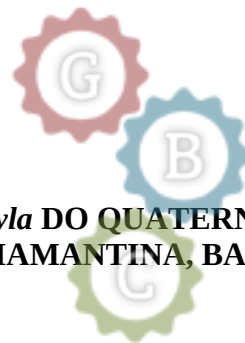




Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA,  
BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**



**ASPECTOS TAFONÔMICOS DE *Tamandua tetradactyla* DO QUATERNÁRIO DA  
CAVERNA LAPA DO BODE DA CHAPADA DIAMANTINA, BAHIA**

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

**RONALDO ARAUJO LEONI**



**Jequié - BA**  
**2021**

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



RONALDO ARAUJO LEONI

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

**ASPECTOS TAFONÔMICOS DE *Tamandua tetradactyla* DO QUATERNÁRIO DA CAVERNA LAPA DO BODE DA CHAPADA DIAMANTINA, BAHIA**



Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, para obtenção do título de mestre.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Orientador: Prof. Dr. Mário André Trindade Dantas.

Co-orientador: Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior.



Jequié - BA

2021

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

L585a Leoni, Ronaldo Araújo.

Aspectos tafonômicos de *Tamandua tetradactyla* do Quaternário da caverna Lapa do Bode da Chapada Diamantina, Bahia / Ronaldo Araújo Leoni.- Jequié, 2021.  
59f.

(Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, sob orientação do Prof. Dr. Mário André Trindade Dantas e coorientação do Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior)

1.Tamandua 2.Bioestratinomia 3.Fóssil 4.Abrasão 5.Transporte  
I.Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia II.Título

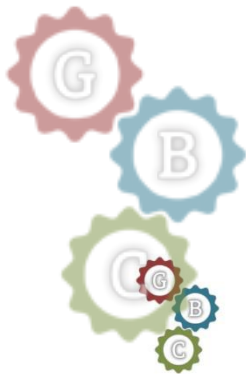
CDD – 333.9516

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Rafaella Cância Portela de Sousa - CRB 5/1710, Bibliotecária – UESB - Jequié



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Governo do  
Estado da Bahia

Programa de Pós-Graduação em  
Genética, Biodiversidade e Conservação

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB  
Recredenciada pelo Decreto Estadual  
Nº 16.825, de 04.07.2016

Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação

## DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

**Título: “Aspectos tafonômicos de vertebrados do Quaternário de cavernas da Chapada Diamantina, Bahia”.**

Autor (a): Ronaldo Araujo Leoni

Orientador (a): Prof. Dr. Mário André Trindade Dantas

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM GENÉTICA, BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GENÉTICA, BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO, pela Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mário André Trindade Dantas (IMS/CAT) / Vitória da Conquista/BA

Prof. Dr. Kleberson de Oliveira Porpino – UERN / Mossoró/RN

Prof. Dr. Luciano Artêmio Leal - UESB / Jequié/BA

Data de realização: 24 de agosto de 2021.

Campus de Jequié

(73) 3528-9725 | ppggbc@uesb.edu.br



**Campus de Itapetinga**  
Praça da Primavera, 40  
Bairro Primavera  
CEP 45.700-000  
PABX: (77) 3261-8600

**Campus de Jequié**  
Rua José Moreira Sobrinho, s/n  
Bairro Jequiezinho  
CEP 45.200-000  
PABX: (73) 3528-9600

**Campus de Vitória da Conquista**  
Estrada do Bem Querer, km 4  
Bairro Universitário  
CEP: 45.031-300  
PABX: (77) 3424-8600

Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação



## AGRADECIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho conta com o auxílio de diversas pessoas sem as quais nada disso seria possível. Agradeço em primeiro lugar a minha família, em especial a minha mãe e irmãs, minha base, sem elas nada seria possível. Ana Tereza, minha namorada e amiga que me apoiou durante todo o processo, esteve comigo nos momentos de alegria e principalmente nos difíceis, mesmo distante.

Meus sinceros agradecimentos a todos os meus amigos com quem eu pude aliviar um pouco a carga, com quem pude me aconselhar, trocar experiências, me trouxeram alegria em momentos necessários, sou grato por ter vocês em minha vida, especialmente os meus amigos Raphael, Junior, Binn, Romeu, Pedro e Van, pessoas por quem tenho profundo respeito e apreço. Agradeço a cada uma das pessoas da minha turma de mestrado, pelo companheirismo, troca de experiências e apoio durante esse curto período.

Em especial neste período, sem o apoio dos meus amigos Laís, Verônica e Micael jamais teria chegado onde cheguei, serei sempre grato e estarei sempre em dívida com essas pessoas que tanto me apoiaram e continuam me apoiando, Laís em especial que além de amiga, sempre será minha orientadora, por quem tenho grande admiração tanto como pessoa como profissional.

Aos meus orientadores, aos quais agradeço a paciência e habilidade na passagem do conhecimento, Mário que está presente desde a minha graduação a quem agradeço pelas oportunidades e conhecimento adquirido ao longo desse tempo, e Hermínio que além de orientador é uma grande inspiração no campo da Tafonomia, com quem pude aprender um pouco do enorme conhecimento que este tem para passar.

Agradeço a UESB, e ao CNPQ, as bancas de qualificação e defesa, que contribuíram de forma crítica para produção final do trabalho, ao Programa de Pós Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação, através do qual foi possível desenvolver este trabalho seja tanto pela estrutura, recursos ou conhecimento adquirido neste interim.



## BIOGRAFIA

Sou Ronaldo Araujo Leoni, nascido em 07/10/1993, brasileiro, natural de Santo André, São Paulo, formado em Ciências Biológicas com ênfase em Paleontologia/Paleoecologia especificamente, área na qual desenvolve dissertação, na sub área Tafonomia que leva o título “Aspectos tafonômicos de vertebrados do Quaternário de cavernas da chapada diamantina, Bahia”.

Me formei pela Universidade Federal da Bahia, iniciando no ano de 2014 e concluindo no ano de 2018, iniciando a pós graduação *strictu sensu* no Programa de Pós graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia na linha de Biodiversidade e Conservação sob a orientação do Prof. Dr. Mário André Trindade Dantas e co-orientação do Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior no ano de 2019. Trabalhando então na linha de Tafonomia em ambiente de cavernas, na qual os objetos de estudo são principalmente fósseis de mamíferos nos quais são feitas as análises nas marcas deixadas desde sua morte até o tempo no qual foi encontrado, registrando toda a interação desses restos com o ambiente.

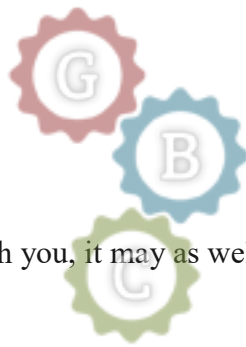
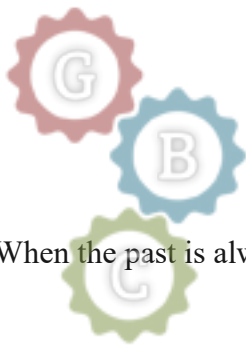
A Paleontologia/Paleoecologia foi um dos campos que mais explorei e criei vínculo durante a graduação, especialmente no decorrer de iniciações científicas intituladas Paleoecologia isotópica dos megamamíferos do Quaternário da Região Intertropical Brasileira - ecologia alimentar ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ), largura e sobreposição de nicho ecológico finalizada no ano de 2018 e Identificação taxonômica e Paleoecologia isotópica de fósseis de Chiroptera da caverna da Barriguda (Campo Formoso/BA) finalizada no ano de 2019. A Tafonomia, especialmente, foi uma das três linhas exploradas durante o trabalho de conclusão de curso da graduação, sendo assim, uma das áreas de interesse dentro da paleontologia que havia e ainda há grande interesse em contribuir para a expansão do conhecimento.



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



“When the past is always with you, it may as well be present; and if it is present, it will be future as well.” William Gibson

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



## RESUMO

Neste trabalho foi estudada a caverna Lapa do Bode, localizada no município de Ituaçu, Bahia, mais especificamente um esqueleto completo atribuído a espécie *Tamandua tetradactyla*. Neste fóssil foram observados aspectos bioestratinômicos, dentre os quais estão o grau de abrasão, transportabilidade, desarticulação, grau de fragmentação, marcas de predação, alteração da cor e corrosão. A abrasão foi encontrada apenas em ossos longos, apesar da abrasão o transporte não foi observado, segundo os Grupos de Voorhies, alguns elementos foram encontrados articulados, porém a grande maioria foi atribuído como associado, para todo o material foi atribuída a categoria danificado de Behrensmeyer, sinais de predação puderam ser observados, em apenas um elemento, quanto a coloração foi observada a cor marrom avermelhada, Munsell 10R 3/6, e o grau de corrosão observados na maioria dos elementos indicam que os elementos foram depositados em um solo rico em ferro. O baixo grau de abrasão, o grau de desarticulação de associado, a alta completude do esqueleto e a presença de todos os Grupos de Voorhies apontam que esse é um fóssil autóctone, foi fossilizado próximo ao local onde morreu. As marcas biogênicas estão relacionadas a canídeos, porém não houve transporte biológico após a desarticulação. A corrosão e a alteração de cor indicam características ligadas ao mesmo tipo de solo no qual o fóssil estava depositado.

Palavras-chave: *Tamandua*, bioestratinomia, fóssil, abrasão, transporte



## ABSTRACT

Caves are environments that can show a high variety of geological formations, furthermore, these environments can preserve biological remains with high efficiency. Taphonomy is a field that fulfills the information contained in fossils and the bias which modified them when these fossils were fossilized, the Taphonomy when made in caves, specifically, a high preserved fossil can be found. In this communication were studied the cave Lapa do Bode, located in Ituaçu city, Bahia, more specifically a complete skeleton attributed to the species *Tamandua tetradactyla*, in this fossil was observed biostratigraphic aspects, among them, are the degree of abrasion, transportability, disarticulation, degree of fragmentation, predation marks, color alteration, and corrosion. The abrasion was found only in long bones, despite the abrasion, the transport was not observed, according to the Voorhies groups, some elements were found articulated, but the most of fossils were observed as associated, the role material was categorized as damaged as described by Behrensmeyer, predation marks could be seen in only one element, about color was observed the reddish-brown color, Munsell 10R 3/6, and the corrosion degree observed in most of the elements show which the elements was deposited in an iron soil. The low degree of abrasion, degree of disarticulation of associated, the highest completeness of skeleton, and the presence of all of Voorhies groups indicate which this is an autochthonous fossil, was fossilized near the location of death. The biogenic marks are related to canids, but there was no biological transport after disarticulation. The corrosion and the color alteration indicate characteristics linked to the same type of soil in which fossil was deposited.

Keywords; *Tamandua*, biostratigraphy, fossil, abrasion, transport



## LISTAS DE FIGURAS

Figura. 1: Mapa de localização do Brasil, com foco no estado da Bahia e cidade no qual os fósseis pertencentes ao *Tamandua tetradactyla* foram coletados, cidade de Ituaçu destacada e caverna Lapa do Bode pontuada no mapa em verde.

Figura. 2. Fêmur com epífise distal em destaque evidenciando abrasão. Escala = 2 cm.

Figura. 3. Fêmur com epífise proximal em destaque evidenciando abrasão. Escala = 2 cm.

Figura. 4. Elementos esqueléticos de *Tamandua tetradactyla* articulados e associados; A. tíbia e fragmento de fíbula ainda articulados; B. vértebras articuladas; C., D, E; falange medial e distais articuladas. Escala = 2 cm.

Figura. 5. Costela de *T. tetradactyla* com fragmentação produzida por agentes intempéricos; descamação indicada pela seta. Escala = 2 cm.

Figura. 6. Ulna com marcas de predação ao longo da diáfise da ulna de *T. tetradactyla* com epífise distal fragmentada e marcas de predação ao longo da diáfise, setas no aumento indicando a feição. Escala = 2 cm.

Figura. 7. Elementos ósseos com impregnação; A. crânio com impregnação marrom avermelhada por toda a sua extensão, de forma heterogênea e mais intensa do lado esquerdo; B. Úmero impregnado de forma homogênea e intensa com coloração marrom avermelhada. Escala = 2 cm.

Figura. 8. Elementos com danos produzidos por corrosão; A. costela com danos ao longo da diáfise; B. costela com danos intensos ao longo da diáfise; C. tíbia com danos concentrados na epífise.



## LISTAS DE TABELAS

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Table 1: Valores de feições bioestratinômicas dos espécimes de *Tamandua tetradactyla* para Valores de **abrasão**: inabradado (0), abradado (1), altamente abradado (2). **Articulação**: articulado (1), associado (2), desarticulado (3). Valores atribuídos para a **fragmentação**: estágio 0 - 5. Valores atribuídos as **marcas de predação**: ausente (0), presente (1), extensiva (2). Tabela modificada das mostrada por Rogers (2007) e (Araújo-Júnior, 2013).



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

T. - Tamandua

Km -Quilômetro

cm<sup>2</sup> - Centímetro quadrado

LEG -Laboratório de ecologia e geociências

Mm - Milímetro

e.g. - Por exemplo/ Exempli gratia

kg - Quilograma

FTI – Fluvial transport index

C. - Capreolus

Sp – Nome específico não especificado

PH - Potencial hidrogeniônico

MMQ - Método dos mínimos quadrados

BA - Bahia

S - Sul

O - Oeste

W - West

Munsell 10R 3/6 – Tom de vermelho



## SUMÁRIO

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                           | 14 |
| 2. REVISÃO TEÓRICA .....                                      | 15 |
| 2.1 BIOESTRATINOMIA .....                                     | 15 |
| 2.2 DIAGÊNESE .....                                           | 25 |
| 2.3 TAFONOMIA DE <i>Tamandua tetradactyla</i> NO BRASIL ..... | 30 |
| 3. OBJETIVOS .....                                            | 32 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL .....                                      | 32 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                               | 32 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....                                   | 32 |
| 4.1. MATERIAL .....                                           | 32 |
| 4.2. MÉTODOS .....                                            | 33 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                           | 35 |
| 6. CAPÍTULO 1 .....                                           | 39 |
| 7. CONCLUSÕES GERAIS .....                                    | 61 |

## 1. INTRODUÇÃO

Cavernas são ambientes estáveis que proporcionam condições únicas, nas quais os restos biológicos das mais diversas origens podem ser fossilizados em alta qualidade de preservação. Apesar da qualidade, estes ambientes produzem vieses através de fatores intrínsecos ao próprio local, que acabam causando confusão sobre o entendimento das comunidades do passado fazendo com que sobre as premissas enviesadas produzamos conclusões errôneas.

