



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Programa de Pós-Graduação em Geociências

Faculdade de Geologia

Ana Carolina Nunes de Moraes Rego

**Estudo bioestratinômico de *Itapeuasaurus cajapioensis*
(Dinosauria, Diplodocoidea) da Formação Alcântara, Cenomaniano
da Bacia de São Luís**

Rio de Janeiro

2023

Ana Carolina Nunes de Moraes Rego

**Estudo bioestratinômico de *Itapeuasaurus cajapioensis* (Dinosauria,
Diplodocoidea) da Formação Alcântara, Cenomaniano da Bacia de São Luís**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Estratigrafia e correlação geológica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Henrique de Souza Barbosa

Coorientador: Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Manuel Alfredo Araújo Medeiros

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/CTCC

R343	Rego, Ana Carolina Nunes de Moraes. Aspectos bioestratinômicos de <i>Itapeuasaurus cajapioensis</i> (Dinosauria, Diplodocoidea) da Formação Alcântara, Cenomaniano da Bacia de São Luís. – 2023. 84 f.: il. Orientador: Fernando Henrique de Souza Barbosa. Coorientadores: Hermínio Ismael de Araújo Júnior e Manuel Alfredo Araújo Medeiros. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia. 1. Geociências – Teses. 2. Tafonomia – São Luís, Bacia - Teses. 3. Dinossauro – Teses. I. Barbosa, Fernando Henrique de Souza. II. Araújo Júnior, Hermínio Ismael de. III. Medeiros, Manuel Alfredo Araújo. IV. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. V. Título. CDU 568.19(812.1)
------	--

Bibliotecária responsável: Ingrid Pinheiro / CRB-7: 7048

Autorizo, apenas, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Ana Carolina Nunes de Moraes Rego

Estudo bioestratigráfico de *Itapeuasaurus cajapioensis* (Dinosauria, Diplodocoidea) da Formação Alcântara, Cenomaniano da Bacia de São Luís

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Estratigrafia e correlação geológica.

Aprovada em 30 de agosto de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Henrique de Souza Barbosa (orientador)
Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior (coorientador)
Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. Manuel Alfredo Araújo Medeiros (coorientador)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Dr. Fábio Henrique Cortes Faria
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof.^a Dr.^a Aline Meneguci da Cunha
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Celso Lira Ximenes Júnior
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof.^a Dr.^a Simone Baes Neves
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof.^a Dr.^a Lilian Paglarelli Bergqvist
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e principal incentivadora, nessa etapa não foi diferente, obrigada por todo apoio emocional e todo suporte para continuar. Ao meu pai, meu irmão e meu namorado, que contribuíram fortemente para que eu pudesse estar aqui hoje.

Agradeço Fernando Barbosa por ter aceitado me orientar e tornando possível o meu início no programa. O professor Manuel Alfredo Medeiros, que conduziu o ensino da Paleontologia de forma tão interessante e me apresentou o material que conduzimos este estudo. Agradeço também, ao meu coorientador, o professor Hermínio, por ter me acolhido na Tafonomia e no Laboratório de Paleontologia (LABPALEO), ajudando a dar seguimento na minha pesquisa e formação acadêmica.

Sou muito grata às minhas amigas, que mesmo longe se fazem sempre presentes, Kamilla Veras e Joana Viviane, pelo suporte e apoio durante todo o processo, sem os quais seria mais difícil esse trajeto.

Meu mais profundo agradecimento à equipe do Centro de Pesquisa de *História Natural* e Arqueologia do Maranhão (CPHNAMA) pelo suporte logístico, especialmente à Dona Agostinha Pereira e Denise Mendes.

Por fim, gostaria de manifestar a minha gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa que me permitiu concluir essa etapa tão importante.

Uma longa viagem começa com um único passo.

Lao-Tsé

RESUMO

REGO, Ana Carolina Nunes de Moraes. **Estudo bioestratinômico de *Itapeuasaurus cajapioensis* (Dinosauria, Diplodocoidea) da Formação Alcântara, Cenomaniano da Bacia de São Luís**. 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Um jazigo fossilífero na praia de Itapeua, município de Cajapió, norte do Maranhão, Formação Alcântara (Cenomaniano), trouxe um registro significativo de espécimes atribuídos a *Itapeuasaurus cajapioensis* (Dinosauria, Diplodocoidea). Foi feito o estudo das feições tafonômicas macroscópicas, em sua maior parte de assinaturas bioestratinômicas. Os fósseis consistem em vinte e dois espécimes, nos quais foram analisadas as seguintes feições: i) transporte; ii) disarticulação; iii) posição dos fósseis em planta; iv) equivalência hidráulica; v) bioerosão; vi) corrosão; vii) marcas de predação e/ou necrofagia; viii) marcas de pisoteio; ix) integridade física; x) graus de abrasão; xi) estágios de intemperismo; xii) padrões de quebra; xiii) deformação e xiv) coloração. O material foi encontrado 100% desarticulado e não foram identificadas marcas de dentes ou pisoteio. A análise da equivalência hidráulica e dos fósseis em planta indica que houve transporte, porém se exclui a possibilidade de animais terem servido como agentes transportadores. As duas feições que ocorrem predominantemente são corrosão e bioerosão, em 18 fósseis. Em relação à bioerosão, provavelmente houve um tempo relevante de exposição antes do soterramento, suficiente para que ocorresse a colonização de organismos. Todos os fósseis possuem marcas abrasivas, onde 7 espécimes apresentam grau 1, 13 se encontram no grau 2 e 2 estão no grau 3. A análise da abrasão indicou energia do ambiente e transporte. Das feições intempéricas, 7 estão no estágio 2, 14 estão no estágio 3, 1 se encontra no estágio 4. Nenhum fóssil se encontrava nos estágios 0-1 de intemperismo, indicando que houve uma exposição prolongada antes do soterramento. O padrão de quebra foi analisado em ossos longos e constatou-se que a maioria apresenta quebras típicas do período pré-soterramento. Em relação à integridade física, 10 são fragmentos, 6 se encontram parcialmente preservados e 6 estão completos. De acordo com o padrão de coloração, pôde-se constatar indícios da possibilidade de óxido de ferro, manganês, matéria orgânica e umidade estarem presentes no solo. Foi identificada compressão litostática em 5 dos espécimes. Observou-se evidências de retroalimentação tafonômica, aparentemente recente, em 1 espécime, que pode ter permanecido em zona intermaré ou submerso tempo suficiente para que houvesse colonização de organismos sésseis. Estes fósseis possuem feições que indicam transporte hidráulico e retrabalhamento, boa parte foi exumado e redepositado, logo a inferência de tempo a estas feições pode ser inconsistente. Por fim, as análises tafonômicas indicam que dos fósseis de Cjapió, provavelmente, não perteceram a um único indivíduo.

Palavras-chave: Tafonomia; Cretáceo; Modificação óssea; Formação Alcântara; Maranhão.

ABSTRACT

REGO, Ana Carolina Nunes de Moraes. **Biostratinomic aspects of *Itapeuasaurus cajapioensis* (Dinosauria, Diplodocoidea) from the Alcântara Formation, Cenomanian of the São Luís Basin, Northeast Brazil.** 84 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A fossil deposit located in Brazil, on the northern part of the state of Maranhão, at Itapeua beach, on the municipality of Cajapió, Alcântara Formation (Cenomanian), brought a significant record of skeletal remains belonging to *Itapeuasaurus cajapioensis* (Dinosauria, Diplodocoidea). A study of macroscopic features was carried out, predominantly biostratinomic signatures. The material includes twenty-two specimens, from which the following taphonomic features were analyzed: i) transport; ii) disarticulation; iii) position of the *in situ* fossils; iv) hydraulic equivalence; v) bioerosion; vi) corrosion vii) predation and/or scavenging marks; viii) trampling marks; ix) physical integrity; x) degrees of abrasion; xi) stages of weathering; xii) breakage; xiii) deformation; and xiv) coloring. The specimen was found 100% disarticulated and no marks of teeth or trampling were identified. According to the analysis of the hydraulic equivalence and the *in situ* position, there was some transport, but the possibility the animals as carriers is ruled out. Corrosion and bioerosion, occur predominantly in 18 of the fossils. In terms of bioerosion, there was probably a relevant time of exposure before burial that was long enough for organisms colonization to occur. All specimens present signals of abrasion where 7 are in stage 1, 13 are in stage 2, and 2 in stage 3. The abrasive features suggest energy and transport. Relating to weathering, 7 are in stage 2, 14 are in stage 3, and 1 are in stage 4. Stages 0-1 of weathering were not observed, which indicates significant exposure before burial. According to the breakage pattern analyzed in long bones, most of the specimens present pre-burial characteristics. Regarding physical integrity, about 10 are fragments, 6 are partially preserved and 6 are complete. According to the color pattern it is possible to infer evidence of the potential presence of iron oxide, manganese, organic matter, and humidity in the soil. Lithostatic compression was identified in 5 of the specimens. Evidence of taphonomic feedback was also identified, all suggests to its recentness, in 1 fossil, so this specimen was in the intertidal zone or submerged long enough for sessile organisms to colonize. As the fossil remains of this locality were transported, reworked, exhumed and redeposited, so it may not be accurate to infer time to the taphonomic traits. In conclusion, according to the taphonomic analysis of the Itapeua beach samples, the skeletal remains may not belong to only one individual.

