOLAB da UFPE, pelo auxílio nos trabalhos de campo. À Prefeitura e à Secretaria de Cultura do Município de Capoeiras (PE) pelo apoio logístico e disponibilidade de maquinário utilizado nas escavações em campo. Os autores agradecem a A.E. Zurita (Universidad Nacional del Nordeste/UNNE) e a K.A. Porpino (Universidade do Estado do Rio Grande do Norte/UERN) pelas valiosas contribuições ao manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Ameghino, F. 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, 6:1–1027.
- Andrade, L.C.; Oliveira, E.V. & Souza, B.I. 2016. Novos achados de Xenarthra em um depósito de tanque do Pleistoceno da Paraíba, nordeste do Brasil. In: REUNIÃO DA SBPV- PALEO NORDESTE, 2016. *Livro de Resumos*, Mossoró, SBP, p. 42.
- Andrade, L.C.; Oliveira, E.V. & Souza, B.I. 2017. Novos achados de Xenarthra em um depósito de tanque do Pleistoceno da Paraíba, nordeste do Brasil. *Revista de Geologia UFC*, 30:33–46.
- Araújo-Júnior, H.I.; Porpino, K.O. & Bergqvist, L.P. 2013. Taphonomic analysis of a Late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande Paleontological Site, Pernambuco State, Northeastern Brazil: new remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quaternary International*, 317:88–101. doi:10.1016/j.quaint.2013.08.016
- Barbosa, F.H.S.; Porpino, K.O.; Fragoso, A.B.L. & Oliveira, E.V. 2014. Arthritis in a Glyptodont (Mammalia, Xenarthra, Cingulata). *PLoS ONE*, 9:e88646. doi:10.1371/journal.pone.0088646
- Brito Neves, B.B.; Santos, E.J. & Van Schmus, W.R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: U. Cordani (ed.) *Tectonic evolution of South America*, p. 151–182.
- Carlini, A.A.; Zurita, A.E. & Aguilera, O.A. 2008. North American glyptodontines (Xenarthra, Mammalia) in the Upper Pleistocene of northern South America. *Palaontologische Zeitschrift*, 82:125–138. doi:10.1007/BF02988404
- Cartelle, C. 1999. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: J.B. Eisenberg & K.H. Redford (eds.) *Mammals of the neotropics: the central tropics*, University of Chicago Press, p. 27–46.
- Castellanos, A. 1953. Anotações e retificações ao gênero *Glyptodon* Owen e à subfamília Glyptodontinae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 25:391–410.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2005. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Capoeiras, estado de Pernambuco*. Recife, 11 p.
- Gillette, D.D.; Carranza-Castañeda, O.; White Jr., R.S.; Morgan, G.S.; Thrasher, L.C.; McCord, R. & McCullough, G. 2015. Ontogeny and sexual dimorphism of *Glyptotherium texanum* (Xenarthra, Cingulata) from the Pliocene and Pleistocene (Blancan and Irvingtonian NALMA) of Arizona, New Mexico, and Mexico. *Journal of Mammalian Evolution*, 23:133–154. doi:10.1007/s10914-015-9309-6
- Gillette, D.D. & Ray, C.E. 1981. *Glyptodonts of North America*. Washington, D.C., Smithsonian Institution Press, 255 p. (Contributions to Paleobiology 40).
- McKenna, M.C. & Bell, S.K. 1997. *Classification of mammals. Above the species level*. New York, Columbia University Press, 631 p.
- Oliveira, E.V.; Barreto, A.M.F. & Alves, R.A. 2009. Aspectos sistemáticos, paleobiogeográficos e paleoclimáticos dos mamíferos quaternários de Fazenda Nova, PE, nordeste do Brasil. *GAEA-Journal of Geoscience*, 5:75–85. doi:10.4013/gaea.2009.52.04
- Oliveira, E.V.; Porpino, K.O. & Barreto, A.M.F. 2010. On the presence of *Glyptotherium* in the Late Pleistocene of Northeastern Brazil, and the status of “*Glyptodon*” and “*Chlamydotherium*”. Paleobiogeographic implications. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 258:353–363. doi:10.1127/0077-7749/2010/0116

- Owen, R. 1841.VI. —Description of a tooth and part of the skeleton of the *Glyptodon clavipes*, a large quadruped of the Edentate order. *Transactions of the Geological Society of London*, **6**:81–106. doi:10.1144/transgslb.6.1.81
- Porpino, K.O. & Bergqvist, L.P. 2002. Novos achados de *Panochthus* (Mammalia, Cingulata, Glyptodontoidea) no nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **4**:51–62.
- Porpino, K.O.; Fernicola, J. & Bergqvist, L.P. 2010. Revisiting the intertropical Brazilian species *Hoplophorus euphractus* (Cingulata, Glyptodontoidea) and the phylogenetic affinities of *Hoplophorus*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **30**:911–927. doi:10.1080/02724631003765735
- Porpino, K.O.; Fernicola, J.C.; Cruz, L.E.; Bergqvist, L.P. 2014. The intertropical Brazilian species of *Panochthus* (Xenarthra, Cingulata, Glyptodontoidea): a reappraisal of their taxonomy and phylogenetic affinities. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **34**:1165–1179. doi:10.1080/02724634.2014.863203
- Scillato-Yané, G.J.; Carlini, A.A.; Tonni, E.P. & Noriega, J.I. 2005. Paleobiogeography of the late Pleistocene pampatheres of South America. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**:131–138. doi:10.1016/j.jsames.2005.06.012
- Soibelzon, E.; Zurita, A. & Carlini, A.A. 2006. *Glyptodon muniti* Ameghino (Mammalia, Cingulata, Glyptodontidae): redescrición y anatomía. *Ameghiniana*, **43**:377–384.
- Winge, H. 1915. Jordfundne og nulevende Gumlere (Edentata) fra Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasilien. M'ed udsigt over gumlernes indbyrdes slægtskab. *E Museo Lundii*, **1**:106–139.
- Woodburne, M.O. 2010. The Great American Biotic Interchange: dispersals, tectonics, climate, sea level and holding pens. *Journal of Mammalia Evolution*, **17**:245–264. doi:10.1007/s10914-010-9144-8
- Zurita, A.E.; Miño-Boilini, A.R.; Francia, A. & Mosquera-Arenas, J.E. 2012. The Pleistocene Glyptodontidae Gray, 1869 (Xenarthra: Cingulata) of Colombia and some considerations about the South American Glyptodontinae. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **15**:273–280. doi:10.4072/rbp.2012.3.04
- Zurita, A.E.; Oliveira, E.V.; Toriño, P.; Roriguez-Bualó, S.M.; Scillato-Yané, G.J.; Luna, C. & Krapovickas, J. 2011. On the taxonomic status of some Glyptodontidae (Mammalia, Xenarthra, Cingulata) from the Pleistocene of South America. *Annales de Paleontologie*, **97**:63–83. doi:10.1016/j.anpal.2011.07.003

Received in 05 September, 2017; Accepted in 18 January, 2018.

5.3 ARTIGO 3 - Revealing new bone diseases in the Quaternary megaherbivore ground sloth *Eremotherium laurillardii*

Autores: Luana C. Andrade, Fernando H. de S. Barbosa, Luiza B. Melki, Edison V. Oliveira, Hermínio I. de Araújo-Júnior & Vanderlei Maniesi

Status: Submetido

Periódico submetido: Historical Biology (Qualis Capes A3).

Historical Biology Taylor & Francis

Home Author Review

Author Dashboard

Submitted Manuscripts

STATUS	ID	TITLE	CREATED	SUBMITTED
EOF: Dyke, Gareth • Under Review	GHBI-2019-0056	Revealing new bone diseases in the Quaternary megaherbivore ground sloth <i>Eremotherium laurillardii</i> (Mammalia, Xenarthra) View Submission Cover Letter	12-Apr-2019	12-Apr-2019

Revealing new bone diseases in the Quaternary megaherbivore ground sloth *Eremotherium laurillardii* (Mammalia, Xenarthra)

Luana C. Andrade^{a*}, Fernando H. de S. Barbosa^b, Luiza B. Melki^c, Edison V. Oliveira^d, Hermínio I. de Araújo-Júnior^e and Vanderlei Maniesi^f

^a*Programa de Pós-graduação em Geociências, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Brazil [luanacardosodeandrade@gmail.com]*

^{*}*Corresponding author*

^b*Programa de Pós-graduação em Geociências, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brazil*

^c*Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brazil*

^d*Departamento de Geologia, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, Brazil*

^e*Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, Brazil*

^f*Departamento de Geografia, Grupo de Pesquisa Geociências, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, Brazil*

Revealing new bone diseases in the Quaternary megaherbivore ground sloth *Eremotherium laurillardi* (Mammalia, Xenarthra)

We performed a macroscopic and radiological inspection in a set of bones belonging to the mammal fossil assemblage of Zabelê Paleontological Site (Late Pleistocene-Northgrippian), northeastern Brazil. The radiological analyzes were carried out using conventional X-ray and X-ray microtomography (μ CT) equipment. This study revealed four different types of diseases (calcium pyrophosphate deposition disease – CPPD, infection, trauma and tendon avulsion) restricted to the giant ground sloth *E. laurillardi* (4.7% of MNI) and in an indeterminate mammal species. There are two hypotheses to explain this restriction to *E. laurillardi*: taphonomic/paleoecological bias or more sensibility to diseases than other species.

Keywords: Bone diseases; Megafauna; *Eremotherium laurillardi*; Quaternary; South America

Introduction

The record of bone diseases in organisms of the past – science named paleopathology (Ruffer 1914) – and its precise comprehension has become an interesting tool in solving paleobiological (Bishop et al. 2015), taphonomic (Lyman 2010; Araújo-Júnior et al. 2013a), taxonomic (Cartelle et al. 2009) and evolutionary (Ferigolo 1999; Bishop et al. 2015) issues. However, most of the diseases known worldwide are relatively limited to Northern

Hemisphere fossil organisms (Hanna 2002; Farke et al. 2009; Lee et al. 2012; Petit and Khalloufi 2012; Peterson and Vittore 2012; Foth et al. 2015; Dumbravă et al. 2016; Lyras et al. 2016).

In the South American fossil record, diagnosis of bone diseases has increased in the last years and a large focus has been given to Quaternary proboscideans (Barbosa et al. 2013, 2017a) and xenarthrans (Cabral and Henriques 2007; Araújo-Júnior et al. 2013a, b; Barbosa et al. 2014; Barbosa and Luna 2014; Barbosa et al. 2017b, c, d), two of the most abundant and well-known taxa found in the South American Quaternary fossil assemblages. Herein, we present a new set of bone lesions from a Late Pleistocene mammal fauna of Brazil, providing new clues for understanding paleobiological aspects of the Quaternary megafauna of South America and unveiling evolutionary trends of extant diseases in vertebrates.

Material and methods

The material studied herein consists of 305 bones recovered from Zabelê Paleontological Site (ZPS; UTM: 24L 0759782 E, 9035190 S), in Capoeiras municipality, Pernambuco State, northeastern Brazil (Figure 1) and is housed at the paleontological collection of Departamento de Geologia of the Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife city, Brazil. The ZPS is a tank deposit, that is, the sedimentary infilling of a natural depression (natural tank) developed on basement rocks outcrops (more details in Araújo-Júnior et al. 2013b). All the fossil remains were recovered from the most basal layer in the ZPS, whose sediments from both base and top portions were dated at 41.2 ± 2.1 ky BP and 40.3 ± 8.6 ky BP (i.e. Late Pleistocene), through the Optically Stimulated Luminescence (OSL) method.

[Figure 1 --- near here ---]

Taxonomically, ZPS includes the following mammalian taxa: *Eremotherium laurillardi* (Folivora, Megatheriidae; 107 specimens); *Ocnotherium giganteum* (Folivora, Mylodontidae; one specimen); *Notiomastodon platensis* (Proboscidea, Gomphotheriidae; 15 specimens); *Toxodon platensis* (Notoungulata, Toxodontidae; 21 specimens); *Pyauitherium capivarae* (Notoungulata, Toxodontidae, one specimen); *Glyptotherium* sp. (Cingulata, Glyptodontidae; one specimen), *Cerdocyon thous* (Carnivora; Canidae; one specimen); Glyptodontidae indeterminate (one specimen) and Pilosa indeterminate (one specimen). Other 160 bones have not taxonomic assignment due to their high degree of fragmentation.

The specimen DGEO-CTG-UFPE 7823 was submitted to a conventional X-ray analysis at a private X-ray imaging system in Recife city, Pernambuco state, Brazil. The specimen was scanned on Carestream CR vita-Tecno-Desing TD 200 S digital X-ray apparatus (specifications: 120 mA and 75-80 kV) and images were analyzed using the software Carestream Health Image Suite® (version 2.0). In addition, the specimen DGEO-CTG-UFPE 7825 was submitted to an X-ray microtomography (μ CT) analysis. The scanning of the specimen was carried out at Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN), in Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), at Rio de Janeiro city, Brazil. Scans were made using high-energy microtomography system Bruker SkyScan 1173 X-Ray μ CT, equipped with a Hamamatsu 130/300 tungsten X-ray source, powered by a current of 130kV at an intensity of 61 μ A. A flat panel detector was used (2240 x 2240) to register the cone X-ray beam transmission. The projection images were taken over 360° at each step of 0.5° rotation. The μ CT images and reconstruction are performed with NRecon® software, version 1.6.9.4, to create cross-sectional slices of the specimen using an algorithm based on filtered back-projection (Feldkamp et al. 1984). All reconstructed slices were saved as bitmap files, and the resulting dataset had 16.6GB in size. The dataset was imported into CTVox version

3.2.0 (Bruker CT®) in 64-bit Windows 10 for viewing and analysis of the material. Both specimens were radiologically examined because the macroscopic evaluation did not provide an accurate diagnosis enough.

The area of some lesions described below was measured using the open-source software Fiji (Schindelin et al. 2012).

Results

Only six isolated bones assigned to *Eremotherium laurillardi* and one taxonomically-indeterminate bone fragment present pathological alterations (2.29% of the total sample). The lesions occur on two right astragali (DGEO-CTG-UFPE 7802 and DGEO-CTG-UFPE 7806), a complete (DGEO-CTG-UFPE 7822) and two fragmented (DGEO-CTG-UFPE 7823 and DGEO-CTG-UFPE 7824) caudal vertebrae and a proximal fragment of a left femur (DGEO-CTG-UFPE 7828). The non-taxonomically assigned bone is a fragment of rib (DGEO-CTG-UFPE 7825).

Both right astragali (DGEO-CTG-UFPE 7802 and DGEO-CTG-UFPE 7806) have calcific sheets on the edges of the discoid facet (Figure 2). Furthermore, DGEO-CTG-UFPE-7806 has also calcific sheets on the ectal and navicular facets. These lesions are rounded or elongated, with plate-like appearance and measuring between 6 mm and 21 mm width.

[Figure 2 --- near here ---]

The caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7822) has a large bone overgrowth on ventral border of the posterior vertebral endplate with irregular surface and several cavities, that correspond to draining sinuses (Figure 3A). This new bone formation grows parallel to

the vertebral endplate and extends caudally along the ventral surface (Figure 3B), i.e., a syndesmophyte-like growth.

[Figure 3 --- here ---]

The caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7823) has a rounded compressive deformation on the anterior vertebral endplate, restrict to the region correspondent to the nucleus pulposus (Figure 4A). This lesion affects circa 6.2 cm² of the vertebral joint surface (~ 6.4 %). In X-ray images, there is no sign of sclerotic repair zone (Figure 2 B, C). The caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7824) has a fracture on the anterior vertebral endplate associated with tenuous compression (Figure 5).

[Figure 4 --- near here ---]

[Figure 5 --- near here ---]

In cranial view, the proximal fragment of femur (DGEO-CTG-UFPE 7828) has a cortical disruption near the greater trochanter (Figure 6). Finally, the rib fragment (DGEO-CTG-UFPE 7825) has a bone callus, with a slight evident fracture line (Figure 7). In μ CT, it is possible to observe increased density in the region corresponding to the bone callus (Figure 7B, C).

[Figure 6--- here ---]

[Figure 7 --- here ---]

Discussion

Based on the aforementioned descriptions, we diagnosed four different types of diseases, including: calcium pyrophosphate deposition disease (CPPD); infection process, trauma and tendon avulsion. Each disease is individually discussed below.

(a) Calcium Pyrophosphate Deposition Disease (CPPD)

The calcified concretions deposited on joint surfaces of the right astragali of *Eremotherium laurillardii* (DGEO-CTG-UFPE 7802 and DGEO-CTG-UFPE 7806) are characteristic of CPPD, a type of crystalline (Rothschild 1982; Rothschild et al. 1992; Resnick and Kransdorf 2005) and inflammatory arthritis (Arye and Doherty 1989). These crystalline deposits seem to have occurred associated with hyaline cartilage and site of insertion of the articular capsule of the navicular-astragalus joint and posteriorly preserved on the articular surface. In humans, CPPD is usually asymptomatic and is often found in middle-aged and elderly individuals, but symptomatic cases with severe pain can also be diagnosed (Resnick and Kransdorf 2005; Steinbach and Resnick 2000). Unfortunately, we cannot to assess if the presented cases are asymptomatic or not. The specimens analyzed are assigned to an adult individual, which is congruent with the ontogenetic pattern expected for CPPD occurrence.

Some concretions on the joint margin can be mistakenly interpreted as osteophytes (Figure 2), a diagnostic feature of osteoarthritis (Resnick 2002; Rothschild and Martin 2006). However, these concretions are projecting onto joint surface (characteristic of CPPD), rather than parallel to that joint surface (characteristic of osteophytes), which ruled out osteoarthritis as a possible diagnosis. Other diseases must be considered in the differential diagnosis of CPPD, such as spondyloarthropathy, gout, rheumatoid arthritis, neuropathic arthropathy (Charcot joint), osteochondritis dissecans and septic arthritis (Rothschild 2016). However, all

these diseases can simulate the erosive component of CPPD and the cases here presented do not have associated erosions.

Up to now, CPPD has been considered uncommon in the fossil record. Nevertheless, it has been described in Pleistocene South America xenarthrans, especially glyptodonts (Barbosa and Luna 2014; Barbosa et al. 2014, 2017a) and ground sloths (Barbosa et al. 2017b). Intriguingly, CPPD has not been observed in other South American extinct mammalian groups so far. Therefore, this new case of CPPD in *Eremotherium laurillardi* associated with the previously documented cases (Barbosa and Luna 2014; Barbosa et al. 2014, 2017a, 2017b) reinforces the hypothesis that CPPD was a common disease in Xenarthra, at least during the Late Pleistocene.

(b) Infectious lesion

The syndesmophyte-like growth with draining sinuses on the caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7822) is a feature characteristic of osteomyelitis (Aufderheide and Rodríguez-Martín 1998; Ortner 2003; Rothschild and Martin 2006). This term is used to identify any infectious process of bone and marrow, being classified as pyogenic (generated by pus-generating bacteria) and non-pyogenic forms (other mycobacteria and fungal disorders, Resnick and Kransdorf 2005; Rothschild and Martin 2006).

The new bone formation represents a response to infection-induced inflammation in the cortex likely to stabilize the vertebral alignment (Rothschild and Martin 2006). The draining sinuses, in turn, are channels through which abscess can be drain out of the bone (Aufderheide and Rodríguez-Martín 1998; Ortner 2003). This general framework likely represents an advanced stage of infection, where the reparative process is in progress.

The syndesmophyte-like growth on the caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7822) could be confused with spondyloarthropathy, DISH or spondylosis deformans because these

conditions can generate ossification in the ventral region of the vertebrae. However, these diseases do not form draining sinuses. Unfortunately, the definitive diagnosis of causal agent of infection – if pyogenic or non-pyogenic – always depend of the microbiological identification of the pathogen (see Rothschild et al. 2001; Lee et al. 2012), which is not possible based on our material.

Occurrences of infection in the South American Pleistocene mammals are relatively rare, with cases restricted to *Notiomastodon platensis* (Barbosa et al. 2013, 2017a) and *Nothrotherium maquinense* (Barbosa et al. 2017b). Therefore, this new case of infection in *Eremotherium laurillardi* increases its distribution among Quaternary mammal species. Nevertheless, the prevalence of infections among the extinct megamammals still is unknown. Thus, new case reports are crucial to elucidate how these animals were affected by infections.

(c) Trauma

The compressive deformation on the caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7823) was due to compression of the cancellous bone without fragmentation (an endplate impaction, type A1.1 in the classification of Margerl et al. 1994). In turn, the compressive fracture on the caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7824) was caused by axial compression in the coronal plane (a coronal split fracture type A2.2 in the classification of Margerl et al. 1994). Both types of fracture are stable injury, i.e., it causes only moderate pain, so the injured individual is still able to walk and neurological defect was very rare (Margerl et al. 1994). In humans, this type of fracture usually heals independently of the treatment (Boeck and Opdecam 1999).

The absence of sclerotic repair zone surrounding the depressed joint fracture in the caudal vertebra (DGEO-CTG-UFPE 7824) allows us discard osteonecrosis as a possible diagnosis (Rothschild and Martin 2006).

The callus formation on the fragment of rib (DGEO-CTG-UFPE 7825) associated with the increased density (sclerosis) observed in μ CT analysis suggests a traumatic event. Moreover, the perpendicular fracture line indicates a transverse trauma caused by direct trauma injury (Miller and Miller 1979; Lovell 1997). This type of fracture results from a force applied perpendicularly to the longitudinal axis of the bone (Lovell 1997).

Although rib fractures can be serious enough to cause the death of individuals when there are soft tissues damaged (Lovell 1997), the presence of a completely consolidated fracture becomes this possibility unlikely.

Traumatic lesions have been rarely described in the South American Quaternary fauna. Only two cases are known: (i) in lumbar vertebrae of *E. laurillardi* (Barbosa et al. 2013); and (ii) in thoracic vertebrae of *Nothrotherium maquinense* (Barbosa et al. 2017a). Thus, these new cases are important to enlarge the number of traumatic lesions known for *E. laurillardi*. Unfortunately, it is impossible to assign precisely the fragmented rib (DGEO-CTG-UFPE 7825) to a taxon, hampering more profound paleobiological discussions.

(d) Tendon avulsion

The cortical disruption on the proximal fragment of femur (DGEO-CTG-UFPE 7828) is diagnosed as tendon avulsion, an unusual type of lesion. Such lesion is generated when a tendon is strained and pulls away from its attachment to the bone, tearing a piece of bone with it. It may heal without uniting (Lovell 1997), which is indicative of aggressive behavior (Donnelly et al. 1999).

General considerations

Among the nine known taxa recovered from ZPS (*E. laurillardi*, *O. giganteum*, *N. platensis*, *T. platensis*, *P. capivarae*, *Glyptotherium* sp., *Cerdocyon thous*, Glyptodontidae and Pilosa

indet.), just the giant ground sloth *E. laurillardi* has preserved some type of bone lesion. The apparent exclusivity of diseases to *E. laurillardi* may be due to both greater bone resistance and populational abundance in the biocoenoses during the Late Pleistocene-Northgrippian (Araújo-Júnior et al. 2013b) – which would result in a higher probability of pathological skeletal remains are preserved, i.e., a taphonomic and paleoecological bias. Nevertheless, an alternative explanation may be that *E. laurillardi* could be more sensitive to some injuries than other contemporaneous species. Barbosa et al. (2017c) showed that *E. laurillardi* was one of the Brazilian Quaternary sloths with larger variety of joint and vertebral abnormalities. Unfortunately, the available sample recovered from the ZPS cannot be used to test these hypotheses, but it certainly will be important to future investigations.

Acknowledgments

This study was funded by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) under Grant [number 93647662291]; HIAJr thanks to the financial supports provided by FAPERJ (process nº E-26/203.176/2017), CNPq (process nº 301405/2018-2) and UERJ (Prociência grant - registration nº 38944-5); City Hall and the Department of Culture of the Capoeiras city (PE) for the logistical support and access to machines used during excavation. We are grateful to A.W.V. Medeiros and J.L.B. Rodrigues (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) for the help with image acquisition.

References

- Araújo-Júnior HI, Porpino KO, Bergqvist, LP. 2013a. Taphonomic analysis of a Late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande Paleontological Site, Pernambuco State, Northeastern Brazil: New remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quat Int.* 317:88-101.
- Araújo-Júnior HI, Porpino KO, Ximenes CL, Bergqvist LP. 2013b. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: a study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.* 378:52-74.
- Arye A, Doherty M. 1989. Crystal-associated rheumatic disease. *Drugs.* 37:566-576.

- Aufderheide AC, Rodríguez-Martín C. 1998. The Cambridge encyclopedia of human paleopathology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barbosa FHS, Porpino KO, Fragoso AB, Santos, MFCCF. 2013. Osteomyelitis in Quaternary mammal from the Rio Grande do Norte, State. *Quat Inter.* 299:90-93.
- 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 del Mus Prov de Cienc Nat "Dr. Art Umb Illia"*. 1:9-26.
- Barbosa FHS, Porpino KO, Fragoso, ABL, Oliveira EV. 2014. Arthritis in a Glyptodont (Mammalia, Xenarthra, Cingulata). *PLoS One.* 9(2): e88646.
- Barbosa FHS, Araújo-Júnior HI, Mothé D, Ávilla LS. 2017a. Osteological diseases in an extinct *Notiomastodon* (Mammalia, Proboscidea) population from the Late Pleistocene of Brazil. *Quat Int.* 443:228-232.
- Barbosa FHS, Porpino K, Bergqvist LP, Rothschild BM. 2017b. Elucidating bone diseases in Brazilian Pleistocene sloths (Xenarthra, Pilosa, Folivora): First cases reported for the Nothrotheriidae and Megalonychidae families. *Ameghiniana.* 54:331-340.
- Barbosa FHS, Porpino K, Araújo-Júnior HI, Bergqvist LP, Rothschild BM. 2017c. Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (Xenarthra, Folivora) from the Brazilian Intertropical Region. *Hist Biol.* 1:15.
- Barbosa FHS, Porpino KO, Rothschild BM, Cabral UG, Bergqvist LP. 2017d. Arthritic lesions and congenital fusion in foot bones of *Panochthus* sp. (Xenarthra, Cingulata). *An da Acad Bras de Ciênc.* <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720160812>.
- Bishop PJ, Walmsley CW, Phillips MJ, Quayle MR, Boisvert CA, McHenry CR. 2015. Oldest pathology in a tetrapod bone illuminates the origin of terrestrial vertebrates. *PLoS One* 10:e0125723.
- Boeck, H, Opdecam, P. 1999. Split coronal fractures of the lumbar spine. *International Orthopaedics.* 23:87-90.
- Cabral UG, Henriques DDR. 2007. Estudos anatomo-patológico e tafonômico de exemplares de *Lestodon armatus* Gervais, 1855, provenientes do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Carvalho IS.editor. *Paleontologia: Cenários da Vida, Interciência: Rio de Janeiro.* p. 309-317. Portuguese.
- Cartelle C, De Iullis G, Ferreira R. 2009. Systematic revision of tropical Brazilian Scelidotheriine sloths (Xenarthra, Mylodontoidea). *J Vert Paleont.* 29:555-566.

- Donnelly S, Hart DJ, Doyle DV, Spector TD. 1999. Spiking of the tibial tubercles – a radiological feature of osteoarthritis? *Ann Rheumatic Dis* 55:105-108.
- Dumbravă MD, Rothschild BM, Weishampel DB, Csiki-Sava Z, Andrei RA, Acheson KA, Codrea VA. 2016. A dinosaurian facial deformity and the first occurrence of ameloblastoma in the fossil record. *Scient Rep.* 6:29271.
- Farke AA, Wolff EDS, Tanke DH. 2009. Evidence of combat in Triceratops. *Plos One* 4: e4254.
- Feldkamp LA, Davis LC, Kress, JW. 1984. Practical cone-beam algorithm. *J Opt Soc of Amer.* A1: 612-619.
- Ferigolo J. 1999. Late Pleistocene South American land-mammal extinction: the infection hypothesis. *Quat Sout Am and Ant Pen.* 12: 279-310.
- Foth C, Evers SW, Pabst B, Mateus O, Flisch A, Patthey M, Rauhut OWM. 2015. New insights into the lifestyle of Allosaurus (Dinosauria: Theropoda) based on another specimen with multiple pathologies. *PeerJ.* 3:e940.
- Hanna RR. 2002. Multiple injury and infection in a sub-adult theropod dinosaur *Allosaurus fragilis* with comparisons to allosaur pathology in the Cleveland-Lloyd Dinosaur Quarry Collection. *J Vert Paleont.* 22:76-90.
- Lee OY-C, Wu HHT, Donoghue HD, Spigelmal M, Greenblatt CL, Bull ID, Rothschild BM, Martin LD, Minnikin, DE, Besra, GS. 2012. *Mycobacterium tuberculosis* complex lipid virulence factors preserved in the 17,000-year-old skeleton of an extinct Bison, *Bison antiquus*. *PLoS ONE.* 7:e41923.
- Lovell, NC. 1997. Trauma analysis in paleopathology. *Y of Phys Anthr.* 40:139-170.
- Lyras GA, Giannakopouloub A, Lillisc T, Veisc A, Papadopoulos GC. 2016. Bone lesions in a Late Pleistocene assemblage of the insular deer *Candiacervus* sp. II from Liko cave (Crete, Greece). *Int J Paleopatol.* 14:36-45.
- Lyman RL. 2010. Taphonomy, pathology, and paleoecology of the terminal Pleistocene Marmes Rockshelter (45FR50) “big elk” (*Cervus elaphus*), southeastern Washington State, USA. *Can J of Eart Scienc.* 47:1367-1382.
- Margerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. 1994. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J.* 3:184-201
- Miller M, Miller JH. 1979. *Orthopaedics and Accidents*. London: The English Universities Press.

- Ortner DJ. 2003. Identification of pathological conditions in human skeletal remains. San Diego: Academic Press.
- Peterson JE, Vittore CP. 2012. Cranial pathologies in a specimen of *Pachycephalosaurus*. PLoS ONE. 7: e36227.
- Petit G, Khalloufi B. 2012. Paleopathology of a fossil fish from the Solnhofen Lagerstätte (Upper Jurassic, southern Germany). Int J Paleopat. 2:42-44.
- Resnick D. 2002. Diagnosis of bone and joint disorders. Philadelphia, Saunders.
- Resnick D, Kransdorf MJ. 2005. Bone and Joint Imaging. Philadelphia, Elsevier.
- Rothschild BM. 1982. Rheumatology: a primary care approach. Yorke Medical Press, New York.
- Rothschild BM. 1985. Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis: misconceptions and reality. Clin Rheum. 4: 207-212.
- Rothschild MD, Woods RJ, Rothschild C. 1992. Calcium pyrophosphate deposition disease: description in defleshed skeletons. Clinic and Exper Rheumat. 10:557-564.
- 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 before the present. Clin Infect Dis 33: 305-311.
- Rothschild BM, Martin LD. 2006. Skeletal impact of disease. New Mexico: Museum of Natural History & Science.
- Rothschild BM, Schultze HP, Pellegrini R. 2012. Herpetological osteopathology. Annotated bibliography of amphibians and reptiles. New York (NY): Springer Science & Business Media.
- Rothschild BM. 2016. Imaging in calcium pyrophosphate deposition disease. eMedicine [accessed 2018 October 04]. <https://emedicine.medscape.com/article/388348-overview>.
- Ruffer SAM. 1914. Studies in paleopathology in Egypt. J Pathol and Bacter. 18:149-162.
- Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise, E. et al. 2012. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. Nat methods 9: 676-682
- Steinbach LS, Resnick D. 2000. Calcium pyrophosphate dihydrate crystal deposition disease: imaging perspectives. Curr Probl Diag Radiol. 29:206-229.