O campo que permite a movimentação por esse emaranhado de informações de maneira segura é a Tafonomia, uma área que se preocupa tanto com a origem e destino dos restos biológicos, como com o substrato ao qual estes restos estão associados. A Tafonomia então observa as alterações que os indivíduos sofrem ao longo do tempo, desde sua morte até a sua exumação, trabalhando com as alterações que estes restos sofreram neste ínterim.

Existem vários aspectos que podem ser observados em uma análise tafonômica, a junção desses aspectos produz um cenário que remonta uma situação de morte. Além da morte a interação dos restos com o ambiente, dadas as limitações impostas pela intensidade com a qual os processos destrutivos e fossilíferos afetam a informação contida nos remanescentes.

Polimento, dessecação, perfurações, quebras são alguns dos caracteres destrutivos que podem ser observados nos restos, fazendo com que os elementos sejam alterados, e até não cheguem a fossilização, processos como o de transporte, desarticulação, pisoteio, predação, abrasão, corrosão e intemperismo podem ser identificados a partir desses caracteres observáveis. Bioestratinomia é a denominação dada ao campo que estuda estes eventos situados desde a morte do indivíduo até o momento no qual esses remanescentes são enterrados.

Com o enterro destes restos e fim da fase bioestratinômica têm início então os processos diagenéticos. A diagênese é iniciada com o enterro dos remanescentes e chega ao fim com a até a sua exumação, podendo ser interrompidos por retrabalhamento, processo no qual os restos já enterrados são exumados, e durante esse período podem vir a sofrer

processos bioestratinômicos e enterro novamente. Durante o período de enterro os processos, de forma geral, tomam longa duração. São eventos recristalização, permineralização, compressão, substituição, enraizamento, na qual a estrutura molecular dos ossos é modificada por forças de natureza diferentes e em mais dimensões. Na maioria dos casos, os processos diagenéticos, apesar de imprimirem alterações nos restos conferem em contrapartida proteção ao longo do tempo, tanto pela conformidade na qual os restos, geralmente, tendem para uma estrutura mais estável quando estão sofrendo estes processos, como pela velocidade desacelerada dos processos propriamente ditos.

Ademais, as cavernas representam importantes ambientes de fossilização também para o Quaternário do nordeste do Brasil. A escassez de estudos tafonômicos nesse tipo de ambiente, como na caverna Lapa do Bode, as informações paleobiológicas que podem ser inferidas utilizando a Tafonomia como ferramenta, juntamente com o alto nível de preservação que esses ambientes podem abrigar, são atrativos para o estudo.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 BIOESTRATINOMIA

A Tafonomia foi caracterizada primeiramente por Efremov (1940) e depois, adotado pela maioria dos paleontólogos como o estudo da transição dos restos biológicos da biosfera para a litosfera. Behrensmeyer e Kidwell (1985) redefiniram a Tafonomia, ressaltando o papel tradicional da análise tafonômica na pesquisa paleontológica, alertando para os vieses inerentes ao registro fóssil.

O conceito definido anteriormente falha em não apresentar uma preocupação mais ampla sobre como as assembleias fósseis são modificadas durante a preservação, por adição e alteração na informação, bem como também sua perda. Diante disso, Behrensmeyer e Kidwell (1985) redefiniram o conceito, o descrevendo como o estudo dos processos de preservação e como eles afetam a informação no registro fóssil. Em pormenores, Behrensmeyer et al (2000), ampliou a caracterização de 1985, acrescentado que o registro fóssil é rico em informação ecológica e biológica, mas a qualidade dessa informação é incompleta e irregular.

A Tafonomia então procura entender esses processos para que os dados do registro fóssil possam ser interpretados corretamente e aplicados para questões paleobiológicas e paleoecológicas. Behrensmeyer e colaboradores discorrem ainda sobre como a preservação, os processos e condições operando em diferentes escalas criam uma dependência para que isso ocorra.

A transição dos restos, os fatores que controlam a preservação dos remanescentes e a modificação da informação podem ser entendidos como uma equação, na qual o lado provedor desta equação, onde estão os reagentes, ou no contexto tafonômico, o material biológico é composto por aspectos como: taxa de input, volume total e composição dos restos provenientes do ambiente. A natureza do ambiente pré-enterro que possui fatores como: seletividade e intensidade da modificação pelos agentes locais físicos, químicos e biológicos na interface sedimento ar ou sedimento água, a modificação pode ser destrutiva (como em casos de bioerosão, necrofagia ou dissolução) ou estabilização do material (como em casos de bioincrustação e formação de caverna/toca. Outro importante fator é a taxa eminência e permanência do enterro, qual determina o quão longo os tecidos são expostos a processos na superfície do sedimento, em contrapartida com os tecidos dentro da coluna sedimentar (Behrensmeyer et al, 2000).

As condições diagenéticas, da parte superior da coluna sedimentar (zona altamente dinâmica com relação à mistura) onde remanescentes orgânicos e sedimentos são ainda sujeitos a bioturbação são de suma importância para a consolidação e posterior interpretação das condições, além dos efeitos meteóricos, processos microbiológicos e possivelmente retrabalhamento físico. As modificações pós-enterro podem estabilizar os restos (e.g. revestimento mineral, preenchimento, substituição), permitindo maior resistência do material em decomposição a intempéries ou reduzir a fidelidade bioquímica e detalhamento anatômico (hidrólise, maceração contínua, dissolução, recristalização), contribuindo para a destruição ou diminuição da qualidade do material para a interpretação tafonômica (Behrensmeyer et al, 2000).

E por último, além desses fatores próximos a superfície, que liga os remanescentes biológicos em uma matriz sedimentar consolidada, a sobrevivência a longo prazo do material fossilizado é determinada pelo destino do maior corpo sedimentar. Os fatores chave aqui são fortemente ligados ao conjunto tectônico, o qual determina as taxas de agitação e compactação, profundidade de enterro (e, portanto, a natureza da diagênese posterior e metamorfismo), e

deformação estrutural. A sequência mais longa de sobrevivência de rolamento fóssil ocorre em margens estáveis cratônicas ou interiores e em margens de fendas continentais ou aulacógeno (prolongamento de falhas de fendas continentais) que tem escapado da reciclagem tectônica (Behrensmeyer et al, 2000).

Behrensmeyer (1978) apresentou outro importante aspecto da Tafonomia, que é o intemperismo. O intemperismo é definido como o processo pelo qual os compostos orgânicos e inorgânicos microscópicos são separados um do outro e destruídos por agentes químicos e físicos operando no osso *in situ*, na sua superfície ou na interface com o solo.

No estágio 0, o osso não apresenta quaisquer sinais de quebra ou descascamento relacionado a intemperismo, normalmente se encontram com tecidos moles cobrindo parte ou o total da superfície óssea. O estágio 1 se refere a um osso que mostra quebras, normalmente paralelas a estrutura de fibra (longitudinal em ossos longos). Superfícies articulares podem apresentar mosaicos de quebra do tecido de cobertura como também no próprio osso. Tecidos moles que podem ou não estar presentes (Behrensmeyer, 1978).

No estágio 2, camadas mais externamente finas e concêntricas de ossos mostraram descamação, usualmente associadas com quebras no qual as arestas dos ossos ao longo das quebras tendem a separar e descamar primeiro, com um ou mais lados ainda seguros ao osso. Quebras nas arestas são usualmente angulares em corte transversal. Restos dos ligamentos, cartilagem e pele podem estar presentes (Behrensmeyer, 1978).

No terceiro estágio a superfície óssea é caracterizada por manchas enrugadas homogeneamente intemperizada no osso compacto, resultando em uma textura fibrosa. Nessas manchas, toda a camada externa concêntrica do osso tem sido removida. Gradualmente as manchas estendessem para cobrir toda a superfície do osso. Os danos causados não penetram mais profundamente que 1.0 - 1.5 mm nesse estágio e fibras ósseas ainda estão firmemente ligadas uma a outra. As quebras nas bordas usualmente são arredondadas em corte transversal e os tecidos são raramente presentes nesse estágio (Behrensmeyer, 1978).

O estágio quatro é caracterizado por uma superfície óssea grosseiramente fibrosa e enrugada em textura, lascas grandes e pequenas ocorrem e podem ser soltas o suficiente para se perderem do osso quando estes forem movidos. O intemperismo penetra nas cavidades. Quebras são abertas e tem lascas ou bordas arredondadas (Behrensmeyer, 1978).

No último estágio, o osso se encontra desfazendo-se *in situ*, com grandes fragmentos repousando ao redor, os quais são frágeis e facilmente se quebram se movimentados. O formato original do osso pode ser difícil de determinar. O osso esponjoso geralmente está exposto, quando presente, e pode durar mais que todos os traços do antigo osso compacto (Behrensmeyer, 1978).

O dano físico causado por mastigação de carnívoros, atropelamento, transporte fluvial e mudanças geoquímicas que acontecem diagênicamente durante a fossilização não são levadas em consideração para essa situação, embora são intimamente relacionadas com o intemperismo em um sentido mais amplo, Behrensmeyer então separou em categorias as bases que dão margem a comparação entre os ossos gerando informações ecológicas e tafonômicas (Behrensmeyer, 1978).

Além dos estágios de Behrensmeyer, a destruição pelo intemperismo pode ter outros agentes, como o congelamento e descongelamento e ciclos de seco e úmido. Pokines et al (2018) em um experimento utilizando ciclos alternados entre seco e úmido, em objetos artificiais como construções de metal, vidro, cerâmicas e pedras, puderam avaliar o agente quanto a sua contribuição para a destruição dos objetos.

A recristalização nesses objetos artificiais também foi um fator de destruição, fazendo com que grânulos de sal se recristalizassem sob a superfície, exercendo pressão e assim causando descamação. Esses ciclos de seco e úmido afetam além da superfície o interior dos ossos também, após a umidade penetrar as porosidades dos ossos e então essa peça ser seca podem ser escutados sons que são emitidos pela quebra interna (Pokines et al, 2018).

Em sua pesquisa, Pokines et al (2018) encontraram após 200 ciclos de seco e úmido ossos em sua maioria no estágio 1 de Behrensmeyer e alguns ossos no estágio 2, mostrando que apesar deste processo não gerar estágios de destruição avançados esse processo pode ocorrer e a destruição pode ter sido originada de processos como este.

Hill e Behrensmeyer (1984) observaram a sequência de desarticulação em carcaças de mamíferos africanos, com essas observações foi possível entender o padrão que pode ser usado para a maioria das espécies, com poucas alterações. Foi descrito então a sequência na qual as junções se desfaziam, na qual o valor mais baixo representa as junções que se desfaziam com maior velocidade e um valor mais alto as junções que tinham maior durabilidade.

Partes como crânio e mandíbula por exemplo para as espécies observadas atingiram o valor de um a três, já a as junções entre ulna e rádio atingiram valores mais altos como 33.5 para o gado doméstico. Foram observados também três padrões diferentes, o padrão de desarticulação dos membros anteriores, posteriores e axiais.

Sobre a predação Behrensmeyer (1975) afirma que a composição resultante depende dos fatores diagênicos envolvidos. A atividade carnívora, ou predação tem o maior efeito na tanatocenose (assembleia morta), intensa atividade carnívora resulta em poucos ossos de pequenos animais e aumento da fragmentação de ossos de animais maiores.

Na savana africana predadores como: Leão, leopardo, guepardo, hiena, chacal, humano e crocodilo, e além deles, o abutre, compartilham as marcas biogênicas em carcaças e participam ativamente em sua fossilização. O abutre participa ativamente na dispersão dos ossos, hienas e leões matam as suas presas em águas rasas e podem consumir sua carne no mesmo local, em vez de arrastá-las para a terra. Contudo, leões frequentemente arrastam toda a carcaça ou partes maiores para longe do lugar da morte, as hienas costumam levar suas partes favoritas por longas distâncias e longe de outras hienas (Behrensmeyer, 1975).

O consumo por humanos resulta provavelmente na total destruição dos ossos, porém, ossos de membros compridos podem ser divididos/quebrados em busca de nutrientes, e crânios quebrados para se obter o cérebro. Importantes características sobre os carnívoros são de grande efeito para as tanatocenoses, como: tamanho do predador, número, e seu nível de adaptação para a adaptação da mastigação dos ossos. Ossos de maior valor nutricional são geralmente mais resistentes, e por vezes acabam por resistir a força empregada pelas mandíbulas de hienas ou leões, e então permanecem intactos (Behrensmeyer, 1975).

Crocodilos tendem a levar os ossos em estreita associação com ambientes de deposição, mas podem destruir totalmente os ossos que são consumidos, a quantidade de grandes animais na dieta do crocodilo cresce com o seu tamanho, os crocodilos geralmente matam suas presas por afogamento e podem competir com leões por uma presa, além disso, também podem ser ativamente necrófagos. As carcaças são dilaceradas ou podem ser pegas dentro da água até a decomposição tornar o desmembramento fácil (Behrensmeyer, 1975).

Ossos e dentes são desmineralizados durante a digestão, e o material orgânico remanescente, principalmente o colágeno, desintegra rapidamente após o animal defecar, então apenas ossos grandes o suficiente ou pesados para a ingestão (crânios), são negligenciados pelo crocodilo e podem resistir. Fome, afogamento e doenças e outras causas que podem levar a mortes em massa podem ter diferentes efeitos na tanatocenose. Qualquer situação de morte em massa é provável para criar um excesso de alimento para carnívoros locais e muitos ossos podem ser deixados mais ou menos intactos (Behrensmeyer, 1975).

Sánchez (2011) apontou para o impacto que necrófagos causam na integridade e permanência dos restos biológicos no registro fóssil, Behrensmeyer e Boaz (1980) observaram que espécies com mais de 50 kg estavam presentes na tanatocenose. Porém, Western (1980) também observou que o número relativo de carcaças de espécies unguladas na assembleia não refletia a estimativa do tamanho populacional que já haviam sido feitos. Então, os restos de indivíduos maiores de 100 kg foram superestimados, enquanto carcaças de indivíduos entre 15 e 100 kg apareceram com frequências menores do que foi esperado, e essa então é a influência da seleção anual da atividade necrófaga.

Além disso Sánchez (2011) avaliou a idade da tafocenose, avaliando a taxa de morte de cada espécie para montar o número de corpos por ano, porém, a taxa de mortalidade de cada espécie não é conhecida, então a data da morte pode ser unicamente avaliada pelo relacionamento entre o estado de preservação do corpo e o tempo desde sua morte.