Keywords: Tafonomy; Cretaceous; Bone modification; Alcântara Formation; Maranhão.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Área de estudo.....	12
Figura 2 –	Localização da Formação Alcântara na Baía de São Marcos na conjuntura do Gondwana.....	14
Figura 3 -	Bacias da Província Sedimentar do Meio-Norte do Brasil e suas classificações no modelo Kingston.....	17
Figura 4 –	Esquema das colunas estratigráficas da bacia de São Luís-Grajaú propostas por (ROSSETTI E TRUCKENBRODT, 1997; ROSSETTI, 2001b; VAZ et al., 2007; CUNHA et al., 2019).....	18
Figura 5 –	Reconstrução paleoambiental da Formação Alcântara no Cenomaniano, Bacia de São Luís	21
Figura 6 –	Ciclos que regem a transição dos restos orgânicos da biosfera para a litosfera e que afetam a qualidade do registro fóssilífero.....	25
Figura 7 –	Perfil estratigráfico e área da coleta.....	32
Figura 8 –	Imagens da metodologia aplicada para a retirada dos fósseis na praia de Itapeua.....	32
Tabela 1 -	Valores de FTI (Fluvial Transport Index) para elementos esqueléticos de elefante indiano (<i>Elephas maximus</i>).....	35
Tabela 2 -	Graus de abrasão e graus de arredondamento.....	37
Tabela 3 -	Estágios de intemperismo de acordo com as feições geradas e o respectivo tempo médio de exposição aproximada.....	38
Figura 9 -	Padrões de quebra.....	39
Tabela 4 -	Integridade física.....	40

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	11
1	OBJETIVOS GERAIS.....	13
2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	CONTEXTO GEOLÓGICO E ESTRATIGRÁFICO.....	14
3.1	Bacia de São Luís-Grajaú.....	16
3.2	Formação Alcântara.....	19
4	PALEONTOLOGIA REGIONAL.....	22
5	TAFONOMIA.....	24
5.1	Tafonomia de vertebrados.....	27
5.2	Tafonomia de dinossauros.....	29
6	MATERIAIS.....	30
7	METODOLOGIA.....	33
7.1	Desarticulação.....	33
7.2	Orientação dos fósseis em planta.....	34
7.3	Equivalência hidráulica.....	34
7.4	Bioerosão.....	36
7.5	Processos abrasivos.....	36
7.6	Estágios de intemperismo.....	37
7.7	Padrões de quebra.....	38
7.8	Deformação.....	39
7.9	Integridade física.....	40
7.10	Corrosão.....	40
7.11	Coloração.....	41
8	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	41
9	CONCLUSÕES.....	42
10	REFERÊNCIAS.....	44
	APÊNDICE - Biostratinomic aspects of Itapeuasaurus cajapioensis (Dinosauria, Diplodocoidea) from the Alcântara Formation, Cenomanian of the São Luís Basin, Northeast of Brazil.....	55

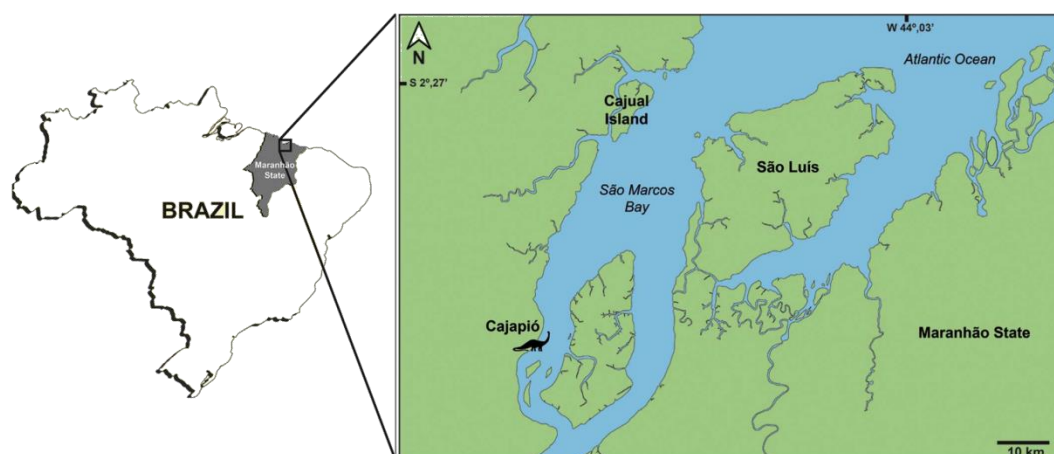
INTRODUÇÃO

A Bacia de São Luís se encontra na margem equatorial brasileira, abrangendo uma área emersa de aproximadamente 15.000 km² (RODRIGUES *et al.*, 1990). É uma das Bacias mesozoicas do Brasil que foram formadas em ambiente continental quando houve a separação do Gondwana e possui um arcabouço estrutural predominantemente cretáceo pertencente aos grupos Codó-Grajaú (Aptiano) e Itapecuru (Albiano - Cenomaniano) (PRICE, 1960; MENSNER & WOOLDRIDGE, 1964; ARANHA *et al.*, 1990). Registros fósseis de vertebrados vêm sendo relatados desde o início do século XX nas falésias da Baía de São Marcos (PRICE, 1960).

O pacote sedimentar da Bacia de São Luís emerge ao longo da região litorânea da Baía de São Marcos; nele estão incluídos os afloramentos da Formação Alcântara (Neoalbiano – Eocenomaniano), compreendem uma paleocomunidade que registra plantas, dinossauros, crocodilos e peixes, com predomínio de fragmentos ósseos e dentes isolados. De acordo com dados publicados e comparações feitas com o esqueleto quase completo encontrado em Neuquén, na Patagônia argentina, observou-se que uma grande parte dos centros vertebrais caudais, provenientes da Formação Alcântara, tem relação com Rebbachisauridae (PEDRÃO *et al.*, 1993a; MEDEIROS & SCHULTZ, 2004).

Recentemente, um novo jazigo fossilífero na praia de Itapeua, município de Cajapió, no litoral norte do Maranhão (Figura 1), nos deu um registro mais informativo e significativo de restos esqueléticos pertencentes a um novo gênero e espécie de saurópode, *Itapeuasaurus cajapioensis* (MEDEIROS *et al.*, 2015; LINDOSO *et al.*, 2019).

Figura 1 - Área de estudo



Legenda: Localização da Praia de Itapeua, no município de Cajapió, norte do estado do Maranhão.

Fonte: MODIFICADO DE LINDOSO *et al.*, 2019.

Itapeuasaurus cajapioensis, representa o primeiro registro de Diplodocoidea da Formação Alcântara e o segundo Rebbachisauridae do Cretáceo Médio a ser nomeado no Brasil (LINDOSO *et al.*, 2019). Este grupo de saurópodes é extremamente raro em território nacional devido às limitadas ocorrências de afloramentos formados em ambiente continental da época em que esses animais eram comuns na América do Sul – Cretáceo Inicial e início do Cenomaniano (MEDEIROS *et al.*, 2015). Até então, apenas uma espécie havia sido documentada em 2003 por Carvalho *et al.*, *Amazonsaurus maranhensis*, descrita nas rochas do Aptiano-Albiano na Bacia do Parnaíba, Norte do Maranhão.

Diante da importância deste espécime recém-nomeado e da carência em pesquisas tafonômicas na Formação Alcântara, se destaca a relevância deste estudo, além de ser o primeiro trabalho sobre tafonomia de dinossauros desta região. A intenção desta dissertação foi trazer informações inéditas no âmbito bioestratinômico, integrando as informações obtidas a respeito desta nova espécie e seu ambiente deposicional.

1. OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo tafonômico das feições bioestratinômicas do conjunto fossilífero encontrado na praia de Itapeua (no município de Cajapió, Formação Alcântara, no litoral norte do Maranhão).