List of Figures:

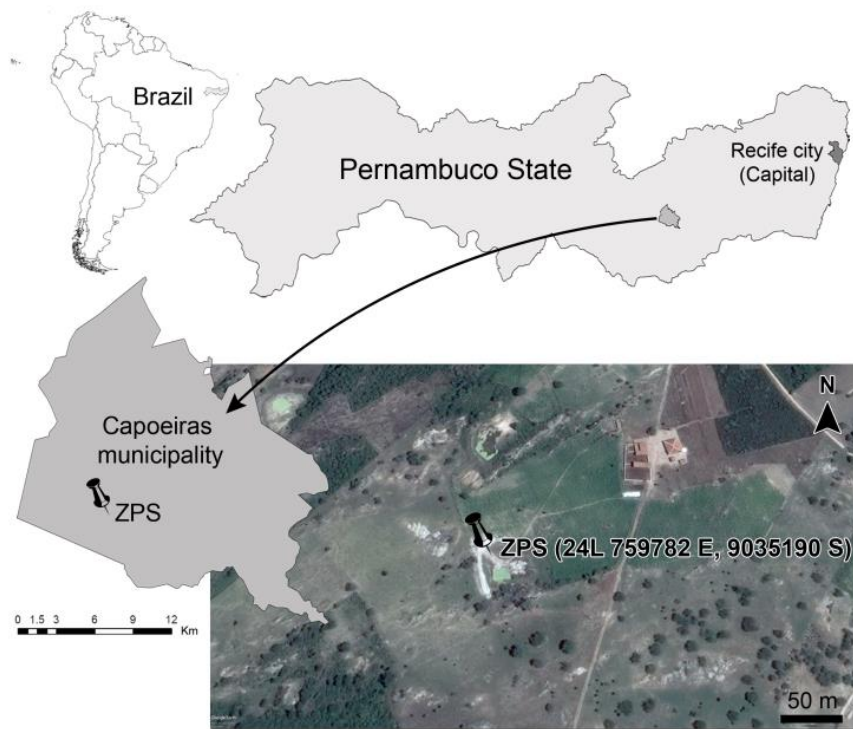


Figure 1. Location map of Zabelê Paleontological Site (ZPS; UTM: 24L 0759782 E, 9035190 S), in Capoeiras municipality, Pernambuco State, Brazil.

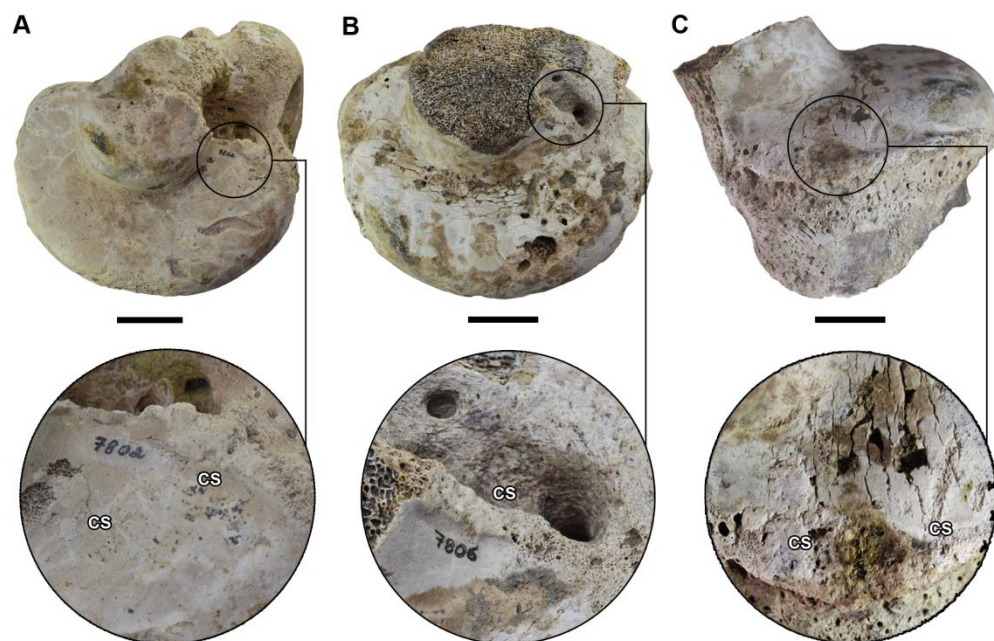


Figure 2. Right astragali of *Eremotherium laurillardi* (DGE0-CTG-UFPE 7802 and DGE0-CTG-UFPE 7806). (A) DGE0-CTG-UFPE 7802 in tibial view and detail of the lesion; (B) DGE0-CTG-UFPE 7806 in lateral view and detail of the lesion; (C) DGE0-CTG-7806 in tibial view and detail of the lesion. CS = calcific sheets. Scale bars= 5 cm.

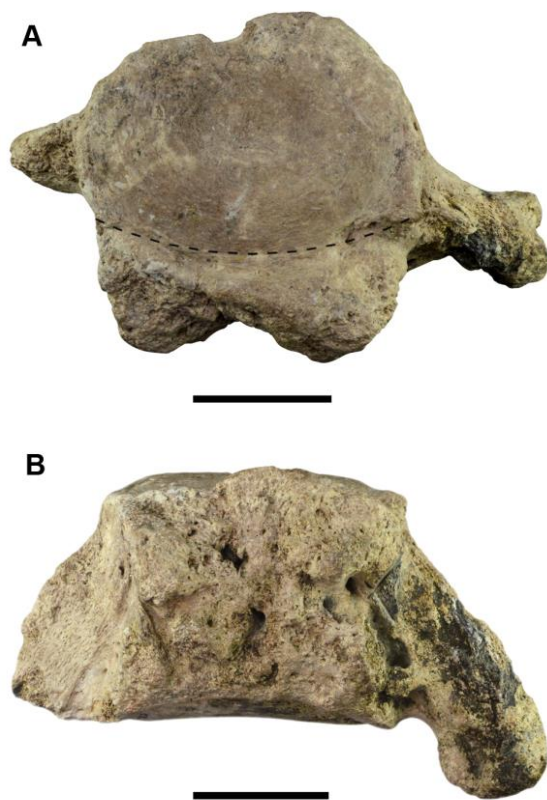


Figure 3. Caudal vertebra of *Eremotherium laurillardi* (DGEO-CTG-UFPE 7822). (A) anterior view; (B) ventral view. Dashed line indicates the boundary between normal bone and new bone formation. Green mark in B indicates bone overgrowth. Scale bar= 5 cm.

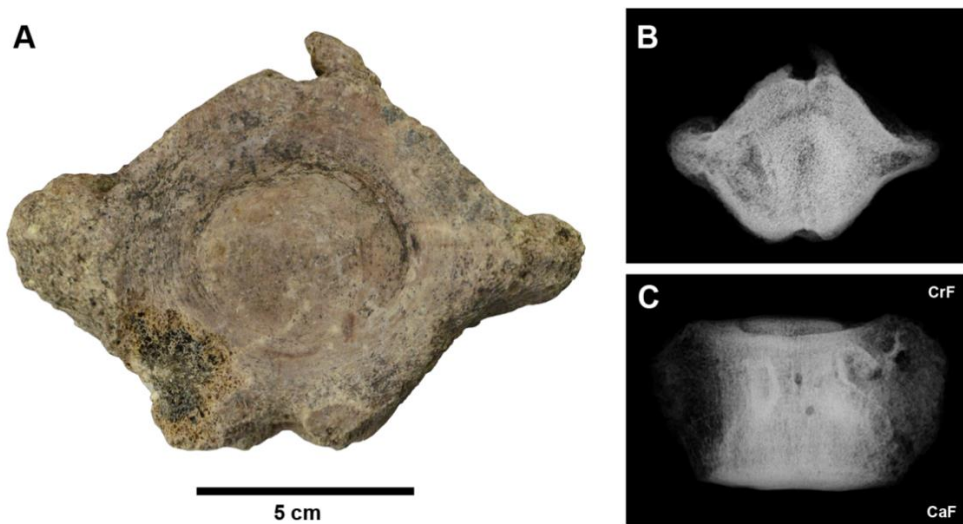


Figure 4. Caudal vertebra of *Eremotherium laurillardi* (DGEO-CTG-UFPE 7823) and radiographic images. (A) caudal view of the vertebra; (B) X-ray images in the craniocaudal view; and (C) X-ray image in the dorsoventral view.

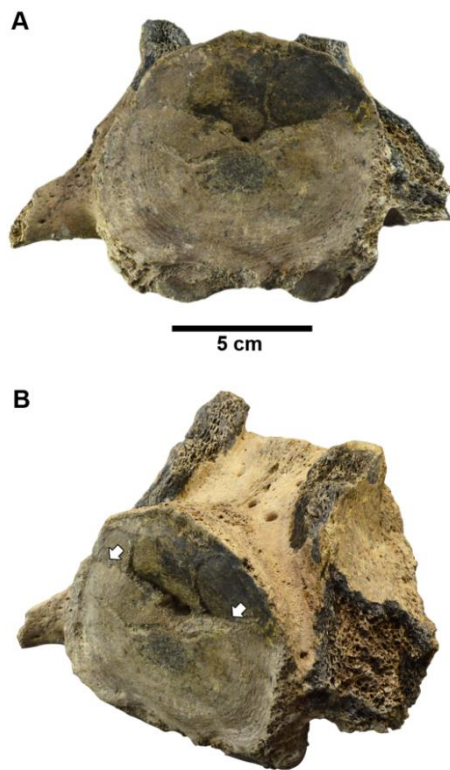


Figure 5. Caudal vertebra of *Eremotherium laurillardi* (DGEO-CTG-UFPE 7824). (A) cranial view; (B) lateral view. Arrows indicate the fracture line.

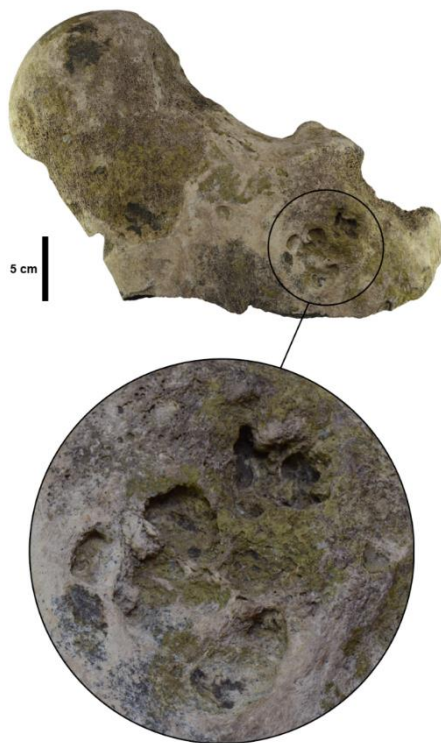


Figure 6. Proximal fragment of femur of *Eremotherium laurillardi* (DGEO-CTG-UFPE 7828) in a cranial view and close-up of the cortical disruption.

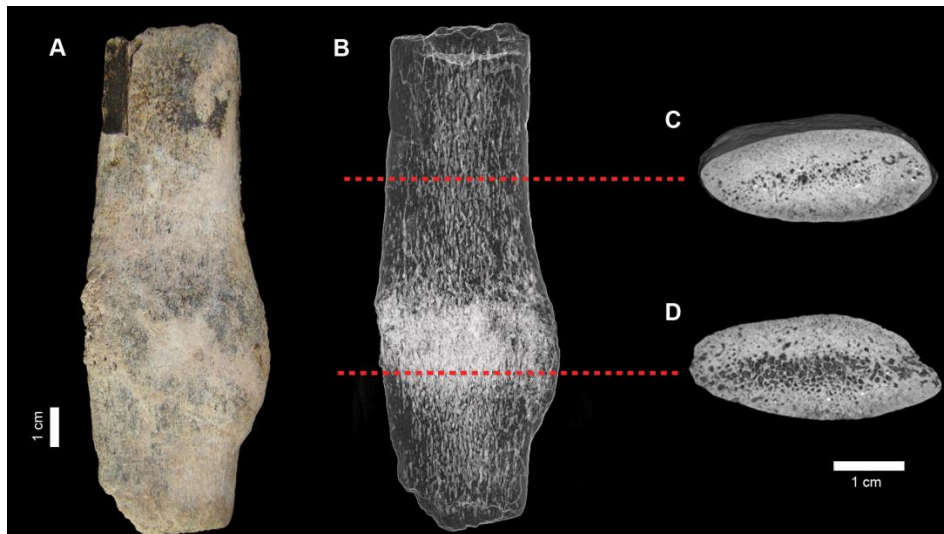


Figure 7. Rib fragment of an indeterminate species (DGEO-CTG-UFPE 7825) and micro-computed tomography (μ CT). (A) bone fragment evidencing the bone callus; (B), μ CT highlighting the increased bone density; (C) cross section of the μ CT in the normal bone; (D) cross section of the μ CT in the injured area.

5.4 ARTIGO 4 - Artigo: Taphonomic scenario of the Zabelê tank deposit, Pleistocene of Northeast Brazil

Autores: Luana C. Andrade, Edison V. Oliveira, Hermínio I. de Araújo Júnior, Fernando de Sousa Barbosa & Vanderlei Maniesi

Status: em vias de submissão

Periódico a ser submetido: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Qualis Capes A1)

The taphonomic scenario of the Zabelê tank deposit, Pleistocene of the Northeast region of Brazil

Luana C. Andrade^{1*}, Edison V. Oliveira², Hermínio I. de Araújo Júnior³, Fernando H. de S. Barbosa⁴ & Vanderlei Maniesi⁵

¹*Programa de Pós-graduação em Geociências, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50.740-530, Recife, Pernambuco, Brazil [luanacardosodeandrade@gmail.com];*

²*Programa de Pós-graduação em Geociências, Departamento de Geologia, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50.740-530, Recife, Pernambuco, Brazil [edison.vicente@ufpe.br];*

³*Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brazil [herminio.ismael@yahoo.com.br];*

⁴*Programa de Pós-graduação em Geociências, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, 20550-013, Rio de Janeiro, RJ, Brazil [fhsbarbosa@gmail.com]*

⁵*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Departamento de Geografia, Grupo de Pesquisa Geociências Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, Rondônia, Brazil; Av. Presidente Dutra, 2965, Centro, 76801-974, Porto Velho, Rondônia, Brazil [maniesi@unir.br];*

**Autor correspondente*

ABSTRACT

This work presents a taphonomic analysis integrated to the geochemistry and geochronology of a tank deposit (Zabelê, Pernambuco, Northeast of Brazil). The analyses aimed at elucidating processes that influenced the deposition and preservation of bone remains in tanks and shed light on paleoecological, paleoenvironmental and geochronological aspects related to the mammal fauna of the Quaternary of South America. Comparisons were made with other deposits of Pleistocene tanks using multivariate statistical analyses. The study revealed the occurrence of common taxa in these deposits, with the predominance of *Eremotherium laurillardi* and a small number of small mammals (*Cerdocyon thous*). Temporal mixing was evidenced through the co- occurrence of distinct degrees of fragmentation, weathering and fossilization, reflecting on the ontogenetic profile expected for the fossiliferous accumulation. Insect, tooth and trampling marks were generated in a shorter period of subaerial exposure under drought conditions. Patterns of abrasion, breaks, and fossilization showed the reworking of the assemblage. The processes of fossilization were permineralization and impregnation of Fe²⁺, Fe³⁺ and Mn, with preservation of the original bone hydroxyapatite, without substitution. The texture, sedimentary structures and tabular architecture suggest a debris flow origin to fossil layer. The comparison with other tank deposits revealed several common signatures among them (disarticulated, fragmented and

moderate abrasion specimens) and indications of reworking. Taphonomic similarities suggest fairly homogeneous environmental conditions in northeastern Brazil during the late Pleistocene. The mixed accumulation of the Zabelê was generated by the transport of specimens accumulated around the tank and dragged into it and also with bones *in situ*.

Keywords: Quaternary. Tank deposit. Taphonomy. Mammals.

1. Introduction

The fossiliferous content of the tank deposits of the Brazilian Intertropical Region (BIR, *sensu* Cartelle, 1999) has been systematically studied in the last three decades. In these peculiar deposits there are remains of bones and teeth of Quaternary vertebrates, mainly megamammals (mammals >1000 kg, Cione et al., 2009; Araújo-Júnior e Porpino, 2011) (e.g. Branner, 1902; Vidal, 1946; Moreira et al., 1971; Paula Couto, 1980; Oliveira e Damasceno, 1987; Mabesoone et al., 1990). Since the last decade there has also been a significant increase in the amount of taphonomic studies of the quaternary megafauna preserved in this type of deposit (e.g. Santos et al., 2002; Alves et al., 2007; Ximenes, 2009; Araújo-Júnior e Porpino, 2011; Faria et al., 2013; Araújo-Júnior et al., 2013a, 2013b, 2015, 2017a, 2017b; Scherer et al., 2017).

The understanding of the historical succession of the taphonomic events of the fossiliferous accumulations allows the revelation of patterns and processes of fossilization and the recognition of the environments in which the remains were deposited and preserved (Fernandez-Jalvo et al., 2002), as well as helps in the refinement of paleoenvironmental scenarios (eg Araújo-Júnior et al., 2017a). Although a considerable amount of work on the taphonomy of vertebrates involving the tank deposits has been published (e.g. Dantas e Tasso, 2007; Alves et al., 2007; Araújo-Júnior e Porpino, 2011; Faria et al., 2013; Araújo-Júnior et al., 2013a, 2013b, 2015, 2017a, 2017b; Scherer et al., 2017), studies resulting from controlled excavations that integrate taphonomic, sedimentary and geochemical data in the understanding of taphonomic and paleoenvironmental scenarios are still scarce.

This work presents the integrated study of taphonomic, sedimentological and geochemical data obtained from a controlled excavation of a tank deposit in the Brazilian Northeast. Therefore, the objective of this work is to interpret the following aspects: 1) the local depositional context of the tank deposit; 2) the taphonomic history of accumulation; 3)

geochemical context of deposition and preservation of fossiliferous accumulation; and 4) the geochronological positioning of the analyzed fauna.

2. Study area: location and geology

The Zabelê Palaeontological Site (ZPS) (8°43'15" S, 36°38'20" W, 963m heigh) is located 2.5 km from the city of Capoeiras, state of Pernambuco, northeastern region of Brazil (Figure 1).

The sedimentary fill of the deposit is 120 cm thick, and consists of four distinct layers (bottom to top): layer I - (50-60 cm) Layer I. (Facies Gm) (50-60 cm thick) consists of facies of massive monomitic conglomerate with silica-sandy matrix and framework composed of thick granite pebbles, with no evidence of imbrication. The mammalian remains were recovered from the base of this layer, with preferential orientation of the larger axes of long bone elements with NE-SW direction. Sediment samples collected from the base and top portions of this layer were dated at $41,200 \pm 2,100$ years AP and $40,300 \pm 8,600$ years AP (Upper Pleistocene), respectively, based on the Optically Stimulated Luminescence (LOE) method. The top of layer I has a discontinuity laterally due to possible erosive truncation of layer II.

Layer II. facies Gm. (20 cm thick) is formed by monomitic thick conglomerate, whose framework is composed of medium to thick pebbles (ranging from 25 to 40 mm) of subangular quartz. The upper portion of layer II consists of paraconglomerate facies, with a thick sandy matrix with the presence of scattered coarse pebbles.

Layer III. facies Sp. (~ 20cm thick) is composed of conglomerate sandstone with remnants of organic matter having flat-parallel stratification at the top. The boundaries between layer III and IV are erosive.

Layer IV. St facies (~ 20cm thick) are formed by monomitic conglomeratic sandstone facies with subangular pebbles, organic matter remains and probable bioturbation on the top. Rock samples collected at the base and top of layer IV were dated by LOE at $35,300 \pm 1,200$ years AP and $30,900 \pm 1,200$ years AP (Upper Pleistocene).

Layer V. (varies 30 and 70 cm in thickness) is the top of the section. It consists of the horizon C of the soil – saprolite (Table 1, Figure 3).

[Figure 1 --- here---]

[Figure 2 --- here ---]

[Figure 3 --- here ---]

[Table 1 – here ---]

3. Materials and methods

The material studied here was collected from an excavated trench (8 mx 1 m) in the tank and can be found deposited in the collection of Vertebrate Paleontology of the Department of Geology of the Federal University of Pernambuco (DGEO-CTG-UFPE), Recife, State of Pernambuco, Brazil. In the

excavated, site a stratigraphic profile of the most representative sedimentary column of the deposit has been produced (Figure 3).

The materials recovered from the excavation comprise 342 skeletal elements, corresponding to isolated teeth, osteoderms, cranial and postcranial bones. As with Araújo-Júnior et al., (2013) teeth and osteoderms were excluded from the analysis, since they could introduce an analytical bias to the sampling. Therefore, only 305 elements were in fact used in the analysis. All specimens (*sensu* Lyman, 1994), - taxonomically identified or not - were included in the data set of this work.

The anatomical and taxonomic identification was made by comparisons with the materials of the paleomastozoology and mastozoology collection of the Federal University of Pernambuco (UFPE) and the Paleontology collection of the Natural Sciences Museum of the Pontifical Catholic University of Minas Gerais (PUC-MG) in Belo Horizonte, in addition to the specific literature (e.g. Roth, 1898; Simpson and Paula Couto, 1957; Paula Couto, 1979; Gillette e Ray, 1981; Cartelle, 1992; Simpson and Paula Couto, 1957; Oliveira et al., 2010; Zurita et al., 2011; Mothé et al., 2013). The taxonomic representation was evaluated taking into consideration the Number of Identifiable Skeletal Parts (NISP) and the Minimum Number of Individuals (MNI) to quantify taxa and skeletal parts, respectively (Badgley, 1986; Lyman, 1994). For each taxon, the MNI was calculated using the most abundant skeletal element on both sides of the animal (Lyman, 1994).

3.1 Terminologies

The biocoenosis, thanatocoenosis and taphocoenosis terms follow Araújo-Júnior et al. (2013a) and Lyman (1994). A) biocoenosis, a living assemblage; B) thanatocoenosis, a dead assemblage, derived from biocoenosis and later modified by biostratinomic processes; and C) taphocoenosis, a buried and preserved assemblage. The classifications of vertebrate accumulations follow Eberth et al. (2007), including: (A) dominant macrofossil, when more than 75% of NISP is composed of bones or bone fragments larger than 5 cm; (B) dominant microfossil, when more than 75% of NISP is composed of bones or bone fragments smaller than 5 cm; (C) mixed accumulations, sets containing significant mixtures of macrofossils and microfossils and more than 25% of each NISP. The terms monotaxic, paucitaxic and multitaxic were used, following Eberth et al. (2007): (A) monotaxic, assemblages constituted by a single species; (B) paucitaxic, of two to nine species; and (C) multitaxic, more than nine species.

This was followed by the classification of the fossiliferous assemblage of the fossil vertebrate sets of tanks deposited by Araújo-Júnior (2016), which are: preserved assemblage *in situ* (skeletal accumulation of individuals who died and were preserved inside the tank); peripheral assemblage (skeletal accumulation of individuals who died close to the tank, were transported and preserved inside the tank) or preserved *ex situ* assemblage (skeletal accumulation of individuals who died far from the tank, were transported and preserved inside the tank). This classification uses as basis the criteria such as transport, abrasion, disarticulation degree and group of Voorhies and FTI.

Regarding the colors were established based on the macroscopic observation of each specimen. For each color, we used the standard color coding from The Globe ® table, version 2004, which are: beige (color 7.5 YR 8/1), brown (varies from 7.5 YR 5/3 and 7.5 YR 4/3); gray (varies between 10 YR 8/1 and 10 YR 7/1 colors); mixed (brown and black) (brown, varies between 7.5 YR 5/3 and 7.5 YR 4/3) (black, corresponds to 7.5 YR 2.5/1).

3.2 Biostratinomic analysis

The taphonomic criteria analyzed in this study were defined and adapted from Araújo-Júnior and Bissaro-Júnior (2017). The analysis and interpretation of the bone surface

modifications followed Behrensmeyer's criteria (1978, 1991), Hill (1979), Haynes (1980, 1983), Shipman (1981), Lyman (1994), Holz and Simões (2002), Eberth et al. (2007) and Araújo-Júnior and Bissaro-Júnior (2017). Therefore, the following taphonomic features were evaluated: 1) physical integrity; 2) patterns of breakage 3) bone weathering; 4) marks of trampling; 5) marks generated by carnivores / butchers; 6) insect marks; 7) wear by abrasion; 8) anthropogenic changes; 9) root marks; 10) coloration of the specimens. The software used for measuring the microscopic characteristics of the specimens (e.g. biogenic changes) was Fiji (Schindelin et al. 2012).

For the purpose of interpretations regarding types of death, taphonomic and paleocological aspects, the ontogenetic spectrum of the identified taxa and the bone and taxonomic representativity were also evaluated. The criteria for estimating ontogenetic stages were based on the degree of fusion of the epiphysis-diaphysis (for long bones) and the vertebral center (vertebrae) as in Araújo-Júnior et al. (2013a). Using the data of bone representativity, the specimens were grouped according to the Fluvial Transport Index (FTI) in order to analyze the degree of transport of the taphocoenosis in relation to the death sites of the individuals (Frison and Todd, 1986). In the case of large mammals (between 100 and 1000 kg, Cione et al., 2009, Araújo-Júnior and Porpino, 2011) and megamammals, FTI is more applicable given the similarity between the size of the individuals of the megafauna quaternary and *Elephas maximus* (Frison and Todd, 1986; see Araújo-Júnior et al., 2012, for more details).

3.3. Multivariate statistical analyses

Multivariate statistical analyses were performed using the software Paleontological Statistics version 2.21 (PAST) (Hammer et al., 2001). The Zabelê deposit (NISP = 305) was compared with five other tank deposits from different regions previously studied in the RIB. Tanks used for comparison include: Jirau (3°21'23"S 39°42'20"W) (NISP=1405), João Cativo (3°30'17"S 39°40'24"W)(NISP=556), Campo Alegre (7°15'18.55"S 36°44'26.35"W)(NISP=331), Curimatãs (7°07'36"S 36°07'48"W)(NISP=118) and Lage Grande (8°25'27"S 36°43'20"W) (NISP=230). The data matrix for these localities comes from Araújo-Júnior et al. (2017).

Corresponding and grouping analyses (Q and R modes) of the six tanks were performed to identify both the typical and atypical categories of the taphonomic

characteristics and the taphonomic contexts of the tanks. A data matrix was produced for the categories of the taphonomic attributes listed above, which were scored using percentage values for each paleontological site. The resulting data matrix was subjected to cluster analysis (Q-mode and R-mode) and matching, using the weighted pair group method with simple arithmetic averages (UPGMA) and, finally, an ANOSIM (one -way) was applied in order to evaluate the significance of the differences between the clusters obtained. In all the analyses the Euclidean distance index was used.

In the Q-Mode cluster analysis, the tank deposits were grouped based on the similarity of their taphonomic signature categories. This clustering was used to identify sites with similar taphonomic contexts in BIR. In the R-Mode analysis, the categories of taphonomic signatures were grouped based on the similarity of the percentages with which they occur between the paleontological sites. In both analyses, an ANOSIM one-way test was used to evaluate the significance of the differences between the groups obtained. This test provides a statistical R that ranges from -1 to +1, where R values equal to +1 are obtained only when all samples within the groups are more similar to each other than to any other sample of other groups (Clarke and Warwick, 2001). The significance value (p) of the clusters was also obtained from this test.

The correspondence analysis presents the Chi-square (χ^2) distances between the paleontological sites studied, using the distances in Chi-square (χ^2) between the main taphonomic categories in the assemblage as *background*. In this study, paleontological sites plotted outside the vicinity of the main cluster of localities were considered to represent taphonomic outliers, indicating a possible "exotic" assemblage (temporally or spatially mixed) compared to the remaining taphocoenosis representing typical assemblages (see Hammer et al., 2001 and Hammer and Harper, 2006).

The principal components analysis (PCA) finds hypothetical variables (components) that aggregate as much as possible of the variance present in their multivariate data (Davis, 1986; Harper, 1999). This results in new variables, which are linear combinations of the original variables. It is used to reduce the data set to just two variables (the first two components) in the generated graphs; being hypothesized that the most important components are correlated with other variables. "If most of the variance is taken into account by the first two components, the analysis was a success, but if the variance is distributed more or less uniformly between the components, PCA was, somewhat, less successful "(Hammer, 2012, p.68).

3.4. Geochronological and fossil-diagenetic analyses

The samples were collected from the fossiliferous layer for dating using Optically Stimulated Luminescence - OSL. Post-cranial bone fragments of different colors and densities were also selected for X-Ray Diffractometry (XRD) analysis.

OSL analysis was performed at the Gamma and Luminescence Spectrometry Laboratory of the Institute of Geosciences of the University of São Paulo (USP). Five sediment samples were selected for OSL analysis. The OSL curves were measured using an automated Thermoluminescence/OSL reader, model RisØ-DA20. Luminescence was detected in the ultraviolet-UV region using a U-340 filter. The single-aliquot regenerative dose (SAR) protocol in coarse-grained quartz was applied for the D_e evaluation, according to Murray and Wintle, 2000.

The XRD analysis was carried out at the Soil Department of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE). In order to perform the X-ray diffraction tests on the analyzed fossils, the powder method (Debye-Scherrer) was used to obtain a qualitative analysis of its composition (Borges, 2000).

From each sample, a portion of approximately 1 g of bone structures, triturated with the aid of a Dremel 3000 microretic Model 225, was removed until they became powder (clay fraction). The material was placed in sample port of alumina and then analyzed by X-Ray diffraction (XRD) using a Shimadzu XRD 6000 diffractometer (voltage of 40 KVA and amperage of 30 mA). The analysis was performed under the following conditions: $K\alpha$ -Cu radiation, in a scanning range of 5 to $70^\circ 2\theta$ and scanning speed of $1.5^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$. The identification of mineral phases was done by comparing the diffractometric standard obtained with data sheets of the PDF-Powder Diffraction Files / ICDD - International Center for Diffraction Data.

For the fossil-genetic analysis, 10 thin sections of the fossils of different bones (e.g. ribs and vertebrae) and with different colors and densities were prepared. The thin sections were made at the Brazilian Geological Survey-CPRM, Recife Unit, following the traditional protocols for making thin sections for fossil samples (Padian and Lamm, 2013).

The histological index of Hedges and Millard (1995) was used for the analysis of the integrity of the microscopic bone structure, which classifies the bone histology according to the degree (%) of diagenetic degradation in five stages.

4. Results and Discussion

4.1. Paleobiological aspects

4.1.1. Taxonomic and bone representations

Eremotherium laurillardi is the most abundant taxon (NISP=112; MNI=10), followed by (NISP=23; MNI=5), *Notiomastodon platensis* (NISP=15; MNI=4), *Glyptotherium* sp. (NISP=1; MNI=1), Gliptodontidae indet. (NISP=1; MNI=1), *Ocnotherium giganteum* (NISP=1; MNI=1), *Cerdocyon thous* (NISP=1; MNI=1), *Piauhitherium capivarae* (NISP=2; MNI=1) and Pilosa indet. (NISP=3; MNI=1) (Figure 4 e 5; Table 2). Therefore, based on the analysis of Table 2, the Zabelê tank deposit is classified as a macrofossil dominant, paucitaxic and monodominant assemblage (*E. laurillardi* composing more than 50% of NISP).

[Figure 4 --- here ---]

[Figure 5 --- here ---]

[Table 2 --- here ---]

Eremotherium laurillardi has been considered the most frequent species in the quaternary fossil deposits of Brazil, mainly in the Northeast region (Bergqvist et al., 1997). This increase may be related to the abundance of their populations in the biocoenosis and/or to the fact of having more compact bones without medullary channels, conferring greater resistance to the destructive processes (Santos et al., 2002; Bergqvist et al., 2004; Araújo-Júnior and Porpino, 2011). Exceptionally, we recorded a greater amount of astragalus (n = 12) of this species in the deposit - which greatly favored the attribution of MNI. This pattern was also verified in the Lage Grande paleontological site (Araújo-Júnior et al., 2013b). The abundance of astragalus would be related to the abundance of these individuals in the biocoenosis, instead of a preservation bias (Araújo-Júnior et al., 2013b). Therefore, it is possible that this is also the best explanation for the abundance of astragalus and, consequently, *E. laurillardi* in SPZ.