Este tempo entre a morte de um vertebrado e o desaparecimento da carcaça depende de alguns parâmetros, mas principalmente da massa corporal, além da presença de necrófagos no ecossistema. Outros fatores podem acelerar ou desacelerar esse processo, como o comportamento, a população, a idade individual, o biótipo no qual o indivíduo morreu, o tipo da vegetação, se ela obstrui o acesso a carcaça ou não, além disso, doenças ou fluxo de lama recorrente ou ocasional (Sánchez, 2011).

A observação desses parâmetros e a preservação das carcaças levou a criação de um sumário do padrão dividido em três fases. A primeira fase trata sobre a perda do tecido mole do corpo. O tecido mole é consumido por invertebrados e vertebrados, e a maioria do esqueleto é preservado, essa fase dura normalmente menos de 2 meses. A segunda fase descreve a velocidade máxima de desarticulação do esqueleto, dispersão dos ossos e perda destes também. A terceira fase, que é a desacelerada destruição do esqueleto. E é nesta última fase onde a destruição da carcaça, a taxa de perda óssea chega ao mínimo (Sánchez, 2011).

Ainda sobre marcas de predação, humanos podem deixar feições de abate em suas presas, porém, essas feições podem ser confundidas com outro tipo de marca, as feições de pisoteio, como é tratado por Olsen e Shipman (1988). As feições de pisoteio podem ser produzidas por outros animais, especialmente as marcas produzidas por grandes ungulados e humanos se assemelham a marcas de corte, marcas naturais que mimetizam as marcas produzidas por meio culturais.

Quando os ossos são pisoteados os registros podem ser modificados de forma horizontal ou vertical, horizontalmente quando estão expostos e são espalhados assim sendo modificados espacialmente, movimentos como chutes e esfregar pés no chão pode lançar esses ossos e os espalhar por grandes distâncias. Solos de maior dureza tendem a fazer com que ossos sejam submetidos por maior tempo ao pisoteio, pois a probabilidade que esses restos sejam soterrados diminui com a compactação do solo, outras variáveis como peso não influenciam na distância na qual esses objetos podem ser lançados (Olsen e Shipman, 1988).

Já o movimento vertical é mais consistentemente observado em estudos experimentais do que o movimento horizontal, porém ainda é também muito variável, o movimento geralmente é orientado para baixo, devido à pressão do pé sobre o osso em um substrato mais macio, movimentos orientados para cima também são observados em solos mais soltos. Quebras também são comuns em fósseis que sofrem pisoteio, principalmente se os fósseis foram expostos a superfície (Olsen e Shipman, 1988).

Processos intempéricos podem estar presentes até tornar os elementos mais frágeis, em estudos experimentais ossos mais recentes as quebras eram menos comuns, elementos com ossos corticais finos foram muito mais susceptíveis a quebra. Os ossos que sofrem pisoteio costumam quebrar em suas partes mais frágeis (Olsen e Shipman, 1988).

Behrensmeyer et al (1986) observaram a distinção de marcas de pisoteio e marcas geradas por corte para a interpretação de interação humana com restos na chegada as Américas. Foram utilizados ossos de cavalos e gado para testar os efeitos do pisoteio e em conjunto, elementos foram cortados usando uma ferramenta de pedra. O pisoteio foi feito por pessoas durante 3 minutos sob um grânulo de sedimento com 5 mm de diâmetro.

Algumas das marcas geradas por corte tomaram uma forma que se tornou indistinguível de uma marca gerada por pisoteio, quando analisadas microscopicamente. O experimento das marcas geradas pelos grãos de areia no pisoteio obteve um resultado semelhante ao resultado dos cortes

com ferramenta de pedra, além disso, marcas de corte miméticas podem ocorrer em ossos sujeitos ao pisoteio, e as marcas verdadeiras e originais de corte podem ser obscurecidas pelo mesmo processo (Behrensmeyer et al, 1986).

Alguns critérios contextuais podem ser usados para argumentar contra o pisoteio como agente dessas marcas semelhantes às produzidas por corte, como a ausência de areia no local de soterramento, um contexto de soterramento que não indique vestígios de bioturbação, movimentação ou abrasão dos ossos. Além disso, as marcas analisadas de forma microscópica de maneira isolada não são o suficiente para a determinação se a marca teria sido produzida por pisoteio ou corte (Olsen e Shipman, 1988)

O experimento de Olsen e Shipman (1988) encontrou que independente do sedimento usado as feições de pisoteio em nada se assemelham as marcas de corte por abate, além disso, foi concluído que para encontrar marcas desenvolvidas a partir de ação antrópica é necessário a utilização de variados critérios, em adição a este ponto, o estudo sugere ainda uma série de características que devem ser examinadas para o diagnóstico como: frequência de ossos modificados na assembleia, números de marcas por osso e suas localizações nos ossos, suas orientações, suas morfologias e profundidade além da sua associação com o polimento.

Domínguez-Rodrigo et al (2009) revisando a literatura sobre marcas de abate e pisoteio sugere um novo protocolo para a diferenciação. Utilizando duas variáveis, sendo elas o tipo de sedimento e o tempo de exposição ao pisoteio, como sedimento foram usados cinco tipos diferentes de grânulos e o pisoteio foi feito sob dois tempos, 10 segundos e 2 minutos. O pisoteio foi feito por três pessoas de diferentes pesos, esses processos foram feitos em ossos de veado provenientes de caça, foram cortados utilizando uma faca de metal, os ossos foram seccionados com uma serra de mão a fim de retirar a medula óssea e não deixar marcas que fossem confundidas com pisoteio ou corte.

Uma lista de 16 variáveis foi compilada, caracterizando o que seria uma marca gerada por pisoteio ou uma marca gerada por abate. No experimento do pisoteio os tipos de grânulos usados como sedimento tiveram um fator determinante em marcas geradas a olho nu, além disso, alguns dos critérios de Olsen e Shipman (1988) foram sustentados, a análise estatística mostrou que as variáveis selecionadas acertaram em mais de 90% da classificação como de pisoteio ou marcas de corte.

Sobre a suscetibilidade de transportabilidade hidráulica e dispersão dos elementos ósseos, esses eventos podem ser entendidos sob duas perspectivas, segundo os grupos de Voorhies (1969) e Frison & Todd (1986) com o índice de transportabilidade fluvial. Ambos os índices mantêm o mesmo número de grupos de transportabilidade, porém os classifica de maneira diferente, a diferença se dá pela transportabilidade dos elementos ser diferenciada em animais de maior porte dos elementos de animais que variam de médio a pequeno porte, esse índice mais tarde foi utilizado por Araújo-Júnior et al (2012) também para a megafauna brasileira.

Os grupos de transportabilidade de Voorhies foram baseados em esqueletos de coioite e ovelhas e são divididos em três grupos principais de elementos ósseos, do primeiro grupo onde estão os mais susceptíveis a dispersão, o grupo dois onde estão os fósseis que são de mais difícil transportabilidade que os primeiros, e o último grupo, que tende a permanecer no local, resistindo ao transporte (Voorhies, 1969).

Já os grupos de Frison & Todd (1986) são classificados com FTI (Fluvial Transportability Index) maior de 75 (sacro, patela, astrágalo, calcâneo e vértebra) que são aqueles considerados com maior transportabilidade e equivalentes ao grupo I de transportabilidade de Voorhies, de 50 até 74 de FTI são os elementos (costela, escápula, úmero, tíbia e metacarpal) com media transportabilidade e equivalentes ao grupo II de Voorhies, e o grupo com FTI abaixo de 50 (atlas, mandíbula, pélvis, rádio-ulna e fêmur) que é o grupo com menor transportabilidade dentre os grupos FTI e equivalente ao grupo III de Voorhies.

Uma feição que acaba se destacando como produto muitas vezes do transporte hidráulico é a abrasão. O primeiro registro foi descrito por Brain (1967) como ossos de mamíferos sob depósitos arenosos na margem de um corpo d'água, que aparentemente foram pisoteados por pessoas que iriam consumir daquela água ou por bodes que também viviam naquela região, essas situações iriam polir constantemente a superfície já desgastada do osso por processos intempéricos, à medida que se desenvolve, produzindo um suave polimento do tipo que normalmente associam-se apenas a ação humana. Porém, apesar de existirem trabalhos que confirmam (Shipman & Rose, 1983) que realmente ossos que sofreram processos intempéricos eram mais frágeis a processos abrasivos, o primeiro estudo não investiga se os ossos já haviam sido abradidos anteriormente ao pisoteio.

Gilbert (1979), em um contexto zooarqueológico observou que a manipulação de ferramentas ósseas provavelmente aumentaria o brilho em proporção com a duração do tempo a qual foi submetida em uso, essa afirmação pode ser feita em paralelo de que a abrasão relacionada ao

desgaste do uso em ferramentas ósseas pode ter uma distribuição em uma amostra distinta da distribuição de abrasão ou polimento criada por como e onde a ferramenta foi realizada. Bromage (1984) com uma série de experimentos para determinar os efeitos microscópicos de várias forças abrasivas no osso definiu abrasão como o resultado de quaisquer agentes que erodem a superfície do osso através de força física (Lyman, 1994).

Böhm et al (2019) analisaram feições de microdesgaste em um estudo experimental buscando responder se algumas das feições analisadas podem ser sobrepostas por marcas oriundas de alterações *post mortem*, incluindo transporte. O grupo analisou os efeitos das mudanças mecânicas em um molde 3d do esmalte relacionado a análise de dieta, usando dentes de *Equus* sp., *Capreolus capreolus* e *Otomys* sp, os quais foram colocados em conjunto com grânulos de areia de três tamanhos diferentes. Ao final foi observado que apesar da abrasão de fato causar alguma destruição nos dentes foram encontrados parâmetros quase inalterados, enquanto outros parâmetros mostraram mudanças direcionais inconsistentes

Dessa forma agentes destrutivos bioestratigráficos então podem potencialmente modificar parâmetros relacionados a dieta, causando vieses não sistemáticos através do processo de abrasão, os quais são relacionados ao tamanho dos grãos, duração do transporte e geometria do dente, dentes de *Otomys* por exemplo foram danificados por todos os três tipos de grãos. Para o *Equus*, modificações por abrasão extensivas foram encontradas sobrepostas ao padrão de desgaste original e foram introduzidos novos desgastes. O *Capreolus capreolus* mostrou alta variabilidade no padrão de desgaste tanto antes como depois. Consequentemente, o resultado se tornou ambíguo ao se observar os parâmetros definidos, porém, ainda era possível definir *C. capreolus* como podador e *Equus* como pastador. Portanto, a dieta ainda se manteve preservada (Böhm et al, 2019).

Auler et al (2006) descrevem as acumulações fossilíferas e os vieses tafonômicos envolvidos nos processos de formações dessas tafocenoses. A Toca da Boa Vista tem presente somente esqueletos únicos articulados, e a entrada relacionada a distribuição, indicando que a entrada aleatória de animais foi o mecanismo principal de formação das acumulações, esse processo então leva ao viés de uma assembleia formada por pequenos animais.

Já na Toca dos Ossos o transporte por escoamento do rio é predominante, dessa vez o viés é feito para fósseis de espécies com ossos mais robustos. Além disso, a deposição ocorreu somente em tempos de aumento de escoamento, tornando a assembleia mais temporalmente misturada (Auler et al, 2006).

Da mesma maneira, processos similares foram responsáveis pelo estabelecimento de inúmeros remanescentes fósseis em uma área mais úmida de Lagoa Santa, onde depósitos terrestres fósseis foram encontrados intercalados com massivas camadas de calcita de espeleotemas. Nessa área o escoamento sob um clima seco provavelmente somou força para o estabelecimento do sedimento dentro das cavernas. Em ambas as áreas o modo de estabelecimento implica em vieses no registro fóssil, resultando em assembleias fósseis que não representam a fauna da superfície, limitando a reconstrução do paleoambiente (Auler et al, 2006).

## 2.2 DIAGÊNESE

Além do estudo bioestratigráfico dos restos a Tafonomia se preocupa também com a diagênese, que é o estudo sobre os aspectos químicos e físicos da fossilização dos remanescentes biológicos. Quando um organismo morre, normalmente ocorre um processo de decomposição de seus tecidos, dos mais frágeis até os mais resistentes. A dinâmica inteira é guiada por processos naturais que ocorrem na superfície da Terra, incluindo os mais diversos ambientes que são naturalmente destrutivos com a matéria orgânica que na maioria das vezes é formada por moléculas facilmente dissociáveis em condição pós-morte. Sendo assim, a maioria da matéria não dura muito tempo, no máximo dez anos se forem constituídas de um material muito resistente (Carvalho, 2010).

Porém, a própria dinâmica da natureza determina mecanismos sob certas condições que, ao invés de levarem a destruição das carcaças ou de seus elementos dissociados, operam de forma a protegê-los da decomposição e reforçar sua resistência e durabilidade, a ponto de durar milhões ou até mesmo bilhões de anos. Esses processos incluem frequentemente modificações químicas dos tecidos originais (Carvalho, 2010).

As cavernas, como dito no início do texto, são ambientes que propiciam esse tipo de proteção ao material biológico e assim permitem fossilização, portanto, é de interesse neste trabalho a análise dos materiais coletados para o conhecimento de quais elementos estão envolvidos nas diferentes formas de processos diagênicos que foram atribuídas aos remanescentes biológicos encontrados.

A diagênese segundo Choquette e Pray (1970) possui três fases, sendo a inicial chamada de Eodiagênese, referente ao intervalo no qual os restos são depositados e o seu enterro por

influências de processos diagênicos na superfície, o ponto limite da eodiagenese é o ponto no qual águas meteóricas são recarregadas, ou águas marinhas normais deixam de circular ativamente por gravidade ou convecção. Normalmente os minerais e rochas na eodiagenese são instáveis ou estão em processo de estabilização.

O estágio mesodiagênico é referente ao intervalo que compreende o tempo que os sedimentos são enterrados a uma profundidade sob uma influência maior de processos diagênicos da superfície. Assim, essa etapa é caracterizada pelo isolamento dos restos da superfície e dos processos eodiagênicos. Em geral a zona mesodiagênica é caracterizada por um processo lento de mudança de porosidade é dominada pela compactação e processos relacionados. Enquanto as taxas na qual os processos ocorrem é lenta, o intervalo de tempo que compreende a mesodiagenese é enorme (Choquette e Pray 1970).