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

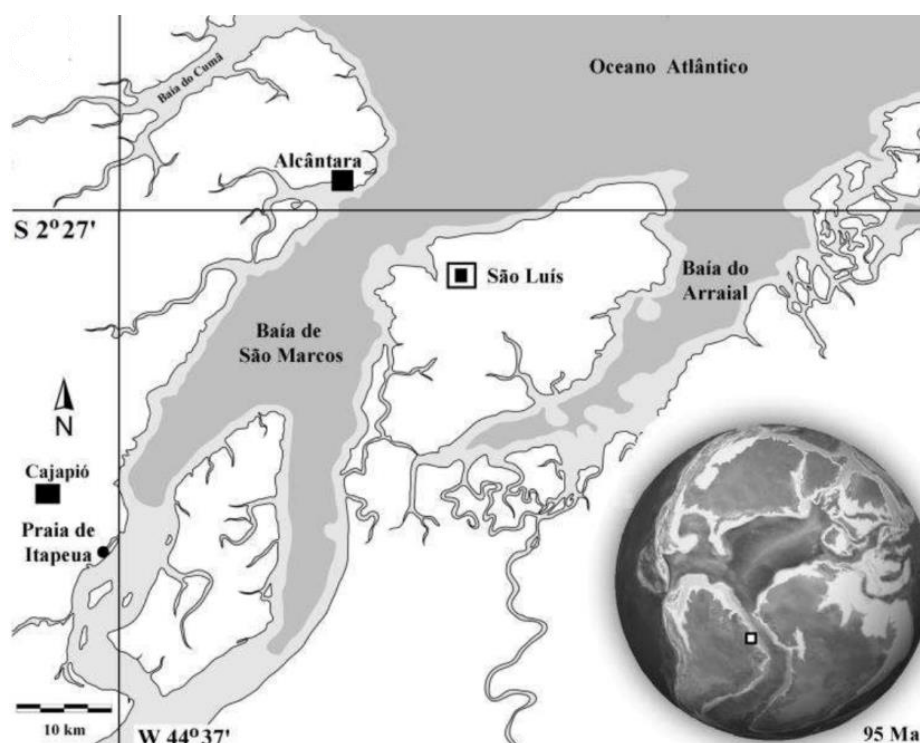
São objetivos específicos: (i) identificar e interpretar assinaturas bioestratinômicas nos restos de dinossauro encontrados; (ii) identificar e interpretar informações sobre o ambiente deposicional que possam estar relacionadas aos fósseis analisados; e (iii) reconhecer possíveis assinaturas paleoecológicas associadas ao material fóssil.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO E ESTRATIGRÁFICO

Localizada no norte do estado do Maranhão, a Bacia de São Luís é uma Bacia costeira do tipo rifte, com depósitos do Cretáceo que datam do Aptiano ao Eo-Cenomaniano e corroboram com a separação da África e América do Sul (MESNER & WOOLDRIDGE, 1964; ARANHA *et al.*, 1990).

A ruptura ocasionou a formação do Oceano Atlântico, que teve início a partir do Cenomaniano e levou à formação de várias Bacias no leste e nordeste do Brasil (SZATMARI *et al.*, 1987). Como a Bacia de São Luís-Grajaú tem a sua origem estritamente relacionada à separação do Gondwana (Figura 2), ela compartilha um histórico semelhante com o das unidades no Meio-Norte brasileiro (GÓES & ROSSETTI, 2001).

Figura 2 - Localização da Formação Alcântara na Baía de São Marcos na conjuntura do Gondwana



Fonte: MEDEIROS *et al.*, 2015.

Essa tectônica distensiva ocasionou, por extensão, o afastamento dessas placas e a separação do continente, levando a um afinamento crustal e

falhas nas direções sudeste e nordeste, equiparáveis ao movimento das placas africana e sul-americana (MATOS, 1992). No Nordeste e Leste brasileiro essa movimentação ocasionou a formação de diversas bacias individualizadas e profundas (REYMENT & TAIT, 1972). Com isso, em direção Norte-Sul ocorre também a formação da bacia alongada, Depressão Afro-Brasileira, acumulando ali sedimentação continental, com origem predominantemente flúvio-lacustre (ESTRELLA, 1972). Assim, instalou-se o princípio da fase rifte, no Neocomiano (Cretáceo Inferior) com as primeiras rupturas que fragmentaram o Gondwana (SZTAMARI *et al.*, 1987).

A ingressão de água marinha no sul do golfo formado por essa ruptura do supercontinente marcou o fim do estágio rifte e o princípio da fase transicional (LARSON & LADD, 1973; SZTAMARI *et al.*, 1987; SOUSA-LIMA & HAMSI JUNIOR, 2003). Com o progresso do afastamento das placas, começou o processo de deriva continental, no fim do neo-Aptiano caracterizado pela formação de uma ampla plataforma carbonática, indo de Santos até Barreirinhas (VIANA, 1986; KOUTSOUKOS *et al.*, 1993). Com o avanço da separação e as mudanças climáticas, houve uma redução na deposição carbonática nas margens do Brasil e da África; as sequências sedimentares se tornaram um sistema principalmente siliciclástico, sendo assim até hoje (PETRI, 1987; SOUSA-LIMA & HAMSI JUNIOR, 2003).

Sedimentos marinhos da parte Meridional do Atlântico Sul indicam um paleoambiente de mar aberto e também a presença de oxigênio no Albiano superior. Desta forma, com a formação de um novo assoalho oceânico, houve a ruptura total entre as placas litosféricas (REYMENT & DINGLE, 1987; KOUTSOUKOS *et al.*, 1991). No fim do neo-Albiano, a Bacia Costeira da Nigéria, o Golfo da Guiné e as bacias do Nordeste brasileiro sofreram um evento de regressão, que durou até o Cenomaniano inferior (REYMENT & DINGLE, 1987; MABESOONE *et al.*, 1994).

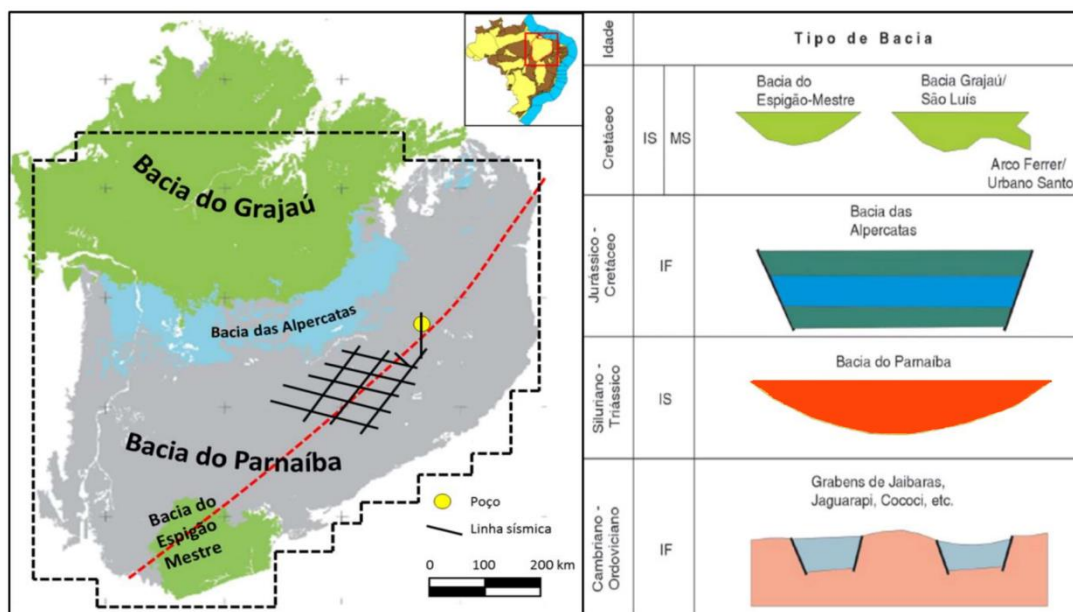
Os registros mais significativos de bacias costeiras vêm do Cenomaniano, quando ocorreu uma expressiva deposição marinha no litoral da África e do Brasil (ARANHA *et al.*, 1990). No Nordeste brasileiro, houve uma provisão de camadas clásticas progradacionais nas bacias de São Luís-Grajaú, Barreirinhas, Piauí, Ceará, Bragança-Vizeu e Potiguar (MIURA, 1972).