The presence of the canid *Cerdocyon thous* (MNI = 1) represents a rare finding in a tank deposit. Fossil carnivorous findings are rare in RIB, with more frequent records in karst deposits (*Cerdocyon thous* in the Bahia State, Lessa et al., 1998; *Cerdocyon thous* and *Procyon troglodytes*, *Arctotherium* sp., *Smilodon populator* and *Leopardus* cf *L. tigrinus* in the Rio Grande do Norte State (Porpino et al., 2004). The tank deposits that can be registered are *Leopardus* sp. and Pantherinae indet. in the State of Paraíba (Araújo-Júnior et al., 2015) and *Smilodon populator* in the State of Ceará (Bergqvist et al., 1997; Araújo-Júnior et al., 2013a) and at the Lagoa da Pedra site in the state of Pernambuco (Viana and Agostinho, 1995). Three hypotheses are suggested to explain the low representativity of carnivores in these deposits: (i) the low representativity of carnivores in fossiliferous accumulations is related to the low population density of the species of this group (Behrensmeyer and Dechant-Boaz, 1980); (ii) the habitat of individuals may not have been in the vicinity of the tank; and (iii) the debris flow and the lowest FTI values <50, which may have contributed to the dispersion of these residues, because they are smaller specimens, would be easily dispersed (see items 4.5 and 4.2.3) not fossilized and not preserved in the tank. In addition, isolated fragmented bone elements that have not been identified may have influenced the absence of important taxa.

In the accumulation of Zabelê, there is a large percentage of post-cranial elements (> 90%), many of them difficult to identify, and the cranial elements are scarce (NISP≤0.98%). With regard to the abundance, the ribs (n = 80), vertebrae (n = 48) and isolated teeth (n = 28) were the most frequent specimens in the Zabelê assemblage. Such a pattern is expected since vertebrae and teeth are the most abundant elements in vertebrate skeletons (Moore, 1994). Long bones are among the most fragmented.

The low occurrence of phalanges and metacarpals is uncommon (Araújo-Junior et al., 2013b). It is possible that they have been removed from the thanatocoenosis by selective biostratinomic processes (e.g., transport via debris flow), since these small elements are easily transportable (Voorhies, 1969, Behrensmeyer, 1991; Araújo-Júnior et al., 2012). Clavicles are absent and scapulae are sparse and fragmented (n = 1); they are fragile elements, and therefore difficult to preserve (Moore, 1994), especially in thick sediments such as the fossiliferous layer from which they were recovered.

4.1.2. Ontogenetic spectrum and type of death

The accumulation is composed mostly of adult individuals (89.84%), followed by juveniles (5.25%) (including immature individuals), subadults (4.26%), and senile individuals (0.65%) (Fig. 6A). All subadult individuals belong to the species *E. laurillardi*. The juvenile stage is rare, represented by an immature individual of *Notiomastodon platensis*, a rare occurrence for tank deposits, based on the fact that the highest frequency in tanks are adult individuals (Araújo-Júnior et al., 2013a, b., 2015).

The dominance of adults relative to the subadults indicates a selective death scenario for the biocoenosis existing during the Late Pleistocene (Shipman, 1981; Holz and Simões, 2002). The presence of juvenile individuals also corroborates a selective death scenario. However, tank deposits are commonly affected by the temporal mixing phenomenon, which may bias the ontogenetic profile of the fossiliferous accumulations (Araújo-Júnior et al., 2013a) and bring difficulty to the inferences related to the ontogenetic profile.

An alternative explanation for the predominance of adults over the reduced number of juveniles is that, in a drought scenario (arid/semi-arid environment) during long-distance migrations in search of water sources (current tank), adults would be more resistant than juveniles (e.g. Wiest et al., 2016), and consequently a larger number of adult individuals would reach the tank (as we find today). In addition, juveniles are more susceptible to predation and disease, which would explain the reduced number in SPZ or even the absence in other accumulations of other tanks in northeastern Brazil.

4.2. Biostratinomy

4.2.1. Physical integrity, disarticulation, shape and dimensions

The specimens found in the Zabelê fossiliferous accumulation are disarticulated and fragmented, rarely complete (Figures 7 and 8). There was a prevalence of isolated remains, rarely associated, suggesting that the thatochenosis was submitted to different processes to separate, fragment and disperse skeletal elements (Tomassini and Montalvo, 2013). The results of the biostratinomic analyses can be visualized in Figure 6.

[Figure 6 --- here ---]

[Figure 7 --- here ---]

Regarding fragmentation, 62.54% are fragmented (<50% of preserved bone), 23.19% are partially complete (50-90% of complete bone) and 14.27% are complete (> 90% of bone preserved) (Figure 6B). There are different degrees of bone integrity at the same fossiliferous level, ranging from whole bones to fragmented elements (Figure 8).

Phalanges, metacarpal and astragalus are the most complete specimens. In other tanks, the highest integrity of the phalanges was attributed to the smaller size and reduced impact surface when compared, for example, to the ribs and long bones (Bergqvist et al., 2011; Araújo-Júnior et al., 2012). It is possible that this was the factor responsible for the greater physical integrity of these specimens in SPZ.

In general, the teeth have greater resistance to taphonomic agents (Simões and Holz, 2010) and, therefore, are more complete. However, the teeth of *T. platensis* and *N. platensis* (incisors) of SPZ are, for the most part, fragmented. This was due to trampling by large animals before burial (Fernandez-Jalvo and Andrews, 2016) as well as the sedimentation of the reservoir itself, also evidenced by *in situ* breaks in long bones (Figure 8C and D).

[Figure 8 --- here ---]

Long bones are the most abundant (56.07%), followed by irregular bones (25.57%) and short bones (16.72%), the bones being scarcer (1.64%) (Fig. 6C). The higher frequency of long bones is explained by the greater abundance of this element in vertebrate skeletons (Moore, 1994; Araújo Júnior et al. 2013a) and it is possible that fragmentation artificially increased the frequency of long bones in the accumulation. Thus, the same may have occurred in SPZ.

In the Zabelê accumulation, the dimensions between 101 and 150 mm (24.91%) are predominant, with the least frequent being those with dimensions between 401 and 450 mm (0.65%). Because the accumulation is mostly composed of megamammals, it would be expected that the dimensions between 401 and 450 mm would be more frequent (Fig.9). However, when comparing with the results of the degree of fragmentation, it is verified that the dimension pattern was the result of the degree of fragmentation of the taphocoenosis, assuming a pattern similar to that observed by Araújo-Júnior et al. (2013a). In this case, the data are interpreted as results of subaerial exposure before burial and/or rework.

[Figure 9 --- here ---]

4.2.2. *Physical changes in the bone surface*

4.2.2.1 *Abrasion*

The abrasion marks on the Zabelê fossiliferous assemblage are distributed as follows: 50.98% are moderate, and only 19% of the specimens show strong abrasion. (Fig. 6D). Among the latter, ribs and fragments of long bones predominate. Among the elements identified, the vertebrae and the astragalus are the ones with the most abrasion marks. Here, these signs are located mainly in epiphyses of long bones and in the more prominent edges of short bones, such as astragalus and navicular (Fig. 10). Among the elements with greater amount of moderate abrasion the vertebrae are predominant (38%). Most elements with strong abrasion are unidentified and fragmented elements. Many of these elements were collected below or between the bones with better preservation.

In the context of peripheral assemblages (*sensu* Araújo-Júnior, 2016), moderate abrasion has been interpreted as a result of the remobilization of the specimens inside the tanks and/or short transport (Araújo-Júnior et al., 2013a, 2017; Scherer et al., 2017). This interpretation can be extended to the fossil accumulation of SPZ, in which the remobilization inside the tank may have acted on the abrasion of the specimens. Therefore, the transport of SPZ, judging by the level of abrasion and the presence of subangular grains in the layers, was short.

[Figure 10 --- here ---]

4.2.2.2 *Weathering*

The pattern of bone weathering observed is: 89.85% of specimens are in stage 0; 8.52% are in stage 1; 0.98% in stage 2; and 0.65% in stage 3. Stages 4 and 5 are absent, suggesting a relatively short period of subarea exposure before final burial (Behrensmeyer, 1978) (6E and Fig. 11).

Among the weathered specimens, most specimens are in stage 1, which is one of the most common taphonomic signatures in tank deposits (Araújo-Júnior et al., 2015, 2017). However, SPZ taffocenosis predominates in stage 0. This pattern may be related to the relatively lower subaerial exposure of SPZ thanatocoenosis when compared to other Brazilian tank deposits.

[Figure 11 --- here ---]

4.2.2.3 Breakage

The fractures in the Zabelê accumulation related to taphonomic processes comprise 28.20%, and the remaining 71.80% comprise complete specimens or without breaks related to taphonomic processes. They occur predominantly in long bones, especially in the ribs ($n = 66$; 21.63% of NISP). In these, the breaks that occur most frequently are irregular perpendicular (7.88%), smooth (6.89%) and spiral breaks (5.24%). About 8.19% present other fracture patterns such as compression, columnar, flaking/chipped and longitudinal, and "Y" shaped (Fig. 6F). Irregular perpendicular breaks to the largest axis of the bone are generally produced by the processes of trampling or transporting fresh bones, whereas spiral breaks result from the breaking of dry bones (Shipman, 1981). The smooth perpendicular breaks are generated after the fossilization and, therefore, were produced by the action of reworking events of preexisting layers (Shipman, 1981). A similar pattern has been observed in several other tank deposits (Araujo-Júnior et al., 2013a, 2015, 2017; Ribeiro, 2014; Scherer et al., 2017). In the case of SPZ, many of the irregular and smooth perpendicular breaks also present rounding of the fragmented portions. In the case of irregular breakage, rounding may have been generated by the transport process. In the smooth breaks, however, rounding may have been produced by the same process that led to the reworking and exposure of previously buried remains. This pattern was also observed in the Fazenda Nova tank deposit in the state of Pernambuco (Alves et al., 2007).

4.2.3 Biogenic modifications

4.2.3.1 Trampling

In the SPZ, 17.21% of the NISP (52 specimens) had trampling marks (Fig. 12 and 6G). These marks are predominant in long bones, mainly in the ribs ($N = 28$; 9.18%), followed by astragalus ($N = 5$; 1.64%). The trampling marks overlap and do not present a linear trajectory (Domínguez-Rodrigo, 2009), being more clearly visible in a binocular loupe (Fig. 12).

The trampling marks are associated with irregular and smooth perpendicular breaks (Fig. 12). The association between trampling marks and irregular breaks supports the idea that

this process may have generated both striations and breaks during the biostratinomic phase. On the other hand, the association between trampling marks and smooth breaks may indicate that: (i) the trampling generated only striations, without generating any fracture in the specimens, which were later reworked, generating smooth breaks; and / or (ii) trapping features were produced only after the exhumation of the bioclasts when they were already fractured (with smooth breaks).

[Figure 12 --- here ---]

4.2.3.2 Gnawing marks

Gnawing marks occur only in indeterminate taxa, represented by two isolated ribs (DGEO-CTG-UFPE 7985, Fig. 13A,B and DGEO-CTG-UFPE 7989, Fig. 13 C,D) (Fig. 13), and a pelvic girdle fragment (DGEO- UFPE 8031, Fig. 14C,D), which correspond to 1.31% of NISP. In long bones, these features occur mainly on the proximal surface, perpendicular to the largest axis of the bone. The possibility that the marks were produced during the collection and/or preparation of the specimens was excluded because they have the same coloration of the unaffected bone surface (Araújo-Júnior et al. 2011, 2013a). Below we present the ichnological systematic.

Systematic ichnology

Ichnogenus *Nihilichnus* Mikuláš et al., 2006

Nihilichnus nihilicus

Analyzed material: DGEO-CTG-UFPE 7985, isolated rib undetermined.

Locality and age: Zabele, municipality of Capoeiras, Pernambuco State, Brazil; Late Pleistocene-early Holocene age.

Description: the bioerosion structure shows an individual ovoid perforation in the cortical bone, with irregular margins resulting from small breaks inside the perforation, which has a flat bottom. On average, they are 5 mm in diameter.

Comments: Bite marks in the form of ovoid pits, arising from perpendicular impression of teeth not penetrating the bone are diagnostic features of ichnospecies *Nihilichnus nihilicus* can be interpreted as results of individual bites - are individual, non-standard holes, may reflect the transverse contour of the tooth or dental nodes (Mikuláš et al. 2006) associated with

feeding. We rule out being another ichnogenera, as they lack the diagnostic traits like straches or grooves associated to *Machichnus* or breaking associated to *Brutalichnus*.

Systematic ichnology

“chaotic biting traces”

Analyzed material: DGEO-CTG-UFPE 7787, right tibia *E. laurillardi*; DGEO-CTG-UFPE 7989, isolated rib indet; DGEO-CTG-UFPE 8031, pelvic girdle.

Description: the specimen DGEO-CTG-UFPE 7787 presents an isolated perforation of sub-quadrangular shape, close to the articular surface, ~ 100mm in height, with irregular breaks inside the perforation, which also has irregular margins forming a groove.

DGEO-CTG-UFPE 7989 has a single circular perforation in the cortical bone. It has irregular breaks inside the perforation and the margins are irregular, forming a cavity of about 3 mm in diameter.

DGEO-CTG-UFPE 8031, has only a single sulcus oriented randomly in the cortical bone (~ 5 mm in diameter). No breaks within the mark were observed.

Comments: The traces in these specimens are attributed to the mastication of bone particles to obtain the digestible mass of the periosteal or spongy bone, varying according to the producer's teeth and the substrate, but does not correspond to any recurrent pattern (Mikuláš et al., 2006), which hinders the ichnotaxonomic attribution.

[Figure 13 --- here---]

[Figure 14 --- here ---]

The register of butchering marks is added to the rare records for RIB (Araújo-Júnior et al., 2011, 2013a, 2017 and Dominato et al., 2011). These marks are important because they provide evidence of the necrophagy process. The isolated, irregular and broad marks (3-7 mm in height) located near the epiphyses are characteristic of large felidae bites (Haynes, 1983). The marks described here are close to the bony epiphyses, also highlighting marks with > 7

mm in height, such as DGEO-CTG-UFPE 7787. Thus, the morphology and location suggest that the marks may have been produced by a large felidae (e.g. *Puma concolor*, *Panthera onca*, *Smilodon populator*) when feeding on decaying carcasses (Araújo-Júnior et al., 2011, 2017; Dominato et al., 2011).

In addition to this, the morphology, dimensions and absence of scratches rule out the possibility of being produced by a canid. Thus, although *Cerdocyon thous* occurs in SPZ, this organism should not have been the producer of the observed traits. Finally, the presence of butchers' marks on the above specimens corroborates the interpretation of subaerial exposure of the specimens prior to burial (Haynes, 1980; Behrensmeyer, 1991; Araújo-Júnior et al., 2011, 2013a, 2017).

4.2.3.3 Modifications by invertebrates

Markers were found in only one indeterminate rib fragment (0.33% of NISP) (DGEO-CTG-UFPE 7988) (Fig. 15). The low frequency of these marks may also be associated with abrasion, weathering and other taphonomic processes that may have masked the features (Araújo-Júnior et al. 2013a). As with butchering marks, the interior of the mark has the same coloration as the unaffected bone surface (Araújo-Júnior et al., 2011, 2013a), ruling out the possibility of it being a recent mark. Below we present the ichnological systematic:

Systematic ichnology

Ichnogenus *Cubiculum* Roberts et al. 2007

Cubiculum ornatus

Analyzed material: DGEO-CTG-UFPE 7988, isolated rib undetermined.

Locality and age: Zabele, municipality of Capoeiras, Pernambuco State, Brazil; Late Pleistocene-early Holocene age.

Description: Presents the individual, shallow bioerosion structure, consisting of a discrete ovoid hollow chamber in the compact bone up to the spongy bone. The chamber is 5 mm deep. The main axis measures 7 mm and the minor axis ~ 5mm. When seen in high

magnification, bioglyphs (surficial morphology) are observed on chamber walls, are shallow, paired and sometimes overlapping between 0.5 and 0.9 mm wide.

Comments: Based on these characteristics, it is possible to assign this chamber to the ichnospecies *Cubiculum ornatus* Roberts et al., 2007. In the *Cubiculum levis* the boring boundaries, walls, and bottom are sharp and smooth and bioglyphs are absence. *Cubiculum ornatus* borings are interpreted as insect pupal chambers, based on close resemblance to modern arthropod pupae and ancient examples of bone-hosted pupal chambers (Kitching, 1980; Rogers, 1992) and dermestid beetles (Rogers, 1992; Martin and West, 1995). However Roberts et al., (2007) linking these traces to the activity of necrophagous or osteophagous carrion insect fauna avoiding associating with only dermestid beetles.

The record here described of *C. ornatus* is the first for the RIB and one of the rare records for the Quaternary of South America. These bone alterations caused by insect marks are very useful in taphonomic and paleoecological studies, given the sensitivity of these organisms to local conditions (humidity, temperature and luminosity) (Roberts et al., 2007; Araújo-Júnior and Bissaro-Júnior, 2017). In this sense, the presence of *C. ornatus* in SPZ suggests (i) feeding interaction between insects and mammalian remains; and (ii) subaerial exposure of carcasses before burial.

[Figure 15 --- here ---]

4.2.3 Transport

Regarding transport, the three FTI transport groups are present in SPZ. The intermediate elements are the most abundant (FTI 50-75), followed by the most transportable elements (FTI > 75). Finally, the less transportable elements are those of lower abundance (FTI < 50) (Fig.16).

[Figure 16--- here ---]

In the absence of transport or of short distance, it is expected that the elements with FTI values > 75 (most abundant elements in the skeleton) are the most frequent in the fossiliferous accumulation, decreasingly followed by FTI 50-75 (pair elements) and, finally, FTI < 50 (heavier elements). FTI values 50-75 and FTI < 50 are expected, however the

percentage seen in $FTI > 75$ is abnormal, being below the expected amount. These data show that although the specimens are close to the death site (peripheral assemblage) there may be some transport process (e.g., debris flow) which removed the lighter elements of the tanathoenose. A similar pattern was identified by Araújo-Júnior et al. (2013a) for the Jirau tank.

Finally, with regard to the classification of the assemblage in relation to the place of death of individuals, the results obtained in the analysis of degrees of abrasion (~70% of abraded specimens) and articulation (absence of articulated fossils), as well as FTI ($FTI > 75$: 31.72%, $FTI 50-74$: 56.39%, and $FTI < 50$: 11.89%), allow to classify SPZ as a peripheral assemblage (*sensu* Araújo-Júnior, 2016). However, the data presented here suggest another interpretation of the place of death in addition to the use of FTI. Although we have sedimentological and paleoenvironmental evidence of the flow action in sheet (see above), in SPZ, bones preserved *in situ* are preserved almost completely, without signs of transport (Figure 8B). This suggests that at least part of the biocoenosis was buried *in situ*, in which case a mixed accumulation model of the peripheral/*in situ* type was proposed.

4.3. Fossildiagenesis

4.3.1 Color

Four different color patterns were observed: brown (76.39%), mixed (gray + brown + black) (13.77%), beige (6.23%) and gray (3.61%) (Fig.6G), suggesting distinct pigment impregnation events during fossildiagenesis (Araújo-Júnior et al., 2013a). The beige fossils are more friable and less dense, unlike the gray specimens, which were denser and with a higher degree of abrasion; the majority of the taxa present brown color, which is predominant in the fossils of tank deposits, with the mixed and gray colors being the rarest (Araújo-Júnior et al., 2015).

The petrographic and XRD data show that these colors may be the result of impregnation of iron oxides and hydroxides (goethite) (resulting in a brown color) and manganese (resulting in a dark color), since even the fossils which are gray or with dark spots have the predominance of hydroxyapatite. In contrast, in the Lage Grande tank, the variation of a single color (dark) was interpreted as the performance of a single impregnation event by opaque minerals (Araújo-Júnior et al., 2013b). Moreover, the precipitation of manganese

oxides in the fossils reflects alkaline and oxidizing conditions of the preservation environment during periods of drought (Tomassini et al., 2015). In Fig. 15B, one kind of impregnation of Mn is noted, exhibiting a dendritic arrangement in the form of stains on the bones.

4.3.2 Histological patterns, physico-chemical changes and others

In the cross sections of the samples the mammalian bone pattern is observed (Fig. 17A). In relation to the mineralogical characteristics, the thin sections showed different degrees of microstructural preservation, one with degree of preservation corresponding to categories 4 and 5 of Hedges and Millard (1995) (i.e. > 85% of preserved histological microstructures, mainly brown fossils), with no signs of compression (<33% of the preserved lamellar structure), and 3 (> 67% of preserved histological microstructures) with signs of compression (observed in fossils of all colors) (Figure 17D). These characteristics were also observed by Andrade et al. (2018) in megamammals in the Pleistocene river context of the Madeira River, Rondônia, southwest Amazon, Brazil.

The presence of alterations was observed, such as the radial microcracks crossing the walls of the secondary osteons (transversal sections, 4x magnification) (Fig. 17A arrows), similar to the model proposed by Pfretzschner (2000) (Fig. 17 B). These microcracks are produced in secondary osteons of specimens preserved under subaquatic conditions (Pfretzschner, 2000, 2004, Pfretzschner and Tütken, 2011). In this way the radial microcracks indicate an environment exposed to periodic flood events (Tomassini et al., 2015, Pfretzschner and Tütken, 2011), as in the case of the deposit here studied with alternating rainfall and drought (Fig. 17).

[Figure 17--- here ---]

The thin sections showed the presence of permineralization of the bone microstructure by iron oxides and hydroxides (Fe^{2+} and Fe^{3+}) starting from the circumferences of the osteons, as in the model proposed by Pfretzschner (2000) (Fig. 17C). Microcrystalline calcite (CaCO_3) was also detected from reaction with cold 10% HCL (Figure 18). Apatite predominance was also observed in other tank deposits in the states of Pernambuco (Alves et al., 2007), Alagoas (Silva, 2008), and Paraíba (Carvalho et al., 2007). The predominance of hydroxyapatite is therefore a possible pattern for tank deposits.

[Figure 18--- here ---]

Finally, we do not observe in SPZ: (i) rooting; (ii) corrosion by algae and (iii) post-depositional deformations.

4.4. *Taphonomic view of the paleontological site Zabelê*

The taphonomic processes that acted on SPZ and their relative time are summarized in Fig. 19. The SPZ accumulation resulted from a taphonomic bias for large mammals arising from a death scenario during periods of drought. Mammalian remains were exposed subaerially for a short period of time in peripheral and/or *in situ* thanatocoenosis, where they were disarticulated and the specimens were modified by physicochemical and biogenic factors, such as weathering, trampling (pre-burial breaks), necrophagia (action of insects and butchers) under rainy and drought conditions. Several episodes of debris flow, soon carried some of the skeletal elements (FTI > 75% and FTI 50-74%) of the surrounding thanatocoenosis, along with angular and sub-angular gravels from nearby areas into the tank, generating abrasion on the specimens. However, considering the results observed in item 4.1.2 (ontogenetic spectrum and type of death), the possibility that some of the skeletal remains have been incorporated into the deposit by accidental falls (FTI < 50%) cannot be ruled out, considering the excellent state of preservation of the specimens (Fig. 8b).

Considering more than one fossilization event, new carcasses were introduced along with lighter specimens (e.g., phalanges, metacarpals) in the thanatocoenosis via debris flow. It is also possible that, during these floods episodes, some of the specimens that form the taphocoenosis inside the tank may have also been reworked, given the presence of post-fossilization breaks. Taphonomic processes such as weathering, transport, reworking, and trampling have altered the compositional fidelity of the assemblage in relation to the original biocoenosis (e.g. ontogenetic profile, identification of the type of death), also mixing specimens with distinct taphonomic signatures, although some of the original paleobiological patterns appear to have been preserved (Xenarthra's relative abundance). The microcracks in the osteons were generated under subaquatic conditions in the thanatocoenosis or in the taphocoenosis. Finally, taphocoenosis (under subaquatic environment) was affected by permineralization and oxi-hydroxides of Fe and Mn and impregnation by Mn, but the

environment remained stable, thus conserving the original apatite of the bone, without replacement. Probably, these minerals (Fe and Mn) came from the weathering of the rocks of the bottom of the tank.

Cyclic entry of carcasses through floods (debris flow) , together with bone transport and reworking as well as biogenic events (e.g. trampling in peripheral or *in situ* thanatocoenosis), resulted in the mixing of nonconcurrent bioclasts, producing a fossiliferous assemblage with temporal mixing, a frequent phenomenon in RIB tanks (Araújo-Júnior et al., 2013a, 2017). The co-occurrence of some taphonomic characteristics in SPZ are evidence for temporal mixing, including: (a) fragmentation (Behrensmeyer, 1991; Bown and Kraus, 1981; Badgley, 1986; Wood et al., 1988; Schröder-Adams et al. 2001); (b) adult dominance over sub-adults, which is more indicative of temporal-mixed accumulations than assemblage generated by catastrophic death, suggesting a death caused in a drought period; (c) diagenetic differences - macroscopic and microscopic - among the specimens, which are the most consistent evidence to interpret the temporal mix, since they suggest that the bones underwent mineralization at different time periods, although the processes in peripheral thanatocoenosis (with aerial or sub-aerial exposure) should have been distinct from *in situ* thanatocoenosis (accumulated in a sub-aqueous environment). Considering this complex framework, it is impossible to quantify the degree of temporal mixing in the formation of SPZ fossiliferous accumulation.

[Figure 19--- here---]

4.5 Multivariate analysis and comparative taphonomy

The most common taphonomic signatures in SPZ are disarticulated, fragmented and moderately abraded specimens. Disarticulation and fragmentation occur when there is subaerial exposure prior to burial (Hill and Behrensmeyer, 1984; Behrensmeyer, 1991) and suggest that the bones were deposited in the tank after a period of decay of the carcasses. This is corroborated by the occurrence of weathered specimens with slight modifications, indicating circumstances of subaerial exposure (Behrensmeyer, 1978).

Based on FTI analysis and abrasion, three transport agent patterns are evident in the tank deposits: (a) In SPZ the three FTI groups are represented, predominantly the FTI Group 50-75. This pattern can be explained by the following hypothesis: moderate abrasion generated by hydraulic transport during a moderate time interval, but at a short distance

(peripheral and/or *in situ*). This same pattern was observed in the João Cativo tank deposit (Araújo-Júnior et al., 2017). In SPZ the thanatocoenosis from which this deposit derived was carried by a non-selective agent (debris flow). It is probable that in João Cativo the same process may have occurred; (b) Campo Alegre, Curimatãs, Lage Grande and Jirau maintained the same positioning observed in Araújo-Júnior et al. (2017). c) SPZ and João Cativo are more similar to each other; Jirau, however, is plotted in an isolated point in the R-mode cluster analysis and in the correspondence analysis - Taphonomic Setting C (Fig. 20 B e 21 A).

[Figure 20 --- here ---]

[Figure 21 --- here ---]

SPZ is included in Taphonomic Setting B, which includes rarer taphonomic features, such as biogenic traits (trampling and teeth marks); however, no anthropogenic marks were observed; on the other hand, we have the first occurrence of the action of *Cubiculumornatus*. The Jirau tank, in turn, remained in the Taphonomic Setting C, which is also rare in tanks, in the same position observed by Araújo-Júnior et al. (2017), leaving only the strong abrasion that is positioned in Taphonomic Setting A. Taphonomic Setting C included the specimens in weathering stages 3 to 5, with teeth marks, trampling and FTI 50-75 (Fig. 21A).

The teeth marks occur in few specimens and, unlike other records that attribute the marks - scratches - to medium sized canids (Araújo-Júnior et al., 2011), here the larger diameter perforations and the absence of scratches show that they were produced by felids, possibly *Smilodon populator*. Even though the SPZ exhibits a lower degree of exposure and short transport, the correspondence analyses (Fig. 21A) in Taphonomic Setting C, in Jirau, position the teeth marks close to the higher stages of weathering and strong abrasion, suggesting that the necrophagia occurs preferentially under conditions of prolonged subaerial exposure. However, SPZ presents a predominance of weathering in stage 0, which shows a shorter period of subaerial exposure, demonstrating that scavengers - including the insects that generated the trait attributed to *C. levis* - can also act on carcasses in periods of lesser time of exposure or *in situ* with carcasses submitted to a low water level subaquatic environment (in partial exposure). The marks would not only occur under conditions of low sedimentation rates - but at shorter intervals with no rainfall.

Thus a drought scenario (arid/semi-arid environment) explains the marks of butchers and necrophagous insects in SPZ, because during periods of water stress and little available food resources, necrophages would use available carcasses, which makes the marks common and expected in this scenario (e.g. Wiest et al., 2016). Moreover, the small number of tarsal and carpal elements show that the carcass was partially dismembered, possibly for consumption.

The deposits of Zabelê, João Cativo and Jirau (Configurations B and C, Fig. 21A; Sites B, Fig. 20B), obtained through the principal component analysis (PCA) (Fig. 21B): an FTI between 50-75, fragmented specimens and weathering stage 0 (plotting intermediate), fragmentation and disarticulation. These are unusual and particular deposit sets produced when the environments around the tanks probably went through variations in their rates of sedimentation (decrease), rework (increase) or biogenic activity (increase) (Araújo-Júnior et al., 2017). In the grouping Curimatãs, Lage Grande and Campo Alegre (Fig. 21B) the signatures that are associated to these tanks are: moderate abrasion, weathering stage 1 and $FTI > 75$ (Configuration A, Fig. 21A, Sites A, Fig. 20B), being typical assemblages for tank deposits, possessing the most diagnostic taphonomic signatures. The other taphonomic signatures were plotted at the lowest values, i.e., they are rarer and not typical in the analyzed tanks, being less diagnostic signatures.

As in SPZ, tanks with Configuration B incorporated taphonomic biases introduced during the recurrent events of reworking and temporal mixing of the remains, limiting the power of paleoecological information (Araújo-Júnior et al., 2017). Thus, it reinforces that even with the differences in the age of the deposits, the taphonomic processes identified were recurrent along the Pleistocene-Holocene boundary in the RIB, according to the SPZ age indicated here (item 2). However, in agreement with Araújo-Júnior et al. (2017), the set of taphonomic processes is similar among the evaluated tanks, but the cyclicity of such processes probably varied, as suggested by the evidence for variations in the subaerial exposure rates of the bioclasts in some tanks (see analyses of abrasion and weathering stages in Fig. 6D and E).

4.6. Comparison with other tank deposits: depositional and paleoenvironmental aspects

The fossiliferous accumulations of tank deposits vary between paucitaxic (e.g. Fazenda Nova, Alves et al., 2007; Lage Grande, Araújo-Júnior et al., 2013b; Lagoa do Rumô; Ribeiro, 2014; Riacho Verde, Araújo-Júnior et al., 2016; Lagoa das Abelhas, Scherer et al., 2017; and Lagoa do Rancho, Scherer et al., 2017) and multitaxic (e.g. Lajea Formosa, Carvalho, C. et al., 1966; João Cativo, Bergqvist et al., 1997 e Araújo-Júnior et al., 2017; Jirau, Araújo-Júnior et al., 2013a; Curimatã, Bergqvist et al., 1997, and Araújo Júnior et al., 2015). The fossil accumulation of SPZ is assigned to the first group, which results from a taphonomic context that selects large vertebrates, rather than being an original ecological pattern of biocoenosis (Araújo-Júnior et al., 2011).

The abundance of *Eremotherium laurillardii* in SPZ is congruent with the other compared sites, where this species is highly represented. This pattern reinforces the previously existing idea that factors such as increased bone strength (Santos et al., 2002; Bergqvist et al., 2004; Araújo-Júnior et al., 2013a) and the larger size of the Late Pleistocene (Araújo-Júnior et al., 2013a) were conditioning factors that strongly influenced the differential preservation of this species in BIR.

In SPZ a small number of small mammals (only one specimen attributed to *Cerdocyon thous*), as well as the absence of other groups of vertebrates (e.g. amphibians, crocodiles, turtles or birds), were observed. This is common to other deposits of Brazilian tanks and there are three hypotheses that may explain this pattern: (i) the fragility of the skeleton of these animals to the taphonomic processes, making it impossible to preserve the tank; (ii) individuals of these species visited the tanks only sporadically for occasional foraging or drinking (see Araújo-Júnior et al., 2013a); and/or (iii) aqueous streams, such as that which generated the fossiliferous layer, would be sufficient to disperse the remains of small and medium sized mammals. The interpretation of a relatively short subaerial exposure time from the analysis of the biostratigraphic features (e.g. features indicative of weathering, trampling and necrophagy) makes the hypothesis (i) less plausible. On the other hand, the FTI pattern observed and the periodic removal of more transportable elements (see FTI in item 4.2.3) suggests that the lighter specimens were removed from the thanatocoenosis, making hypothesis (iii) more likely. Finally, due to the absence of evidence, it is not possible to discard hypothesis (ii).