E então a telodiagenese, o último estágio que é caracterizado pelo intervalo de tempo no qual rochas carbonáticas a muito enterradas começam a sofrer influência de processos associados a formação de discordâncias (passagem de rochas sedimentares para a zona de influência por processos operados da superfície de erosão). A porosidade telogênica é formada durante o estágio da telodiagenese, e este termo está intimamente associado com a erosão de rochas antigas. A porosidade telogênica é formada por discordâncias, porém nem toda porosidade associada a discordâncias pertencem a este tipo. A profundidade da zona telogênica e a nitidez do limite inferior pode variar de forma ampla, dependendo do processo de erosão ou do ambiente de erosão. Em algumas áreas de baixo relevo ou de planalto marinho através de massivos carbonatos não porosos, pode ser encontrando menos que um metro de zona telogênica, e sob muitas discordâncias nenhuma zona telogênica é detectável (Choquette e Pray 1970).

Um processo que pode levar fósseis de volta a luz e fazer com que passem novamente por processos bioestratigráficos até serem enterrados novamente é o retrabalhamento. Esse é um processo por vezes de difícil identificação e em muitos casos é impossível identificar se o fóssil foi retrabalhado ou não. Trueman e Benton (2014) então propõe um novo método para identificar a origem do depósito do qual o fóssil foi retrabalhado, utilizando assinaturas de elementos terras raras se torna possível rastrear então sua origem.

Essa técnica também se propõe a resolver o problema da quantidade de transporte ou retrabalhamento que os ossos e dentes fósseis podem ter sofrido com base em parâmetros físicos como grau de abrasão por exemplo, o rastreamento é feito utilizando os diferentes sinais de

elementos terras raras para caracterizar diferentes ambientes de águas subterrâneas (Trueman e Benton, 2014).

Ossos e dentes são compostos de apatita, esse biomineral incorpora os elementos terras raras rapidamente durante o estágio inicial da diagênese e então a assinatura desses elementos no osso é controlada pelas águas subterrâneas circundantes, que servem de meio de propagação para estes elementos. Fósseis retrabalhados podem mostrar traços dos elementos terras raras, sugerindo que as condições das águas subterrâneas no estágio inicial da diagênese eram diferentes daquelas indicadas por evidências geoquímicas ou sedimentares *in situ* (Trueman e Benton, 2014).

Alguns dos processos que ocorrem durante a diagênese são pontuados por Medeiros (2010). O processo de dissolução e precipitação por exemplo são processo que ocorrem e podem liberar minerais e microrganismos que podem participar do processo de fossilização. Podem ocorrer processos inibitórios de cristalização, alteração de PH que impacta na dissolução e precipitação de compostos minerais, tais processos podem ainda alterar a porosidade dos restos, indisponibilizando-os para a percolação da água.

A percolação da água com sais sedimentares em poros pode levar a permineralização dos restos, precipitando novos minerais que vão preenchendo seus poros vazios, mas preservando a estrutura original ou levando a completa substituição do bioclasto original por mineral. A salificação é um processo comum de preservação dessas estruturas originais sem alteração da forma, com a sua disponibilidade por todo o globo e processos de remobilização e precipitação ocorrendo sob condições de superfície, os restos podem sofrer salificação logo após o soterramento. Esse processo acaba sendo comum em troncos e conchas e os braquiópodes (Medeiros, 2010).

Outro processo que ocorre sem a modificação da composição original é a recristalização. É um processo comum na diagênese e ocorre ao longo do tempo com várias formas disponíveis de organização, umas menos e outras mais estáveis, de fato existe uma lenta e progressiva tendência dos minerais a forma mais estável. Este processo também é desencadeado pelas águas da subsuperfície com capacidade de dissolução que faz com que os processos de desagregação dos compostos e reprecipitação, muitas vezes em uma forma mais estável aconteça (Medeiros, 2010).

Processos de dissolução e recristalização também podem levar a deposição progressiva de minerais sob uma estrutura sólida que esteja enterrada no substrato, quando é um bioclasto, este será protegido por uma camada resistente que dará resistência a processos intempéricos que podem ocorrer na subsuperfície ou a processos diagênicos destrutivos que podem ocorrer posteriormente. O processo de incrustação pode ser iniciado por certos tipos de algas na superfície, a atividade desses organismos produz uma deposição cumulativa que ao passar das gerações cria uma camada protetora. Em cavernas esse processo é iniciado de forma inorgânica, pela quantidade de carbonato de cálcio supersaturado disponível na lâmina d'água (Medeiros, 2010).

Alguns processos podem gerar resultados fossilíferos excepcionais, um desses processos é o de concreção, nesse tipo de fossilização a decomposição da carcaça causa uma modificação química nas águas percolantes e promovem agregação de partículas em volta da carcaça, que origina uma concreção que protege esses restos. Este processo pode correr antes da desarticulação ou decomposição significativa. O processo é contínuo do material sendo agregado na carcaça como núcleo, essa agregação ocorre principalmente nos poros, de forma radial, agregando com calcário, ou substituindo a matéria original ou ainda deslocando sedimento à medida que se agrega (Medeiros, 2010).

Outro modo que leva a fossilização excepcional são os ambientes estagnados, locais como o fundo do mar, lagos e pântanos são lugares de placidez que favorecem a deposição do material clástico quase completamente, como a argila que é um material que decanta por último, formando um tapete no fundo com uma lama de caráter plástico e moldável. A decomposição nesses ambientes também é desacelerada, devido à falta de circulação de água esses ambientes tem um déficit de oxigênio, o que favorece a preservação da carcaça pela ausência de bactérias aeróbicas que são decompositores eficientes. Assim é um processo que pode levar a fossilização até mesmo de tecidos moles, o processo natural de decomposição nesses ambientes pode levar a um detalhamento muito grande das estruturas moles na sua fossilização o processo que leva a esta fossilização é denominado carbonificação (Medeiros, 2010).

Em ambientes ricos em matéria orgânica o fosfato pode ser encontrado em abundância, a apatita pode precipitar na forma de apatita ou fosfato férrico, o fosfato está envolvido em processos de permineralização e substituição de estruturas orgânicas. Este processo, mediado por ação de bactérias pode gerar fossilização excepcional, acontecendo próximo a superfície, é um processo que ocorre rapidamente, podendo preservar tecidos moles e excrementos (Medeiros, 2010).

A diagênese apesar de na maioria das vezes produzir interações que favorecem a fossilização e assim a proteção dos restos orgânicos, podem por vezes também os deformar. Fraturas e deformações podem ocorrer produzindo alterações físicas através da pressão do sedimento subjacente, que em áreas de constante sedimentação é cada vez mais crescente. Este peso produzido pela coluna sedimentar pode induzir a fraturas nesses restos, permitindo a entrada de águas percolantes, águas estas que trazem consigo minerais que podem participar da fossilização desses remanescentes (Medeiros, 2010).

O peso produzido também pode alterar fisicamente os restos, deformando sua anatomia original. Deposição mineral em estruturas porosas também pode causar o mesmo efeito, porém por este meio a deformação é gerada pela expansão do tecido original, este tipo de alteração cria incertezas taxonômicas e pode gerar confusão na identificação taxonômica (Medeiros, 2010).

A diagênese tem o poder de recuperar informações sobre o tipo de fossilização ocorrida no fóssil, a partir da composição química a qual que pode ser obtida com o recurso da difratometria de raios x, com essa técnica podem ser feitas comparações quantitativas entre diferentes amostras. As análises podem ser feitas na seção cortical dos ossos. As análises são feitas em um difratômetro com um tubo de anticátodo de cobre, um contador de cintilação e um e porta rotações girando a cerca de cem voltas por minuto (Reitveld, 1967)

A maior desvantagem desse procedimento, contudo, é o fato que qualquer detalhe nos perfis desses picos é perdido. Nesse caso a difração do nêutron, um método mais direto para resolver esse problema foi proposto quando apareceu que as formas dos picos de uma única difração, picos obtidos do pó de difratometria foram gaussianas (Distribuição normal). O perfil do pico composto pode então ser considerado como a soma total dos picos gaussianos representando as reflexões individuais de Bragg (Reitveld, 1967).

Posteriormente Person et al (1995) observaram que o difratômetro obtém o fosfato ósseo em um registrador analógico de pista dupla. E, tomaram como objetivo, distinguir a separação de picos correspondendo a reflexões. Analisando a altura sendo medida entre o valor médio no topo de um pico e o valor do vale separando-o do pico seguinte. Esses valores são divididos pela altura do pico mais alto subtraindo o valor da linha de base com radiação  $\text{Cu K}\alpha$  obtendo o valor do índice cristalinidade.

É observado que enquanto fluorescência por raios x fornece a composição elementar dos materiais ósseos, a técnica de difração do pó inspeciona a constituição da fase. Além disso, para qualquer fase avaliada desses padrões, a geometria e os parâmetros de estrutura são avaliados, juntamente com parâmetros de microestrutura como tamanho do cristalito e tensão da treliça. Esta abordagem consiste em um refinamento de estrutura método, ou seja, os dados de intensidade bruta de um padrão de difratometria por raios-x são comparados com os resultados de difração de computação numérica de cada fase mineralógica que supostamente está presente na amostra (modelo) (Piga, 2009).

### 2.3 TAFONOMIA DE *Tamandua tetradactyla* NO BRASIL

Para o Brasil, existem poucos trabalhos que abordam indivíduos fossilizados da espécie *Tamandua tetradactyla*, contribuindo com importantes detalhes paleobiológicos para esse táxon nestes períodos, especialmente para o estado da Bahia, no qual foram realizados alguns estudos com presença de *T. tetradactyla* entre as comunidades fósseis (e.g. Cartelle e Leite, 1989; Dantas et al., 2019; Silva, 2019).

Auler et al. (2006) descreveram aspectos tafonômicos gerais da caverna Toca dos Ossos, localizada em Ourolândia, estado da Bahia, que, entre outros fósseis de espécies extintas, estavam presentes outros ainda existentes, como *T. tetradactyla*, nesta caverna descreveram alguns dos aspectos tafonômicos que observaram, a falta de esqueletos articulados, a associação de remanescentes fósseis com sedimentos recentemente depositados por passagem subterrâneas sujeitas a inundações por correntes, e a falta de concentração de depósitos em pitfalls específicos confirmam que na Toca dos Ossos, os fósseis foram sem dúvida carregados por um escoamento de riacho.

A seleção hidrodinâmica durante o transporte para a caverna ou devido a eventos de carregamentos posteriores que podem ser os responsáveis pela remoção dos ossos menores, os ossos mais pesados remaneceram nas margens do depósito. De forma alternativa, o tamanho grande da passagem e a capacidade de transporte da correnteza pode explicar a presença dos fósseis de grandes mamíferos, mamíferos maiores que os encontrados na caverna Toca da Boa Vista (Auler et al, 2006).

Dado este processo de deposição, é possível que existiu algum controle paleoclimático dos depósitos fósseis, sendo depositados quando a precipitação foi relativamente alta. Diferente da fauna da caverna Toca da Boa Vista, esses fósseis podem ter sido depositados em um ou mais intervalos úmidos, ao invés de um período estendido de tempo. Então, em termos de suas idades e da fauna da superfície representada, pode-se esperar que a fauna da Toca da Boa Vista e da Toca dos Ossos seja diferente, comparações diretas de faunas com uma interpretação paleoambiental associada não é aconselhada. Dantas et al. (2019) também encontraram remanescentes bem preservados de um indivíduo juvenil na caverna Gruta da Marota, localizada em Andaraí, Bahia, pertencente, de forma associada com o restante da fauna, a época Pleistoceno final do período Quaternário.

Mayer et al. (2018) realizaram um estudo tafonômico em espécimes fósseis da caverna Sumidouro do Sansão, no estado do Piauí, incluindo falanges, astrágalos, vertebrae torácicas e lombares de *T. tetradactyla*. Nesses elementos quebras, incrustações e intemperismo foram analisados, especificamente o *T. tetradactyla* foram observados com fósseis não incrustados, a falange e o astrágalo foram encontrados de forma completa, porém a epífise da falange não foi encontrada porque ainda não havia sido fusionada. Ambas as vertebrae foram encontradas incompletas.

Sobre o depósito, *T. tetradactyla* não foi encontrado associado com outros remanescentes que poderiam representar o resto do seu esqueleto, a escassez de espécimes não provê informações suficientes para identificar de forma acurada os processos pelos quais eles foram acumulados.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Reconhecer a história tafonômica de um indivíduo de *Tamandua tetradactyla* preservado na caverna Lapa do Bode (Ituaçu/BA), com a finalidade de entender as condições de fossilização dos remanescentes biológicos no ambiente de caverna.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar e interpretar assinaturas bioestratinômicas dos restos fósseis de *Tamandua tetradactyla* da Lapa do Bode, Ituaçu;
- ✓ Identificar e interpretar aspectos fossildiagnéticos de *Tamandua tetradactyla*;
- ✓ Comparar a condição de fossilização de *Tamandua tetradactyla* da Lapa do Bode com acumulações descritas na literatura.

### 4. MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.1. MATERIAL

O material de estudo foi coletado na caverna Lapa do Bode (13o50'11" S, 41o17'07" O), localizada a sudeste da zona urbana de Ituaçu, Bahia, fazendo parte da Serra do Sincorá, Chapada Diamantina Meridional (Golvêa, 1993).

O material coletado é composto por um exemplar de *Tamandua tetradactyla* com esqueleto quase completo, entre os ossos do animal foram encontrados: Crânio, úmero esquerdo, úmero direito, fêmur direito, fêmur esquerdo, ulna direita, tibia esquerda, tibia direita, rádio esquerdo, ulna esquerda, rádio direito, escápula direita, escápula esquerda,

fragmentos de costela, vértebras, corpo de vértebra, vértebras sacrais, calcâneo direito, calcâneo esquerdo e falange III.

#### 4.2. MÉTODOS

As feições bioestratinômicas foram avaliadas individualmente, onde foram observados: o grau de articulação, grau de fragmentação, marcas de dessecação, feições de abrasão, sinais de predação e o grau de transporte (Simões, 2010).

As diferentes feições foram classificadas com ausência ou presença, além de serem classificadas considerando os diferentes graus de variação em uma mesma feição para feições multiestados (Simões, 2010).

As categorias de articulação são: articulado, articulado, mas ainda associado, associado e disperso, e, isolado e disperso (Blob & Badgley, 2007). Espécimes foram classificados quanto ao grau de fragmentação em: completos, parciais ou fragmentos. (Behrensmeyer, 1991; Araújo-Júnior et al., 2013). A abrasão ou polimento também foram definidos em três estágios: sem abrasão, abradido, muito abradido. E por fim, as marcas de predação na superfície foram observadas sob os seguintes estágios: ausente, presente e extensiva (Blob & Badgley, 2007).