Um evento transgressivo de grande magnitude, durante o neo-Cenomaniano, teria modificado a estrutura da África, uma vez que tal evento conectou o Mar de Thetys com o Atlântico Sul; com isso houve um isolamento da parte noroeste africana do restante do continente e assim permaneceu até o Turoniano (REYMENT & DINGLE, 1987). A separação total das placas sul-americana e africana proporcionou um deslizamento transcorrente mais rápido entre elas, produzindo forças de cisalhamento que podem ser observadas em registros nas sequências continentais do Maranhão e Ceará, no Brasil e em Costa do Marfim e Gana, na África. Desse modo, o Atlântico passou a ter as mesmas condições de mar aberto que tem hoje (ARANHA *et al.*, 1990).

3.1 Bacia de São Luís-Grajaú

A Bacia de Grajaú foi formalizada em 1995, por Góes, para descrever depósitos do Cretáceo, na parte norte da Bacia do Parnaíba, que foi dividida em quatro bacias: Parnaíba (Siluriano-Triássico), Alpercatas (Jurássico/Eo-Cretáceo), Grajaú (Cretáceo) e Espigão-Mestre (Cretáceo) (GÓES & COIMBRA, 1996; Figura 3).

Figura 3 - Bacias da Província Sedimentar do Meio-Norte do Brasil e suas classificações no modelo Kingston



Fonte: MODIFICADO DE ARÊAS *et al.*, 2013.

No Brasil, as Bacias da margem Oriental e Equatorial possuem registros sedimentares que documentam diferentes estágios da separação continental. Da mesma forma que pacotes sedimentares no oeste africano contêm indícios síncronos, os quais são parcialmente correlacionáveis com os pacotes do litoral brasileiro (REYMENT & TAIT, 1972). Assim, as bacias das margens opostas do Oceano Atlântico relatam uma história geológica semelhante que registra cinco estágios tectono-sedimentares: sinéclise, pré-rifte (continental), rifte (lacustre), transicional (mar restrito) e deriva (marinho) (PONTE & ASMUS, 1976; OJEDA, 1982). Como as bacias evoluíram em tempos diferentes, gradualmente de acordo com o avanço da separação, a transcorrência na borda equatorial também conota uma complexidade maior às bacias que estão localizadas nesta região, se comparadas com as da margem Leste (SZTAMARI *et al.*, 1987; AZEVEDO, 1991; MATOS, 1999).

Durante a fase pré-rifte ocorreram variações entre as regiões da margem Oriental brasileira, mas seus registros estão demarcados nos intervalos entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior (PONTE & ASMUS, 1976; OJEDA, 1982). O Neo-Jurássico é definido por um soerguimento crustal nas margens Oeste, tanto da América do Sul, como no Leste africano. Isso, devido a um

aquecimento resultante de hotspots que estavam localizados sob a porção central do Gondwana (ALMEIDA, 1967a).

No início do Cretáceo, houve atividades tectônicas intensas de caráter tafrogênico e não tendo mais capacidade de deformação plástica, a crosta já enfraquecida, iniciou o processo de ruptura, chamado de reativação Wealdeniana (ALMEIDA, 1967b). Com isso se originou um sistema de riftes continentais e também de fossas transformantes, que viriam a formar as bordas continentais, brasileira e africana (PONTE, 1992).

Figura 4 - Esquema das colunas estratigráficas da bacia de São Luís-Grajaú propostas por (ROSSETTI E TRUCKENBRODT, 1997; ROSSETTI, 2001b; VAZ et al., 2007; CUNHA et al., 2019)

Idade		Estratigrafia da Bacia de São Luís-Grajaú							
		Rossetti e Truckenbrodt (1997)		Rossetti (2001b)	Vaz et al. (2007)		Cunha et al. (2019)		
Cretáceo	Neocretáceo?	Grupo Itapecuru	Formação Cujupe	S3	Seqüência Cretácea	S3f	Seqüência B	Grupo Itapecuru	
	Cenomaniano		Formação Alcântara						S3e
	Albiano		Unidade Indiferenciada						S3d
									S3c
									S3b
	Meso			S3a					
	Eo	S2							
Neoplioceno	formações Codó e Grajaú	S1	formações Codó, Grajaú e Corda	Seqüência A	formações Codó e Grajaú				
Pré-cambriano e Paleozoico		Embasamento							

Fonte: MODIFICADO DE CUNHA et al., 2019

Assim, o pacote sedimentar da Bacia de São Luís-Grajaú foi subdividido em três sequências deposicionais de segunda ordem, caracterizadas por descontinuidades de feições regionais, registradas informalmente por S1, S2 e S3 (Figura 4). A sucessão sedimentar da sequência S1 é formada pelas Formações Codó e Grajaú (Aptiano-Albiano), e se limitou a depósitos continentais com influência marinha restrita; incluem 450 m de arenitos, evaporitos e folhelhos, secundariamente calcários, depositados no sentido norte-sul em ambiente marinho raso, flúvio/deltaico e lacustre. A sequência S2 (Figura 4), corresponde à parte inferior da Unidade Indiferenciada (forma que Rossetti e Truckenbrodt utilizaram para se referir à Formação Itapecuru, em 1997), contendo aproximadamente 500 m de rochas argilosas e arenosas, depositadas durante o Eoalbiano-Mesoalbiano, em um ambiente marinho raso e flúvio/deltaico. E a sequência S3, engloba a parte superior da Unidade Indiferenciada, Formação Alcântara e Formação Cujupe (Mesoalbiano ao início do Cenozóico), possuem cerca de 600 m de sedimentação argilosa e arenosa; registra seis ciclos deposicionais (S3a, S3b, S3c, S3d, S3e, S3f; Figura 4) oriundos de vales estuarinos incisos, que estão ligados a ambientes transicionais e marinhos rasos da fase rifte até a pós-rifte da Bacia (ROSSETTI, 2001a; ROSSETTI, 2001b).

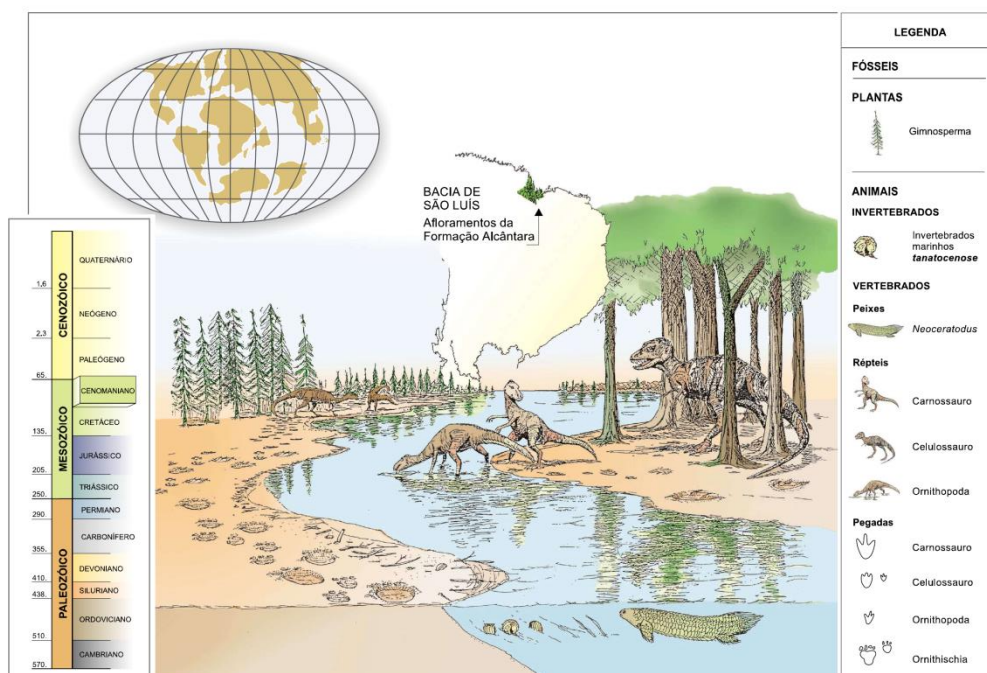
3.2 Formação Alcântara

A Formação Alcântara aflora em falésias de idade Albiano-Cenomaniana na costa norte-nordeste do Estado do Maranhão, Bacia de São Luís. Sua formação rochosa consiste basicamente em arenitos, argilitos e calcários. Possui uma diversidade de feições sedimentares consistentes e com fluxo de água doce em áreas de lagos com conexão estuarina (ROSSETTI, 1997; ROSSETTI & TRUCKENBRODT, 1997). É correlacionada a uma porção da Sequência S3, que foi formalizada por Rossetti e Truckenbrodt (1997).

No Município de São Luís, as falésias da Formação Alcântara afloram na Ponta do Farol e na Praia do Boqueirão, além do próprio município de Alcântara e suas redondezas, como Ilha do Livramento e Praia da Baronesa. Suas rochas também constituem pacotes sedimentares que vão desde o Porto do Itaqui e Ilha do Medo, a Madeira e Ilha do Cajual. A coloração de seus sedimentos varia entre marrom e cinza esverdeada, têm aproximadamente 35 m de espessura compondo arenitos estratificados, argilitos e calcários (ROSSETTI, 1997; ROSSETTI, 2001a).