Regarding the carcasses transport, the results obtained in the analysis of the degrees of abrasion, joint and FTI classify SPZ in a peripheral assemblage (= short transport). A similar

degree of transport was inferred for the vertebrate thanatocoenosis of natural tanks from the states of Rio Grande do Norte (Santos et al. 2002a), Pernambuco (Alves et al., 2007), Bahia (Ribeiro, 2010) and Paraíba (Araújo-Júnior and Porpino, 2011; Araújo-Júnior et al., 2015). However, as seen above, in addition to the use of FTI in tank tanks as well as *in situ* bone registration with no transport signals in SPZ, we classify SPZ as a mixed, peripheral/*in situ* accumulation.

Moderate abrasion is one of the most common taphonomic signatures of tank deposits (Araújo-Júnior et al., 2015, 2017). It is related to the deposition in high-energy environment, debris-flow, and in SPZ and in sites of the state of Pernambuco, Rio Grande do Norte and Ceará (Alves et al., 2007; Santos et al., 2002a; Araújo-Júnior et al., 2013a, 2013b). The abrasion marks, along with the other taphonomic signatures and statistical analyses, contribute to elucidate hypotheses about the deposition of bioclasts in natural tanks during the Late Pleistocene (Paula Couto, 1980; Bergqvist et al., 1997; Araújo-Júnior et al., 2017).

As for the breakage pattern, the association between pre- and post-burial breaks seen in SPZ is similar to the patterns in other tank deposits (Araújo-Júnior et al., 2013a, 2013b, 2015, 2017 and Ribeiro, 2014). As previously mentioned, this association results from the reworking process of pre-existing fossiliferous layers and subsequent mixing with specimens more recently incorporated into the thanatocoenosis. This agreement shows that this process occurred on a regional scale in the BIR.

Regarding the period of exposition of carcasses before burial, SPZ assemblage weathering stages indicate an even shorter period of subaerial exposure when compared to other similar assemblages (e.g. Faria et al., 2013; Araújo-Júnior et al., 2017, Scherer et al., 2017). Therefore, it is possible that the fossil record of tanks encompasses both *in situ* fossiliferous accumulations, with higher subaerial exposure (e.g., Jirau), and those of short subaerial exposure period (SPZ) (see Figure 6D, item 4.6).

Biogenic tags are rare in tank deposits, currently with records only in the state of Ceará (Araújo-Júnior et al., 2013a), Pernambuco (Araújo-Júnior et al., 2013b) and Paraíba (Carvalho, 2018). Here registered are different signs of biogenic action (trampling, butchering marks and insects), including features not previously reported for these deposits, such as insect marks. In Brazil, such features had only been recorded in vertebrates of the Santa Maria Formation (Upper Triassic of the Paraná Basin) (Paes Neto et al., 2016), in remains of the mastodon *N. platensis* of Araxá (Dominato et al., 2009) and in a tooth of *E. laurillardii* from

the Rio Madeira Formation (Upper Pleistocene) (Nascimento et al., 2011). The record here reported increases the number of registrations of these marks in the Quaternary of South America.

Based on the evidence of insect and butcher marks, besides trampling, we could suggest a drought scenario as more likely to the death of SPZ biocoenosis in the Late Pleistocene (Figure 24), since it is more plausible to associate these taphonomic signatures to the scarcity of water resources. The producer of the mark attributed to *Cubiculum ornatus* acts during the exposure of the carcasses during dry periods, and the larvae of these insects avoid moisture (e.g. Schroeder et al., 2002; Woodcock et al., 2013). The evidences of these marks point to a scenario of use of carcasses by butchers. However, the low occurrence of specimens with these marks can be explained by: a) under conditions of water stress, there were more carcasses available than butchers to consume them, and b) specimens that had such marks may not have been preserved in the tank. Both hypotheses can be considered here. Being the last remaining water tanks of the late Pleistocene (e.g. Paula Couto, 1980), such a scenario applies to SPZ, similar to that suggested by Wiest et al. (2016).

As for the period of subaerial exposition in SPZ being shorter and presenting the biogenic marks, the SPZ demonstrates a differentiated pattern of the tanks that have these marks, which present the longest exposure time (eg Jirau, Araújo-Júnior et al., 2013a). This factor shows that the action of scavengers is possible even on carcasses that have had a relatively short period of subaerial exposure, both in peripheral and *in situ* thanatocoenosis.

In relation to the fossildiagenesis, the permineralization process could be observed in SPZ, with the presence of Fe oxides and hydroxides and calcium carbonate (CaCO₃) and Mn impregnations at microstructural and macroscopic level, conserving the original hydroxyapatite of the bone itself - without replacement. In a similar way, these processes were also described in the Palaeontological sites of Jirau (Araújo-Júnior et al., 2013a), Lage Grande (Araújo-Júnior et al., 2013b) and Lagoa do Rumô (Ribeiro, 2014) and Curimatã-Júnior et al., 2015). However, these other sites are even more diverse in terms of fossil-genetic processes, since they also present substitution (e.g. Silva, 2008; Araújo-Júnior et al., 2013a; Carvalho, 2018).

As a result of impregnation by iron oxides and hydroxides, the specimens exhibited different colors, predominantly brown, which is commonly found (Dupras and Schultz, 2014). When associated with the soil in the process of fossildiagenesis, the black or brown coloration

in the case of soils is resultant of the organic matter of the soil itself and the magnetite (Fe_3O_4), reflecting oxidant conditions. Mixed stains (with black spots) or ash are associated with the reduction of manganese (Mn^{2+}), which is the most abundant metal in the soil (Emsley, 2001). The beige coloration may be associated, in this case, to the exposure to the sandy matrix of the soil (Dupras and Schultz, 2014), predominant in the stratigraphic layers of ZPS. Finally, the gray color is related both to sun exposure and to amalgamated mercury impregnation. In the context of ZPS, associated with the bone density observed in the pieces, it is more likely that the gray color results from the sun exposure (Dupras and Schultz, 2014). Thus, the ZPS color pattern analysis shows that it is within the common color pattern for the fossils from BIR (Araújo-Junior et al., 2015).

Considering the faciological attributes of texture, sedimentary structures, as well as the tabular architecture of the fossiliferous layer, it is interpreted as originating from high density, low turbulence, unconfined debris flows that entered the accommodation space of the tank. This corroborated the previously analyzed tanks, which reconhecenham the origin of the deposit of debris flow (floods). In addition, the ZPS corroborates the model of tanks with different layers (Mabesoone et al., 1990).

Thus, the edges of the tanks influenced the deposition of the skeletal remains. The ZPS is a shallow, armchair-shaped, pond-like natural tank with less steep edges and covered by clastic sediments. The specimens are oriented, less fragmented (when compared to other tanks, e.g. Fazenda Nova), complete *in situ* and some associated. This indicates that tanks with less steep and shallower edges contribute to a better preservation of the skeletal accumulation, corroborating Araújo-Júnior et al. (2013b). On the other hand, tanks with steeper edges show more degraded fossil accumulations (see examples in Cabral-de-Carvalho et al., 1966; Bergqvist et al., 1997; Araújo-Júnior et al., 2013a).

The formation of SPZ taphocenosis is supported by the debris flow (floods). In this process, aqueous flows dragged the smaller carcasses and perhaps part or most of larger carcasses, as well as pebbles into the tank's interior; in drought periods, however, the carcasses underwent subaerial exposure and processes of modifications (e.g., scavengers, weathering), combined with biogenic alteration, such as trampling. In this case, the thick subanguluous sediments suggest a relatively short transport distance relative to the source area and a relatively unstable hydrodynamics (Peng et al., 2017). In other tanks Bergqvist et al. (1999a) also report the presence of thick sediments in the basal layers by grading for silt and clay in the upper layers, suggesting that the energy decreases toward the top of the sequence

(Suguio, 2003). This characteristic is corroborated in SPZ, whose, with the large or small bioclasts and gravel are restricted only to the lower layer.

Such changes in the depositional processes in the alluvial fan are usually consequence of climate shifts (absence or presence of rainfall) or in the geomorphological evolution of the terrain (Bishop, 1980; Suguio, 2003). Thus there was a climatic alternation, between dry and rainy periods, in which the floods – debris flow- came from pluviometric events (Nichols, 2009). This was alternated with periods of drought, leading to the subarea exposure and oxidizing conditions, resulting in the conglomerate and afossiliferous sandstone layers, being the probable death scenario of the individuals.

The ages of the fossiliferous layer 41.2 ± 2.1 ky BP and $40,300 \pm 8,600$ years AP are coincident with these intervals of climate change. In addition, they are situated within the range obtained from the dating of other tanks from BIR, which are between the intervals $\sim 10,000$ AP years and $\sim 120,000$ AP years, i.e. Final Pleistocene (Dantas et al., 2017). In Figure 22 we see a reconstruction of the paleoenvironmental scenario of the current region of the Zabelê Paleontological Site, Capoeiras.

[Figure 22 --- here ---]

In spite of other factors, the influence on the amount of rainfall, the contribution of the sedimentation and the morphology influence the sediment deposition process in the tanks. Based on the evidence presented here, the deposition inside the tanks was strongly influenced by the alternation between high energy flows - torrents caused by rainfall, as well as the action of the gravitational force associated with the debris flows. The evidence presented in SPZ and the previously discussed evidence (Araújo-Junior et al., 2013a, 2013b, 2015, 2017a) are discordant regarding the hypotheses of sedimentary contributions in tanks as suggested in initial studies (e.g. Paula Couto, 1953; Santos, 1982).

5. Conclusions

The study shows that adult dominance in relation to sub-adults and juveniles, is related to greater resistance of adults to migrate from distant sources for water in the tank compared to juveniles during a dry season (absence of rain). In ZPS there was the taphonomic bias for the preservation of large mammals. The abundance of megamammals in comparison to small

mammals (*Cerdocyon thous*) is related to the greater bone resistance and / or the abundance of these megamammals in the biocoenosis associated to the Zabelê tank in the late Pleistocene. *Eremotherium laurillardi* is the most frequent taxon (> NISP number and NMI). The low representativity of carnivores (*Cerdocyon thous*) is also related to the low population density of the species, or their niches could be distant from the site of fossilization; a pattern that is also observed in other tanks from BIR.

In relation to biostratinomy, after death, the carcasses were disarticulated and damaged by necrophagous agents and trampling (which influenced their fragmentation, with patterns associated with the breaks). The thanatocoenosis was exposed for a short period, but due to the transport agent via debris flows deposition, there was a mixture of bones already deposited with another subsequent fossilization event in the tank. A short transport caused by debris flows deposited remains into the tank, along with clasts from nearby sources, as well as other debris were incorporated *in situ*. The upper layers - conglomerate sandstone - above the fossil layer, of lower energy and lower particle size, do not record mammalian fossils. The Zabelê accumulation can be classified as mixed, that is, peripheral and *in situ*, and in Taphonomic Setting B, indicating a decrease in sedimentation rates, reworking and increase of biogenic activity. In addition, abrasion and weathering may have masked the taphonomic signatures, resulting in a reduced number of scavengers / butchers and in the absence of other signatures.

With regards to reworking, it is likely that the specimens that formed the Zabelê tank assemblage have undergone more than one reworking cycle (Taphonomic Setting B), resulting in the fragmentation of the material and mixing of old bones with the newly deposited ones (seen in the rounding of the breaks). Based on the results of the FTI analysis, we conclude that the abrasion observed in the fossils is due to rework rather than heavy transport. In addition, there was the presence of whole specimens *in situ*. Considering the debris flow, it is suggested that these specimens were buried *in situ*.

Microstructures are preserved having the typical characteristics of mammalian bones. There were two types of microstructural preservation. The first corresponds to more than 85% of the preserved original histology (being possible to differentiate types of tissues and microstructures); the second corresponds to less than 33% of the original histology, considering poor preservation (preserving trabeculae and part of the lost microstructure). This pattern shows a good microstructural preservation in relation to other tanks in which thin section analyses were performed.

The observed fossil-diagenetic features indicate that permineralization was the predominant fossilization process, with no substitution, having impregnation, which may have influenced the better histological preservation, in some cases. In addition, the mineralogical and color differences observed in the material reinforce the temporal mixing inference for the studied assemblage, markedly under the influence of an underwater environment (due to the presence of microcracks indicative of water influence).

The Zabelê accumulation shows biostratigraphic and diagenetic characteristics typical of alternations between rainy and dry periods. The layers indicate the occurrence of alternation between high and low energy flows generated by the same depositional process.

The temporal range obtained here was 41.2 ± 2.1 ky BP (fossil layer) and 35.3 ± 1.2 ky BP being correlated to climatic alternations in the Pleistocene of the Northeast of Brazil and other ages of the RIB obtained based on fossils.

A comparison between SPZ and other tank deposits in northeastern Brazil revealed rarer taphonomic and sedimentological patterns. The SPZ records, in an unprecedented way for the tank deposits of the RIB, the sedimentation event generated through deposition in an alluvial fan sheet. In general, the Zabelê taphonomic signatures, considering transport and reworking, allied to the influence of biogenic activity, exerted a strong influence on the preservation of the specimens. Therefore, such comparisons associate the taphonomic complexity of the SPZ resultant of reworking and, consequently, temporal mixing.

Acknowledgements

At CNPq process no. 480275/2012-2 (Systematics, paleoecology and paleoenvironmental study of tank deposits with megafauna from the Quaternary of the state of Pernambuco), which provided the fieldwork in the Zabelê Site. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, scholarship number: 936476662291) by the doctoral scholarship granted to the first author. The team of the Paleontology Laboratory (PaleoLab-UFPE) for the field assistance. To the Municipality of Capoeiras for the aid to the field logistics. To the microscopy team of the CPRM, Recife, Hismana Carjoa and Gener, for making the thin sections. To prof. Dr. Sandra B. Barreto (Laboratory of Gemology -UFPE) for the photomicrographs and the technician Maurílio Amâncio de Moraes for the help in the description of the thin sections; to Prof. Dr. Valdomiro Souza-Júnior (Laboratory of Soils-UFRPE), for the accomplishment of the analysis of XRD; to the

professors. Lucila Ester P. Borges and Carlinda Campelo (Laboratory of Mineralogy-UFPE) for their assistance in the interpretation of XRD and Profa. Dr. Sônia H. Tatumi (UNESP) for performing the LOE analyzes. To prof. Dr. Gelson Fambrini (UFPE) for the suggestions and assistance in the elaboration of the stratigraphic profile. To Luciano Vilaboim dos Santos (Laboratory of Paleontology of the Museum of Natural Sciences of PUC-MG) for the help in the identification of skeletal elements.

References

- Alves, R.S., Barreto, A.M.F., Borges, L.E.P., Farias, C.C. 2007. Aspectos tafonômicos no depósito de mamíferos pleistocênicos de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. *Estudos Geológicos* 17, 114-122.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O. 2011. Assembleias fossilíferas de mamíferos do Quaternário do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil: diversidade e aspectos tafonômicos e paleoecológicos. *Pesquisas em Geociências* 38, 67-83.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O., Bergqvist, L.P. 2011. Marcas de dentes de carnívoros/carniceiros em mamíferos pleistocênicos do Nordeste do Brasil. *Revista brasileira de Paleontologia*. 14(3), 291-296.
- Araújo-Júnior, H.I., Bissaro Júnior, M.C., Santos, T.T., Alves, R.S., Bergqvist, L.P. 2012. Tafonomia da megafauna Pleistocênica brasileira: *Fluvial Transport Index* (FTI) em análises de representatividade óssea. *Revista Brasileira de Paleontologia* 15 (1), 95-104.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O., Bergqvist, L.P. 2013a. Taphonomic analysis of a Late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande Paleontological Site, Pernambuco State, Northeastern Brazil: New remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quaternary International* 317, 88-101.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O., Ximenes, C.L., Bergqvist, L.P. 2013b. 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., Moura, G.J.B. 2014. Anuros (Amphibia, Anura) do Pleistoceno final-Holoceno inicial de Itapipoca, estado do Ceará, Brasil: taxonomia, paleoecologia e Tafonomia. *Revista brasileira de paleontologia*. 17(3): 373-388.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O., Bergqvist, L.P. 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. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 437, 1-17.
- Araújo-Júnior, H.I. 2016. Classifying vertebrate assemblages preserved in Quaternary tank deposits: Implications for vertebrate taphonomy and paleoecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 445, 147–152.
- Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O., Bergqvist, L.P. 2017a Origin of bonebeds in Quaternary tank deposits. *Journal of South American Earth Sciences* 76, 257-263.
- Araújo-Júnior, H.I., Barbosa, F.H.S., Silva, L.H.M. 2017b. Overlapping paleoichnology, paleoecology and taphonomy: Analysis of tooth traces in a Late Pleistocene-early Holocene megafaunal assemblage of Brazil and description of a new ichnotaxon in hard substrate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 468, 122-128.
- Araújo-Júnior, H.I., Bissaro-Júnior, M.C. 2017. Tafonomia de vertebrados em ambientes continentais. In: Horodyski, R.S., Erthal, F. (Org.), *Tafonomia-Métodos, Processos e Aplicação*. Editora CRV. pp.175-236.
- Andrade, L.C. 2018. Microestruturas ósseas e a fossilização em vertebrados pleistocênicos da Formação Rio Madeira, Sudoeste Amazônico, Brasil. *Geologia USP. Série Científica* 17 (4), 125-138.
- Badgley, C. 1986. Counting individuals in mammalian fossil assemblages from fluvial environments. *Palaio* 1, 328-338.
- Behrensmeyer, A.K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology* 4, 150 -162.
- Behrensmeyer, A. K., Dechant- Boaz, D. E. 1980. The Recent bones of Amboseli Park, Kenya, in relation to East African paleoecology. In: Behrensmeyer, A.K., Hill, A.P. (Eds.), *Fossils in the making*. University of Chicago Press, Chicago, pp.72-92.
- Behrensmeyer, A.K. 1982. Time resolution in fluvial vertebrate assemblages. *Paleobiology* 8, 211-227.
- Behrensmeyer, A.K. 1988. Vertebrate preservation in fluvial channels. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 63, 183-199.
- Behrensmeyer, A.K. 1991. Terrestrial vertebrate accumulations. In: Allison, P.A., Briggs, D.E.G. (Eds.), *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. Plenum Press, New York, pp. 291-335.

- Bergqvist, L. P. Mamíferos pleistocênicos do Estado da Paraíba, Brasil, depositados no Museu Nacional, Rio de Janeiro. 1989, 171 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia). Programa de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1989.
- Bergqvist, L.P., Gomide, M., Cartelle, C., Capilla, R. 1997. Faunas-loais de mamíferos pleistocênicos de Itapipoca/Ceará, Taperoá/Paraíba e Campina Grande/Paraíba. Estudo comparativo, bioestratinômico e paleoambiental. *Geociências* 2, 23-32.
- Bergqvist, L.P., Abuhid, V.S., Lessa, G. 2004. Mamíferos. In: I.S. Carvalho (Ed.). *Paleontologia 2 d.* Rio de Janeiro, Interciência, p.833-861.
- Bergqvist, L.P., Almeida, E.B., Araújo-Júnior, H.I. 2011. Tafonomia da assembleia fossilífera de mamíferos da “ Fenda 1968 ”, Bacia de São José de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 14, 75-86.
- Bishop, W.W. 1980. Paleogeomorphology and continental taphonomy. In: Behrensmeyer, A.K., Hill, A.P. (Eds.), *Fossils in the Making: Vertebrate Taphonomy and Paleoecology*, Midway Reprint, pp. 20-37.
- Borges, L.E. 2000. Difractometria de Raios-x aplicada ao estudo comparativo dos procesos de formação de baterias automotivas. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 115p.
- Bown, T. M., Kraus, M. J. 1981. Vertebrate fossil- bearing alluvial paleosols (Willwood Formation, north- west, Wyoming, USA): implications for taphonomy, biostratigraphy, and assemblage analysis. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 43, 95-128.
- Branner, J.C. 1902. On the occurrence of fossil remains of mammals in the interior of the States of Pernambuco and Alagoas, Brazil. *The American Journal of Science* 13, 133-137.
- Brito Neves, B. B., Santos, E. J., Van Schmus, W. R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: Cordani, U. (Ed.). *Tectonic evolution of South America*, pp. 151-182.
- Britt, B.B., Eberth, D.A., Scheetz, R.D., Greenhalgh, B.W., Stadtman, K.L. 2009. Taphonomy of debris- flow dinosaur bonebeds at Dalton Wells, Utah (Lower Cretaceous, Cedar Mountain Formation, USA). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 280, 1-22.
- Cartelle, C. 1992. Edentata e megamamíferos herbívoros extintos da Toca dos Ossos (Ourolândia, Bahia, Brasil). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 700p.

- Cartelle, C. 1999. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: Eisenberg, J.F., Redford, K.H. (Eds.), *Mammals of the Neotropics: The Central Neotropics*. The University of Chicago Press, Chicago, pp. 27- 46.
- Carvalho, J.N.C. 1966. Considerações sobre a fauna pleistocênica do Lajedo da Escada. In: *Arquivos do Instituto de Antropologia*, Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 303-313.
- Cione, A.L.; Tonni, E.P.; Soilbezon, L. 2009. Did Humans Cause the Late Pleistocene-Early Holocene Mammalian Extinctions in South America in a Context of Shrinking Open Areas? In: Haynes, G. (Ed.), *American Megafaunal Extinctions at the End of the Pleistocene*, p.125-144.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M. 2001. *Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. PRIMER-E, Plymouth.
- Cruz, F. W. et al. 2009. Orbitally driven east--west antiphasing of South American precipitation. *Nature Geoscience* 2 (3), 210-214.
- Dantas, M. A. T., Tasso, M.A.L. Megafauna do Pleistoceno Final de Vitória da Conquista, Bahia: Taxonomia e aspectos tafonômicos. *Scientia Plena*, v. 3, p. 3, p. 30-36, 2007.
- Dantas, M.T., Cherkinsky, A., Bocherens, H., Drefahl, M., Bernardes, C., França, L.M. 2017. Isotopic paleoecology of the Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region: Feeding ecology ($\delta^{13}\text{C}$), niche breadth and overlap. *Quaternary Science Reviews* 170, 152-163.
- Davis, J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley and Sons.
- Dominato, V. H., Mothé, D., Avilla, L.S., Bertoni-Machado, C. 2009. Ação de insetos em vértebras de *Stegomastodon waringi* (Mammalia, Gomphotheriidae) do Pleistoceno de Águas de Araxá, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia* 12(1), 77-82.
- Dominato, V.H.S., Mothé, D., Costa-da-Silva, R., Avilla, L.S. 2011. Evidence of scavenging on remains of the gomphothere *Haplomastodon waringi* (Proboscidea: Mammalia) from the Pleistocene of Brazil: Taphonomic and paleoecological remarks. *Journal of South American Earth Sciences* 31, 171-177.
- Domínguez-Rodrigo, M., Juana, S., Galan, A.B., Rodríguez, M. 2009. A new protocol to differentiate trampling marks from butchery cut marks. *Journal of Archaeological Science* 36, 2643-2654.
- Dupras, T.L., Schultz, J.J. 2014. Taphonomic Bone Staining and Color Changes in Forensic Contexts. In: Pokines, J.T., Symes, S.A (Eds.). *Manual of forensic taphonomy*. CRC Press. Taylor Francis Group, Florida, 315-340.

- Eberth, D.A., Shannon, M., Noland, B.G. 2007. A bonebeds database: classification, biases and patterns of occurrence. In: Rogers, R.R., Eberth, D.A., Fiorillo, A.R. (Eds.), *Bonebeds: Genesis, Analysis and Paleobiological Significance*. The University of Chicago Press, Chicago, 103-220.
- Emsley, J. 2001. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford University Press.
- Oxford, London, U.K. Faria, F.H. C.; Ribeiro, R.C.; Carvalho, I.S. 2013. Feições de intemperismo em fósseis da megafauna do Quaternário tardio de Lagoa do Rumo, Baixa Grande (BA), Brasil. *Brazilian Journal of Geology* 43(1), 37-47.
- Fejfar, O., Kaiser, T. M. 2005. Insect bone modification and paleoecology of Oligocene mammal-bearing sites in the Doupov mountains, Northwestern Bohemia. *Palaeontologia Electronica*, 8(1), 8–11.
- Fernandez-Jalvo, Y., Sánchez-Chillón, B., Andrews, P., Fernández-López, S., Martínez, L. A. 2002. Morphological taphonomic transformations of fossil bones. *Archaeometry* 44 (3), 353–361.
- Fernandez-Jalvo, Y., Andrews, P. 2016. *Atlas of taphonomic identifications: 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification*. Springer, 359p.
- Frison, G.C., Todd, L.C. 1986. *The Colby Mammoth Site: Taphonomy and Archaeology of a Clovis Kill in Northern Wyoming*. University of New Mexico Press, Albuquerque, 238 p.
- Galloway, W.E., Hobday D.K. 1983. *Terrigenous Clastic Depositional Systems – Applications to Petroleum, Coal and Uranium Exploration*. New York, S. Verlag, 423 p.
- Gillette, D.D., Ray, C.E. 1981. Glyptodonts of North America. *Smithsonian Contributions to Paleobiology* 40, 1-255.
- Gomide, M. 1989. Mamíferos pleistocênicos de Itapipoca, Ceará, Brasil, depositados no Museu Nacional. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 173 pp.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electronica* 4, 1e9.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. 2006. *Paleontological Data Analysis*. Blackwell Publishing, Malden.
- Hammer, Ø. 2012. PAST: PAleontological STatistics, v. 3.15. Manual de Referência. 187p.
- Harper, D.A.T. (ed.). 1999. *Numerical Palaeobiology*. John Wiley and Sons.

- Haynes, G. 1980. Evidence of carnivore gnawing of Pleistocene and recent mammalian bones. *Paleobiology* 6, 341-351.
- Haynes, G. 1983. A guide for differentiating mammalian carnivore taxa responsible for gnaw damage to herbivore limb bones. *Paleobiology* 9 (2), 164-172.
- Hedges, R.E.M.; Millard, A. R. 1995. Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*, 22, p. 201-11.
- Hill, A.P. 1979. Disarticulation and scattering of mammal skeletons. *Paleobiology* 5, 261-274.
- Hill, A., Behrensmeyer, A.K. 1984. Disarticulation patterns of some modern East African mammals. *Paleobiology* 10 (3), 366-376.
- Holz, M., Simões, M.G. 2002. Elementos Fundamentais de Tafonomia. Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre.232 p.
- Lessa, G., Cartelle, C., Faria, H. D. Gonçalves, P.R. Novos achados de mamíferos carnívoros do Pleistoceno Final – Holoceno em grutas calcárias do estado da Bahia, 1998. *Acta Geologica Leopoldensia*, 21, 46/47, 157-169.
- Lyman, R.L. 1994. *Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge.552p.
- Mabesoone, J.M., Oliveira, L.D.D., Damasceno, J.M., 1990. Desenvolvimento dos tanques fossilíferos no semi-árido norterio-grandense. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, 25, 2, pp. 733-741.
- Mikuláš, R., Kadlecová, E., Fejfar, O., Dvořák, Z. 2006. Three New Ichnogenera of Biting and Gnawing Traces on Reptilian and Mammalian Bones: A Case Study from the Miocene of the Czech Republic. *Ichnos*, 13,113-127.
- Moore, K.L. 1994. *Anatomia orientada para a clínica*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.1136p.
- Moreira, L.E., Baiocchi, M.N., Costa, M.A., Barbosa, A.S. 1971. O jazimento fossilífero de Pau Ferrado. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Goiás – Museu de História Natural, 1:1-15, 1971.
- Mothé, D., Ávilla, L.S., Cozzuol,M. 2013. The South American Gomphotheres (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae): Taxonomy, Phylogeny, and Biogeography. *Journal of Mammalian Evolution* 20, 23-32.
- Murray, A. S.; Wintle, A. G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32, 57-73.

- Nascimento, E.R. 2011. Registro da ação de insetos em um dentário de *Eremotherium laurillardi* (Megatheriidae, Mammalia), Formação Rio Madeira, Rondônia, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 22, SBP, Natal.
- Nichols, G. 2009. Sedimentology and Stratigraphy. Wiley-Blackwell.432p.
- Oliveira, L.C., Kinoshita, A., Barreto, A.M.F., Figueiredo, A.M., Silva, J.L.L., Baffa, O. 2010. ESR dating of teeth from Brazilian megafauna. Journal of Physics, Conference Series, 249.
- Oliveira, L.D. D., Damasceno, J. M. Registro de novos espécimes de mamíferos fósseis em Lagoa da Cruz – Nova Cruz (RN). In: Congresso brasileiro de paleontologia, 10, 1987. Anais, Rio de Janeiro, UFRJ, p. 189-196, 1987.
- Paes Neto, V.D., Parkinson. A.H., Pretto, F.A., Soares, M.B., Schwanke, C., Schultz, C.L., Kellner, A.W. 2016. Oldest evidence of osteophagic behavior by insects from the Triassic of Brazil. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 453, 30-41.
- Paula Couto, C., 1953. Paleontologia brasileira: Mamíferos. Instituto Nacional do Livro, Rio de Janeiro.
- Paula-Couto, C. 1979. Tratado de Paleomastozoologia. Academia Brasileiras de Ciências, Rio de Janeiro, 590p.
- Paula Couto, C. 1980. Fossil Pleistocene to sub-recent mammals from northeastern Brazil. I- Edentata Megalonychidae. Anais da Academia Brasileira de Ciências 52, 143-151.
- Padian, K.; Lamm, E-T. 2013. Bone histology of fossil tetrapods: advancing methods, analysis, and interpretation. University of California Press Berkeley and Los Angeles, California, 298p.
- Peng, B., Jin, Z., Wang, J. Chang, T., Zhu, X., Gul, B. 2017. The significance and timing of sheetflood vs braided channel deposition on lacustrine fan deltas, Junggar Basin, NW China. Australian Journal of Earth Sciences. <https://doi.org/10.1080/08120099.2017.1379436>
- Pirrone, C.A., Buatois, L.A., Bromley, R.G. 2014.chnotaxobases for bioerosion trace fóssil in bones. Journal Paleontology 88, 195-203.
- Porpino, K.O., Santos, M.F.C.F., Bergqvist, L.P. 2004. Registro de mamíferos fósseis no Lajedo de Soledade, Apodi, Rio Grande do Norte, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia 7 (3), 349-358.