Então são descritos os estágios pelos quais os fósseis observados passaram que podem ser utilizados para avaliar em qual estágio o material encontrado na Lapa do Bode em Ituaçu se encontra. Behrensmeyer (1978) discute sobre o intemperismo do ambiente e sua ação nos ossos, classificando esse agente tafonômico em estágios, os quais foram utilizados para a análise e interpretação do material, tanto para as quebras e fragmentação e abrasão. O material foi observado sob o referencial de cinco estágios.

O local onde os fósseis foram encontrados foi fotografado para a análise da ocorrência de tanatocenose, além de possíveis causas de morte como a predação e para a identificação e classificação de predação caso as marcas sejam atribuídas a mamíferos, foi usado o guia formulado por Haynes (1983). No guia são estabelecidas as normatizações para observações anatômicas em espécimes com marcas de necrofagia: parte do osso que foi marcado, morfologia da marca, padrão das marcas, em conjunto essas características são pareadas aos tipos de

predadores propostos como autores das marcas que podem ser: canídeos, ursídeos, hienas e felinos.

Para identificação de possíveis perfurações produzidas por insetos foram utilizados os trabalhos de Laudet (2004) e Dominato et al (2009) que reconheceram e identificaram a presença de câmaras pupares em ossos de vertebrados, produzidas por insetos necrófagos.

Também foi analisada a suscetibilidade de transportabilidade hidráulica, dispersão e orientação dos elementos ósseos segundo os preceitos de Voorhies (1969). Os grupos de transportabilidade são divididos em três grupos principais, dividindo-os por características dos elementos ósseos. E a orientação, que foi observada por Voorhies (1969) que os agrupou como: paralelos e transversos, e os classificou dentro dos grupos como: água rasa e água profunda.

Para a abrasão os estágios descritos por Fiorillo (1988), com estágio 0 representando elementos esqueléticos sem abrasão, quebra ou arredondamento nas arestas, 1 os elementos com pouca abrasão, extremidades e processos com arredondamento e polimento, estágio 2 os ossos com abrasão moderada, arredondamento bem aparente nas arestas, com perda de características diagnósticas, e o estágio 3 com ossos com abrasão intensa, extremidades e superfície com aparente polimento, completamente arredondadas e perda de processos (Araújo-Júnior & Bissaro-Júnior, 2017). Foi também aspectos sobre corrosão, utilizando o trabalho de Fernández-Jalvo e Andrews (2016), no qual foi verificada a presença ou ausência dessa bioerosão geoquímica.

Além da bioestratinomia, foram também observados os aspectos tafonômicos com o intuito de verificar o papel dessas informações sobre a diagênese dos restos, como a alteração da coloração utilizando as observações de Fernández-Jalvo e Andrews (2016). Outros tipos de marca que podem ser observadas são as provocadas por raízes que serão observadas através de caracteres binários 0 (ausência) e 1 (presença), segundo as observações de Lyman (1994), e as categorias de Araújo-Júnior e Bissaro-Júnior (2017)

Para fins comparativos, foram realizadas comparações com outros estudos tafonômicos já disponíveis na literatura a fim de conferir os processos que são comuns e exóticos em ambientes de caverna, na tentativa de propor um modelo tafonômico para esses ambientes de fossilização.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO JÚNIOR, HI.; BISSARO JÚNIOR, MC.; DOS SANTOS, TT.; ALVES, RS.; BERGQVIST, LP. 2012. Tafonomia da megafauna pleistocênica brasileira: fluvial transport index (FTI) em análises de representatividade óssea. *Revista Brasileira de Paleontologia*. Vol. 15, no. 1, p. 95-104.

ARAÚJO-JÚNIOR, HI & BISSARO-JÚNIOR, MC. 2017. Tafonomia de vertebrados em ambientes continentais. In: HORODYSKI, RS & ERTAL, F. *Tafonomia: Métodos, processos e aplicação*. Curitiba: Editora CRV. p. 177-195.

ARAÚJO-JUNIOR, HI.; PORPINO, KO.; XIMENES, CL.; BERGQVIST, LP. 2011. Análise multivariada como ferramenta tafonômica no estudo das associações quaternárias de mamíferos do Nordeste do Brasil. *Journal of Geoscience*, Vol. 7, no. 2, p. 104-111.

ARAÚJO-JÚNIOR, HI.; PORPINO, KO.; XIMENES, CL.; BERGQVIST, LP. 2013. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: A study case in the Pleistocene of northeastern Brazil, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 378, p. 52-74.

AULER, AS. & SMART, PL. Toca da Boa Vista (Campo Formoso), BA. A maior caverna do hemisfério sul. *SIGEP: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos*. 361-452. 2019.

AULER, AS.; PILÓ, LB.; SMART, PL.; WANG, X.; HOFFMANN, D.; RICHARDS, DA.; EDWARDS, RL.; NEVES, WA.; CHENG, H. 2006. U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 240, p. 508-522

BADAM, GL.; GANJOO, RK.; SALAHUDDIN. 1986. Preliminary taphonomical studies of some Pleistocene Fauna from the central narmada valley, madhya Pradesh, India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* Vol. 53, p. 335-358.

BEHRENSMEYER, AK. The taphonomy and paleoecology of plio-pleistocene vertebrate assemblages east of lake Rudolf, Kenya. *Bulletin 146. Museum of comparative zoology: A review of the north american fossil amiid fishes*. 475-567. 1975.

BEHRENSMEYER, AK. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*. Vol. 4, no. 2, p. 150-162

BEHRENSMEYER, A. K. 1991. Terrestrial Vertebrate Accumulations. Pp. 291-335 in Allison, P. and D. E. G. Briggs, *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. New York: Plenum.

BEHRENSMEYER, AK.; BOAZ, DED. 1980. The recent bones of Ambosely National Park, Kenya. In: BEHRENSMEYER, AK.; HILLS, AP. Relation to East African Paleobiology, Fossils in the Making. Chicago: University Chicago Press, p. 72-92

BEHRENSMEYER, AK.; GORDON, KD.; YAGINI, GT. 1986. Trampling as a cause of bone surface damage and pseudo-cutmarks. Vol. 319, p.768-771

BEHRENSMEYER, AK. & KIDWELL, SM. 1985. Taphonomy's contributions to paleontology. Paleobiology. Paleobiology. Vol. 11, no. 1. p. 105-119

BEHRENSMEYER, AK.; KIDWELL, SM.; GASTALDO, RA. 2000. Taphonomy and paleobiology. The Paleontological Society. Vol. 26, p. 103-147.

BLOB, RW. & BADGLEY, C. Numerical Methods for Bonebed Analysis. In: ROGERS, R. R; EBERTH, D. A; FIORILLO, A. R. Bonebeds: Genesis analysis and paleobiological significance. 2007. p. 342.

BRAIN, CK. 1967. Bone weathering and the problem of bone pseudo-tools, South African Journal of Science. Vol. 63, no. 3, p. 97.

BÖHM, K.; WINKLER, DE.; KAISER, TM.; TÜTKEN, T. 2019. Post-mortem alteration of diet-related enamel surface textures through artificial biostratinomy: A tumbling experiment using mammal teeth. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 519, p. 215-231.

BONITO, RA.; FERREIRA, RL.; MARINHO, TS. 2011. Occurrence and analysis of borings made by solitary wasp in caves: A study in cave ichnology. Sociedade Brasileira de Paleontologia. Vol. 14, no. 1, p. 93-102.

BROMAGE, TG & BOYDE, A. 1984. Microscopic Criteria for the Determination of Directionality of Cutmarks on Bone, American Journal Of Physical Anthropology. Vol. 65, p. 359-366

CHOQUETTE, PW & PRAY, LC. 1970. Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. Vol. 54, no. 2, p. 207-250.

DANTAS, MAT.; ANDRÉ, VA.; ELTINK, EM.; SILVA, LA.; LEONI, RA.; FÊLIX, PM.; CHERKINSKY, A. 2019. Isotopic paleoecology ( $\delta^{13}\text{C}$ ) of mesoherbivores from Late Pleistocene of Gruta da Marota, Andaraí, Bahia, Brazil.

DAVIS, PG.; BRIGGS, DEG. The Impact of Decay and Disarticulation on the Preservation of Fossil Birds, PALAIOS 13, 3-13. 1998.

DIETL, GP. & FLESSA, KW. 2011 Conservation paleobiology: Put the dead to work. Cell Press, Vol 26, no 1, p. 30-3.

DOMINATO, VH.; MOTHÉ, D.; AVILLA, LS. 2009. Ação de insetos em vértebras de *Stegomastodon waringi* (Mammalia, Gomphotheriidae) do pleistoceno de águas de Araxá, Minas Gerais, Brasil. Sociedade Brasileira de Paleontologia, Vol. 12, no. 1, p. 77-82.

DOMINATO, VH.; MOTHÉ, DDSRC.; AVILLA, LDS. 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. Vol. 31. no. 2, p. 171-177.

DOMÍNGUEZ-RODRIGO, M.; DE JUANA, S.; GALÁN, AB.; RODRÍGUEZ, M. 2009. A new protocol to differentiate trampling marks from butchery cut marks. Vol. 36, p. 2643–2654.

DOS SANTOS, MFCF.; BERGQVIST, LP.; LIMA FILHO, FP.; PEREIRA, MMV. 2002. Feições tafonômicas observada em fósseis pleistocênicos do rio grande do norte. Revista de Geologia, Rio Grande do Norte. Vol. 15, p. 31-41

EFREMOV, JA. 1940. Taphonomy: New branch of paleontology. The Pan-American Geologist, Vol. 74, no. 2.

FERNÁNDEZ-JALVO, Y.; ANDREWS, P. 2016. Chapter 5 - Discoloration and Staining. In: Fernández-Jalvo, Y., Andrews, P., 2016. Atlas of Taphonomic Identifications 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification.

FIORILLO, AR. 1991. Taphonomy of hazard homestead quarry (Ogallala Group), Rocky Mountain Geology, Vol. 26, p. 57-97

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, 2

GILBERT, AS. 1979. Urban Taphonomy of Mammalian Remains from the Bronze Age of Godin Tepe, Western Iran

GOLVÊA, EP. 1993. Reencontro e “ocorrência curiosa” de *Trichodamon froesi* Mello- Leitão (ARACHINIDA, AMBLYPYGI), Revista Brasileira de Zoologia, Vol.10, no.3, p.383-38

GILBERT, A. S. 1979. Urban taphonomy of mammalian remains from the Bronze Age of Godin Tepe, western Iran. Ph.D . dissertation, Columbia University. AnnArbor: University

HAMMER, Ø.; HARPER, DAT.; RYAN, PD. 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. Paleontologica Electronica. Vol. 4, no. 1, p. 9.

HAYNES, G. 1983. A guide for Differentiating Mammalian Carnivore Taxa Responsible for Gnaw Damage to Herbivore Limb Bones. Paleobiology. Vol. 9, no. 2, p. 164-172.

HILL, A & BEHRENSMEYER, AK. 1984. Disarticulation patterns of some modern East African mammals. Paleobiology. Vol. 10, no. 3, p. 366-376

LAUDET, F. & ANTOINE, P. 2004. Des chambres de pupation de Dermestidae (Insecta: Coleoptera) sur un os de mammifère tertiaire (phosphorites du Quercy): implications taphonomiques et paléoenvironnementales. *Geobios*, Vol. 37, no. 3, p. 376-381.

LYMAN, RL. Other biostratigraphic factors. In: LYMAN, RL. *Vertebrate taphonomy*. 1994. P. 375

MAYER, EL.; KERBER, L.; RIBEIRO, AN.; HUBBE, A. 2018. The dominance of an extant gregarious taxon in an attritional accumulation: Taphonomy and palaeoecological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

MEDEIROS, MA. Fossildiagênese. In: CARVALHO, I. S. *Paleontologia – Volume 1: Conceitos e Métodos*. 2010. p. 65.

OLSEN, SL & SHIPMAN, P. 1988. Surface Modification on Bone: Trampling versus Butchery. *Journal of Archaeological Science*. Vol. 15, p. 535-553

PERSON, A.; BOCHERENS, H.; SALIÈGE, J-F.; PARIS, F.; ZEITOUN, V.; GÉRARD, MARTINE. 1995. Early Diagenetic Evolution of Bone Phosphate: An X-ray Diffractometry Analysis. *Journal of Archaeological Science*, Vol. 22, no. 2, p.211-221

PIGA, G.; CUBETO-SANTOS, A.; SOLÁ, SM.; BRUNETTI, A.; MALGOSA, A.; ENZO, S. 2009. An X-ray Diffraction (XRD) and X-ray Fluorescence (XRF) investigation in human and animal fossil bones from Holocene to Middle Triassic. *Journal of Archaeological Science*, n. 36.

POKINES, JT.; FAILLACEA, K.; BERGERA, J.; PIRTLEA, D.; SHARPEA, M.; CURTISA, A.; LOMBARDIA, K.; ADMANS, J. 2018. The effects of repeated wet-dry cycles as a component of bone weathering. *Journal of Archaeological Science: Reports*. Vol. 17, p. 433-441.

RICK, TC. & LOCKWOOD, R. *Integrating Paleobiology, Archeology, and History to Inform Biological Conservation*. Conservation Biology, Washington, mai, 2012.

RIETVELD, HM. 1967. Line profiles of neutron powder-diffraction peaks for structure refinement. *Acta Crystallographica*, Petten, n. 22.

SÁNCHEZ, EB. 2011. Biostratigraphy applied to the interpretation of scavenger activity in paleoecosystems. *Quaternary International*. Vol. 243, p. 161-170

SHIPMAN, P & ROSE, J. 1983. Early hominid hunting, butchering, and carcass-processing behaviors: Approaches to the fossil record, *Journal of Anthropological Archaeology*. Vol. 2, no. 1, p. 57-98

SILVA, LA. 2019. Isotopic paleoecology ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and radiocarbon dating of Late Pleistocene small mammals from northeastern Brazil. *Dissertação (Mestrado em Genética, Biodiversidade e Conservação)*. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié.

SIMÕES, MG.; RODRIGUES, SC.; MACHADO, CB. Procedimentos metodológicos em tafonomia. In: CARVALHO, I. S. Paleontologia: conceitos e métodos. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. p. 419-425.

TRUEMAN, CN.; BENTON, MJ. 2014. A geochemical method to trace the taphonomic history of reworked bones in sedimentary settings. *Geology*. Vol. 25, no. 3, p. 263-266.

VOORHIES, MR. 1969. Taphonomy and population dynamics of an early pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska. *Rocky Mountain Geology*, Georgia, n. 8.