A datação feita a partir das análises palinológicas da Formação Alcântara, posicionam seus afloramentos em um intervalo de tempo do Neolbiano ao Eocenomaniano. Os estudos sobre a sua gênese, apontam que ela se formou através de processos de tempestades com alta intensidade, correntes e canais de maré em um ambiente transicional (PEDRÃO *et al.*, 1993a; PEDRÃO *et al.*, 1993b; PEDRÃO *et al.*, 1993c). Neste cenário, o paleoambiente que integrava a Formação Alcântara era transicional estuarino com predominância de marés durante o período Cenomaniano (MESNER & WOOLDRIDGE, 1964; KLEIN & FERREIRA, 1979; PEDRÃO *et al.*, 1993a; ROSSETTI, 1997; ROSSETTI & TRUCKENBRODT, 1997). Assim sendo, um ambiente estuarino pode ser definido como uma área costeira de transição, sob influência de águas fluviais e de maré (GEOPHYSICS STUDY COMMITTEE, 1977). Essa hipótese se concretiza com o registro fóssil que integrava o ambiente (Figura 5), tendo uma fauna genuinamente marinha, com a presença da raia Myliobatiformes, peixes Lepisosteidae e Amiiformes, que podiam ser encontrados tanto no mar como em rios e também peixes Picnodontiformes. Esse conjunto associado a peixes francamente dulciaquícolas (dipnoicos e certos Semionotiformes) ou tipicamente encontrados em estuários, como *Mawsonia* (EUGÊNIO, 1994; CARVALHO & SILVA, 1992; CORRÊA-MARTINS, 1997; MEDEIROS & VILLAS-BÔAS, 1999; MEDEIROS *et al.*, 2014a; MEDEIROS *et al.*, 2014b).

Figura 5 - Reconstrução paleoambiental da Formação Alcântara no Cenomaniano, Bacia de São Luís



Fonte: SANTOS E CARVALHO, 2004.

No registro da fauna de vertebrados da Formação Alcântara estão inseridos exemplares de dinossauros, crocodilos, pterossauros, peixes de água doce; há também preservados representantes vegetais, como as coníferas, samambaias arborescentes e equisetáceas (CORRÊA-MARTINS, 1997; MEDEIROS *et al.*, 2014a; MEDEIROS *et al.*, 2014b; MUSSA *et al.*, 2000; ARAÚJO *et al.*, 2011). Esses elementos formam uma paleocomunidade semelhante à que vivia no norte da África no mesmo período (MEDEIROS, 2001; MEDEIROS & VILAS BÔAS, 1999; MEDEIROS & SCHULTZ, 2001; MEDEIROS & SCHULTZ, 2002; MEDEIROS *et al.*, 2014a; MEDEIROS *et al.*, 2014b).

Vários fósseis oriundos da Formação Alcântara vêm sendo estudados, em sua grande parte de vertebrados: peixes, crocodilomorfos e dinossauros (MEDEIROS, 2001; MEDEIROS & SCHULTZ, 2001; MEDEIROS & SCHULTZ, 2002).

4. PALEONTOLOGIA REGIONAL

A Formação Alcântara é bem representada nos afloramentos litorâneos de São Luís e de Alcântara (Bacia de São Luís), seus estratos areníticos e conglomeráticos preservam um material fóssil bem diversificado. Dentre os seus representantes estão: peixes de água doce, crocodilos, pterossauros, quelônios e dinossauros, principalmente dentes isolados e centros vertebrais (MEDEIROS, 2001; MEDEIROS & VILAS BÔAS, 1999; MEDEIROS & SCHULTZ, 2001; MEDEIROS & SCHULTZ, 2002).

Os registros cretáceos da Bacia de São Luís-Grajaú se encontram preservados em sedimentos que foram depositados entre o Aptiano e o Mioceno/Plioceno. Em meados do século XX, o Dr. Llewellyn Ivor Price (DNPM-RJ) descreveu, pela primeira vez, fósseis de dinossauros oriundos da Ilha do Livramento, em Alcântara (ver LINDOSO & MEDEIROS, 2009). Esses primeiros fósseis de vertebrados descritos por Price (1947 e 1960) são referentes a restos esqueléticos que foram identificados como pertencentes a peixes (Elasmobranchii, Dipnoi e Actinopterygii) e répteis (Testudines, Crocodylomorpha, Theropoda e Sauropoda).

Durante o Eocretáceo, o registro de peixes é marcado em um intervalo limitado, demonstrando um alto grau de macroevolução, ecossistema e processos tafonômicos que indicam uma abrangência maior que o limite das Bacias, apontando correlação com registros da fauna norte-africana (SANTOS & CARVALHO, 2004).

Após a fragmentação do Pangea, a fauna de vertebrados do hemisfério sul sofreu diferenciação, e alguns representantes, como os crocodilos *Candidodon*, mostram similaridade com os gêneros da Bacia do Araripe, Uruguai e África (NOBRE & CARVALHO, 2002); assim como a tartaruga *Araripemys barretoii*, também é similar às da Bacia do Araripe e Norte da África (KISCHLAT & CARVALHO, 2000). Ainda há o dinossauro *Amazonsaurus*

maranhensis, que apresenta semelhanças com diplodocóides basais tanto da África do Norte, como da América do Sul (CARVALHO *et al.*, 2003).

A identificação da diferenciação dos gêneros de dinossauros do norte-africano, evidencia a evolução e especiação da fauna de répteis. Desta mesma forma, alguns exemplares de peixes podem ser correlacionados com os exemplares mais bem preservados de *Mawsonia lavocati* do Cenomaniano, na região Sul do Marrocos (TABASTE, 1963, WENZ, 1981), também há dentes isolados de *Neoceratodus africanus* e *Asiatoceratodus tiquidiensis*, e escamas de *Lepidotes* (DUTHEIL, 1999).

O paleoambiente que integrava a Bacia de São Luís-Grajaú era lacustre. As ocorrências paleogeográficas tiveram início no Cretáceo médio, quando se instalou um sistema flúvio-lacustre, no leste do Brasil, oriundo da ruptura das placas litosféricas africana e sulamericana (ROSSETTI, 2001b). O clima era considerado quente e árido, com sistemas desérticos; havia períodos secos que intercalavam com os períodos mais úmidos, quando aumentava o nível da água nos lagos. Nos seus sedimentos ficaram registrados peixes e pequenos conchostráceos (SANTOS & CARVALHO, 2009).

Também foram registrados palinomorfos como: *Classopollis*, *Equisetoporites* e *Gnetaceaepollenites* e testas de palinoforaminíferos. O registro de invertebrados é constituído principalmente por moluscos e gastrópodes, desses últimos se destacam os exemplares do Farol de São Marcos. Os fósseis da ictiofauna são constituídos principalmente por escamas, placas dentárias, dentes isolados e fragmentos ósseos de dipnoicos, *Lepidotes*, *Stephanodus*, picnodontiformes, amiídeos e celacantiformes; também há registros de tubarões hybodontídeos, raias milobatídeas e esclerorrinquíformes (DUTRA & MALABARBA, 2001; MEDEIROS & SCHULTZ, 2001; SANTOS & CARVALHO, 2004; MEDEIROS *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2014a; PEREIRA & MEDEIROS, 2008). Na Formação Codó, além da paleoictiofauna diversificada, também foram descritos insetos Hemiptera (LINDOSO & MEDEIROS, 2009).

Os icnofósseis estão bem preservados ao longo dos depósitos litorâneos da Baía de São Marcos, contendo coprólitos, bioturbações e pegadas

(CARVALHO, 1994; CARVALHO & GONÇALVES, 1994; CARVALHO, 2001; MEDEIROS, 2001).