- Pfretzschner, H. U. 2000. Microcracks and fossilization of Haversian bone. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 216 (3), 413-432.
- Pfretzschner, H. U. 2004. Fossilization of Haversian bone in aquatic environments. *Comptes Rendus Palevol* 3, 605-616.
- Pfretzschner, H. U., Tütken, T. 2011. Rolling bones - Taphonomy of Jurassic dinosaur bones inferred from diagenetic microcracks and mineral infillings. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310, 117-123.
- Ribeiro, R.C., Carvalho, I. 2009. Megafauna do Quaternário tardio de Baixa Grande, Bahia, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*, 32(2), pp. 42-50.
- Ribeiro, R.C. 2010. Aspectos tafonômicos dos fósseis da Megafauna do Quaternário tardio de Lagoa do Rumo, Baixa Grande, Bahia. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 116 p.
- Ribeiro, R.C. 2014. Assembleia fossilífera do Quaternário tardio de Lagoa do Rumo, Baixa Grande, Bahia: Tafonomia e Geocronologia. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 150 pp.
- Roberts, E.M., Rogers, R.R., Foreman, B.Z. 2007. Continental insect borings in dinosaur bone: examples from the Late Cretaceous of Madagascar and Utah. *Journal Paleontology* 81(1), 201-208.
- Rolim, J. L. Paleontologia e estratigrafia do Pleistoceno Continental do Nordeste brasileiro "Formação Cacimbas". Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRG, 117f., 1974.
- Roth, S. 1898. Catálogo de los mamíferos fósiles conservados en el Museo de La Plata. Grupo Ungulata, Orden Toxodontia. *Revista del Museo de La Plata* 8, 33-160.
- Santos, R.S. A fauna cenozóica da região Nordeste do Brasil. Coleção Mossoroense, Mossoró, 1982.
- Santos, M.F.C.F., Lima-Filho, F.P., Bergqvist, L.P. 2002. Fósseis pleistocênicos da Ravina do Leon, Lajedo de Soledade, Apodi/RN. *Revista de Geologia* 15, 23-29.
- Schindelin, J.; Arganda-Carreras I.; Frise, E. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nat methods*, v. 9, p.676-682, 2012
- Silva, D. G. 2007. Evolução paleoambiental do depósito de tanques em Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus-Pernambuco. 2007. 154f. (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

- Silva, J.L. 2008. Reconstituição paleoambiental baseada no estudo de mamíferos pleistocênicos de maravilha e poço das trincheiras, Alagoas, Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 244p.
- Simões, M.G., Rodrigues, S.C., Bertoni-Machado, C., Holz, M. 2010. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: Carvalho, I.S. (Ed.), *Paleontologia: Conceitos e Métodos*. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 19-51.
- Simpson, G.G., Paula Couto, C. 1957. The mastodonts of Brazil. *Bulletin of American Museum of Natural History* 112 (2), 1- 65.
- Suguio, K. 2003. *Geologia sedimentar*. Edgard Blücher, São Paulo, 305p.
- Scherer, C. S., Pales, L.F.M., Rosa, M., Silva, S.A. 2017. Chronological, taphonomical, and paleoenvironmental aspects of a Late Pleistocene mammalian fauna from Guanambi, Bahia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 79, 95-110.
- Shipman, P. 1981. *Life History of a Fossil: An Introduction to Taphonomy and Paleoecology*. Harvard University Press, Cambridge.
- Schröder-Adams, C.J., Cumbaa, S.L., Bloch, J., Leckie, D.A., Craig, J., Seif-El-Dein, S.A., Simons, J.H.A.E., Kenig, F., 2001. Late Cretaceous (Cenomanian to Campanian) paleoenvironmental history of the eastern Canadian margin of the Western Interior Seaway: bonebeds and anoxic events. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 170, 261-289.
- Schroeder, H., Klotzbach H., Oesterhelweg, L., Puschel, K., 2002. Larder beetles (Coleoptera: Dermestidae) as an accelerating factor for decomposition of a human corpse: *Forensic Science International*, 127, 231-236.
- Tomassini, R.L., Montalvo, C. 2013. Taphonomic modes on fluvial deposits of the Monte Hermoso Formation (early Pliocene), Buenos Aires province, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 369, 282-294.
- Tomassini, R. L., Miño-Boilini, A. R., Zurita, A. E., Montalvo, C. I., Cesaretti, N. 2015. Modificaciones fosildiagnéticas en *Toxodon platensis* Owen, 1837 (Notoungulata, Toxodontidae) del Pleistoceno Tardío de la provincia de Corrientes, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 32 (2), 283-292.
- Viana, M.S.S., Agostinho, S. 1995. Vertebrados pleistocênicos de Salgueiro –PE. In: *Congresso Brasileiro de Paleontologia. Resumos*, SBP, pp.139-140, Uberaba.
- Vidal, N. 1946. Contribuição ao conhecimento da Paleontologia do Nordeste brasileiro: Notícia sobre a descoberta de vertebrados pleistocênicos no município de Pesqueira, em Pernambuco. *Boletim do Museu Nacional* 6, 1-15.

- Voorhies, M.R. 1969. Taphonomy and population dynamics of an Early Pliocene fauna, Knox County, Nebraska. *Contributions to Geology, Special Paper*, 1, 1-69.
- Wang, X., Auler, A. S., Edwards, R.L., Cheng, H., Cristalli, P.S., Smart, P. L., Richards, D.A., Shen, C. 2004. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature*, 432, 9.
- Waldherr, F. R.; Araújo-júnior, H. I.; Rodrigues, S.W. 2017. Origem e morfologia dos tanques naturais do Nordeste do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 44, 3, p.467-488.
- Wiest, L.A., Esker, D., Driese, S. G. 2016. The Waco Mammoth National Monument may represent a diminished watering-hole scenario based on preliminary evidence of post-mortem scavenging. *Palaio*, 31, 592-606.
- Wood, J.M., Thomas, R.G., Visser, J. 1988. Fluvial processes and vertebrate taphonomy: the Upper Cretaceous Judith River Formation, South-Central Dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 66, 127-143.
- Woodcock, L., Gennard, D., Eady, P. 2013. Egg laying preferences and larval performance in *Dermestes maculatus*: *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 148, 188–195.
- Ximenes, C.L. 2009. Tanques Fossilíferos de Itapipoca, CE: Bebedouros e cemitérios de megafauna pré-histórica. In: Winge, M., Schobbenhaus, C., Souza, C.R.G., Fernandes, A.C.S., Berbert-Born, M., Queiroz, E.T., Campos, D.A. (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil: SIGEP – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos*, Brasília, pp. 465-478.
- Zurita, A.E., Oliveira, E., Toriño, P., Roriguez-Bualó, S.M., Scillato-Yané, G.J., Luna, C., Krapovickas, J. 2011. On the taxonomic status of some Glyptodontidae (Mammalia, Xenarthra, Cingulata) from the Pleistocene of South America. *Annales de Paleontologie*, 97, 63-83.

List of figures:

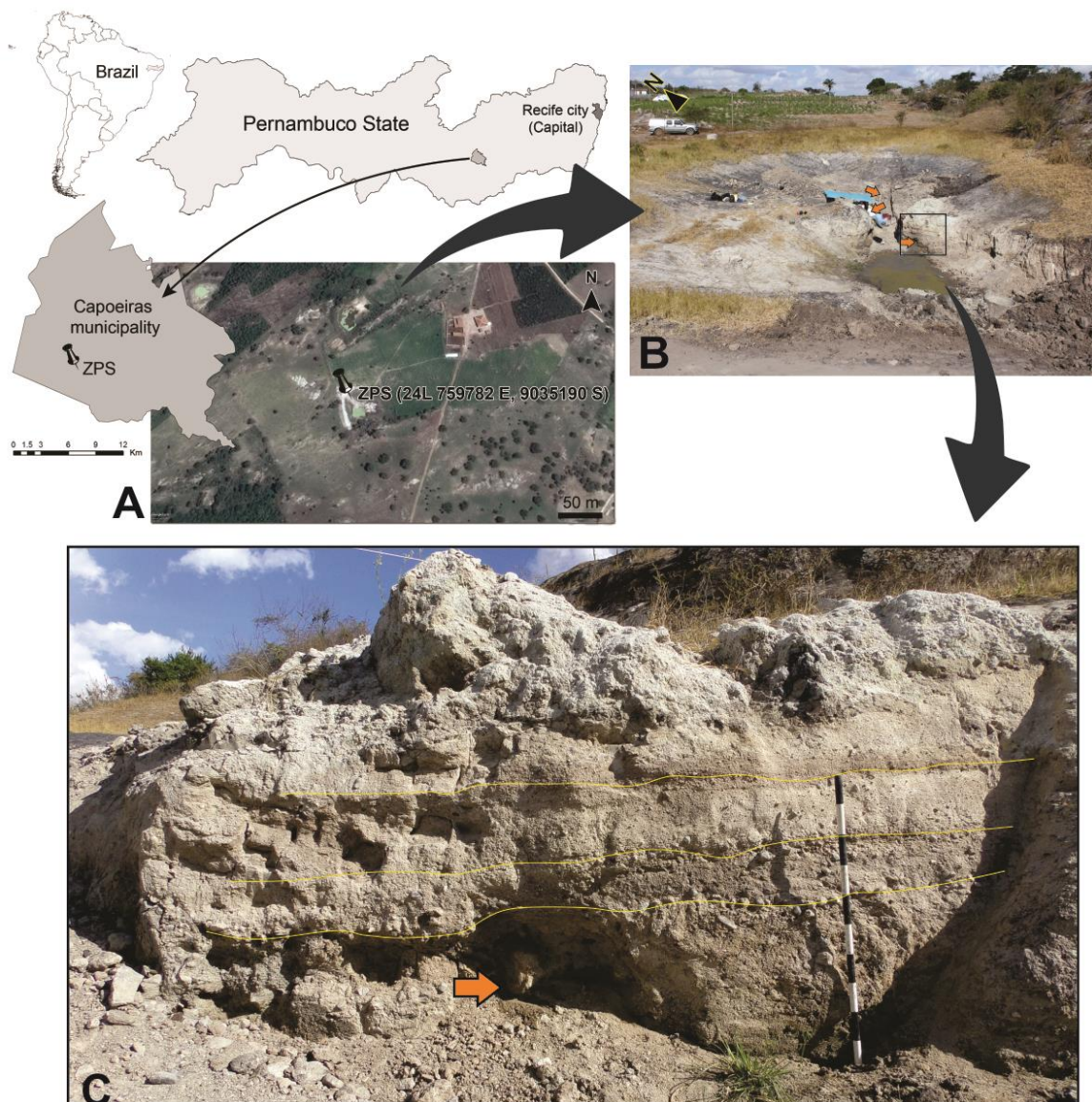


Fig. 1. Location of the Paleontological Site of Zabelê, state of Pernambuco, Brazil. A) Aerial view of the paleontological area (Font: GoogleEarth). B) Panoramic view of the tank deposit (arrows-fossil collection sites in the tank). C) Detail of the most representative profile of the accumulation, illustrating the divisions of layers (arrow- *Notiomastodon platensis* jaw). Escale=100cm.



Fig. 2. Disposition of the skeletal elements in the Zabelê accumulation. A) Dispersed bioclasts, supported by the matrix, with orientation orientated NE-SW and fragmented. B) Detail. C) Schematic drawing.

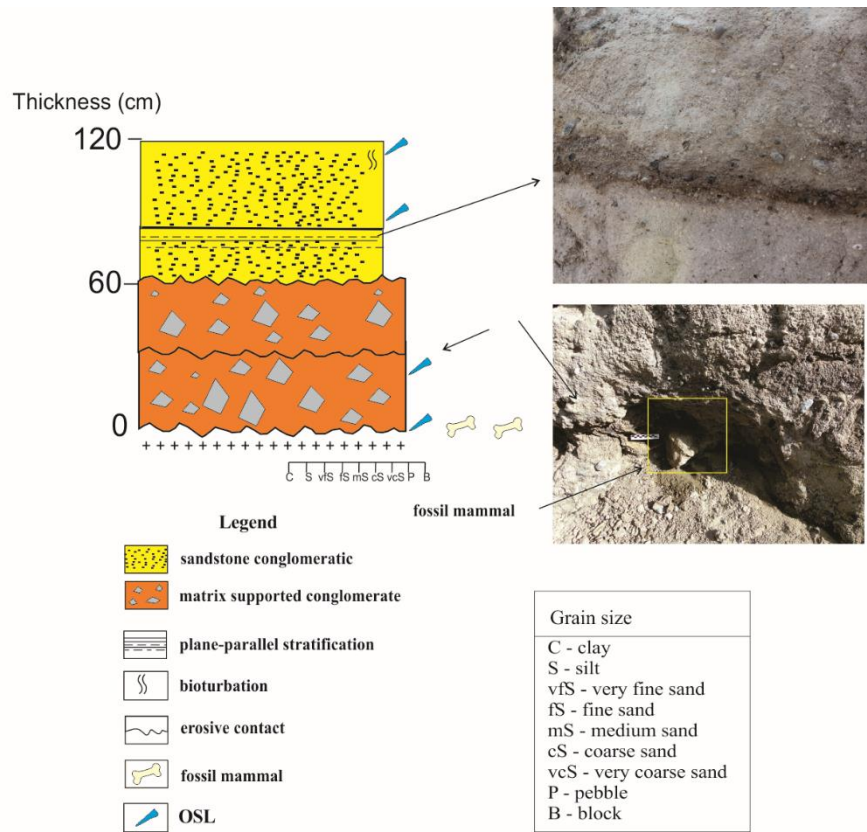


Fig. 3. Schematic stratigraphic profile of the Zabelê Paleontological Site, state of Pernambuco, Brazil.

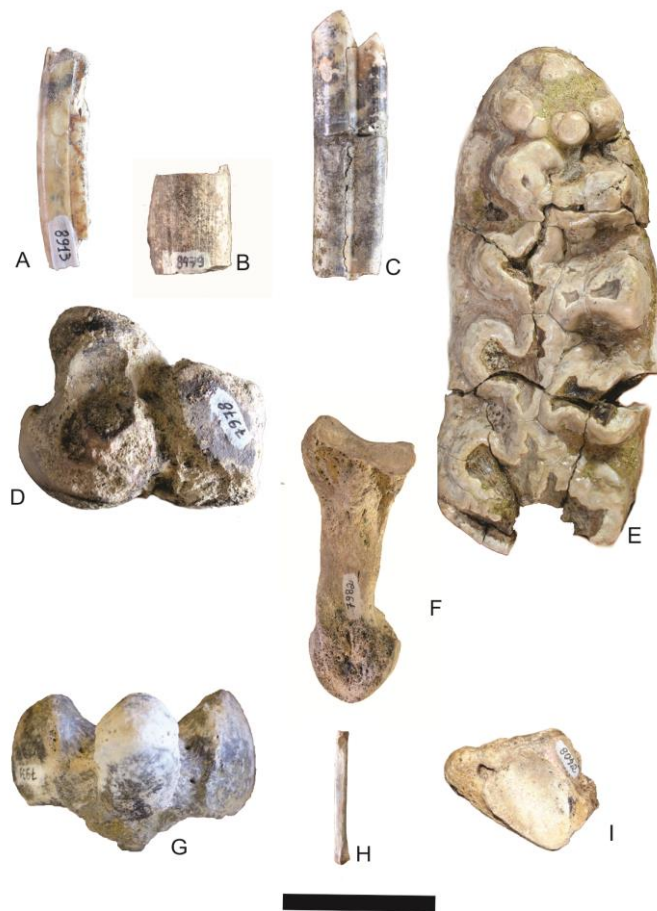


Fig. 4. Taxonomic representativity of Zabelê accumulation. A) Incisive of *T. platensis*. B) Molariforme of *Pilosa*. C) M2 from *E. laurillardii*. D) Astragalus of *Glyptotherium* sp. E. m3 from *N. platensis*. F) MCII of *Piauhitherium capivarae*. G) axis from *Ocnotherium giganteum*. H) Metatarsal of *Cerdocyon thous*. I) Ectocuneiform Glyptodontidae. Scale = 5cm.

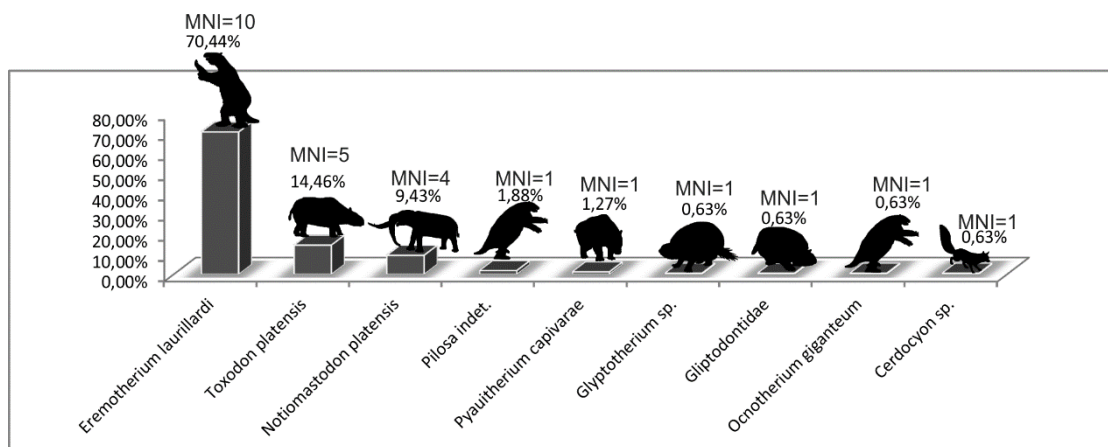


Fig. 5. Proportion of skeletal elements based on NISP and MNI values per taxon in the Zabelê tank.

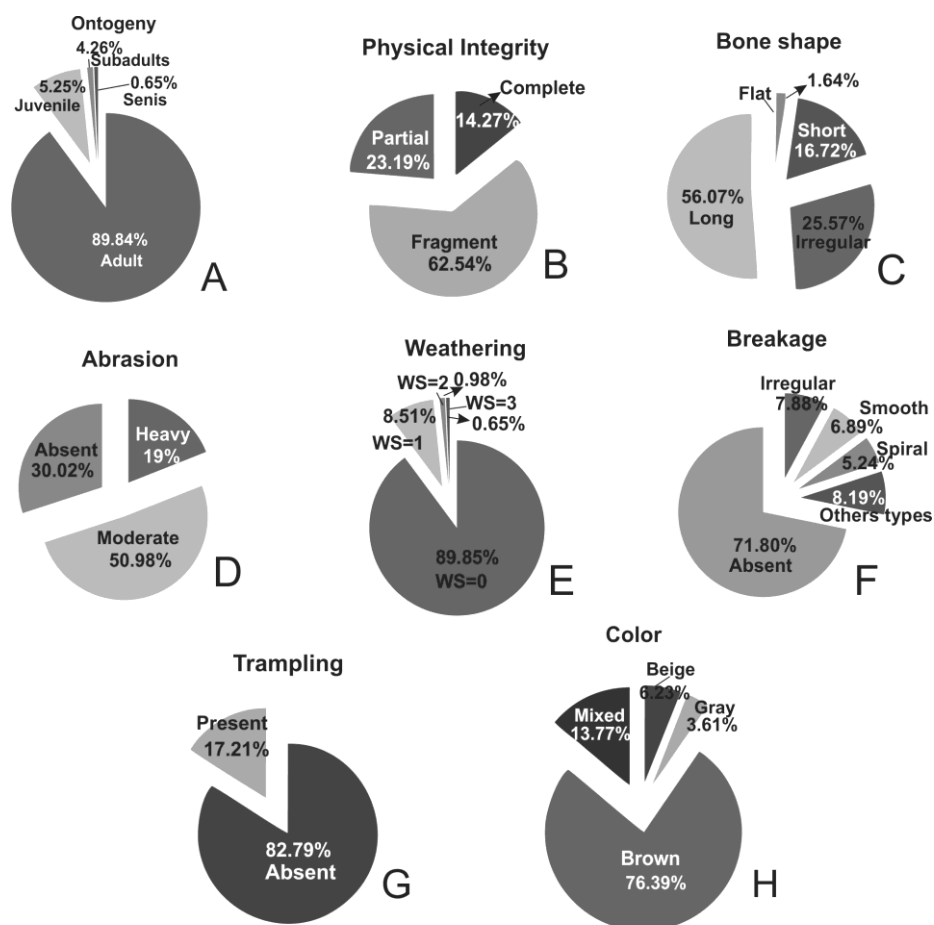


Fig. 6. Graphs of the biostratigraphic analyzes of Zabelê accumulation. A) Ontogeny. B) Physical integrity. C) Bone Shape. D) Abrasion. E) Weathering. F) Breakage. G) Trampling. H) Color.

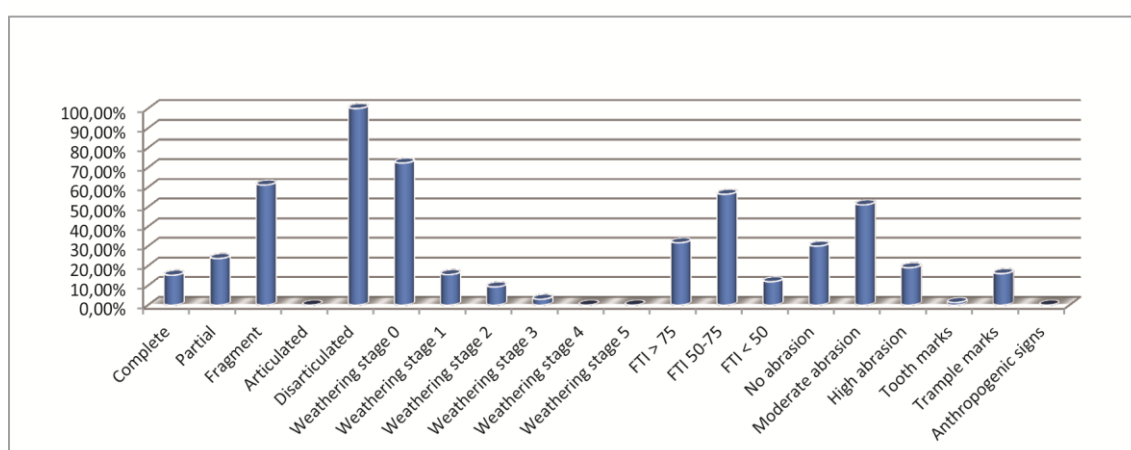


Fig. 7. Graph showing the taphonomic signatures of the Zabelê accumulation.

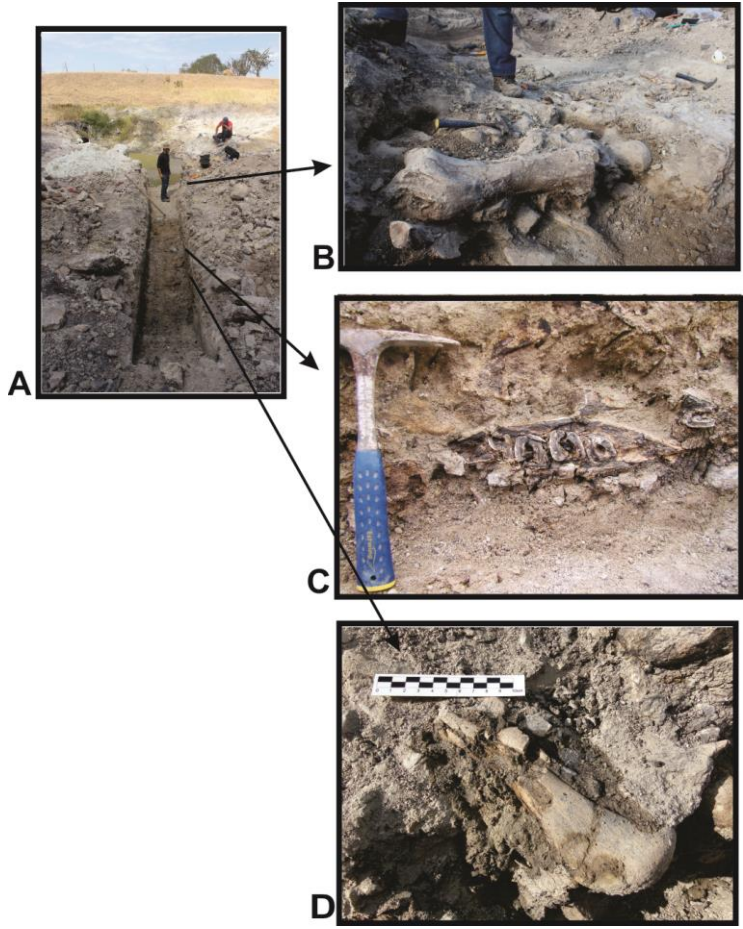


Fig. 8. Skeletal elements differences in degree of integrity in situ. A) Trench where the specimens were collected. B) Complete tibia of *Eremotherium laurilardi*. C) Dentary of fragmented *Eremotherium laurillardi*. D) Fragmented rib.

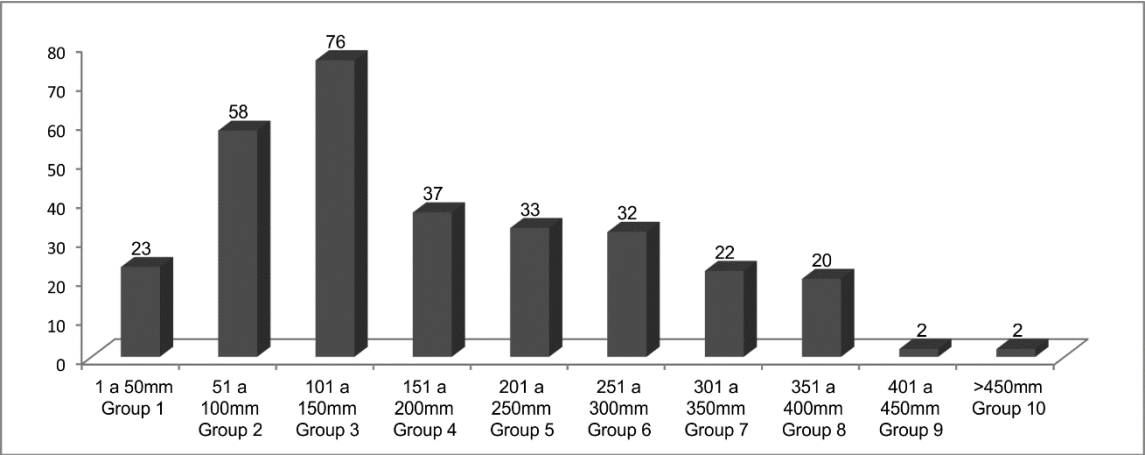


Fig. 9. Analysis of the skeletal dimensions of the Zabelê accumulation.

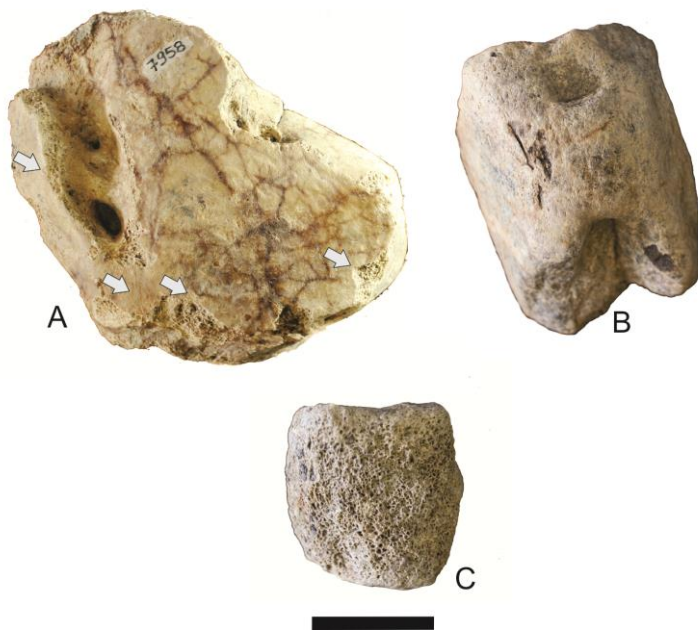


Fig. 10. Elements with abrasion. A) Navicular right, exhibiting moderate abrasion. B) and C) Undetermined skeletal elements, exhibiting strong abrasion. Scale = 5cm.



Fig. 11. Skeletal elements with different degrees of weathering (arrows). A) Specimen exhibiting stage 2 of weathering. B) Specimen exhibiting stage 1 of weathering. Scale = 5cm.

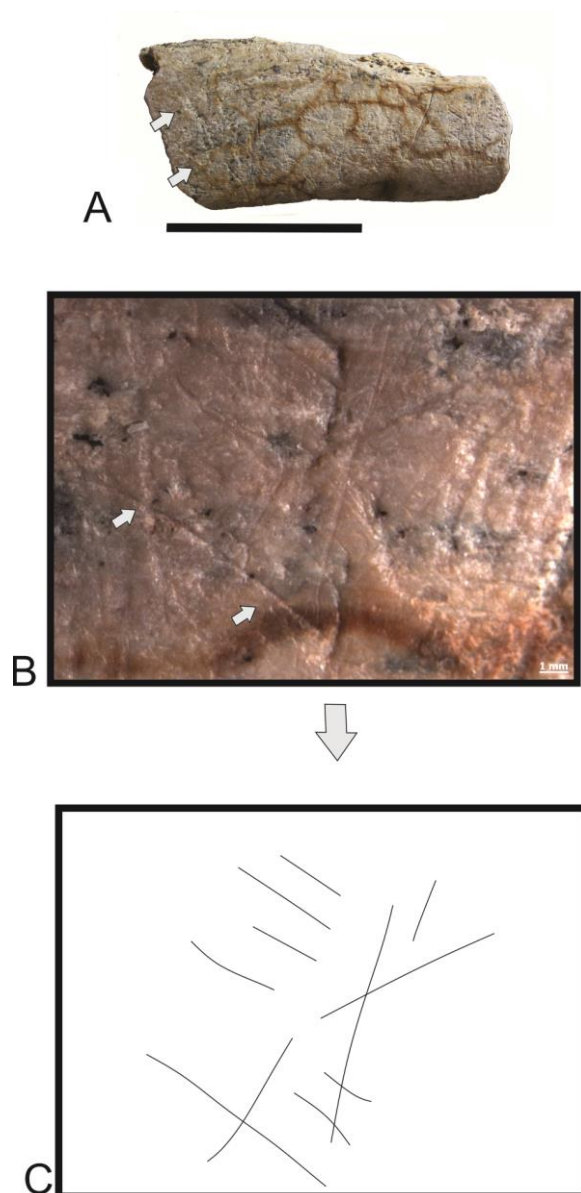


Fig. 12. A) Undetermined rib with trampling marks associated with tapering (irregular) tapering (arrows). B) Zoom marks (Obj 0.5x increase 1x). C) Note that marks are not linear and overlap. Scale = 7 cm.

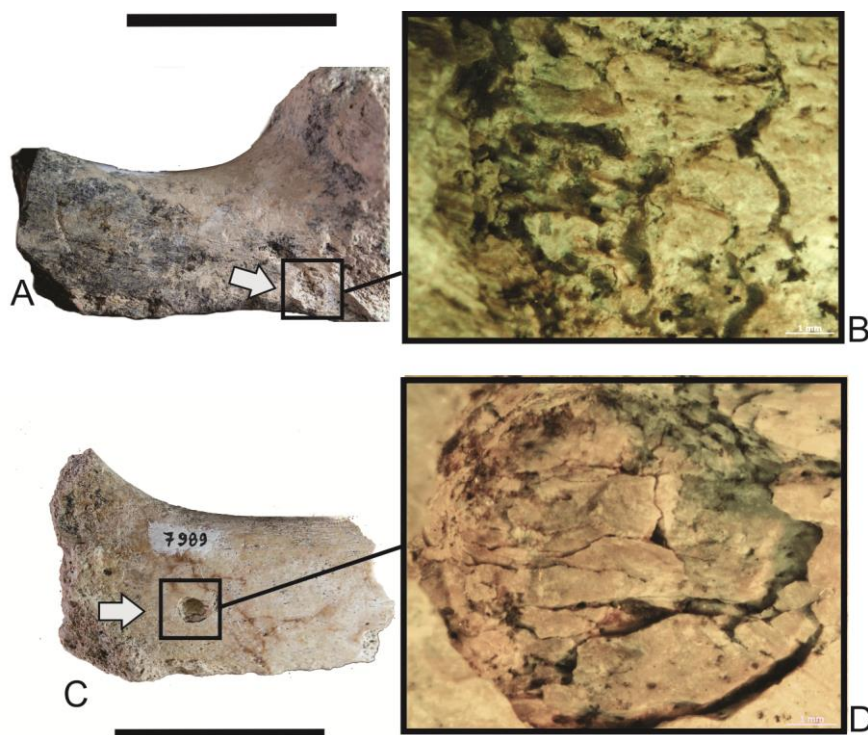


Fig. 13. A) Gnawing mark of the genus *Nihilichnus nihilichus* on a rib of the Zabelê accumulation. Scale = 5cm. B) Zoom (Obx 0.5x magnification 1x). C) Gnawing mark ("puncture") on an undetermined rib of the Zabelê accumulation. Scale = 5cm. D) Zoom (Obx 0.5x magnification 1x).