WESTERN, D. 1980. Linking the ecology of the past and present mammal's communities. In: BEHRENSMEYER, AK., HILL, AP. *Fossils in the Making*. Chicago: University of Chicago press, p. 41-54

## 6. CAPÍTULO 1

### **Taphonomic aspects of the *Tamandua tetradactyla* Linnaeus, 1758, from the Lapa do Bode cave, Ituaçu, Bahia, Brazil**

Ronaldo Araújo Leoni <sup>1,\*</sup>, Laís Alves Silva <sup>2</sup>, Hermínio Ismael de Araújo Júnior <sup>2</sup>, Mário André Trindade Dantas <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié, Bahia, Brazil; <sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Geociências, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil; <sup>3</sup> Laboratório de Ecologia e Geociências, Instituto Multidisciplinar em Saúde, Universidade Federal da Bahia, campus Anísio Teixeira, Vitória da Conquista, Bahia, Brazil.

\*corresponding author: ronaldoleon@gmail.com

## Abstract

Caves are environments with unique spaces, which can comprise all kinds of geological formations, besides having a high preservation rate of biological remains. Taphonomy in caves sometimes addresses the preservation state of these remains, their modifier agents and/or their relationship with the fossiliferous deposit. In this work, taphonomic aspects of the *Tamandua tetradactyla* collected in the Lapa do Bode cave, Ituaçu, state of Bahia, Brazil, were described. The observed biostratinomic aspects were: abrasion degree, degree of transportability, disarticulation, fragmentation degree, predation marks, color alteration and corrosion. Regarding the abrasion, long bones such as the right femur, left humerus, left tibia and right tibia presented signs of polishing. Considering the Voorhies Groups, we interpreted that the elements were not transported from their fossilization site after disarticulation. Regarding the articulation degree, most part of the material was categorized as “associated”. Some pieces, such as vertebrae, tibia, fibula and phalanges were found articulated. In terms of fragmentation, the damaged state was attributed to the vast majority of specimens. Signs of predation or scavenging were found in the left ulna. The features found are mostly distributed over the diaphysis of the bones. The coloration and corrosion degree observed in most elements indicate that the individual was deposited on well-drained, iron-rich sediments. The association among the low abrasion degree, the weathering features, the disarticulation degree (mostly associated specimens), the high skeleton completeness and the occurrence of all representative elements of the Voorhies Groups suggests that this individual was fossilized where it died or, if there was transport, this occurred prior to the disarticulation stage, through the transport of the whole carcass. The biogenic marks are related to canids, though the animals which consumed the remains did not effectuate the transport after the individual’s disarticulation. Corrosion and color alteration indicate characteristics linked to the same type of sediment on which the fossil was deposited, which was rich in iron and acid.

**Keywords.** Mammalia, Myrmecophagidae, Biostratinomy, Fossilization

## Introduction

The *Tamandua tetradactyla* is a species which belongs to the Xenarthra group, characterized by modifications such as a transpromontorial carotid artery, carotid foramen on the basisphenoid, a frontal diploic vein foramen, and a posterior opening of a post temporal canal between the squamosal and the parietal. Furthermore, it contains very striking features, such as the lack/reduction in the number of teeth, and a skull composed of a tube and an elongated tongue, which are perfectly suited to the way in which these individuals obtain items in their diet (social termites and ants). This taxon can live in many habitats – on the ground or in trees, in dry areas or near streams (Hayssen, 2010).

As an endemic South American species, the *Tamandua tetradactyla* is currently found in all biomes (Ohana et al., 2015). Its fossils are temporally distributed from the late Pleistocene to the early Holocene, and are most commonly found in caves. In Brazil, there are studies which address fossilized individuals of this group, contributing with important paleobiological details concerning this taxon at these epochs, especially for the state of Bahia, where some studies with the presence of *T. tetradactyla* fossils among fossil communities were carried out (e.g: Cartelle and Leite, 1989; Dantas et al., 2019; Silva, 2019).

Auler et al. (2006) described general taphonomic aspects of the Toca dos Ossos cave, located in Ourolândia, state of Bahia, where, among fossils of extinct species, there were present some fossils of species that still exist, such as the *T. tetradactyla*. Was conclude which the disarticulated and broken bones, bias to large species and localization of fossils in active river passages indicate to fossil transportation by river to this cave. Dantas et al. (2019) also found well-preserved remains of a juvenile individual in the Gruta da Marota cave, located in Andaraí, Bahia. They observed which *T. tetradactyla* were a specialist C<sub>3</sub> feeder, living in Caatinga, an open forested environment.

Mayer et al. (2018) performed a taphonomic study on fossil specimens from the Sumidouro do Sansão cave, in the state of Piauí, including phalanges, astragalus, thoracic and lumbar vertebrae of the *T. tetradactyla*. In these elements, breakages, incrustations and weathering were analyzed. They found an incomplete individual of *T. tetradactyla*, the whole elements are encrusted, stage 0 of weathering, thoracic vertebra and lumbar vertebra are incomplete.

In the Lapa do Bode cave, studies of paleontological nature are still scarce. Among the existing works, a nearly complete *T. tetradactyla* skeleton has been described, with only the mandible and premaxilla absent (Leoni and Silva, 2018). In this work, we expect to contribute with relevant information, by analyzing taphonomic aspects of the *T. tetradactyla* bones found in Lapa do Bode, and interpret these signals so as to shed light on the life and death scenarios in which the individual could be inserted.

## Material and Methods

### *Study area*

The fossils were collected in the Lapa do Bode cave (13°50'11''S, 41°17'07''W), located in the municipality of Ituaçu (Figure 1), state of Bahia, Brazil. The occurrence area of the caves in the region of Ituaçu corresponds to zones with outcrops of rocks of the Salitre Formation (Bambuí Group, Paraopeba Subgroup), dated at the Neoproterozoic. This unit's rocks correspond to clayey, dark gray and marly limestones, pink and sublithographic dolomites, greenish-gray marls, micaceous and greenish-gray siltstones (Iglesias and Uhlein, 2009). Being part of the Sincorá Ridge in Chapada Diamantina (Gouvea, 1993), the Lapa do Bode cave is one of the largest known caves in karst relief in the Una River basin, with approximately 5.3 km of planimetric development (Karmann, 2002).

### *Taphonomic analysis*

The biostratinomic features were individually analyzed. There were observed: abrasion degree, transport, disarticulation, weathering and fragmentation degree, biogenic traces, alteration of the original color and corrosion. The features were classified as absent or present, and multistate categorizations were performed, considering the different variation degrees in which the remains were found. In the case of the multistate features, no qualitative terms were used, only quantitative values (Simões et al., 2010).

Abrasion was categorized in three stages: unabraded (0), abraded (1), and highly abraded (2) (Blob and Badgley, 2007). Susceptibility to hydraulic transport and dispersion of bones were analyzed using the Voorhies Groups (Voorhies, 1969).

The degree of articulation was evaluated according to the following conditions: articulated (1), associated (2), disarticulated (3) (Araújo-Júnior et al., 2013). Behrensmeyer (1978) discusses the environment's weathering and its action on bones, classifying this taphonomic agent into six stages, which were also used for analysis and interpretation in this work. In this study, the material was analyzed under aspects of six gradual stages of weathering.

For the identification of biogenic features attributed to mammals, we used the guide formulated by Haynes (1983) – which establishes, based on the presence and absence of marks in observed parts of the bones, the part of the bone which has been modified, the morphology of the mark and the pattern of the marks. Together, these characteristics were paired with the types of predators proposed as possible authors of the marks, which can be: Canids, Ursids, Hyenas and Felines. Blob and Badgley (2007) quantify predation marks as absent (0), present (1), extensive (2).

## Results

It was noted that some bones presented signs of abrasion on their edges, such as the LEG1537 femur (Figures 2 and 3). In this specimen, besides the roundening, an evident polishing of the morphological characters of the epiphyses was also observed, despite preserving the bone morphology, which allowed the identification of the element.

Regarding the disarticulation degree, cervical vertebrae, tibia and fibula, medial and distal phalanges were found articulated (respectively LEG1582, LEG1541, LEG1622, LEG1623) (Figure 4). The rest of the material was considered associated.

As for fragmentation, most specimens were classified as damaged (Figure 5). Only the ulna, radius and femur did not present signs of fragmentation (LEG1539, LEG1542 and LEG1537, respectively).

Biogenic traces were observed in a long bone (LEG1541) (Figure 6). The marks found are mostly distributed along the diaphysis of the bones. They can be described as three shallow, irregular and round punctures, near the proximal epiphysis in lateral aspect.

All elements displayed some level of a reddish-brown coloration impregnation, Munsell 10R 3/6 (Munsell Color, 2000) (Figure 7). Some elements presented damage by corrosion, like ribs in the diaphysis and the long bones in the epiphyses (Figure 8).

For all features, percentages were calculated as an interpretive aid. Concerning abrasion, the unabraded stage was predominant, with a percentage of 73%, and in only 27% of the bones we could find abrasion. As for articulation, the associated character had an occurrence of 88%, while the articulated one had a 12% frequency. Regarding weathering, we only found bones corresponding to the third stage, thus this occurrence was 100%. Finally, for the predation marks, we found that in 95% of the bones these signs were absent, whereas predation marks were found in 5%.

## Discussion

The occurrence of abrasive processes, though present in few elements, indicates that the specimens may have been remobilized by hydraulic action. Ordering of elements by fluvial transport were not observed. This factor, combined with other characteristics such as: the low intensity with which these elements were exposed to abrasion, the presence of all Voorhies Groups (1969), the general disarticulation degree found in the site and the observed predation marks point to an autochthonous state of the remains (Cassiliano, 1997; Alberdi et al., 2000; Araújo-Júnior and Marinho, 2013).

No signs of chemical weathering, such as the formation of salt crystals in the superficial layer or between the fragmentation fissures, were found, thus excluding a contact with alkaline soil with saline precipitation. Other agents, such as bacterial activity or root growth were also discarded, attributing the production of features to physical agents. Most pieces were classified as stage three by Behrensmeyer (1978), presenting features such as wrinkled stains and fibrous texture, outer layer removed in some elements, absence of soft tissues, and rounded fractures found at the edges (Behrensmeyer, 1978).

Santos et al. (2002) state that breakages occur preferentially at the bones' extremities, for both small and large animals. The breakage pattern is often perpendicular to the longest axis of the bone and, in some cases, it can be observed that its borders are rounded, without any trace of angularity, as in the case of the material observed in this work.

Fractures caused during collection produce predominantly angular borders, and show the innermost part of the bone with different color and appearance, whereas rounded breakages in pieces found with the same color as those in the rest of the bone, and without trace of angularity are more likely to have been produced by biostratinomic processes (Araújo-Júnior et al., 2013).

The probable cause of the weathering features observed through damages printed on elements, such as fragmentation, breakage and peeling, are the cycles of increase and decrease of humidity. Pokines et al. (2018), in an experiment using osseous elements, found, after 200 humidity cycles, that most elements suffered damage, which would classify them into Behrensmeier stage 1, and some elements were classified into stage 2. Therefore, these cycles of humidity, over time, in a location protected from other common causes of destruction, may be one of the only agents which could cause damages such as the ones found in this specimen.

The marks generated by predation found in the fossils are similar to those produced by canids. The perforations are characterized as with superficial and circular, surpassing, however, the periosteum, similar to the marks found and described (except for scratches which were not found in this material) by Dominato et al. (2011). The marks were attributed to canids because, besides being characteristic of the group, other mammals capable of producing predation marks generate these features in different intensities and patterns.

Canids produce perforations along the diaphysis isolatedly, or yet in sets of perforations produced by a single tooth. Other's animals produce different types of marks, which are not observed in this material, ursids can grind and crush the bone until the cancellous bone, rounding the bone edges with the application of this damage. When felids consume long bones, they prioritize the epiphyses of these bones, marking them irregularly, deeply and widely, producing marks which can reach the cancellous bone (Haynes, 1983).

Fernández-Jalvo and Andrews (2016) classified relationships which can be observed between bone size, size of predation marks and their possible authors. When the presence of small marks on bones of small mammals is observed, they are attributed to other small

mammals, predators or scavengers. These relationships between mark size and predation thus support the previous interpretation, regarding the morphology of the marks, which point to a small-sized canid.

According to Behrensmeyer (1975), individuals which feed on bone remains sometimes feed on site, or carry away preferred bones, isolating the remainder of the remnants. This observation, combined with the situation in which the individual was found (sparsely dispersed and complete organism), suggests that the individual died in the place where it was found.

Predation or necrophagy may have occurred at the specimen's fossilization site, and may have caused the conditions of disarticulation in which the individual was found, therefore not having occurred biological transport, either by predators or scavengers, after autolysis and bacterial degradation of soft tissue. These processes are responsible for disarticulation, according to the disarticulation stages of Davis and Briggs (1988).

Regarding the ambiguity between predation and necrophagy, the mark produced on the ulna of *T. tetradactyla* can be produced when the animal was still alive, leading it to its death, or even after its death, when there was still soft tissue. No regeneration characteristics or filling of the damaged bone tissue were observed, thus making it unlikely for the animal to have been preyed on while alive and survived the damage (Pobiner, 2008).

Changes in the bone coloration can be attributed to countless factors, including inorganic processes, such as mineral deposition and exposure to fire, or organic processes, such as the soil's organic acids, carbon deposition and even human activities (Fernández-Jalvo and Andrews, 2016). Most of the bones observed in this work presented a reddish-brown shade. This coloration may be related to soils rich in iron, which is a characteristic of oxygenated and biologically active soils, and is also a good indication of burial conditions (López-González et al., 2006; Fernández-Jalvo and Andrews, 2016). Furthermore, such coloration may be related to well-drained soils (soils where water is easily percolated, maintaining iron) and oxidation conditions, in contexts of soils formed by iron rich sedimentary rocks (Dupras and Schultz, 2012).

Another factor which can alter the material's coloration is the fungi attack. This attack can be generated when there is exposure to air or, possibly, while there is organic matter, resulting in a blackish coloration pattern. Likewise, fungi attack, carbon deposition, fire, root

growth and magnesium dioxide impregnation can also generate blackened stains on the bone surface. However, the characteristics which these processes would generate, and considering the conditions which would be necessary for such agents to act, these would not be adequate explanations for the color pattern found in the *T. tetradactyla* (López-González et al., 2006; Fernández-Jalvo and Andrews, 2016).

Some elements, such as ribs, suffered corrosion in their diaphyses, and long bones suffered with the agent's action in their epiphyses. By following the lead provided by the information on coloration, corrosion pointed to the same situation. Iron-rich soils are generally acidic, so this could be the reason for corrosion to have occurred (Schaefer, 2016).