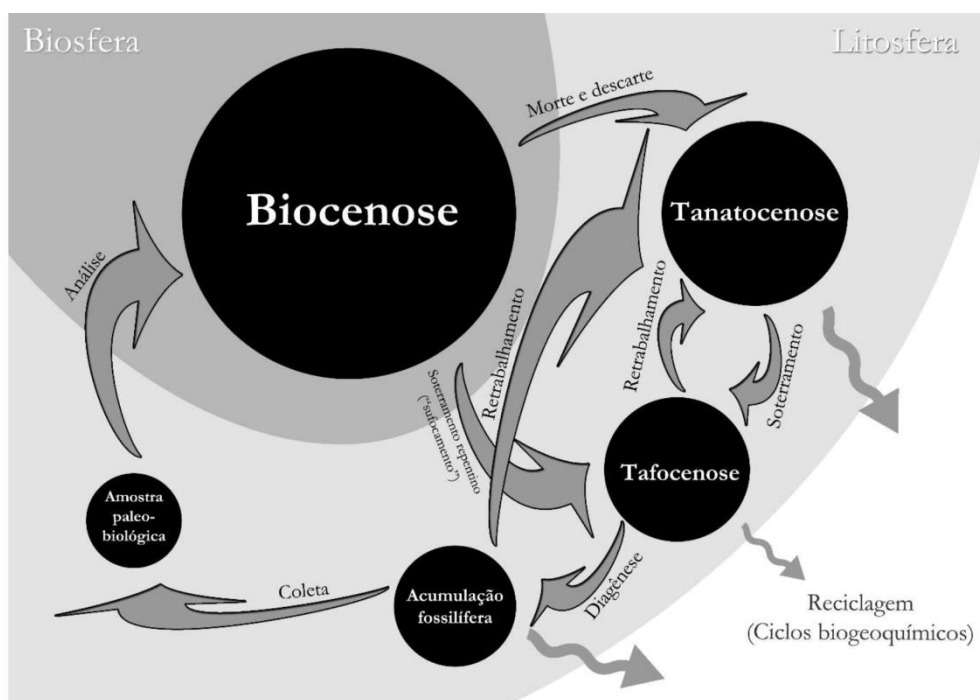
Vários gêneros de vertebrados foram descritos na Formação Alcântara, onde o registro da fauna dinossauriana é mais abrangente e tem associação com fósseis de plantas, testudines, crocodilos, pterossauros e peixes (LINDOSO & MEDEIROS, 2009).

No registro vegetal, ainda há folhas de angiospermas preservadas em calcários dolomíticos do Farol de São Marcos, em São Luís (KLEIN & FERREIRA, 1979), fragmentos de troncos de pteridófitas e gimnospermas, além de impressões de ramos de esfenófitas, no sítio Laje do Coringa, Ilha do Cajual (CORRÊA-MARTINS, 1997; MEDEIROS, 2001).

5. TAFONOMIA

A Tafonomia é a ciência que estuda os processos que ocorrem com o organismo depois que a sua vida é encerrada, assim como as feições que são deixadas nos elementos após cada etapa. A história tafonômica de um organismo é traçada a partir dos acontecimentos que atingem seus restos mortais, em especial as partes duras, até se transmutar em um fóssil (HORODYSKI & ERTHAL, 2017).

Figura 6 - Ciclos que regem a transição dos restos orgânicos da biosfera para a litosfera e que afetam a qualidade do registro fóssil



Fonte: ARAÚJO-JÚNIOR & BISSARO-JÚNIOR, 2017.

O termo Tafonomia foi introduzido pelo russo Ivan Efremov em 1940, consistindo em um levantamento de dados para a compreensão de como o registro fóssil foi conservado e os processos que influenciaram na qualidade da preservação daquele material (FURSICH, 1978). Assim, Efremov buscava integrar informações da matéria orgânica da biosfera para a litosfera (Figura 6).

Alguns anos depois, o trabalho de Behrensmeyer e Kidwell (1985) alavancou os estudos acerca da tafonomia. Ao longo de suas pesquisas, elas perceberam que os processos tafonômicos podem vir a alterar a capacidade de identificação das assinaturas presentes nos fósseis, sendo capazes de modificar a sua história de vida ou de morte. Dessa forma, definiram que a Tafonomia era o estudo do processo de fossilização e como este afeta a qualidade dos fósseis (HORODYSKI & ERTHAL, 2017). Portanto, a bioestratinomia abrange os processos sedimentares até a fase do soterramento final, enquanto a diagênese envolve os processos físicos e químicos que advêm do soterramento (HOLZ & SIMÕES, 2002; SIMÕES *et al.*, 2010). Alguns autores ainda consideram provenientes dessa fase, as ações da tectônica e até

os métodos de escavação, coleta e preparação do material fóssil (SIMÕES *et al.*, 2010).

Para entender a história do registro fossilífero, a Tafonomia busca compreender o ambiente recente, assim como os processos de fossilização que podem alterar tanto qualitativamente como quantitativamente a informação biológica preservada. Com o intuito de quantificar a influência do ambiente sedimentar no grau de destruição nos remanescentes fósseis (HORODYSKI & ERTHAL, 2017).

Podemos comparar os restos mortais de um organismo com os próprios sedimentos, uma vez que ambos podem vir a sofrer as mesmas formas de erosão, transporte e deposição, na medida que todos eles estão estreitamente relacionados ao fluxo de energia do ambiente (HOLZ & SIMÕES, 2002). Esses processos seguem uma sequência natural que são: reorientação, transporte, desarticulação, decomposição, fragmentação, quebra (abrasão mecânica) e corrosão (geoquímica) (BRETT E BAIRD, 1986).

O estudo tafonômico inclui basicamente duas etapas: a bioestratinomia, que foi estabelecida a partir de 1970 trazendo importantes informações paleoecológicas, é neste estágio que os processos de sedimentação irão atuar desde a morte até o soterramento final que inclui a necrólise, sendo a morte e decomposição do organismo, e a fossildiagênese, que é a etapa em que as partes remanescentes do organismo irão sofrer transformações físicas e químicas após o soterramento (BEHRENSMEYER & KIDWELL, 1985).

Outra fase de extrema importância na análise é a reconstrução ambiental das condições de soterramento, incluindo o clima relacionado à sedimentação, é fundamental para a melhor compreensão da história tafonômica de um fóssil (BEHRENSMEYER *et al.*, 2000).

As assinaturas tafonômicas de um determinado registro fossilífero estão intimamente relacionadas às taxas de sedimentação, soterramento e ao nível de energia do ambiente (HOLZ & SIMÕES, 2002; SIMÕES *et al.*, 2002a; SIMÕES *et al.*, 2002b; SIMÕES *et al.*, 2002c). O resgate dos dados tafonômicos e faciológicos pode ajudar a entender o ambiente associado a esse registro. A estrutura trófica dos animais também pode ser um ótimo

indicativo do paleoambiente em que eles estavam inseridos, essas informações integradas às análises tafonômicas ajudam a elaborar reconstruções paleoambientais mais fidedignas. (GHILARDI, 2004)

Portanto, a tafonomia é uma ferramenta multidisciplinar que pode ser utilizada para testar e estabelecer hipóteses sobre paleobiologia, paleocomportamento, estrutura e evolução das paleocomunidades, paleoecologia, paleoambiente e também sobre a natureza dos respectivos sistemas deposicionais (FIORILLO & EBERTH, 2004).

5.1 Tafonomia de vertebrados

As Bacias sedimentares contendo material fóssil de vertebrados existem por todo o Brasil, mas pesquisas acerca da origem desses sítios fossilíferos ainda carecem de informações concretas em relação a essas tafocenoses (HOLZ & BARBERENA, 1989; HOLZ & SOARES, 1995; PORPINO & SANTOS, 2002; BERTONI-MACHADO *et al.*, 2008).

Um conjunto fossilífero de vertebrados precisa de condições especiais para se formar, isso porque o corpo dos vertebrados é constituído por várias partes moles e duras. As partes duras terão a matéria orgânica substituída por minerais e, de acordo com sua forma, podem se desarticular por diversos fatores. Se exposto por um período prolongado após a morte, o remanescente esquelético é sujeito a mudanças biológicas e físicas ainda na superfície. Como o ambiente terrestre naturalmente não é tão propício ao recobrimento de restos por sedimentos quanto o marinho, há menos vertebrados preservados que conchas, por exemplo. Logo, existe uma densidade menor de indivíduos atingindo maiores áreas (BEHRENSMEYER, 1991).

A preservação dos vertebrados terrestres, e outros organismos continentais, é determinada pelo tipo de fácies sedimentar em que se encontram. As assinaturas tafonômicas presentes nos fósseis e as taxas de

sedimentação, variam de acordo com os subambientes que estes estão inseridos, como exemplo os canais fluviais e as planícies de inundação (ver HOLZ & SIMÕES, 2005).

O estudo do registro fóssilífero de animais e seus habitats é restrito por conta da distribuição espaço-temporal de vertebrados que é bastante fragmentada e, por muitas vezes, não linear (WESTERN, 1980; NOTO, 2011). Principalmente porque existem vários fatores que influenciam, tanto antes, quanto após a deposição desse material. Assim, através de pesquisas tafonômicas, percebe-se que é necessário cautela e análise ao designar um registro paleontológico (WING *et al.*, 1992).