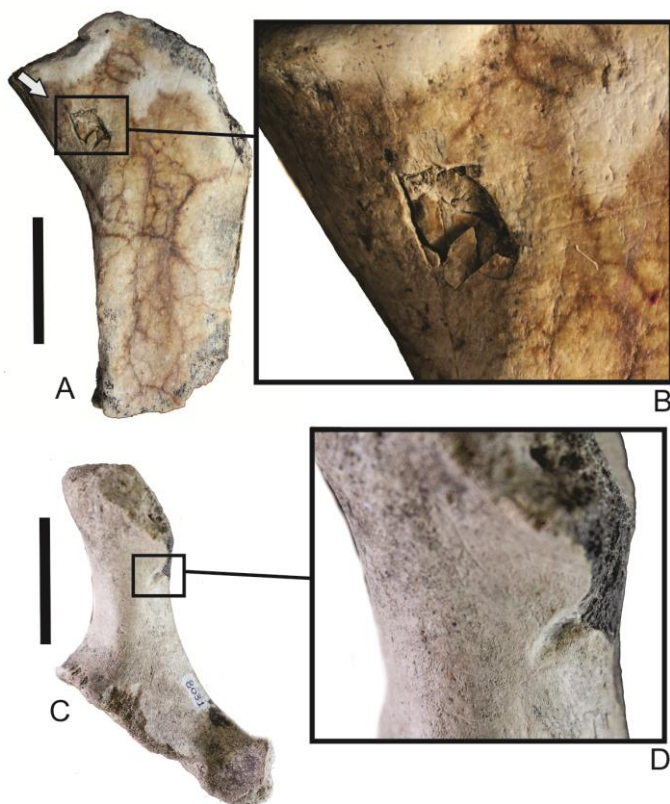


Fig. 14. A) Isolated gnawing mark on ulna of *Eremotherium laurillardi* from Zabelê

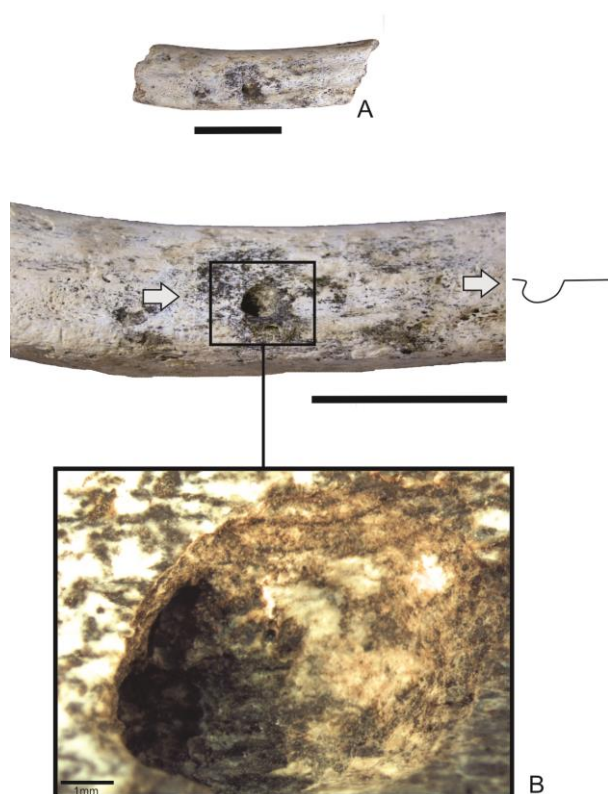


Fig. 15. A) Rib with perforation attributed to *Cubiculum ornatus* of Zabelê accumulation. B) Zoom (Obx 0.5x magnification 1x). Scale = 5cm.

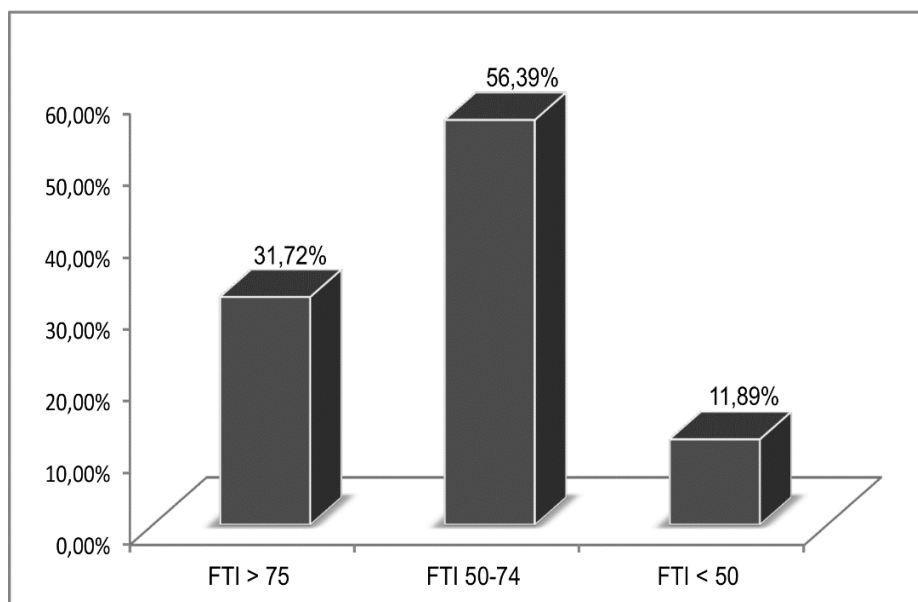


Fig. 16. FTI from the accumulation of SPZ.

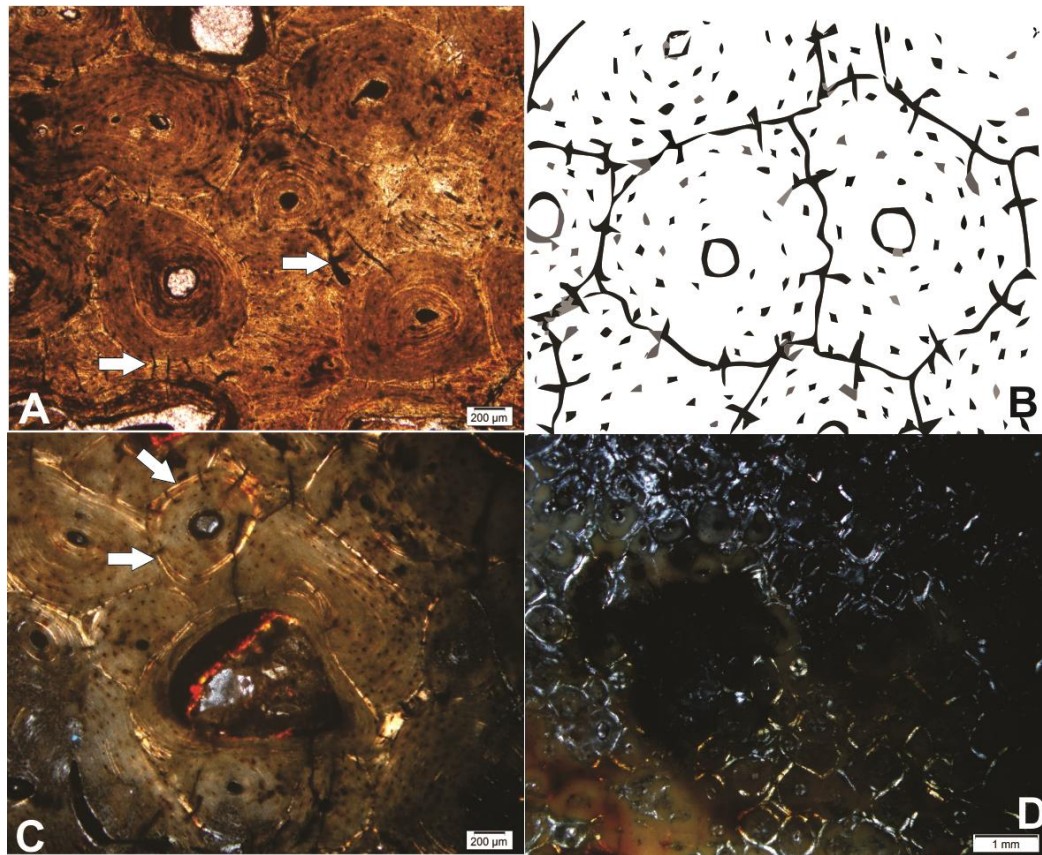


Fig. 17. Histological patterns exhibited in the thin sections of Zabelê (details - arrows). A) Radial microcracks crossing the walls of the secondary osteons (cross sections, magnification 4x). B) Scheme of radial microcracks across the circumference of secondary osteons (modified from Preftzchener, 2000). Note the similarity with the specimen under study. C) Permineralization of the bone microstructure (increase 10x under under nichols crossed). D) Sample exhibiting a greater degree of structural degradation.

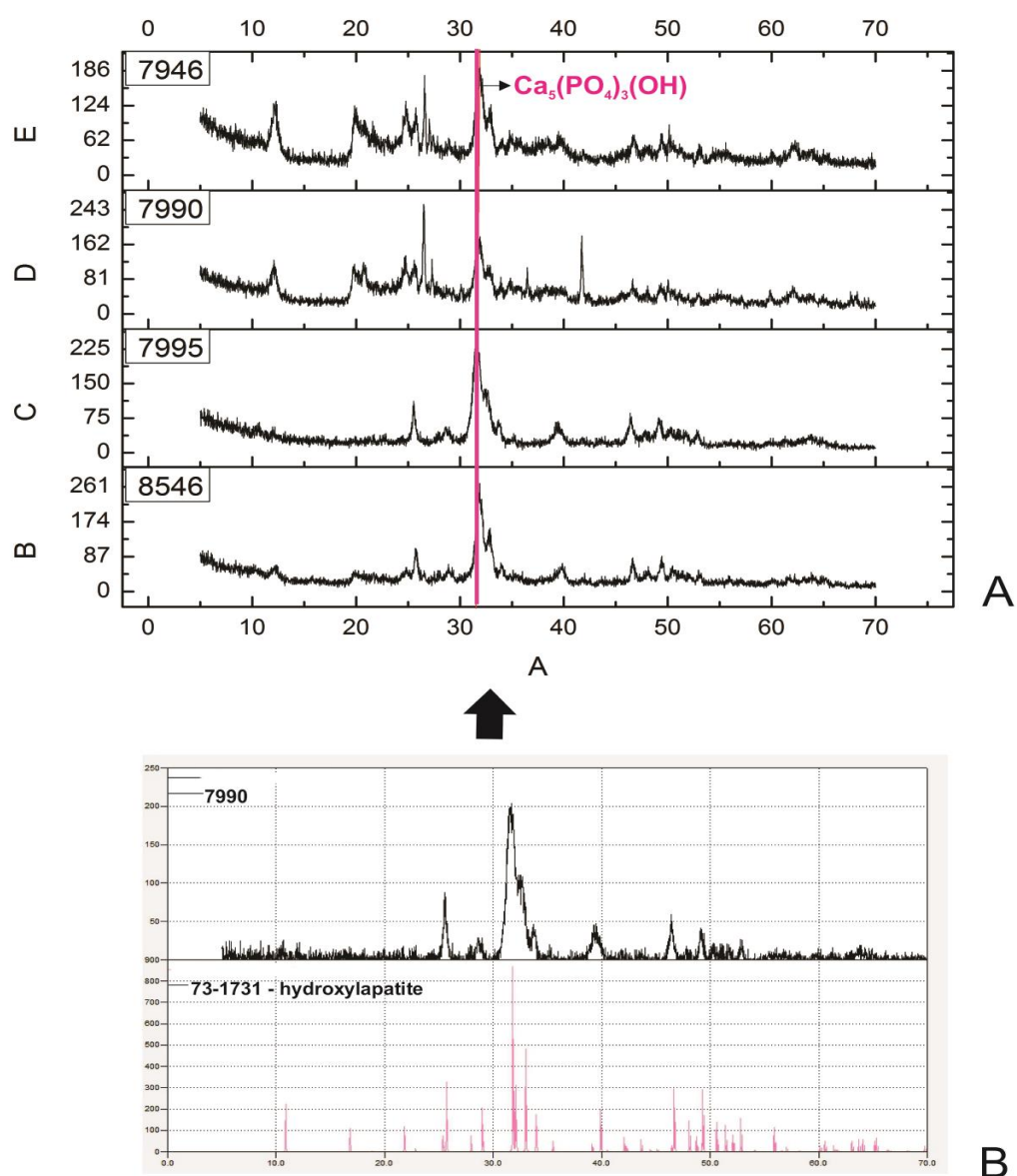


Fig. 18. A) Diffratograms illustrating the dominant mineral phase in fossils (hydroxyapatite). B) One of the samples analyzed illustrates the predominant peak of hydroxyapatite.

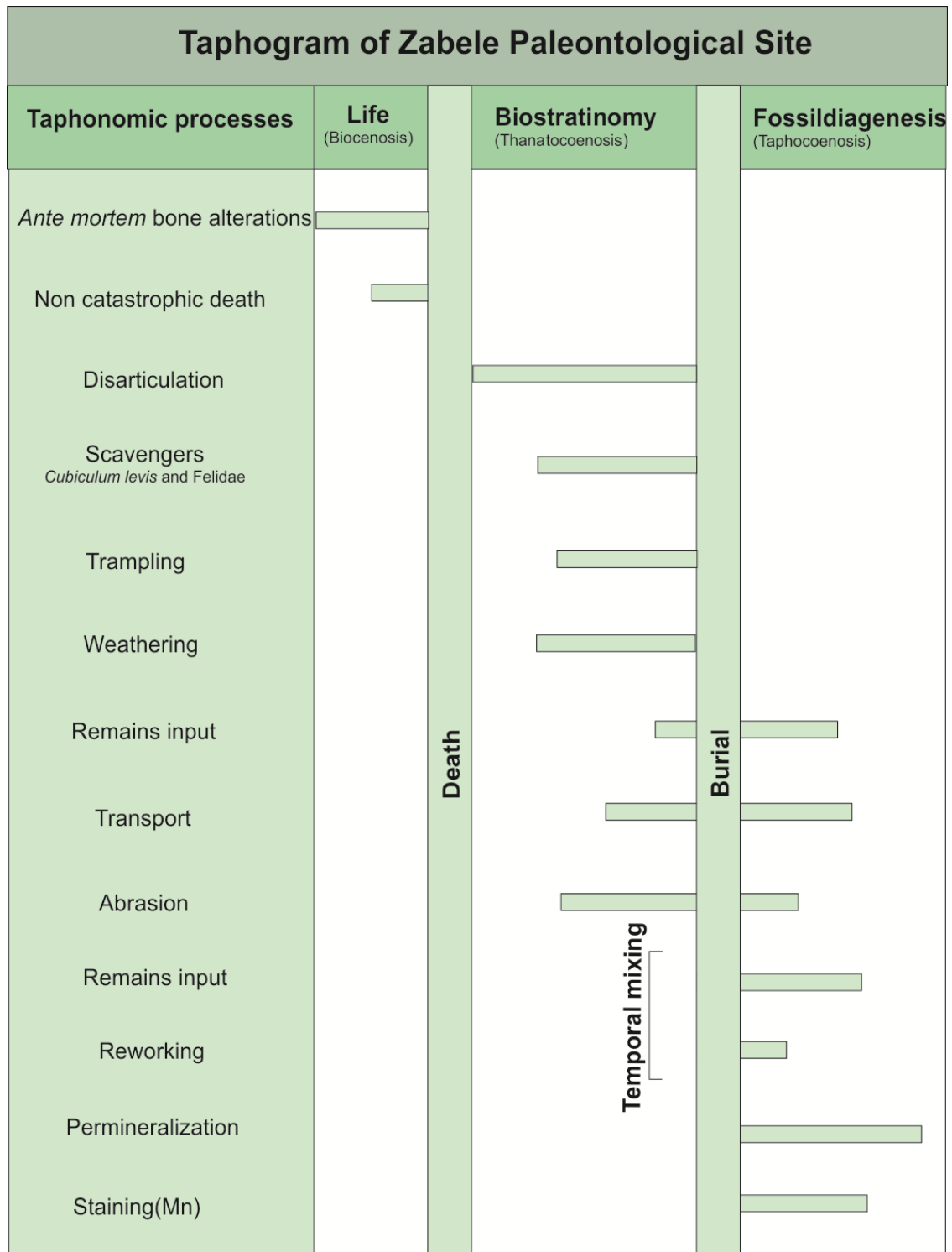


Fig. 19. Taphogram for accumulation of Zabelê fossils with the sequence and hypothetical duration of events.

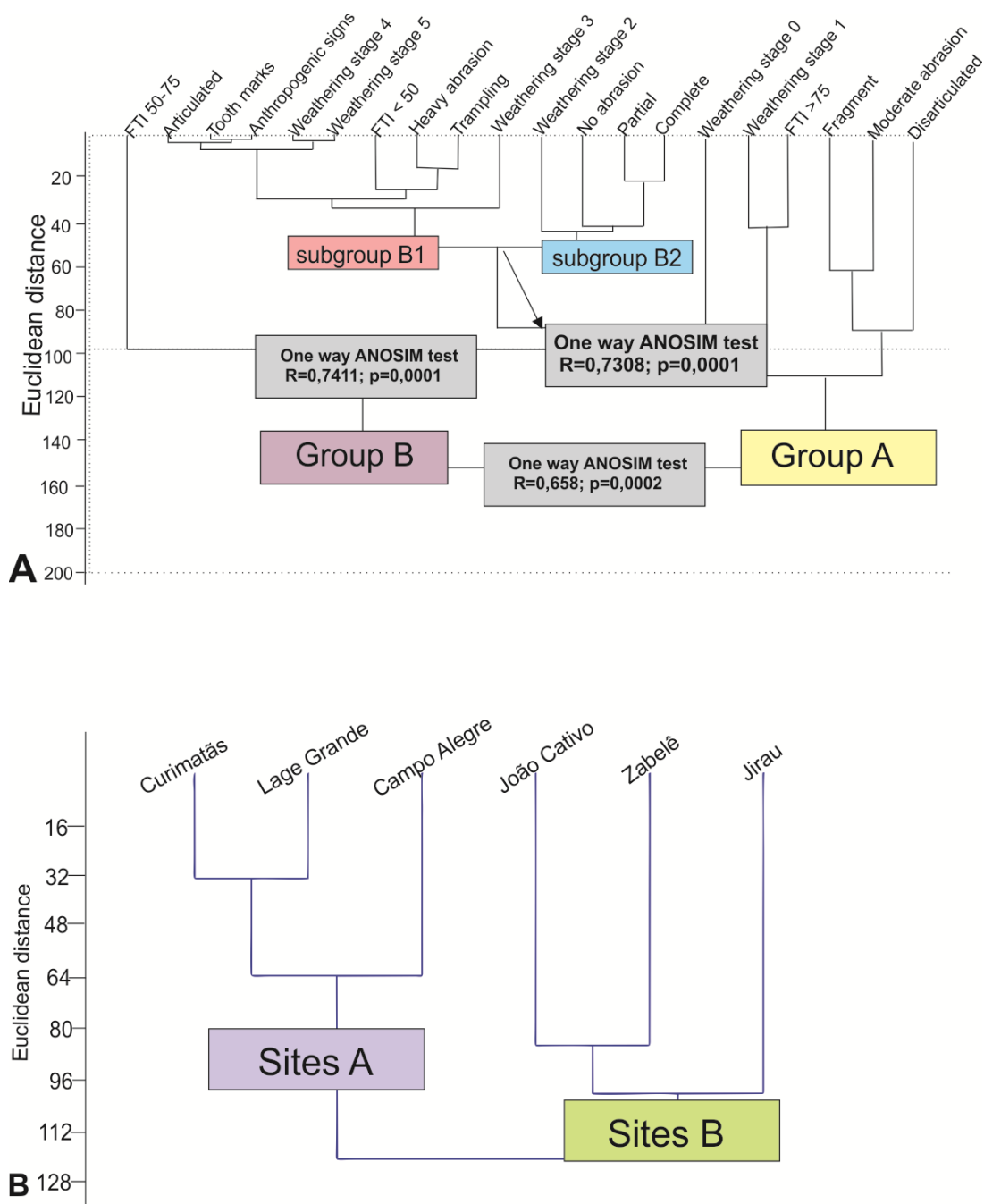


Fig. 20. Multivariate statistical analyzes using percentages of specimens according to the taphonomic categories for each tank deposit. A) Cluster analysis UPGMA (Unweighted pair-group average) with measures of Euclidean distances in Q mode. B) UPGMA cluster analysis with R-mode Euclidean distance measurements.

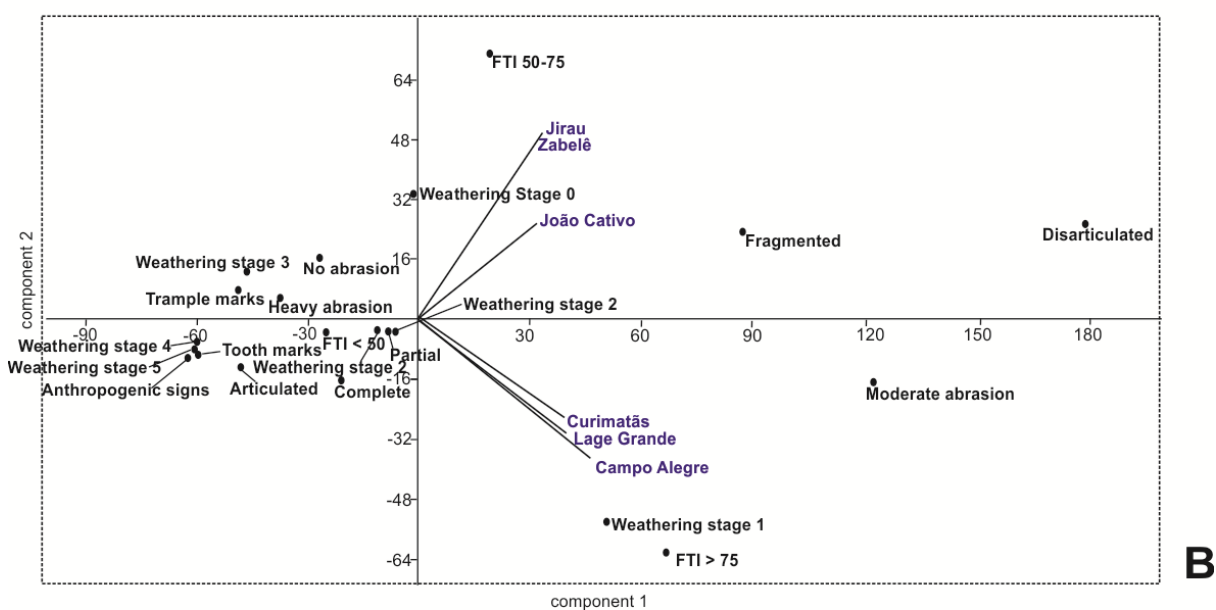
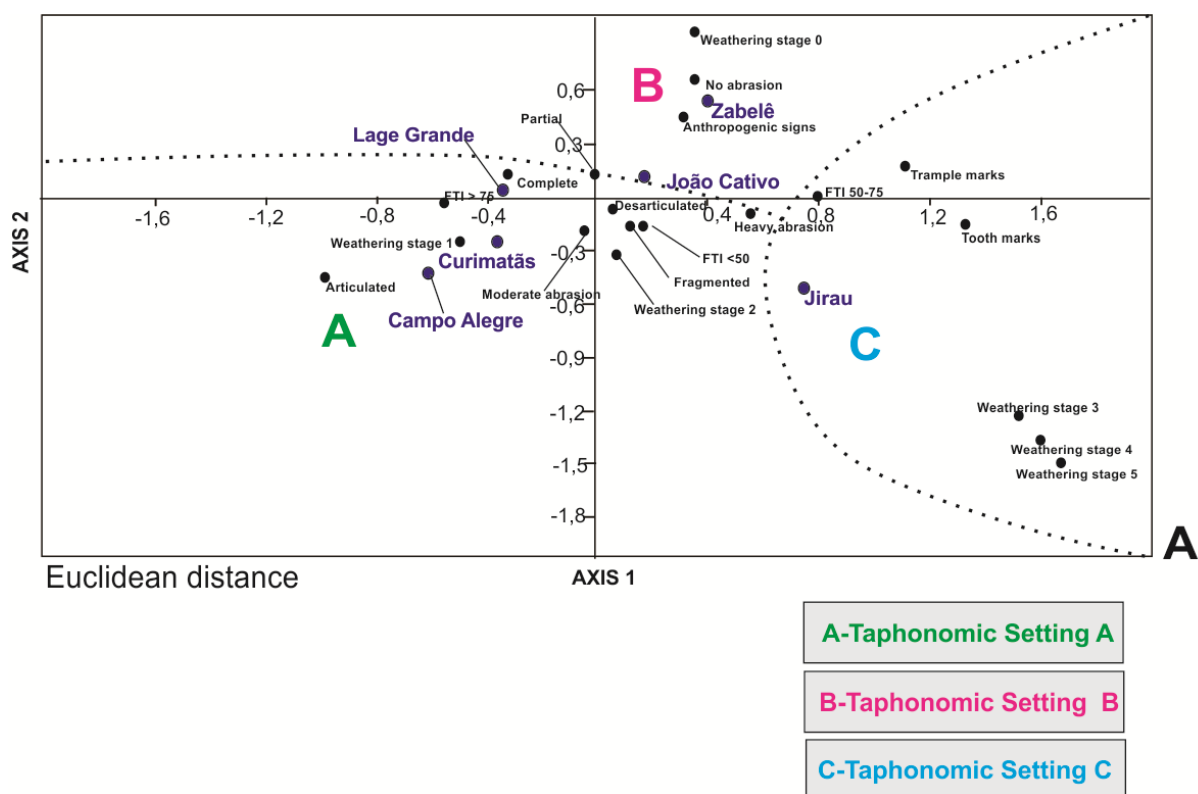


Fig. 21. A) Correspondence analysis with measurements of Euclidean distances. B) Principal component analysis (PCA) using percentages of specimens according to the taphonomic categories for each tank deposit.

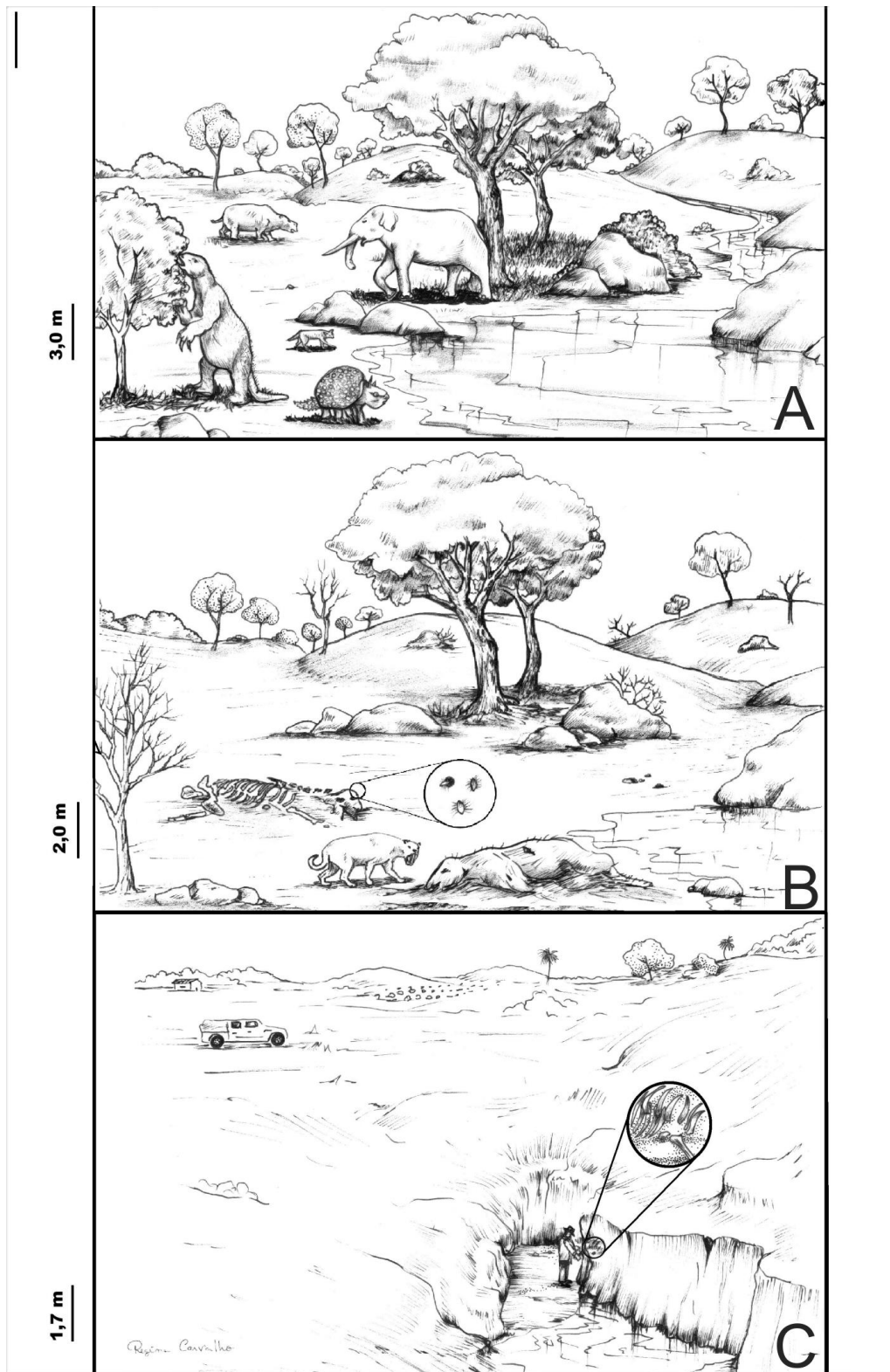


Fig. 22. Paleoenvironmental scenario of the current region of the Zabelê Paleontological Site, Capoeiras, Pernambuco, Brazil. A) Paleoenvironmental reconstruction illustrating the biocenosis in the Pleistocene. B) The climatic alternation and the death scenario of individuals in the Late Pleistocene (~ 40Ma). C) Current scenario and the collection of skeletal remains.

List of tables

Sample	Description	Equivalent dose (Gy)	Dose equivalent error (Gy)	Over dispersion (OD) (%)	DA (10-6Gy/ano)	Age (years)	Deep (cm)
Layer I	Fossil layer (top).	61.12	2.79	13	2048+-109	40300+-8600	200
Layer I	Fossil layer (base)	62.22	2.79	13	2200+-4121	41200+-2100	260
Layer II	2 nd sandstone upper conglomerade (base).	65.38	1.52	6	2481+-137	35300+-1200	190
Layer II	1 st sandstone upper conglomerado (top).	57.00	1.68	13	2424+-58	30900+-1200	175

Table 1. Ages (OSL) of the layers from Zabelê tank deposit, Pernambuco, Brazil.

Higher taxonomic categories		Taxon		NISP	NISP (%)	MNI	MNI (%)
Mammalia	Xenarthra	Pilosa	<i>Eremotherium laurillardi</i>	112	70.44	10	40
	Xenarthra	Pilosa	-	3	1.88	1	4
	Xenarthra	Pilosa	<i>Ocnotherium</i> sp.	1	0.63	1	4
	Xenarthra	Cingulata	<i>Glyptotherium</i> sp.	1	0.63	1	4
	Xenarthra	Cingulata	Gliptodontidae	1	0.63	1	4
	Notoungulata		<i>Toxodon platensis</i>	23	14.46	5	20
	Notoungulata		<i>Pyauitherium capivarae</i>	2	1.27	1	4
	Proboscidea		<i>Notiomastodon platensis</i>	15	9.43	4	16
	Carnivora		<i>Cerdocyon thous</i>	1	0.63	1	4
Total				159	100%	25	100%

Table 2. Taxa identified in Zabelê accumulation, showing NISP and MNI values.

Code	Lithofacies	Sedimentary structures	Interpretation
<i>Fácies Gms (layer 1)</i>	<i>massive, matrix supported gravel</i>	grading	debris flow deposits
<i>Fácies Gm (layer 2)</i>	<i>Massive or crudely bedded gravel</i>	horizontal bedding, imbrication	Longitudinal bars, lag deposits, sieve deposits
<i>Fácies Sp (layer 3)</i>	<i>sand, medium to v.coarse, may be pebbly</i>	Solitary (alpha) or grouped (omikron) planar crossbeds	Linguoid, transverse bars, sand waves (lower flow regime)
<i>Fácies St (layer 4)</i>	<i>sand, medium to v.coarse, may be pebbly</i>	Solitary (theta) or grouped (pi) trough crossbeds	Dunes (flow regime)

Table 3. Sedimentary facies identified in the stratigraphic profile of accumulation of Zabele tank deposit, Capoeiras, Pernambuco State, Brasil (according with Miall, 1985; 1996).

6 DISCUSSÃO

O estudo sistemático nesta tese (Artigos 1 e 2) mostrou a ocorrência de *Glyptotherium* sp. corroborando sua distribuição paleobiogeográfica na região Nordeste do Brasil (CARLINI et al., 2008; ZURITA et al., 2012), diferentemente de *Glyptodon* que é encontrado na região sul do Brasil (e.g. OLIVEIRA et al., 2010) e inferindo condições climáticas e ecológicas similares para a América do Sul, América Central e sul da América do Norte durante o Pleistoceno Final (SCILLATO-YANÉ et al., 2005; CARLINI et al., 2008).