When considering cave environments, there is also another possibility for corrosion to occur. Protected environments are common bat shelters which, in turn, produce biogenic acids through guano. Conditions of high humidity, protection of sub-aerial environments and weathering agents produce conditions analogous to burial in active soils. However, the presence of guano was not found at or nearby the fossilization site, so acids of this origin could not be the cause of the corrosions found (Fernández-Jalvo and Andrews, 2016). Therefore, the interaction between acid derived from the iron-rich soil is the most probable cause for this feature's occurrence.

### Final Remarks

The state attributed to the disarticulation and the presence of abrasion in some of the bones indicate that the remains may have interacted with a hydraulic agent, though this agent was only able to remobilize the remains, concentrating them in the same place. When the approach with the Voorhies Groups is applied to the remains, they exhibit all groups represented in the skeletal elements, indicating that this transport was either non-existent or only remobilized the elements, or even occurred prior to disarticulation, thus transporting the carcass.

The reddish-brown coloration, Munsell 10R 3/6, and the corrosion found in the fossils may be the product of an iron-rich soil of ferrous sedimentary rocks, and can also indicate a drained and acidic soil condition.

The predation marks made interpretation more complex. The skeleton of *T. tetradactyla* presents marks produced by teeth on its ulna, but these marks seem to have been produced when the individual was still alive, leading it to its death; or after its death and before fossilization and other biostratinomic processes, according to the absence of regeneration of bone tissue, indicating that this animal may have been killed by a predator, probably a small-sized canid, which makes the predator/scavenger a probable transport agent into the cave, where the elements were found.

Physical weathering processes were present, being attributed to humidity cycles which could have occurred congruently with the abrasion feature which, under normal conditions, is caused by the remobilization force exerted by the hydraulic agent, causing friction between clasts and osseous elements, thus confirming that there was a hydraulic agent for a certain period, which interacted with the remains and may have caused the observed weathering.

We recorded an interaction between carnivores and *T. tetradactyla*, however, so far, no taxa from the Carnivore group were recorded for the cave studied, only rodents, thus suggesting a probable biostratinomic scenario to which this fossil may have been subjected. This scenario can be summarized as the specimen possibly died as a result of predation, posteriorly occurring disarticulation, whereas consumption by scavengers may have occurred, then underwent remobilization, causing abrasion. The interaction between the hydraulic agent and elements may, simultaneously, be the cause of the weathering process. Corrosion and color alteration are also likely to have been caused by the availability of iron in the environment.

### Acknowledgments

The authors are grateful to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES for funding RAL (process number 88882.451199/2019-01). To Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the research fellowship (PQ/CNPq 311003/2019-2) for MATD.

## References

Alberdi, M.T., Alonso, M.A., Azanza, B., Hoyos, M., Morales, J., 2000. Vertebrate taphonomy in circum-lake environments: three cases in the Guadix-Baza Basin (Granada, Spain), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

Araújo-Júnior, H.I., Porpino, K.O., Ximenes, C.L., Bergqvist, L.P., 2013. Unveiling the taphonomy of elusive natural tank deposits: A study case in the Pleistocene of northeastern Brazil, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 378, 52-74. doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.04.001.

Auler, A.S., Piló, L.B., Smart, P.L., Wang, X., Hoffmann, D., Richards, D.A., Edwards, R.L., Neves, W.A., Cheng, H., 2006. U-series dating and taphonomy of Quaternary vertebrates from Brazilian caves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.03.002>

Behrensmeyer, A.K., 1975. The taphonomy and paleoecology of plio-pleistocene vertebrate assemblages east of lake Rudolf, Kenya. Bulletin 146. Museum of comparative zoology: A review of the north american fossil amiid fishes.

Behrensmeyer, A.K., 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology* 4, 150-162. [www.jstor.org/stable/2400283](http://www.jstor.org/stable/2400283)

Blob, R.W., Badgley, C., 2007. Numerical Methods for Bonebed Analysis. In: Rogers, R.R., Eberth, D.A., Fiorillo, A.R., (Ed.), *Bonebeds: Genesis, Analysis, and Paleobiological Significance*. The University of Chicago Press, Minnesota, pp. 333-397.

Cartelle, C., Leite, M.T.V., 1989. Myrmecophagidae (Edentata, Vermiculata) do Pleistoceno final - Holoceno no Centro Oeste da Bahia. In: Congresso brasileiro de paleontologia, XI., Curitiba. Anais, Curitiba: Sociedade Brasileira de Paleontologia, v. 1., 571 -581.

Cassiliano, M., 1997. Taphonomy of mammalian fossils across the Blancan-Irvingtonian boundary: Palm Spring Formation, Anza-Borrego desert of southern California, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.

Dantas, M.A.T., André, V.A., Eltink, E.N., Silva, L.A., Leoni, R.A., Fêlix, P.M., Cherkinsky, A., 2019. Isotopic paleoecology ( $\delta^{13}\text{C}$ ) of mesoherbivores from Late Pleistocene of Gruta da Marota, Andaraí, Bahia, Brazil. DOI: 10.1080/08912963.2019.1650742

Davis, P.G., Briggs, D.E.G., 1998. The Impact of Decay and Disarticulation on the Preservation of Fossil Birds, *PALAIOS* 13, 3-13.

Dominato, V.H., Mothé, D.D.S.R.C., Avilla, L.D.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*, doi.org/10.1016/j.jsames.2011.01.002

Dos Santos, M.F.C.F., Bergqvist, L.P., Lima filho, F.P., Pereira, M.M.V., 2002. Feições tafonômicas observada em fósseis pleistocênicos do Rio Grande do Norte. *Revista de Geologia*.

Dupras, T.L., Schultz, J.J., 2012. Taphonomic Bone Staining and Color Changes In Forensic Contexts In: Pokines, J, Symes, SA. *Manual of Forensic Taphonomy*.

Fernández-Jalvo, Y., Andrews, P., 2016. Chapter 5 - Discoloration and Staining. In: Fernández-Jalvo, Y., Andrews, P., 2016. *Atlas of Taphonomic Identifications 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification*.

Gouvea, E.P., 1993. Reencontro e "ocorrência curiosa" de *Trichodamon froesi* Mello-Leitão (Arachnida, Amblypygi). *Rev Bras Zool.* 10(3):383-388. doi:10.1590/S0101-81751993000300002

Haynes, G., 1983. A Guide for Differentiating Mammalian Carnivore Taxa Responsible for Gnaw Damage to Herbivore Limb Bones, *Paleontological Society* 9, 164-172, <http://www.jstor.org/stable/2400464>

Hayssen, V., 2010. *Tamandua tetradactyla* (Pilosa: Myrmecophagidae). *Mammalian Species*. <https://doi.org/10.1644/875.1>

Iglesias, M., Uhlein, A., 2009. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*.

Karmann, I., Pereira, R.G.F.A., Mendes, L.F., 2002. Poço Encantado, Chapada Diamantina (Itaetê), BA: caverna com lago subterrâneo de rara beleza e importância científica. In: Schobbenhaus C, Campos DA, Queiroz ET, Winge M, Berbert-Born MLC. (Editores.)

Leoni, R.A., Silva, L.A., 2018. Registro de mamíferos fósseis da Lapa do Bode, Ituaçu, Bahia. Scientia Plena. doi.org/10.14808

López-González, F., Grandal-d'Anglade, A., Vidal-Romaní, J.R., 2006. Deciphering bone depositional sequences in caves through the study of manganese coatings. Journal of Archaeological Science.

Mayer, E.L., Kerber, L., Ribeiro, A.N., Hubbe, A., 2018. The dominance of an extant gregarious taxon in an attritional accumulation: Taphonomy and palaeoecological implications. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.05.028

Munsell Color., 2000. Munsell Soil Color Charts, 2000 Revised Washable Edition. Gretagmacbeth, New York (NY).

Ohana, J.A.B., Bertassoni, A., Miranda, F.R., Mourão, G.M., Miranda, G.H.B., Costa, J.F., Silva, K.F.M., Fariacorrêa, M.A., Belentani, S.C.S., 2015. Avaliação do Risco de Extinção de *Tamandua tetradactyla* (Linnaeus, 1758) no Brasil. Brasília (DF): ICMBio. Capítulo 9, Avaliação do Risco de Extinção dos Xenartros Brasileiros; p. 111.

Pobiner, B., 2008. Paleoecological Information in Predator Tooth Marks. Journal of Taphonomy.

Pokines, J.T., Faillacea, K., Bergera, J., Pirtlea, D., Sharpea, M., Curtisa, A., Lombardia, K., Admans, J., 2018. The effects of repeated wet-dry cycles as a component of bone weathering. Journal of Archaeological Science: Reports. Vol. 17, p. 433-441.

Schaefer, C.E.G.R., Ribeiro, A.S.S., Corrêa, G.R., Neto, E.L., Simas, F.N.B., Ker, J.C., 2016. Características químicas e mineralogia de solos perférricos da Serra Sul de Carajás. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais.

Silva, L.A., 2019. Isotopic paleoecology ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and radiocarbon dating of Late Pleistocene small mammals from northeastern Brazil. Dissertação (Mestrado em Genética, Biodiversidade e Conservação). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié.

Simões, M.G., Rodrigues, S.C., Machado, C.B., 2010. Procedimentos metodológicos em tafonomia. Rio de Janeiro (RJ) In: Carvalho, I.S., (Ed.). Paleontologia: conceitos e métodos., Interciência, pp. 419-425.

Voorhies, M.R., 1969. Taphonomy and population dynamics of an early pliocene vertebrate fauna, Knox county, Nebraska, Rocky Mountain Geology 8, 1-69.

[https://doi.org/10.2113/gsrocky.8.special\\_paper\\_1.1](https://doi.org/10.2113/gsrocky.8.special_paper_1.1)



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação

Table 1: Biostratinomic features values of *Tamandua tetradactyla* specimens for **abrasion**: unabraded (0), abraded (1), highly abraded (2). **Articulation**: articulated (1), associated (2), disarticulated (3). Values assigned for **fragmentation**: stages from 1-5. Values assigned to **predation marks**: absent (0), present (1), extensive (2). Table modified from those presented by Rogers (2007) and Araújo-Júnior *et al.*, (2013).

| <i>T. tetradactyla</i> | Articulation | Fragmentation | Abrasion | Predation Marks |
|------------------------|--------------|---------------|----------|-----------------|
| LEG1533                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1576                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1598                | 2            | 3             | 1        | 0               |
| LEG1582                | 1            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1536                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1535                | 2            | 3             | 1        | 0               |
| LEG1541                | 1            | 3             | 1        | 0               |
| LEG1540                | 2            | 3             | 1        | 0               |
| LEG1545                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1538                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1543                | 2            | 3             | 0        | 2               |
| LEG1539                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1544                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1585                | 2            | 3             | 0        | 0               |
| LEG1546                | 2            | 3             | 0        | 0               |

LEG1542

2

3

0

0

LEG1537

2

3

1

0

LEG1557

2

3

0

0

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

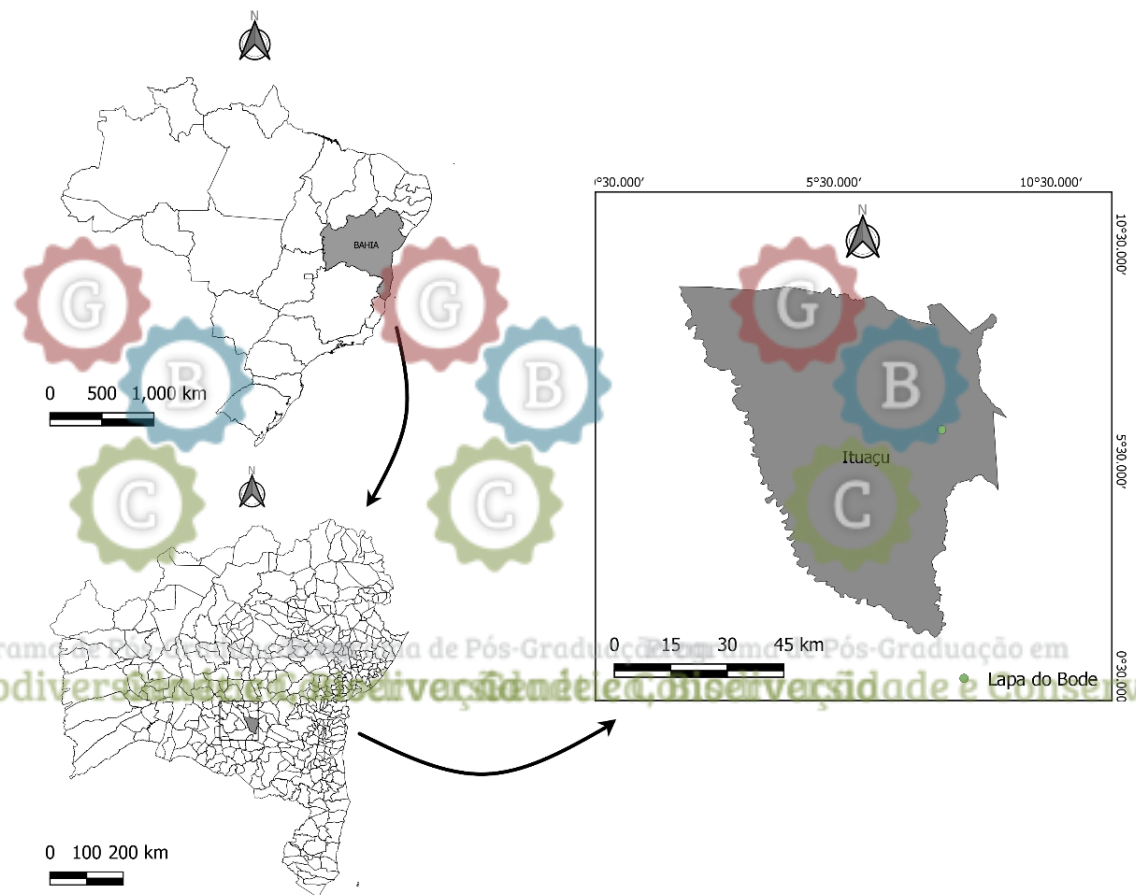


Figure 1: Location map of Brazil, focusing on the state of Bahia and the city where the *Tamandua tetradactyla* fossils were collected. The city of Ituaçu is emphasized and the Lapa do Bode cave is punctuated in green on the map.