Os processos físicos, químicos e biológicos, que são naturais na fossilização, acabam influenciando na modificação das estruturas que estão relacionadas com a gênese das paleocomunidades remanescentes nos sítios fóssilíferos, podendo levar ao tendenciamento das pesquisas (LAWRENCE, 1968; BEHRENSMEYER *et al.*, 1979; BEHRENSMEYER & HILL, 1984; DAMUTH, 1982; BEHRENSMEYER & KIDWELL, 1985; LYMAN, 1994; MARTIN, 1999; BEHRENSMEYER *et al.*, 2000; HOLZ & SIMÕES, 2002; ROGERS *et al.*, 2008).

A paleoecologia de vertebrados deve ser interpretada através do estudo dos processos tafonômicos que atuaram na orictocenose, modificando a sua composição e, assim, determinar o que foi preservado da paleocomunidade original (BEHRENSMEYER *et al.*, 1979). Com o avanço dos estudos de Behrensmeyer ao longo dos anos, a informação ecológica extraída de material osteológico evoluiu bastante e ganhou notoriedade (BEHRENSMEYER, 1978; 1991). Outras abordagens também se fazem necessárias nas pesquisas tafonômicas de vertebrados para interpretações mais seguras, utilizando técnicas analíticas especializadas como as análises petrográficas e impressões digitais geoquímicas de fósseis e paleossolos (HUBERT *et al.* 1996; TRUEMAN & BENTON 1997; TRUEMAN 1999; THERRIEN & FASTOVSKY 2000).

5.2 Tafonomia de dinossauros

Efremov foi o pioneiro nos estudos tafonômicos de sítios fossilíferos contendo dinossauros, na Expedição Paleontológica Mongol de 1946-1949 (ver EFREMOV, 1954). Os primeiros estudos tafonômicos sobre fósseis de dinossauros integravam informações sobre os espécimes, integridade física, orientação dos elementos esqueléticos e distribuições estratigráficas, inclusive vários aplicaram o método pioneiro de Voorhies (1969), utilizado até hoje (FIORILLO & EBERTH, 2004).

Nas décadas de 1970 e 1980, as pesquisas e aplicações tafonômicas foram ganhando força e se expandiram, começaram a integrar informações importantes relacionadas à biologia, comportamento e ecologia (ver OSTROM, 1969; BAKKER, 1980). As informações tafonômicas eram combinadas com dados geográficos e a distribuição estratigráfica, chegando assim a aspectos paleoecológicos interessantes. A partir destas pesquisas, foram estabelecidas características comportamentais complexas e uma compreensão dos dinossauros como seres fisiologicamente ativos (BÉLAND & RUSSELL 1978; DODSON et al. 1980; JERZYKIEWICZ E RUSSELL 1991; OSTROM 1969; BAKKER 1980).

Estudos sobre os padrões e eventos de extinção, em especial, o evento relacionado à extinção dos dinossauros que ocorreu no Cretáceo, são fortemente fundamentados em análises tafonômicas. No trabalho de Sheehan et al. (1991), foi feita uma análise estatística com milhares de fósseis de dinossauros da Formação Hell Creek, Montana, Dakota do Norte, utilizando critérios como diversidade taxonômica, informações estratigráficas e interpretações paleoambientais. Os resultados desta pesquisa corroboram com uma extinção em massa, em vez de um desaparecimento gradual destes animais.

Estudos com elementos terras-raras também provaram ser possível avaliar o grau de mistura e retrabalhamento, conseqüentemente inferir tempo e

como se deu a formação de alguns sítios fossilíferos contendo dinossauros (ver TRUEMAN, 1999). Deste modo, as análises tafonômicas oferecem uma forma eficaz de colocar em prova relações feitas entre o local de morte e onde se formaram os respectivos ambientes deposicionais.

Os trabalhos envolvendo fósseis de dinossauros são inúmeros e crescem cada vez mais, em contrapartida trabalhos relacionados à tafonomia destes animais são restritos. No entanto, avanços contínuos são feitos, várias espécies vêm sendo descritas e, nesse contexto, estima-se um aumento nos trabalhos sobre a tafonomia deste grupo (FIORILLO & EBERTH, 2004).

6. MATERIAIS

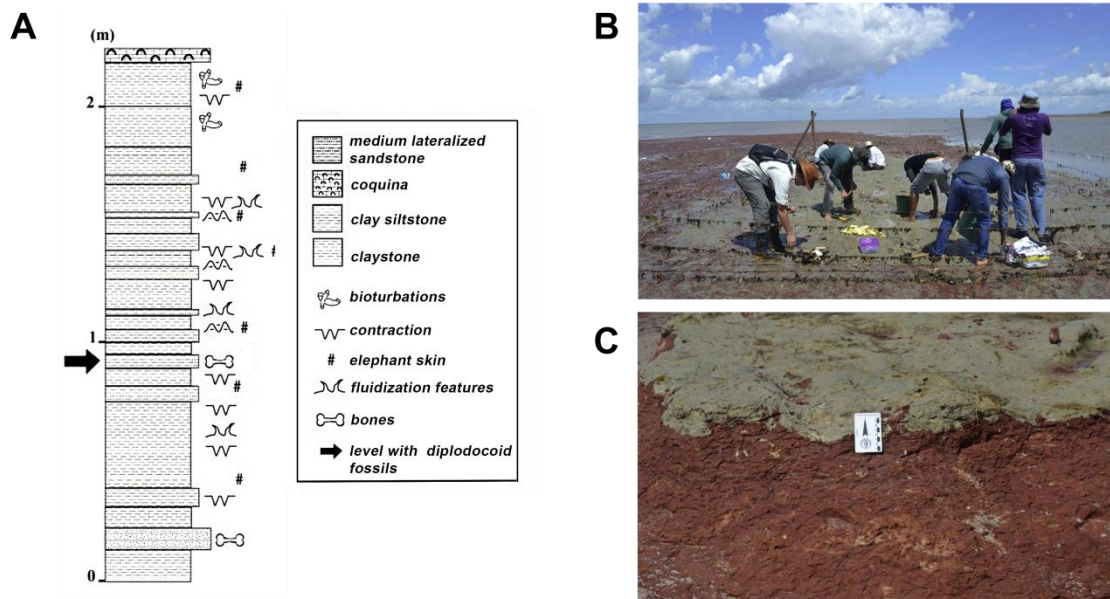
Os elementos esqueléticos de saurópode analisados nesta pesquisa foram designados a *Itapeuasaurus cajapioensis* (LINDOSO *et al.*, 2019). O material aqui analisado compreende vinte e dois exemplares que incluem: nove vértebras, das quais duas conservam o espinho neural; sete espinhos neurais; dois chevrons; um complexo neural; uma costela e dois fragmentos indeterminados. Os fósseis estudados se encontram tombados na coleção paleontológica da Universidade Federal do Maranhão; seus números de tombamento vão de 1.10.1960-01 a 1.10.1960-22. Ainda foram encontrados seis dentes isolados (ver MENDES, 2016) e diversos fragmentos ósseos associados ao material que foi analisado. No entanto, as análises tafonômicas em determinados elementos esqueléticos, como dentes e chifres por exemplo, não são amplamente conhecidos como elementos previamente analisados em estudos neotafonômicos/actuopaleontológicos clássicos (VOORHIES, 1969; DODSON, 1973; BEHRENSMEYER, 1975; BEHRENSMEYER, 1978; FRISON & TODD, 1986; HUTSON, 2012) e por este fator não foram consideradas nesta análise. Ainda excluímos a análise individualizada dos diversos fragmentos ósseos, a interpretação destes elementos iria aumentar significativamente o

número amostral, podendo causar possíveis tendenciamentos nos resultados obtidos, uma vez que podem se tratar de fragmentos de um único elemento ósseo.

O conjunto fossilífero foi coletado em 2015, na praia de Itapeua, município de Cajapió, retirado de uma sucessão que se inicia com sedimentos argilosos avermelhados, seguidos consecutivamente por arenitos sílticos de granulação fina/média lateralmente ao local onde os fósseis foram encontrados. São seguidos por uma sucessão de argilitos avermelhados, alternados com siltitos de tonalidade verde e mosqueados avermelhados (Figura 7C). A camada possuía uma aparência maciça, mas quando vistos em planta, foram identificadas gretas de dissecação, feições de fluidização e, na superfície, formas similares a “elephant skin” (MEDEIROS *et al.*, 2015; Figura 7A).

Os fósseis foram coletados de um nível sedimentar de siltitos argilosos esverdeados com aproximadamente 20 cm de espessura, em uma área delimitada com cerca de 30 m² (Figura 7B). A maior parte dos espécimes encontrados no conjunto fossilífero da praia de Itapeua estava posicionada horizontalmente à sedimentação, sendo que alguns elementos esqueléticos estavam depositados mais profundamente na camada (MEDEIROS *et al.*, 2015).