Além disso, um raro registro de indivíduo imaturo de *Notiomastodon* cf. *platensis* foi encontrado, e conserva características atribuíveis a *Notiomastodon platensis*. Essa ocorrência pode indicar que em outros depósitos de tanques, provavelmente indivíduos recém-nascidos ou imaturos de *N. platensis* podem não ter sido preservados por fatores tafonômicos, como a resistência esquelética e/ou a baixa frequência na biocenose de gonfoterídeos recém-nascidos, relacionada à menor resistência desses indivíduos ao migrarem de locais distantes em busca de água (WIEST et al., 2016). Desta forma, esse achado expande as discussões correlacionadas aos achados de indivíduos imaturos, o viés tafonômico e paleoambiental dos tanques do Quaternário da América do Sul.

Foram identificados táxons comuns para o Quaternário do Nordeste do Brasil, por exemplo: *Eremotherium laurillardi*, *Notiomastodon platensis*, *Toxodon platensis* e *Glyptotherium* sp. Esses táxons são amplamente registrados nos depósitos de tanques do Quaternário do Nordeste brasileiro (e.g. PAULA-COUTO, 1980; MABESOONE et al., 1990; BERGQVIST et al., 1997; CARTELLE, 1999; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013; 2015; 2017) e no estado de Pernambuco (BRANNER, 1902; PAULA-COUTO, 1953; 1980; ROLIM, 1971; 1974 a,b; ALVES, 2007; SILVA, 2013; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013). Além desses *Cerdocyon thous* sp., *Pyauitherium capivarae* e *Ocnotherium giganteum*. *Pyauitherium capivarae* já possui registros para o Pleistoceno de Pernambuco (GUÉRIN e FAURE, 2013), já *Cerdocyon thous* e *Pyauitherium capivarae* são registrados pela primeira vez. *Cerdocyon thous* é encontrado até os dias atuais em áreas abertas e na mata atlântica (FONSECA et al., 1996). *Ocnotherium giganteum* possui raros registros, dentre estes, na Bahia (CARTELLE, 1992).

O estudo tafonômico (Artigo 4) revelou informações sobre a acumulação de mamíferos fósseis no depósito de tanque Zabelê, incluindo: a) caracterização bioestratinômica, fossildiagenética e a história tafonômica dos restos esqueléticos; b) processo

deposicional envolvido e a geocronologia do depósito e c) comparação com os outros tanques do Nordeste brasileiro, com o uso de estatística e a obtenção de padrões preservacionais tafonômicos e paleoeológicos.

Desta forma, o conjunto de dados analisados neste trabalho, quanto a bioestratinomia, fossilização e história tafonômica (a), mostraram que a acumulação do SPZ foi resultante de um viés preservacional de mamíferos de grande porte, com espécimes desarticulados e fragmentados, e raros completos. A dominância de adultos em relação a sub-adultos e juvenis, está relacionada à maior resistência dos adultos ao migrar de fontes distantes de água até o tanque, já que os juvenis seriam mais suscetíveis a doenças, predação, etc.

Os restos de mamíferos foram expostos subaerialmente por um curto período de tempo na tanatocenose acumulada em torno do tanque, onde foram desarticulados e modificados por fatores físico-químicos e biogênicos, como intemperismo, pisoteio (quebras pré-soterramento), necrofagia (ação de insetos e de carniceiros). Diversos episódios de enxurradas (fluxo de detritos/debris flow), logo transportaram alguns dos elementos esqueléticos da tanatocenose circundante, juntamente com cascalhos e seixos angulosos e subangulosos oriundos de áreas próximas para o tanque, ou seja, curto transporte. Espécimes completos preservados *in situ* sem sinais de transporte, mostram que, pelo menos parte da biocenose, foi soterrada *in situ*, sugerindo um modelo de acumulação mista do tipo periférica/*in situ*.

Com o passar do tempo, houve a entrada de novas carcaças na tanatocenose, seguidos por outros episódios de fluxos de detritos, que transportaram essas novas carcaças e elementos esqueléticos retrabalhados para dentro do tanque. Também há a possibilidade de que durante esses raros episódios de enxurradas, alguns dos espécimes que formam a tafocenose no interior do tanque tenham sido retrabalhados, dada a presença de quebras pós-fossilização. Processos tafonômicos, como intemperismo, transporte e retrabalhamento alteraram a fidelidade composicional da assembleia em relação à biocenose original (e.g. perfil ontogenético e identificação do tipo de morte), misturando também espécimes com assinaturas tafonômicas distintas, embora alguns dos padrões paleobiológicos originais pareçam ter sido preservados (e.g. abundância relativa de Xenarthra). As microfissuras nos ósteons foram geradas em condições subquosas na tanatocenose ou na tafocenose, enquanto que a tafocenose (sob ambiente subaquoso) foi afetada pela permineralização e por óxi-hidróxidos de Fe e Mn e impregnação por Mn, em um ambiente estável, pois conservou a apatita original do osso, não havendo substituição. Provavelmente, esses minerais contendo Fe e Mn foram oriundos do intemperismo das rochas do embasamento do tanque.

A entrada cíclica de carcaças, juntamente com os eventos de transporte e retrabalhamento, resultaram na mistura de bioclastos não-contemporâneos, produzindo uma assembleia fóssil com mistura temporal, fenômeno frequente nos tanques da RIB (e.g. Araújo-Júnior et al., 2017). A coocorrência de algumas características tafonômicas em SPZ são evidências para a mistura temporal, incluindo: (a) fragmentação (BOWN e KRAUS, 1981; BADGLEY, 1986; WOOD et al., 1988; BEHRENSMEYER, 1991; SCHRÖDER-ADAMS et al., 2001); (b) dominância de adultos em relação a subadultos, o que é mais indicativo de acumulações temporais-mistas do que as assembleias geradas por morte catastrófica (c) diferenças diagenéticas macroscópicas e microscópicas entre os espécimes, que são a evidência mais consistente para interpretar a mistura temporal, uma vez que sugerem que os ossos sofreram mineralização em diferentes períodos de tempo. Porém, não é possível quantificar o grau de mistura temporal na formação da acumulação fóssil de SPZ.

Quanto aos processos deposicionais envolvidos e geocronologia do depósito (b) a análise dos atributos faciológicos de textura, estruturas sedimentares, bem como arquitetura tabular da camada fossilífera, interpreta o depósito Zabelê como originado por fluxos de detritos (*enxurrada/debris flow*) de alta densidade, com pouca turbulência, não confinados, que adentraram o espaço de acomodação do tanque. Sendo assim, fluxos de detritos arrastaram carcaças e seixos de áreas próximas para dentro do tanque; já em períodos de seca (estiagem de chuvas) as carcaças sofriam exposição subaérea e envolvendo processos de modificações (e.g. necrófagos e intemperismo). De qualquer forma, em um curto período de tempo, os espécimes estiveram sob influência de um ambiente subaquoso, como demonstrado pelas microfissuras radiais, tanto nas enxurradas, quando em condições de estagnação de água que ocorre atualmente após fortes chuvas. Nessas condições de diminuição de fluxo, sedimentos mais finos e grânulos ficaram sob suspensão e posteriormente foram depositados nas camadas acima dos fósseis, exibindo a gradação normal.

Com base nos dados aqui discutidos a deposição dentro dos tanques foi fortemente influenciada pela alternância entre fluxos de alta energia, desencadeados por enxurradas, corroborando trabalhos prévios (OLIVEIRA e HACKSPACHER, 1989; BERGQVIST et al., 1997; SANTOS et al., 2002). As evidências mostradas em SPZ e as evidências outrora discutidas (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2013a; ARAÚJO-JUNIOR et al., 2013b; ARAÚJO-JUNIOR et al., 2015; ARAÚJO-JUNIOR et al., 2017) são discordantes em relação a hipóteses de contribuições sedimentares nos tanques como sugerido em trabalhos iniciais (e.g. PAULA COUTO, 1953; SANTOS, 1982).

Por fim, o intervalo temporal estimado para a origem da camada fossilífera de SPZ (41.200 ± 2.100 anos AP e 40.300 ± 8.600 anos AP) está dentro do intervalo obtido a partir de datações mais atuais de camadas fossilíferas de outros tanques da RIB (DANTAS et al., 2017). Está correlacionado aos eventos de alternâncias climáticas durante o Pleistoceno correspondendo a fase mais seca antes do evento H4, ciclo Heinrich (WANG et al., 2004) (ver Anexo). No evento ~ 45.000 anos AP, houve aumento pluviométrico resultando em um clima frio e mais seco (SILVA, D. 2007). Outras idades da RIB obtidas com base em fósseis, situam-se entre os intervalos ~ 10.000 anos AP e ~ 120.000 anos AP, ou seja, Pleistoceno Final (DANTAS et al., 2017).

Em relação à comparação com os outros tanques do Nordeste brasileiro (c), com o uso de estatística e a obtenção de padrões preservacionais, com base nas análises Correspondência, Cluster (UPGMA) e componentes principais, o Zabelê é incluído na Configuração tafonômica B, que incluem características tafonômicas mais raras, como os traços biogênicos (pisoteio e marcas de dentes); entretanto não foi observado marcas antropogênicas; por outro lado, tem-se a primeira ocorrência da ação de *Cubiculum ornatus* para o Estado de Pernambuco e um dos raros achados para o Quaternário da América do Sul. Além disso, incluiu-se nessa Configuração, o intemperismo no estágio 0. Já Jirau se manteve na Configuração tafonômica C, que também é rara nos tanques, no mesmo padrão obtido por Araújo-Júnior et al., 2017. Essa Configuração inclui os espécimes nos estágios de intemperismo 3 e 5, espécimes não desgastados e também os com forte abrasão. O Zabelê adicionou às assinaturas mais raras: duas novas marcas produzidas por necrófagos e o expressivo pisoteio.

Além disso, denota-se a importância da morfologia dos tanques e na preservação dos espécimes. Os tanques semelhantes a lagoas tiveram melhores condições para a preservação de elementos esqueléticos em contraste com aqueles com bordas mais íngremes. Nesse caso, o Zabelê é classificado como o tanque em poltrona, com formato semelhante a uma lagoa, com bordas menos íngremes em relação aos tanques já descritos, é coberto por sedimentos clásticos e os espécimes apresentam-se menos fragmentados, completos *in situ* e já outros, associados e orientados, corroborando que os tanques com bordas menos íngremes contribuem para uma melhor preservação da acumulação esquelética (ver apêndice B).

O estudo paleopatológico (Artigo 3) mostrou quatro diferentes tipos de alterações paleopatológicas, restritas a apenas *E. laurillardi* e, além disso, a um táxon indeterminado. As alterações paleopatológicas identificadas foram: a doença de deposição do pirofosfato de

cálcio (DDPC), lesões infecciosas, trauma e avulsão do tendão. A maioria dessas alterações paleopatológicas correspondem a registros inéditos para *Eremotherium laurillardi*.

Neste trabalho, a doença de deposição do pirofosfato de cálcio (DDPC) foi identificada em dois astrágalos direitos de indivíduos adultos de *E. laurillardi* (DGEO-CTG-UFPE 7802 e DGEO-CTG-UFPE 7806). Até o momento, são escassos os registros de DDPC em fósseis, sendo que, esse novo registro de DDPC em *Eremotherium laurillardi* associado a casos previamente documentados (BARBOSA e LUNA 2014; BARBOSA et al., 2014, 2017a, 2017b) reforça a hipótese de que a DDPC pode ter sido comum em Xenarthra, pelo menos durante o Pleistoceno Superior.

A lesão infecciosa identificada foi a osteomielite não-específica em uma vértebra caudal (DGEO-CTG-UFPE 7822). Os registros de infecções nos mamíferos pleistocênicos sul-americanos são relativamente raros. Este novo caso de infecção em *Eremotherium laurillardi* aumenta a distribuição dessas infecções nas espécies de mamíferos quaternários. Ferigolo (1987) pontua que as infecções são frequentes em megaterídeos e milodontídeos. Assim, novos relatos de casos são cruciais para elucidar como esses animais foram afetados por infecções.

Em relação aos traumas, foram identificadas deformações compressivas (DGEO-CTG-UFPE 7823) geradas pela compressão do osso esponjoso sem fragmentação – tipo A1.1 (Margerl et al. 1994) e fratura compressiva na vértebra caudal (DGEO-CTG-UFPE 7824) causada por compressão axial no plano coronal – tipo A2.2 (MARGERL et al. 1994). Na costela fragmentada (DGEO-CTG-UFPE 7825), formou-se o calo, associado a esclerose visualizada na análise μ CT. Lesões traumáticas têm sido raramente descritas na fauna quaternária da América do Sul. Assim, esses novos casos são importantes para ampliar o número de lesões traumáticas conhecidas no Quaternário da América do Sul. Porém não é possível atribuir precisamente a costela fragmentada (DGEO-CTG-UFPE 7825) a um táxon, dificultando discussões paleobiológicas mais profundas.

Por fim, um novo caso de avulsão do tendão no fragmento proximal de fêmur (DGEO-CTG-UFPE 7828), um tipo incomum de lesão que indica um comportamento brusco do animal. Nesse sentido Haynes e Klimowicz (2014), ao estudar população de elefantes atuais (*Loxodonta africana*) e encontrar traumas na população, associaram à empurrões agressivos em disputas por recursos escassos (água, alimento). Nesse caso, considerando os tanques como últimos reservatórios de água durante o final do Pleistoceno, além da avulsão do tendão no fêmur, as lesões traumáticas cicatrizadas aqui descritas nas vértebras caudais (DGEO-

CTG-UFPE 7823 e 7824) e na costela (DGEO-CTG-UFPE 7825) podem ter sido geradas em uma situação de estresse e/ou disputa de território. Destacando ainda que houve tempo para cicatrização das lesões, assim é pouco provável que esses animais tenham sofrido quedas nos tanques, pois seriam suficientes para causar a morte do animal e não ficaria registrado no osso.

Dentre os nove táxons analisados no Zabelê, apenas *E. laurillardi* apresentou paleopatologias, o que pode ser explicado: a) pela maior resistência esquelética e abundância populacional na biocenose do Pleistoceno Final e inclusive na área estudada, o que resultaria numa maior probabilidade de restos esqueléticos patológicos preservados, isto é, enviesamentos tafonômicos e paleoecológicos; b) por outro lado, *E. laurillardi* poderia ser mais sensível a algumas lesões do que outras espécies. Barbosa et al. (2017) mostraram que esta espécie era uma das espécies folívoras quaternárias com maior variabilidade de anormalidades articulares e vertebrais. Essa hipótese ainda se inviabiliza de ser testada em função da quantidade de amostras disponível no Zabelê, mas destaca-se a significativa importância desses registros para futuros estudos paleopatológicos, muito embora contribua para expansão do número de ocorrências em táxons do Quaternário da América do Sul.

7 CONCLUSÃO

No depósito de tanque Zabelê verificou-se a ocorrência dos táxons *Eremotherium laurillardi*, *Ocnotherium giganteum*, *Notiomastodon platensis*, *Toxodon platensis*, *Pyauitherium capivarae*, *Cerdocyon thous*, Glyptodontidae e *Pilosa* indet., e *Glyptotherium* sp. Para *Notiomastodon* cf. *platensis*, registrou-se um indivíduo imaturo, um raro achado, fomentando discussões referentes aos indivíduos imaturos do Quaternário da América do Sul. Essa raridade de indivíduos juvenis em tanques, é relacionada à um ambiente de seca, à menor resistência desses indivíduos (predação, doenças) durante as migrações de locais distantes em busca de fontes de água, (tanque), o que resulta em um maior número de restos de indivíduos adultos no tanque.

Doenças restritas à *E. laurillardi* foram identificadas (doença de deposição do pirofosfato de cálcio, lesões infecciosas, trauma e avulsão do tendão). Como hipóteses para essa restrição a *E. laurillardi* tem-se: viés tafonômico (resistência esquelética) e/ou maior suscetibilidade desse táxon às alterações paleopatológicas corroborando estudos prévios. Esse registro expande o número de doenças para Xenarthra no Quaternário da América do Sul.

Os dados mostraram a abundância de megamamíferos (e.g. *E. laurillardi*) em comparação com mamíferos de pequeno porte (*Cerdocyon thous*) e ausência de vertebrados não-mamíferos, demonstrando o viés tafonômico para a preservação de mamíferos de grande porte. A análise das assinaturas tafonômicas mostraram novas assinaturas como: marcas insetos (*Cubiculum ornatus*), carnicheiros (*Nihilichnus nihilichus*) e maior quantidade de marcas de pisoteio (*trampling*), em relação à outras acumulações de tanques, o que é relacionado a uma acumulação exposta à um ambiente árido/semiárido.

A tanatocenose foi exposta por curto período, mas devido ao agente de transporte de alta energia, misturou ossos já depositados *in situ* e completos, com outros recém-chegados no tanque. Um transporte curto causado por enxurradas, depositou os restos no tanque, junto com clastos de fontes próximas, classificando a acumulação como mista periférica/*in situ* e na Configuração Tafonômica B caracterizada por: diminuição nas taxas de sedimentação, retrabalhamento e aumento da atividade biogênica (e.g. necrófagos, pisoteio), sob condições de áridas/semiáridas; esses fatores influenciaram na fragmentação dos espécimes *in situ*.

A permineralização foi o processo de fossilização predominante, aliado à impregnação de Fe, que resultou na predominância da cor marrom e também à impregnação de Mn, resultando em manchas pretas nos ossos. Espécies soterrados *in situ* ou transportados

próximos ao tanque, pode ter influenciado nos diferentes graus de preservação histológica, em alguns casos.

O processo de deposição por fluxos de detritos (enxurrada/debris flow) - conglomerado matriz-sustentado, geometria tabular - alternância de fluxos de alta e baixa energia num ambiente aquoso, com intervalo temporal de 41.200 anos $\pm$ 2.100 anos AP (camada fóssil) e 35.300 $\pm$ 1.200 anos e 30.900 $\pm$ 1.200 anos AP (camadas acima) relacionado a alternâncias climáticas entre frio e seco durante o final do Pleistoceno.

A comparação entre o tanque Zabelê e outros depósitos de tanques do Nordeste do Brasil revela padrões tafonômicos e sedimentológicos mais raros, representado pelo processo de deposição por fluxos de detritos, com conservação de algumas assinaturas tafonômicas mais raras, variando as taxas de sedimentação (diminuição), retrabalhamento (aumento) ou atividade biogênica (aumento). A complexidade tafonômica do Zabelê representa, provavelmente, o resultado do retrabalhamento e, conseqüentemente, da mistura-temporal.

Ressalta-se a influência da morfologia das bordas dos depósitos de tanques no processo de deposição dos elementos esqueléticos e fragmentação. O depósito de tanque Zabelê, com bordas menos íngremes e semelhantes a uma lagoa, os espécimes são menos fragmentados quando comparados aos tanques com bordas mais íngremes.

Por meio deste trabalho demonstrou-se a importância de escavações controladas para a obtenção de dados primários *in situ*, importantes para a compreensão do ambiente deposicional relacionado aos elementos esqueléticos no tanque. Além disso, esse trabalho permitirá o avanço nas linhagens discutidas aqui (sistemática, tafonômica, deposicional, paleopatológica, geocronológica, dentre outras), expandido os estudos em tanques da RIB e bem como em depósitos do Quaternário da América do Sul.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. S. **Os mamíferos pleistocênicos de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco**: aspectos taxonômicos e paleoambientais. 2007. 163f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- ALVES, R. S.; BARRETO, A. M. F.; BORGES, L. E. P.; FARIAS, C. C. Aspectos tafonômicos no depósito de mamíferos pleistocênicos de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. **Estudos Geológicos**, v.17, p. 114-122, 2007.
- ANDRADE, L.C.; OLIVEIRA, E.V.; MANIESI, V.; TATUMI, S. Astrágalo e osteodermos de *Glyptotherium* Osborn, 1903 do Pleistoceno Superior de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v.21, n.1, p. 95-102, 2018.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. **Tafonomia da acumulação fossilífera de vertebrados pleistocênicos do tanque do Jirau, Itapipoca, estado do Ceará**. 2012. 185f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. **Modelo tafonômico para vertebrados de depósitos de tanque do Nordeste do Brasil**. 2015. 193f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. Classifying vertebrate assemblages preserved in Quaternary tank deposits: implications for vertebrate taphonomy and paleoecology. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 445, p. 147-152, 2016.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; MOURA, G.J.B. Anuros (Amphibia, Anura) do Pleistoceno Final-Holoceno Inicial de Itapipoca, Estado do Ceará, Brasil: Taxonomia, Paleoecologia e Tafonomia. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v.17, n. 3, p. 373-388, Set./Dez. 2014.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O. Assembléias fossilíferas de mamíferos do Quaternário do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil: diversidade e aspectos tafonômicos e paleoecológicos. **Pesquisas em Geociências**, v.38, p. 67-83, 2011.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P. Taphonomic analysis of a Late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande Paleontological Site, Pernambuco State, Northeastern Brazil: New remarks on preservational aspects of tank deposits. **Quaternary International**, v. 317, p. 88-101. 2013a.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; XIMENES, C. L.; BERGQVIST, L. P. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: a study case in the Pleistocene of northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.378, p. 52-74, 2013b.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P. 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. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 437, p. 1-17, 2015.

ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P. Origin of bonebeds in Quaternary tank deposits, **Journal of South American Earth Sciences**, v. 76, p. 257-263, 2017.

ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; BISSARO-JÚNIOR, M. C. Tafonomia de vertebrados em ambientes continentais. In: HORODYSKI, R. S.; ERTHAL, F. (Orgs.). **Tafonomia: métodos, processos e aplicações**. Curitiba: Editora CRV, 2017. p. 374.

AUFDERHEIDE, A. C.; RODRÍGUES-MARTÍN, C. **The Cambridge encyclopedia of human paleopathology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

BADGLEY, C. Counting individuals in mammalian fossil assemblages from fluvial environments. **Palaios**, n. 1, v. 3, p. 328-338, 1986.

BARBOSA, F. H. S. **Análise paleopatológica em megafauna pleistocênica do Lajedo da Escada, Baraúna, Rio Grande do Norte, Brasil**. 2013. 99f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

BARBOSA, F. H. S.; PORPINO, K. O.; FRAGOSO, A. B.; SANTOS, M. F. C. F. Osteomyelitis in Quaternary mammal from the Rio Grande do Norte, State. **Quaternary International**, v. 299, p. 90-93, 2013.

BARBOSA, F. H. S.; LUNA, C. 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”**, v.1, p. 9-26, 2014.

BARBOSA, F. H. S.; PORPINO, K.O.; FRAGOSO, A.B. L.; OLIVEIRA, E. V. Arthritis in a Glyptodont (Mammalia, Xenarthra, Cingulata). **PlosOne**, v. 9, p. 1-5, 2014.

BARBOSA, F. H. S.; OLIVEIRA, E. Lesions on a lumbar vertebra of Equidae (Perissodactyla) from Late Pleistocene of Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 20, n. 3, p. 405-409, 2017.

BARBOSA, F. H. S.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; MOTHE, D.; ÁVILLA, L. S. Osteological diseases in an extinct *Notiomastodon* (Mammalia, Proboscidea) population from the Late Pleistocene of Brazil. **Quaternary International**, n. 443, p. 228-232, 2017a.

BARBOSA, F. H. S.; PORPINO, K.; BERGQVIST, L. P.; ROTHSCILD, B. M. Elucidating bone diseases in Brazilian Pleistocene sloths (Xenarthra, Pilosa, Folivora): First cases reported for the Nothrotheriidae and Megalonychidae families. **Ameghiniana**, p. 54, 331-340, 2017b.

BARBOSA, F. H. S.; PORPINO, K.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; BERGQVIST, L. P.; ROTHSCCHILD, B. M. Articular and vertebral lesions in the Pleistocene sloths (*Xenarthra*, *Folivora*) from the Brazilian Intertropical Region. **Historical Biology**, v. 1, n. 15, 2017c.

BARBOSA, F. H. S.; PORPINO, K. O.; ROTHSCCHILD, B. M.; CABRAL, U.G.; BERGQVIST, L.P. Arthritic lesions and congenital fusion in foot bones of *Panochthus* sp. (*Xenarthra*, *Cingulata*). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2017d.

BEHRENSMEYER, A. K. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblage east of Lake Rudolf, Kenya. **Bulletin of the Museum of Comparative Zoology**, v. 146, n. 10, p. 473-578, 1975.

BEHRENSMEYER, A. K. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. **Paleobiology**, v. 4, n. 2, p. 150-162, 1978.

BEHRENSMEYER, A. K. Terrestrial vertebrate accumulations. In: ALLISON, P.A.; BRIGGS, D.E.G. (Eds.). **Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record**. New York: Plenum Press, p. 291-335, 1991.

BEHRENSMEYER, A.K.; GORDON, K.D.; YANAGI, G.T. Trampling as a cause of bone surface damage and pseudo-cutmarks. **Nature**, v. 319, p. 768-771, 1986.

BEHRENSMEYER, A. K.; HOOK, R. W. Paleoenvironmental context and taphonomic modes. In: BEHRENSMEYER, A. K.; DAMUTH, J.D.; DIMICHELE, W.A.; POTTS, R.; SUES, H. D.; WING, S.L. (Eds.). **Terrestrial ecosystems through time: evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals**. Chicago: The University of Chicago Press, p. 15-136, 1992.

BEHRENSMEYER, A. K., KIDWELL, S. M.; GASTALDO, R. A. Taphonomy and paleobiology. **Paleobiology**, v. 26, n. 4, Supplement, p. 103–147, 2000.

BEHRENSMEYER, A. K.; MILLER, J. H. Building links between ecology and paleontology using taphonomic studies of recent vertebrate communities. In: LOUYS, J. (Ed.). **Paleontology in Ecology and Conservation**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.

BERGQVIST, L. P. **Mamíferos pleistocênicos do Estado da Paraíba, Brasil, depositados no Museu Nacional, Rio de Janeiro**. 1989, 171 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Programa de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1989.

BERGQVIST, L. P.; GOMIDE, M.; CARTELLE, C.; CAPILLA, R. Faunas-locais de mamíferos pleistocênicos de Itapipoca/Ceará, Taperoá/Paraíba e Campina Grande/Paraíba: estudo comparativo, bioestratigráfico e paleoambiental. **Geociências**, n. 2, v. 6, p. 23-32, 1997.

BERTONI-MACHADO, C. **Tafonomia de paleovertebrados em sistemas continentais do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil e do Departamento de San José, Uruguai**. 2008. 263 f. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

BLUMENSCHINE, R. J.; MAREAN, C. W.; CAPALDO, S. D. Blind tests of inter-analyst correspondence and accuracy in the identification of cut marks, percussion marks, and carnivore tooth marks on bone surfaces. **Journal of Archaeological Science**, n. 23, p. 493-507, 1996.

BORGES, L. E. **Difratometria de raios-x aplicada ao estudo comparativo dos procesos de formação de baterías automotivas**. 2000, 115 f. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2000.

BRANNER, J. C. On the occurrence of Fossil Remains of Mammals in the interior of the States of Pernambuco and Alagoas. Brasil. *Geologia elementar*. **The American Journal of Science**, 4 th.s, 1915.

BRANNER, J. C. On the occurrence of fossil remains of mammals in the interior of the States of Pernambuco and Alagoas, Brazil. **The American Journal of Science**, 13, 133-137, 1902.

BRAUNN, P. R.; FERIGOLO, J. Osteopatologias e alterações dentárias em *Otaria byronia* (Pinnipedia, Otariidae) da costa do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Zoológica**, n. 94, v. 2, p. 117-122, 2004.

BRAUNN, P. R.; RIBEIRO, A. M.; FERIGOLO, J. Microstructural defects and enamel hypoplasia in teeth of *Toxodon* Owen, 1837 from the Pleistocene of Southern Brazil. **Lethaia**, v. 47, pp. 418-431, 2014.

BRETT, C. E.; BAIRD, G. C. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. **Palaios**, n.1, p. 207-227, 1986.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province. In: CORDANI, U. (Ed.). **Tectonic evolution of South America**, p. 151-182, 2000.

CARLINI, A. A.; ZURITA, A. E.; AGUILERA, O. A. North American glyptodontines (Xenarthra, Mammalia) in the Upper Pleistocene of northern South America. **Palaontologische Zeitschrift**, 82, 125-138, 2008.

CARTELLE, C. G. **Os Edentata e megamamíferos herbívoros da Toca das Ossos (Ourolândia, BA)**. 1992, 700f. Tese (Doutorado em Morfologia). Programa de Pós-Graduação em Morfologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1992.

CARTELLE, C. G. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: EISENBERG, J. F.; REDFORD, K. H. (Eds.). **Mammals of the Neotropics: the centralneotropics**: Chicago: University of Chicago Press, 1999. p. 27-46.

CARTELLE, C. G.; DE IULIIS, G. *Eremotherium laurillardii* (Lund) (Xenarthra, Megatheriidae), the Panamerican giant ground sloth: taxonomic aspects of the Ontogeny of skull and dentition. **Journal of Systematic Palaeontology**, v.4, n. 2, p. 199-209, 2006.

CARTELLE, C. G.; DE IULIIS, G.; PUJOS, F. *Eremotherium laurillardii* (Lund, 1842) (Xenarthra, Megatheriinae) is the only valid Megatheriine sloth species in the Pleistocene of

intertropical Brazil: a response to Faure et al., 2014. **Comptes Rendus Revol**, v. 14, p. 15-23, 2014.

CIONE, A. L.; TONNI, E. P.; SOILBEZON, L. Did humans cause the Late Pleistocene-Early Holocene mammalian extinctions in South America in a context of shrinking open areas? *In*: HAYNES, G. (Ed.). **American megafaunal extinctions at the end of the Pleistocene**. 2009. p. 125–144.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. **PRIMER-E**, Plymouth, 2001. 176p.

CHHEM, R.K. Paleoradiology: History and New Developments. *In*: CHHEM, R. K.; BROTHWELL, D.R(Eds.). **Paleoradiology Imaging Mummies and Fossils**, New York: Springer, p. 1-14, 2008.

DANTAS, M. A. T.; CHERKINSKY, A.; BOCHERENS, H.; DREFAHL, M.; BERNARDES, C.; FRANÇA, L. M. Isotopic paleoecology of the Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region: Feeding ecology ($\delta^{13}\text{C}$), niche breadth and overlap. **Quaternary Science Reviews**, n. 170, p. 152-163, 2017.

DEFLEUR, A.; WHITE, T.; VALENSI, P.; SLIMAK, L.; CRÉGUT-BONNOURE, E.; Neanderthal cannibalism at Moula-Guercy, Ardèche, France. **Science**, v. 286, p. 128-131, 1999.

DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M.; JUANA, S.; GALAN, A.B.; RODRIGUEZ, M. A new protocol to differentiate trampling marks from butchery cut marks. **Journal of Archaeological Science**, n. 36, p. 2643-2654, 2009.

EBERTH, D. A.; SHANNON, M.; NOLAND, B. G. A bonebeds database: classification, biases and patterns of occurrence. *In*: ROGERS, R.R.; D.A. EBERTH, D. A.; FIORILLO, A.R. (Eds.). **Bonebeds: genesis, analysis and paleobiological significance**. Chicago: The University of Chicago Press, p. 103-220, 2007a.

EBERTH, D. A.; ROGERS, R. R.; FIORILLO, A. R. A Pratical Approach to the study of bonebeds. *In*: ROGERS, R. R.; EBERTH, D. A.; FIORILLO, A. R. (Eds.). **Bonebeds: genesis, analysis and paleobiological significance**. Chicago: The University of Chicago Press, p. 265-332, 2007b.

ERTHAL, F.; HORODYSKI, R. S.; PACHECO, M. L. A. F.; QUAGLIO, F. Tafonomia: uma ciência adulta. *In*: HORODYSKI, R. S.; ERTHAL, F. (Orgs.). **Tafonomia: métodos, processos e aplicações**. Curitiba: Editora CRV, 374p., 2017a.

ERTHAL, F.; RITTER, M. N.; KOTZIAN, C. B. Assinaturas tafonômicos em moluscos recentes e seu significado paleoambiental. **Terrae Didatica**, v. 13, p. 3-28, 2017b.