Figure 1 Alt Text: Three maps, in sequence, connected by arrows. The map located on the upper left corner represents Brazil, with emphasis in the state of Bahia. The map on the lower left corner represents the state of Bahia, emphasizing the municipality of Ituaçu. The map on the right side, centered and highlighted by a quadrant with a scale in degrees, represents the map of the municipality of Ituaçu, with a green point representing the location of the Lapa do Bode cave.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

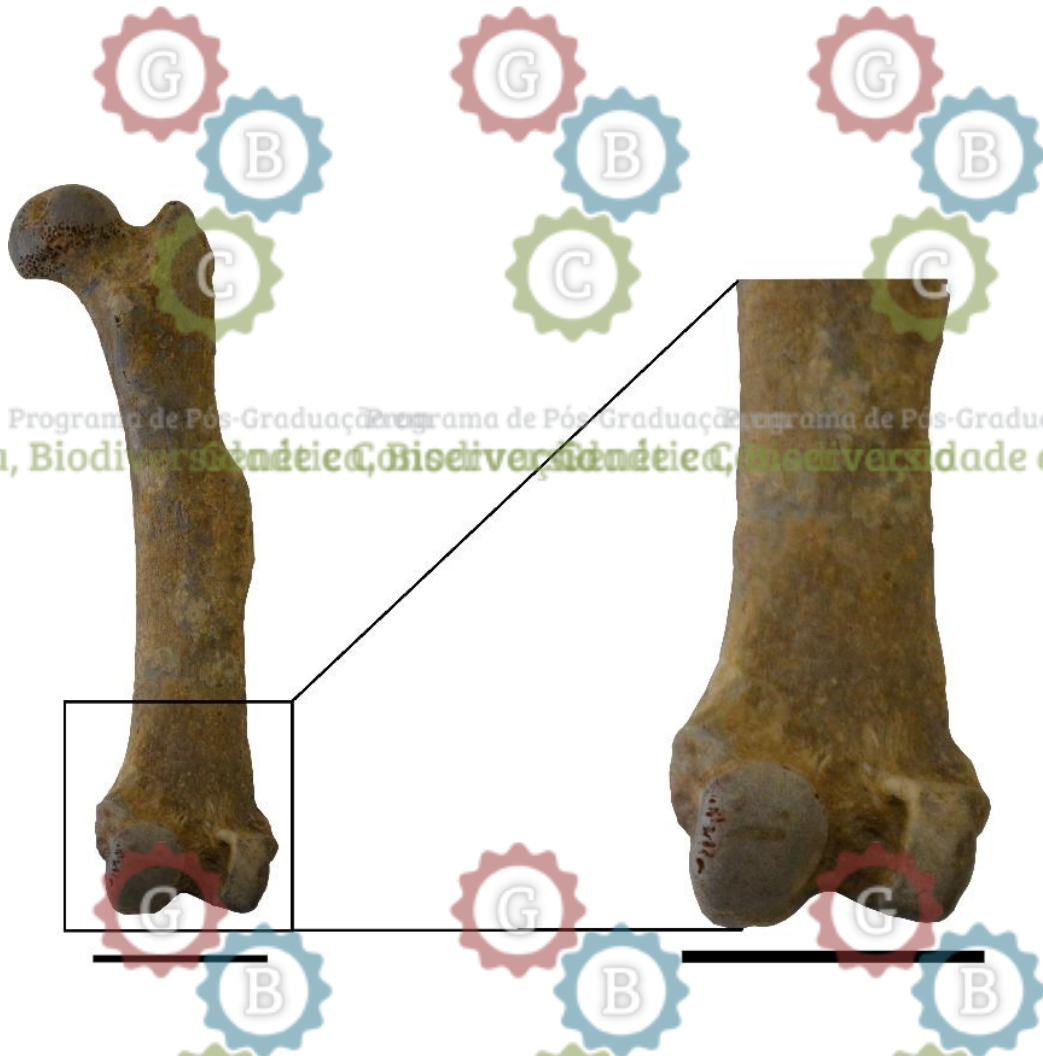


Figure 2: Femur with emphasis on the distal epiphysis, evidencing abrasion. Scale = 2 cm.

Figure 2 Alt Text: Femur, on the left, with a square emphasizing the distal epiphysis; enlarged distal epiphysis on the right, connected by lines, indicating the square's area increase.





Figure. 3. Femur with emphasis on proximal epiphysis, evidencing abrasion. Scale = 2 cm.

Figure 3 Alt Text: Femur, on the left. Square emphasizing the proximal epiphysis. Enlarged proximal epiphysis on the right, connected by lines indicating the increase in the area focused in the square.

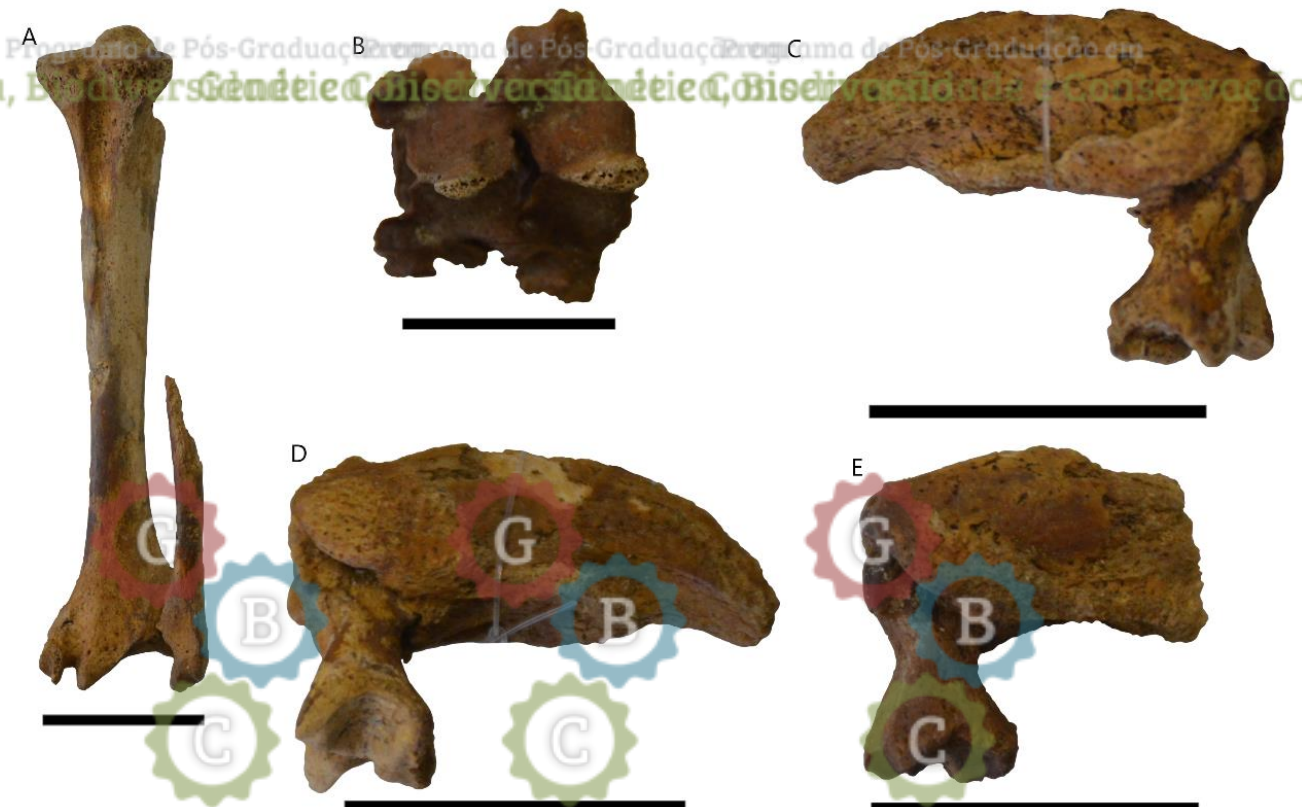


Figure 4: Articulated and associated skeletal elements of *Tamandua tetradactyla*; A. tibia and fibular fragment still articulated; B. articulated vertebrae; C, D, E. Three different articulated medial and distal phalanges. Scale = 2 cm.

Figure 4 Alt Text: A. Tibia articulated to right fibula; B. vertebrae connected to center; C. distal phalange articulated to medial phalange (lateral view); D. distal phalange articulated to medial phalange (lateral view); E. broken distal phalange articulated to medial phalange.



Figure 5. *T. tetradactyla* rib fragmented by weathering agents; peeling indicated by arrow. Scale = 2 cm.

Figure 5 Alt Text: Rib located at the center, arrow indicating part of the rib with an aspect different from the rest of the bone.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Figure 6. Ulna with predation marks along the *T. tetradactyla* ulna's diaphysis, with fragmented distal epiphysis and predation marks along the diaphysis. Scale = 2cm.

Figure 6 Alt Text: Ulna in the center, lines indicating, to the right, increased diaphysis area with three parallel perforations.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

A

B



Figure. 7. Osseous elements with impregnation; A. skull with heterogeneous reddish-brown impregnation throughout its extension, more intense on the left side; B. Homogeneously and intensely impregnated humerus, with reddish brown coloration. Scale = 2 cm.

Figure 7 Alt Text: Skull, on the left, and humerus on the right, both with modified coloration.

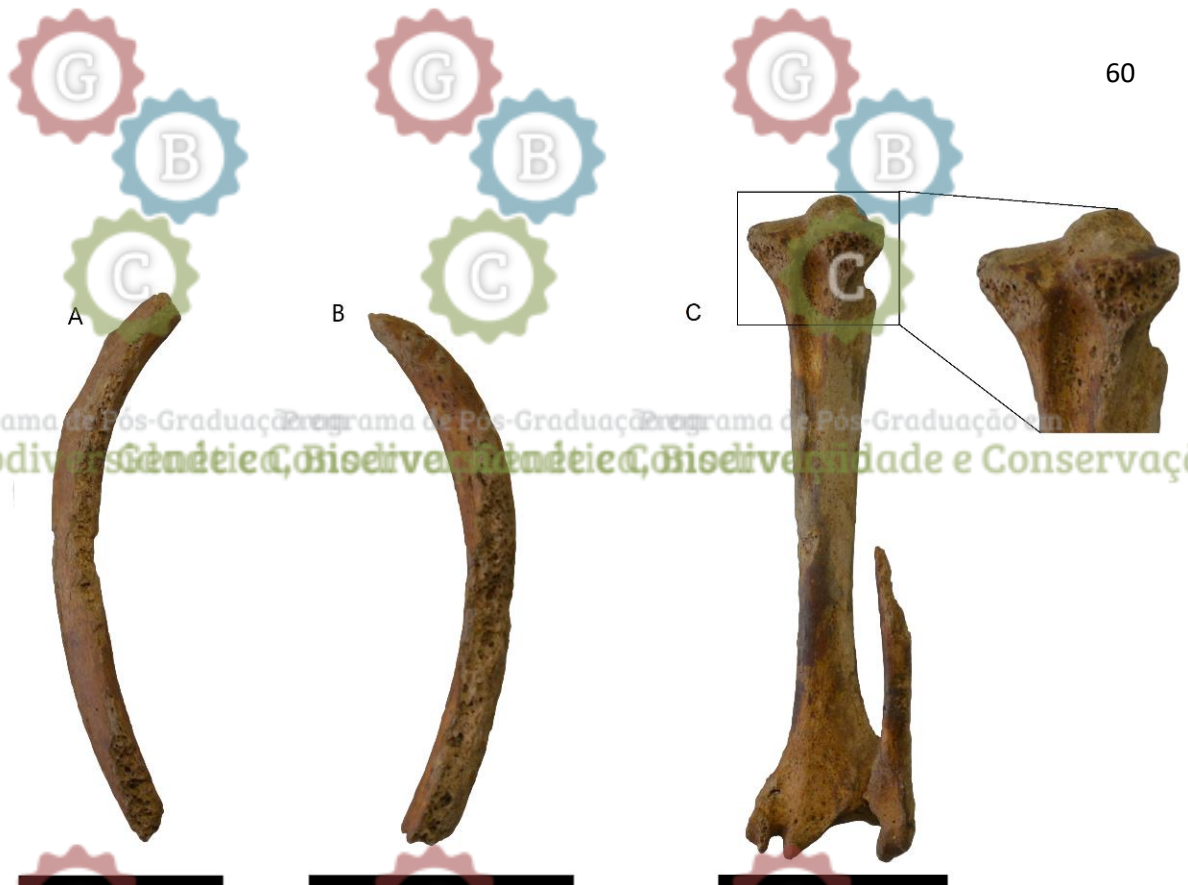


Figure 8. Elements with damages caused by corrosion; A. rib with damages along the diaphysis; B. rib with intense damage along the diaphysis; C. tibia with damages concentrated in the proximal epiphysis.

Figure 8 Alt Text: Ribs on the left side. Tibia on the right side, with proximal epiphysis highlighted by a square, showing the corrosion.

## 7. CONCLUSÕES GERAIS

Com o conhecimento paleontológico obtido na investigação sobre o indivíduo fóssil de *Tamandua tetradactyla* na caverna Lapa do Bode fica explícito que muito ainda pode ser conhecido nessa caverna e o potencial de outras cavernas ainda não estudadas, revela a capacidade da investigação paleontológica para mostrar riqueza histórica desses locais.

Mostra que lugares como estes abrigam grande abundância de informações em boa qualidade e caso estes arquivos naturais não sejam preservados podem acabar se perdendo para sempre, sabendo que fósseis em boa qualidade são exceção à regra.

A Tafonomia se mostrou uma ferramenta poderosa para o conhecimento da biocenose que este indivíduo teria vivido, através dela foi possível sugerir interações entre os restos do indivíduo encontrado e animais vivos, agentes abióticos que teriam entrado em contato durante os longos anos de fossilização, e informações sobre a caverna em específico, no seu aspecto físico-químico, além da estabilidade da própria caverna quanto a entrada de agentes energéticos.

Após todo o processo é possível concluir que as feições tafonômicas quando observadas em de forma reunida nos mostra muito mais do que mostrariam individualmente, as feições, quando analisadas em conjunto tornam as sugestões individuais mais relevantes e acabam por causar um efeito de reforço mutuo, suportando uma afirmação cada vez mais sólida para todo o cenário. Com a reunião das características é possível acompanhar a fase bioestratigráfica pela qual esse indivíduo passou de forma íntegra e se tornou evidente com isso a importância da análise criteriosa do material para a afirmação com base nas feições.

Os vieses tafonômicos inerentes ao processo e de constante manejo durante a análise, e a similaridade entre as feições geradas pelos diferentes processos são os verdadeiros desafios encontrados neste campo, se torna fundamental então a minuciosa execução da metodologia e observação do material durante este processo, para que as afirmações se aproximem o máximo a realidade do que realmente ocorreu.