FARIÑA, R. A.; VIZCAÍNO, S. F.; BARGO, M. S. Body mass estimations in Lujanian (Late Pleistocene-Early Holocene of South America) mammal megafauna. **Mastozoologia Neotropical**, n. 5, p. 87-108, 1998.

FEJFAR, O.; KAISER, T. M. Insect bone- modification and paleoecology of Oligocene mammal-bearing sites in the Doupov mountains, northwestern Bohemia. **Paleontologia Electronica**, v. 8, p. 1-11, 2005.

FELDKAMP, L.A; DAVIS, L.C.; KRESS, J.W. Practical cone-beam algorithm. **Journal of the Optical Society of America**, v1, n.6, 612-619, 1984.

FERIGOLO, J. Anatomia comparada, paleontologia e paleopatologia de vertebrados. **Paula-Coutiana**, n.1, p. 105-127, 1987.

FERIGOLO, J. Late Pleistocene South American land-mammals extinctions: The infection hypothesis. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, v. 12, p. 279-310, 1999.

FERIGOLO, J. Paleopatologia em mamíferos. In: CARVALHO, I. S.; FERNANDES, A.C.S. (Eds.). **Iconologia**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 88-107, 2007.

FETTUCIA, D. C.; SILVA, V. M. F.; LOPES-SIMÕES, P. C. Osteological alterations in the tucuxi *Sotalia fluviatilis* (Cetacea, Delphinidae). **Iheringia-Série Zoologia**, Porto Alegre, v. 103, n. 3, p. 255-259, 2013.

FONSECA, G. A. B.; HERRMANN, G.; LEITE, Y. L. R.; MITTERMEIER, R. A.; RYLANDS, A. B.; PATTON, J. L. Lista anotada dos mamíferos do Brasil. **Conservation International Occasional Paper**, 4, p.36, 1996.

FRANÇA, L.M.; ASEVEDO, L.; DANTAS, M.A.T.; BOCCHIGLIERI, A.; AVILLA, L.S.; LOPES, R.P.; SILVA, J.L.L. Review of feeding ecology data of Late Pleistocene mammalian herbivores from South America and discussions on niche differentiation. **Earth-Science Reviews**, v. 140, p.158–165, 2015.

FRISON, G. C.; TODD, L. C. **The colby mammoth site**: taphonomy and archaeology of a Clovis Kill in Northern Wyoming. Albuquerque: University of New Mexico Press, 1986, p. 238.

GILLETTE, D. D.; RAY, C. E. Glyptodonts of North America. Smithsonian **Contributions to Paleobiology**, n. 40, p. 1-255, 1981.

GOMIDE, M. **Mamíferos pleistocênicos de Itapipoca, Ceará, Brasil, depositados no Museu Nacional**. 1989, 173 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia). Programa de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1989.

GUÉRIN, C.; FAURE, M. 2013. Un nouveau Toxodontidae (Mammalia, Notoungulata) du Pléistocène supérieur du Nordeste du Brésil. **Geodiversitas**, n. 35, v. 1, p.155-205, 2013.
HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, p. 1-9, 2001.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T. Paleontological Data Analysis. Blackwell Publishing, Madden, 2006.

HAMMER, Ø. PAST: Paleontological Statistics, v. 2.16, **Manual**, p. 187, 2012.

HAMMER, Ø. PAST: PAleontological STatistics, v. 3.15, **Manual**, p. 253, 2013.

HAYNES, G. Evidence of carnivore gnawing on Pleistocene and Recent mammalian bones. **Paleobiology**, v. 6, n. 3, p. 341-351, 1980.

HAYNES, G. Utilization and skeletal disturbances of North American prey carcasses. **Arctic**, v. 35, n. 2, p. 266-281, 1982.

HAYNES, G. A guide for differentiating mammalian carnivore taxa responsible for gnaw damage to herbivore limb bones. **Paleobiology**, v. 9, n. 2, p.164-172, 1983.

HAYNES, G. **American Megafaunal Extinctions at the End of the Pleistocene**. Springer: USA. 2009.

HAYNES, G. A.; KLIMOWICZ, J. Trauma, Injury, and Bone Lesions in an African Elephant Population. In: International Conference on Mammoths and their Relatives, 6, 2014. **Scientific Annals**, School of Geology, Aristotle University, Thessaloniki, Greece, Special volume 101, 2014.

HEDGES, R. E. M.; MILLARD, A. R. Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. **Journal of Archaeological Science**, v. 22, p. 201-11, 1995.

HENRIQUES, D. D. R.; SOARES, A. A.; MELLO, M. G. S. Registro de reação óssea em *Panochthus* Burmeister, 1866 do Pleistoceno do Estado da Paraíba. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 21, n. 46/47, p. 149-155, 1998.

HILL, A. P. Disarticulation and scattering of mammal skeletons. **Paleobiology**, v.5, p. 261-274, 1979.

HILL, N. **A filosofia do sucesso** – momentos de sabedoria. São Paulo: Companhia Editora Nacioanl, p.104, 2015.

HOLZ, M.; SIMÕES, M. G. **Elementos Fundamentais de Tafonomia**. Porto Alegre: Editora da Universidade-UFRGS, p.231, 2002.

KAISER, J. M. Proposed insect modification to fossil mammalian bone from Plio-Pleistocene hominid-bearing deposits of Laetoli (northern Tanzania). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 93, p. 693-700, 2000.

KINOSHITA, A.; BARRETO, A.; ALVES, R.; FIGUEIREDO, A.M.; SARKIS, J. E. S.; DIAS, M. L.; BAFFA, O. ESR dating of teeth from northeastern Brazilian megafauna. **Radiation Measurements**, v. 43, p .809-812, 2008.

KOWALEWSKI, M.; GOODFRIEND, G. A.; FLESSA, K. W. High-resolution estimates of temporal mixing within shell beds: the evils and virtues of time averaging. **Paleobiology**, v. 24, p. 287-304, 1998.

LYMAN, R. L. **Vertebrate taphonomy**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 524, 1994.

MABESOONE, J. M.; OLIVEIRA, L. D. D.; DAMASCENO, J. M. Desenvolvimento dos tanques fossilíferos no Semi-Árido Norte-riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990. **Anais**, Natal, UFRN, p. 733-741, 1990.

MARTIN, R. E. **Taphonomy: A process approach**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999, p. 508.

MEDEIROS, M. A. Fossildiagênese. In: CARVALHO, I.S. (Ed.), **Paleontologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, p. 65-78, 2010.

MELO, D. J.; HENRIQUES, D. D. R.; CARVALHO, C. R. 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**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, p. 745-756, 2007.

MENDES, J. C. **Paleontologia básica**. São Paulo: Edusp, 12, p.347, 1988.

MIKULÁŠ, R.; KADLECOVÁ, E.; FEJFAR, O.; DVOŘÁK, Z. Three New Ichnogenera of Biting and Gnawing Traces on Reptilian and Mammalian Bones: A Case Study from the Miocene of the Czech Republic. **Ichnos**, v.13, p.113-127, 2006.

MONTALVO, C. I. Root traces in fossil bones from Huayquerian (Late Miocene) faunal assemblage of Telen, La Pampa, Argentina. **Acta Geológica Hispanica**, v. 37, p. 37-42, 2002.

MOODIE, R. L. Studies in paleopathology: general consideration of the evidences of pathological conditions found among fossil animals. **Annals of medical history**, Chicago, 374- 396, 1917.

MOTHÉ, D.; AVILLA, L. S.; COZZUOL, M. The South American gomphotheres (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae): taxonomy, phylogeny and biogeography. **Journal of Mammalian Evolution**, v. 20, p. 23-32, 2013.

MURRAY, A. S.; WINTLE, A. G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation Measurements**, v. 32, p. 57-73, 2000.

OLIVEIRA, L. D. D.; DAMASCENO, J. M. Registro de novos espécimes de mamíferos fósseis em Lagoa da Cruz – Nova Cruz (RN). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10., 1987, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, UFRJ, 1987. p. 189-196.

OLIVEIRA, L. D. D.; HACKSPACHER, P. C. Gênese e provável idade dos tanques fossilíferos de São Rafael – RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, 1989. **Anais [...]**. Curitiba, UFPR, 1989. p. 541-545,

OLIVEIRA, E. V.; PORPINO, K. O.; BARRETO, A. M. F. On the presence of *Glyptotherium* in the Late Pleistocene of Northeastern Brazil, and the status of “*Glyptodon*” and “*Chlamydotherium*”. Paleobiogeographic implications. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie**, n. 258, p. 353-363, 2010.

ORTNER, D. J. **Identification of pathological conditions in human skeletal remains**. Academic Press, San Diego, 2003.

ORTNER, D. J.; AUFDERHEIDE, A. C. **Human Paleopathology**. Current syntheses and future options. Smithsonian Institution, p. 328, 1988.

PADIAN, K.; LAMM, E-T. **Bone histology of fossil tetrapods**: advancing methods, analysis, and interpretation. University of California Press Berkeley and Los Angeles, California, p.298, 2013.

PATZ, J. A.; EPSTEIN, P. R.; BURKE, T. A.; BALBUS J. M. Global climate change and emerging infectious diseases. **Journal of the American Medical Association**, v. 275, p. 217–223, 1996.

PAULA COUTO, C. **Tratado de paleomastozoologia**. Academia Brasileiras de Ciências, Rio de Janeiro, p. 590, 1979.

PAULA COUTO, C. Fossil Pleistocene to sub-recent mammals from northeastern Brazil. I-Edentata Megalonychidae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, n.1, p. 143-151, 1980.

PENG, B.; WU, W.; HOU, S.; SHANG, W.; WANG, X.; YANG, Y. The pathogenesis of Schmorl's nodes. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, v. 85, p. 879-882, 2003.

PFEIFFER, S. Is paleopathology a relevant predictor of contemporary health patterns? In: ORTNER, D. J.; AUFDERHEIDE, A. C. (Eds.). **Human Paleopathology**: Current Synthesis and Future Options. Washington and London: Smithsonian Institution Press, p.12-17, 1991.

PIRRONE, C.A.; BUATOIS, L.A.; BROMLEY, R.G. Ichnotaxobases for bioerosion trace fossil in bones. **Journal Paleontology**, n. 88, p.195-203, 2014.

PORPINO, K. O.; SANTOS, M. F. C. F.; CARVALHO-NETO, A. T. Observações tafonômicas preliminares na assembleia fossilífera de Lágua Formosa, São Rafael/RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17, 2001. **Anais**, Rio Branco, UFAC, p. 38.

PORPINO, K. O.; SANTOS, M. F. C. F. S. O estudo de mamíferos pleistocênicos no Nordeste brasileiro e a necessidade de abordagens complementares: um exemplo potiguar. **Revista de Geologia**, v. 15, n. 17-21, 2002.

PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P. Novos achados de *Panochthus* (Mammalia, Cingulata, Glyptodontoidea) no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, n. 4, p. 51-62, 2002.

PORPINO, K. O.; SANTOS, M. F. C. F.; BERGQVIST, L. Registros de mamíferos fósseis no Lajedo de Soledade, Apodi, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 7, n. 3, p. 349-358, 2004.

PREVOSTI, F. J.; VIZCAÍNO, S. F. Paleoecology of the large carnivore guild from the Late Pleistocene of Argentina. **Acta Paleontologica Polonica**, v. 51, n. 3, p. 407-422, 2006.

RIBEIRO, R. C. **Aspectos tafonômicos dos fósseis da megafauna do Quaternário Tardio de Lagoa do Rumo, Baixa Grande, Bahia**. 2010, 116 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

RIBEIRO, R. C., CARVALHO, I. S. Feições de intemperismo em fósseis da megafauna do Quaternário tardio de Lagoa do Rumo, Baixa Grande (BA), Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 1, p. 37-47, 2013.

ROBERTS, C.; MANCHESTER, K. **The archaeology of disease**. Cornell University Press, p. 352, 2010.

ROBERTS, E. M.; ROGERS, R. R.; FOREMAN, B. Z. Continental insect borings in dinosaur bone: examples from the Late Cretaceous of Madagascar and Utah. **Journal of Paleontology**, v. 81, p. 201-208, 2007.

ROLIM, J. L. Megatérios do Nordeste brasileiro. **Estudos e Pesquisas**, série B, n. 6, p. 1-12, 1971.

ROLIM, J. L. Calcário secundário com restos fósseis de mamíferos pleistocênicos em Pernambuco. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 46, v. 3/4, p. 417-422, 1974a.

ROLIM, J. L. **Paleontologia e estratigrafia do Pleistoceno Continental do Nordeste brasileiro "Formação Cacimbas"**. 1974b, 117 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 1974b.

ROTH, S. Catálogo de los mamíferos fósiles conservados en el Museo de La Plata. Grupo Ungulata, Orden Toxodontia. **Revista del Museo de La Plata**, v. 8, p. 33-160, 1898.

ROTHSCHILD, B. M.; WOODS, R. J.; ROTHSCCHILD, C. Calcium pyrophosphate deposition disease: description in defleshed skeletons. **Clinical and Experimental Rheumatology**, v. 10, p. 557-564, 1992.

ROTHSCHILD, B. M.; MARTIN, L. D. **Skeletal impact of disease**. New Mexico Museum of Natural History & Science, Division of the department of cultural affairs, Albuquerque, Bulletin 33, 2006.

ROTHSCHILD, B. M.; HO, J.; MASHARAWI, Y. Macroscopic anatomy of the vertebral endplate: Quid significat? Anthropologischer Anzeiger. **Journal of Biological and Clinical Anthropology**, v. 71/3, p. 191-217, 2014.

RUFFER, S. A. M. Studies in paleopathology in Egypt. **The Journal of Pathology and Bacteriology**, v.18, p. 149, 1914.

SANTOS, R.S. A fauna cenozóica da região Nordeste do Brasil. **Coleção Mossoroense**, Mossoró, 1982.

SANTOS, M. F. C. F. **Geologia e paleontologia de depósitos fossilíferos pleistocênicos do Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 70 p, 2001.

SANTOS, M.F.C.F.; BEGQVIST, L.P.; LIMA-FILHO, F.P.; PEREIRA, M.M.V. Feições tafonômicas observadas em fósseis pleistocênicos do Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia**, v. 15, p. 31-41, 2002.

SCHERER, C. S.; PALES, L. F. M.; ROSA, M.; SILVA, S. A. Chronological, taphonomical, and paleoenvironmental aspects of a Late Pleistocene mammalian fauna from Guanambi, Bahia, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 79, p. 95-110, 2017.

SCHINDELIN, J.; ARGANDA-CARRERAS I.; FRISE, E. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. **Nat methods**, v. 9, p.676-682, 2012.

SCHRÖDER-ADAMS, C. J.; CUMBAA, S. L.; BLOCH, J.; LECKIE, D. A.; CRAIG, J.; SEIF-EL-DEIN, S. A.; SIMONS, J. H. A. E.; KENIG, F. Late Cretaceous (Cenomanian to Campanian) paleoenvironmental history of the eastern Canadian margin of the Western Interior Seaway: bonebeds and anoxic events. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 170, 261-289, 2001.

SCILLATO-YANÉ, G. J.; CARLINI, A. A.; TONNI, E. P.; NORIEGA, J. I. Paleobiogeography of the late Pleistocene pampatheres of South America. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 20, n.1-2, 131-138, 2005.

SEILACHER, A. Sonderforschungsbereich 53, "Palaökologie": Arbeitsbericht 1970-1975. **Zentralblatt für Geologie und Mineralogie**, n 2, v. 5/6, p. 2003-494, 1976.

SELVAGGIO, M. M. **Identifying the timing sequence of hominid and carnivore involvement with Plio-Pleistocene bone assemblages from carnivore tooth marks and stone-tool butchery marks on bone surfaces**. Tese (Doutorado), Rutgers University, 1994.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Diagnóstico do município de Capoeiras. In: CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2005. p. 2-4.

SHIPMAN, P. **Life history of a fossil: an introduction to taphonomy and paleoecology**. Cambridge: Harvard University Press, p. 222, 1981.

SILVA, J. L. L. Tafonomia em mamíferos pleistocênicos: o caso da planície colúvio-aluvionar de Maravilha-AL. 2001. 99f. (Mestrado em Geociências). Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

SILVA, F. M.; ALVES, R. S.; BARRETO, A. M. F.; SÁ, F. B.; SILVA, A. C. B. A megafauna pleistocênica do estado de Pernambuco. **Estudos Geológicos**, n. 16, v.2, p. 55-66, 2006.

SILVA, D. G. **Evolução paleoambiental do depósito de tanques em Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus-Pernambuco**. 2007. 154f. (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

SILVA, J. L. L. **Reconstrução paleoambiental baseada no estudo de mamíferos pleistocênicos de Maravilha e Poço das Trincheiras, Alagoas, Nordeste do Brasil**. 2008. 213 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, F. M. Mamíferos do Pleistoceno Superior de Afrânio, Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 2, p. 01-11, 2010.

SILVA, F. M. **Tafonomia em tanque de Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus, Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil**. 2013. 105f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SIMÕES-LOPES, P. C.; MENEZES, M. E.; FERIGOLO, J. Alterações senil-degenerativas, patológicas, traumáticas e malformações ósseas. In: MONTEIRO, E. L. A.; MONTEIRO, K. D. K. A. (Eds.). **Biologia, Ecologia e Conservação do Boto-Cinza**. Campinas: IPeC, p. 39-50, 2008.

SIMÕES, M. G.; RODRIGUES, S. C.; BERTONI-MACHADO, C.; HOLZ, M. **Tafonomia: processos e ambientes de fossilização**. In: CARVALHO, I.S. (Ed.). **Paleontologia: Conceitos e Métodos**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, p. 19-51, 2010.

SIMPSON, G. G.; PAULA-COUTO, C. The mastodonts of Brazil. **Bulletin of American Museum of Natural History**, v. 112, n. 2, p. 1-65, 1957.

VACCARO, A.; PATTEN, S.A.; AGGAD, D.; JULIEN, C.; MAIOS, C.; KABASHI, E.; DRAPEAU, P.; PARKER, J.A. Pharmacological reduction of ER stress protects against TDP-43 neuronal toxicity in vivo. **Neurobiology of Disease**, v. 55, p. 64-75, 2013.

VIDAL, N. Contribuição ao conhecimento da Paleontologia do Nordeste brasileiro: Notícia sobre a descoberta de vertebrados pleistocênicos no município de Pesqueira, em Pernambuco. **Boletim do Museu Nacional**, v. 6, p. 1-15, 1946.

VOORHIES, M. R. Taphonomy and populations dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska. **Contributions to Geology**, n. 1, v. 1-69, 1969.

WALDHERR, F. R.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; RODRIGUES, S.W. Origem e morfologia dos tanques naturais do Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, n. 44, v. 3, p. 467-488, 2017.

WALDRON, T. **Paleopathology**. In: BARKER, G.; SLATER, E.; BOGUICKI, P. (Eds.) Cambridge Manuals in Archaeology. p. 299, 2009.

WANG, X., AULER, A. S., EDWARDS, R.L., CHENG, H., . CRISTALLI, P.S., SMART, P. L., RICHARDS, D.A., SHEN, C. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v.432, n.9, 2004.

XIMENES, C. L. Tanques fossilíferos de Itapipoca, CE: bebedouros e cemitérios de megafauna pré-histórica. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C.R.G.; FERNANDES, A.C.S.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E.T.; CAMPOS, D.A (Eds.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – SIGEP**. Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos, Brasília, p. 465-478. 2009.

ZURITA, A. E.; OLIVEIRA, E. V.; TORIÑO, P.; RODRIGUEZ-BUALÓ, S.M.; SCILLATO-YANÉ, G. J.; LUNA, C.; KRAPOVICKAS, J. On the taxonomic status of some Glyptodontidae (Mammalia, Xenarthra, Cingulata) from the Pleistocene of South America. **Annales de Paleontologie**, n. 97, p. 63-83, 2011.

ZURITA, A. E.; MIÑO-BOILINI, A. R; FRANCA, A.; MOSQUERA-ARENAS, J. E The Pleistocene Glyptodontidae Gray, 1869 (Xenarthra: Cingulata) of Colombia and some considerations about the South American Glyptodontinae. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v.15, n.3, p. 273-280, 2012.

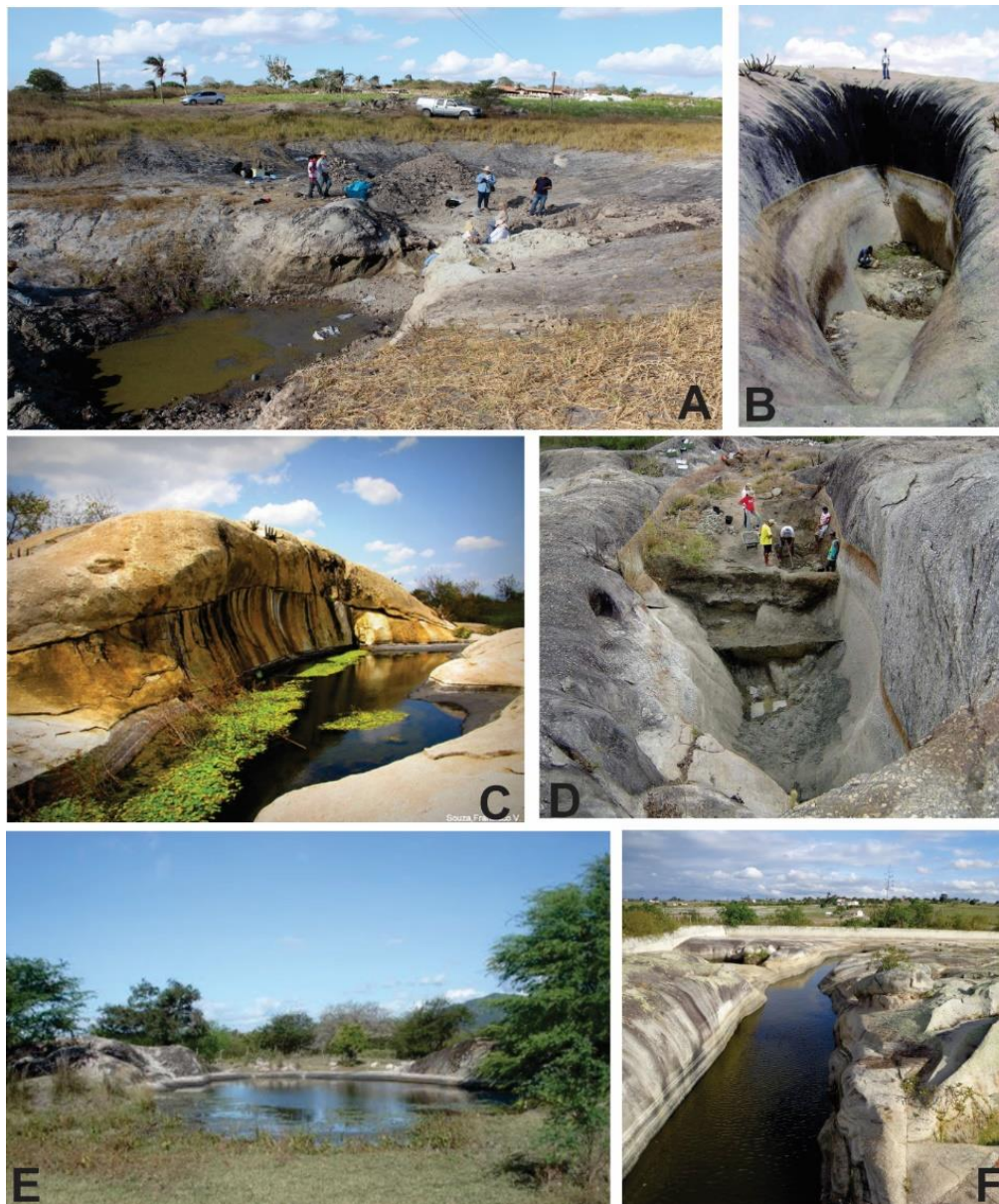
APÊNDICE A - MATRIZ DE DADOS, COM BASE NAS ASSINATURAS TAFONÔMICAS, UTILIZADA PARA AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS NO PAST

	Complete	Partial	Fragment	Articulate	Disarticul	Weatherir	Weatherii	Weatherir	Weathering_stag	Weathe	FTI_>_75	FTI_50-75	FTI_<_50	No_abras	Moderate	High_abra	Tooth_ma	Trample_r	Anthropogenic_signs
Lage_Grande	29,6	35,2	35,2	0,9	99,1	23,9	68,3	7,8	0	0	67,1	9,8	23,1	9,6	86,1	4,3	0	1,7	0
Jirau	3	15	82	0	100	4,7	18,3	25,5	37,5	8,3	0,7	79,6	19,7	3,9	75	21,1	1,9	16	0
João_Cativo	19,7	26,8	53,5	0	100	24,8	29,9	40,5	4,3	0,5	33,3	58,3	8,4	45,4	53,3	1,3	0,1	0,5	0,1
Curimatãs	21,2	28	50,8	0	100	7,8	68,8	23,4	0	0	67,4	16,3	16,3	5,1	81,3	13,6	0	0	0
Campo_Alegre	12,3	5,4	82,3	3	97	10,6	64	25,4	0	0	93,9	1,8	4,3	1,5	94,9	3,6	0	0,3	0
Zabelê	12,27	23,19	62,4	0	100	89,85	8,51	0,98	0,65	0	31,72	56,39	11,89	30,02	50,98	19	1,31	17,21	0

Fonte: A autora (2019).

APÊNDICE B – FIGURA COMPARANDO A MORFOLOGIA DO DEPÓSITO DE TANQUE ZABELÊ COM OUTROS TANQUES DO NORDESTE DO BRASIL

A. Sítio paleontológico Zabelê, Capoeiras, Pernambuco (morfologia elíptica, em poltrona, notar a cobertura de sedimentos clásticos).. B. Sítio Paleontológico de Jirau, Itapipoca, Ceará (morfologia elíptica). Foto: C. L. Ximenes, 2007. C. Tanque em Lágea Formosa, São Rafael, Rio Grande do Norte (morfologia irregular). Foto: Francisco V. Souza. D. Sítio Paleontológico Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco (morfologia irregular). Foto: Alves, 2007. E. Tanque na fazenda Ovo da Ema, Alagoas (morfologia circular). Foto: Silva, J., 2008. F. Tanque na Paraíba (morfologia irregular). Foto: Google.



Fonte Foto A: A autora (2019).

APÊNDICE C – TABELA DE FÁCIES IDENTIFICADAS NO PERFIL ESTRATIGRÁFICO DA ACUMULAÇÃO DO TANQUE ZABELÊ, CAPOEIRAS, PERNAMBUCO

Código	Fácies	Descrição das estruturas	Interpretação
<i>Fácies Gms (camada 1)</i>	<i>Cascalho maciço matriz suportado</i>	Gradado	Depósito de fluxo de detrito
<i>Fácies Gm (camada 2)</i>	<i>Cascalho maciço ou pouco estratificado</i>	Acamamento horizontal, imbricação	barras longitudinais, depósitos de lag, depósitos de sieve
<i>Fácies Sp (camada 3)</i>	Areia, média a muito grossa, pode ter seixos	Estratificações planares solitárias ou agrupadas	Lingóides, barras transversais, ondas de areias (regime de menor fluxo)
<i>Fácies St (camada 4)</i>	Areia, média a muito grossa, pode ter seixos	Estratificações cruzadas solitárias ou agrupadas	Dunas (regime de menor fluxo)

Fonte: A autora (2019).

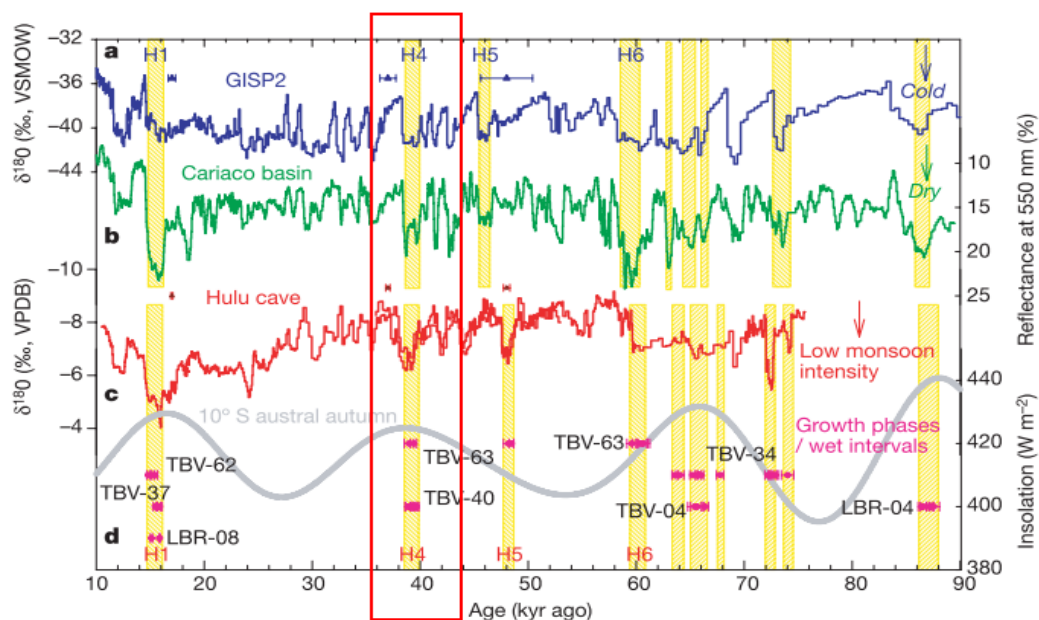
Nota: elaborada de acordo com Miall (1985; 1996).

ANEXO A – TABELA COM AS ASSINATURAS TAFONÔMICA ANALISADAS NO SPZ

Tipo de dados tafonômicos	Assinaturas tafonômicas	Categorias					
Censo da tafocenose	Diversidade taxonômica Dominância (Eberth et al., 2007)	Monotáxica		Paucitáxica Monodominante	Multitáxica Multidominante		
	Representatividade óssea e de indivíduos	Número de Partes esqueletais identificáveis (NISP) por táxon		Número Mínimo de Elementos (MNE) por táxon	Número Mínimo de Indivíduos (MNI) por táxon	Abundância relativa	
	Espectro ontogenético	Juvenil	Subadulto	Adulto	Senil		
Dados de modificação óssea	Estágios de intemperismo (Behrensmeyer, 1978)	0	1	2	3	4	5
	Graus de abrasão (Fiorillo, 1988)	0			1	2	3
	Marcas de dentes (Haynes, 1980)	Ausência			Scratches		Punctures
	Marcas de insetos	Ausência		Presença			
	Marcas de raízes	Ausência		Presença			
	Marcas de pisoteio	Ausência		Presença			
	Grau de desarticulação (Behrensmeyer, 1991)	Articulado		Associado		Desarticulado	
	Sinais de corrosão	Ausência		Presença			
	Incrustação	Ausência		Presença			
	Tipos de quebras em ossos longos	Perpendicular ao maior eixo e com borda irregular		Perpendicular ao maior eixo e com borda lisa		Colunar	Denteada
Dados de campo	Integridade física (Araújo-Júnior et al., 2013a)	Completo (> 90% do espécime)		Parcial (50%-90% do espécime)		Fragmento (< 50% do espécime)	
	Aspectos sedimentológicos e estratigráficos	Posição no perfil estratigráfico		Parâmetros texturais		Estruturas sedimentares associadas	
	Grau de empacotamento (Holz & Simões, 2002)	Densamente empacotado		Frouxamente empacotado		Disperso	
	Espécime em relação ao plano de acamamento (Holz & Simões, 2002)	Concordante		Oblíquo		Perpendicular	
	Fragmentação <i>in situ</i>	Ausência		Presença			
	Orientação						
	Iconofósseis associados						

Fonte: Araújo-Júnior e Bissaro-Júnior (2017).

ANEXO B – GRÁFICO COMPARANDO OS PADRÕES DE CRESCIMENTO DE ESPELEOTEMAS DO NORDESTE BRASILEIRO COM EVENTOS REGISTRADOS EM VÁRIOS ARQUIVOS PALEOCLIMÁTICOS DO HEMISFÉRIO NORTE



Fonte: Wang et al., 2004.

Nota: o evento H4 corresponde ao intervalo geocronológico obtido em ZPS e corresponde a fase mais seca antes da pluvial.