Figura 7 - Perfil estratigráfico e área da coleta



Legenda: A. Perfil estratigráfico do afloramento; B. Imagem da remoção dos fósseis da área delimitada; C. Sessão do afloramento na praia de Itapeua ilustrando argilitos avermelhados e siltitos de tonalidade verde.

Fonte: MODIFICADO DE MEDEIROS *et al.*, 2015; E LINDOSO *et al.*, 2019.

Os elementos esqueletais estavam localizados em área de intermaré e a equipe desenvolveu uma estratégia de retirada utilizando arame, talas e espuma de poliuretano impermeável (Figura 8A; Figura 8B). Em seguida, também foi feita a retirada de alguns fósseis em envoltório de gesso (MEDEIROS *et al.*, 2015; Figura 8C).

Figura 8 - Imagens da metodologia aplicada para a retirada dos fósseis na praia de Itapeua



Legenda: A) Utilização de espuma de poliuretano impermeável para a retirada dos fósseis do local; B) Fóssil sendo retirado no período noturno devido ao ciclo das marés; C) Utilização de envoltório em gesso para a remoção dos espécimes.

Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO, 2015.

7. METODOLOGIA

O material foi estudado em um contexto de tanatocenose, que define um ambiente de organismos mortos oriundos de uma biocenose (LYMAN, 1994). As feições analisadas tratam de aspectos bioestratinômicos, macroscópicos e, predominantemente, assinaturas originadas antes do soterramento final. Teve-se como base a metodologia adotada previamente nos trabalhos de Shipman (1981), Holz & Simões (2002), Araújo-Júnior *et al.* (2013), Behrensmeyer (1978), Munsell (2009), Fernandez-Jalvo & Andrews (2016) e Frison & Todd (1986).

7.1 Desarticulação

É o processo que ocorre em seguida à necrólise e possui uma sequência de separação dos ossos que varia de acordo com tamanho, formato e condições ambientais, podendo ser classificado como articulado, parcialmente articulado e desarticulado (HOLZ & SIMÕES, 2002).

A presença da parte mole dos tecidos faz com que o esqueleto permaneça articulado. Quando há um soterramento rápido, se mantém uma preservação melhor, por retardar os processos de decomposição e a diminuição das chances de acesso dos organismos necrófagos (LYMAN, 1994). Em contrapartida, um esqueleto desarticulado acaba refletindo uma baixa taxa de sedimentação ou o nível energético do ambiente relacionado ao transporte (BEHRENSMEYER, 1991).

7.2 Orientação dos fósseis em planta

Fornece informação sobre a ação deposicional e fluxo das paleocorrentes, uma vez que estão intrinsecamente relacionados ao fluxo energético do ambiente. Desta forma, os remanescentes esqueléticos de um organismo podem ser comparados com os sedimentos, por passarem pelos mesmos processos erosivos, de transporte e deposição (HOLZ & SIMÕES, 2002).

7.3 Equivalência hidráulica

É a influência de corpos d'água sobre os bioclastos, sendo uma importante variante relacionada à história tafonômica do depósito fossilífero (HANSON *et al.*, 1980; BEHRENSMEYER, 1988). De acordo com a pesquisa de Behrensmeyer em 2007, cerca de 45% das *bonebeds* têm a sua origem relacionada a processos hidráulicos.

Para analisar se houve ou não transporte hidráulico em uma tafocenose são comumente utilizados trabalhos prévios de metodologias desenvolvidas por Voorhies (1969), Frisson e Todd (1986), Dodson (1973), além dos estudos de Behrensmeyer (1975) sobre a equivalência hidráulica entre restos orgânicos e partículas sedimentares.

Algumas pesquisas mais recentes vêm utilizando dados obtidos através dos experimentos com ossos de elefante indiano (Tabela 1), realizados por Frisson e Todd (1986), FTI – “*Fluvial Transport Index*”, para inferir se houve ou não transporte hidráulico em acumulações com animais de grande porte

(MYERS & STORRS, 2007; ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2012; ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013).

Ainda deve-se levar em consideração algumas limitações como a densidade dos diferentes elementos esqueléticos e a incapacidade de inferir essa densidade em animais extintos, por conta dos processos de fossilização (BEHRENSMEYER, 1975).

Myers & Storrs (2007) utilizaram FTI para fazer a análise tafonômica de ossos de saurópode da Formação Morrison (Jurássico Superior, Montana). De acordo com os experimentos já realizados de transportabilidade, os ossos de elefante demonstram maior semelhança morfológica com saurópodes, sendo mais coerente a utilização do FTI para análises desta natureza.

Tabela 1 – Valores de FTI (Fluvial Transport Index) para elementos esqueléticos de elefante indiano (*Elephas maximus*)

Elemento esquelético	Valor de FTI
Mandíbula	34,56
Atlas	41,97
Vértebra cervical	96,64
Vértebratorácica	76,43
Vértebra lombar	76,21
Vértebra caudal	92,43
Sacro	80,11
Costela	53,98
Escápula	62,95
Úmero	57,77
Rádio-Ulna	49,95
Metacarpal	86,83
Pélvis	0,00
Fêmur	24,26
Patela	90,19
Tíbia	72,84
Fíbula	60,19
Astrágalo	96,83
Calcâneo	100,00

Fonte: MODIFICADA DE FRISSON E TODD, 1986.

Para a análise de transporte hidráulico nos ossos de Diplodocóide, foi utilizado o índice de transportabilidade (FTI – “*Fluvial Transport Index*”) obtido através dos experimentos de Frisson e Todd (1986) com ossos de elefantes indianos (*Elephas maximus*), devido à relativa similaridade densimétrica.

7.4 Bioerosão

Foi analisada a presença ou ausência dessa feição, que pode ocorrer pelos mais diversos processos corrosivos causados por agentes biológicos, como insetos, predadores, plantas ou de natureza antropogênica (HOLZ & SIMÕES, 2002). Ao longo do tempo geológico, há várias descrições do tipo que caracteriza perfurações em fósseis de dinossauros do Jurássico (HASIOTIS *et al.*, 1999) e do Cretáceo (ROGERS, 1992; ROBERTS *et al.*, 2007; PAIK, 2000).

7.5 Processos abrasivos

São de natureza física, indicam o desgaste mecânico gerado pelo atrito contínuo do elemento esquelético com o sedimento. Aqui foram utilizados os estágios de abrasão: 1, pouca ou nenhuma abrasão; 2, abrasão moderada e 3, intensa abrasão (SHIPMAN, 1981; Tabela 2).

Tabela 2 – Graus de abrasão e graus de arredondamento

Estágios de abrasão	Grau de abrasão	Grau de arredondamento
0	Sem abrasão	Sem modificação
1	Pouco desgaste	Leve
2	Desgaste moderado	Moderado
3	Muito desgastado	Grande
4	Bastante desgastado	Extremo

Fonte: MODIFICADO DE HUNT (1978) e FERNANDEZ-JALVO & ANDREWS, 2016.

7.6 Estágios de intemperismo

São os efeitos dos ciclos de resfriamento e aquecimento que auxiliam na desintegração do elemento esquelético (SINIBALDI, 2010) de acordo com o seu tempo de exposição aos fatores de superfície.

As características ambientais como temperatura, umidade e a vegetação têm influência nos processos de desarticulação e intemperismo dos ossos. A junção da umidade e da flutuação de temperatura, combinadas com as variações dos processos microclimáticos que catalisam esses efeitos, caracterizam os estágios de intemperismo que serão estabelecidos de acordo com a intensidade e duração que esses processos agirão no osso (BEHRENSMEYER & HILL, 1984).

Behrensmeyer (1978) pré-estabeleceu seis estágios de intemperismo que podem ser aplicados em assembleias fossilíferas de diversos ambientes, indo do 0 que indica a ausência de feições de ressecamento ao 6 que caracteriza as rachaduras mais profundas ou delaminação (Tabela 3).

Tabela 3 – Estágios de intemperismo de acordo com as feições geradas e o respectivo tempo médio de exposição aproximada

Estágios de intemperismo	Tempo médio (ano)	Feições observadas
0	≤1	Nenhuma
1	0,6 – 2,5	Formação de rachaduras
2	2 – 5	Rachaduras marcadas e formação de lascas
3	4 – 8	Textura fibrosa e áspera
4	7 – 20	Grandes e pequenas lascas
5	10 – 25	Forma original perdida

Fonte: MODIFICADO DE BEHRENSMEYER (1978) e BEHRENSMEYER & MILLER (2012).

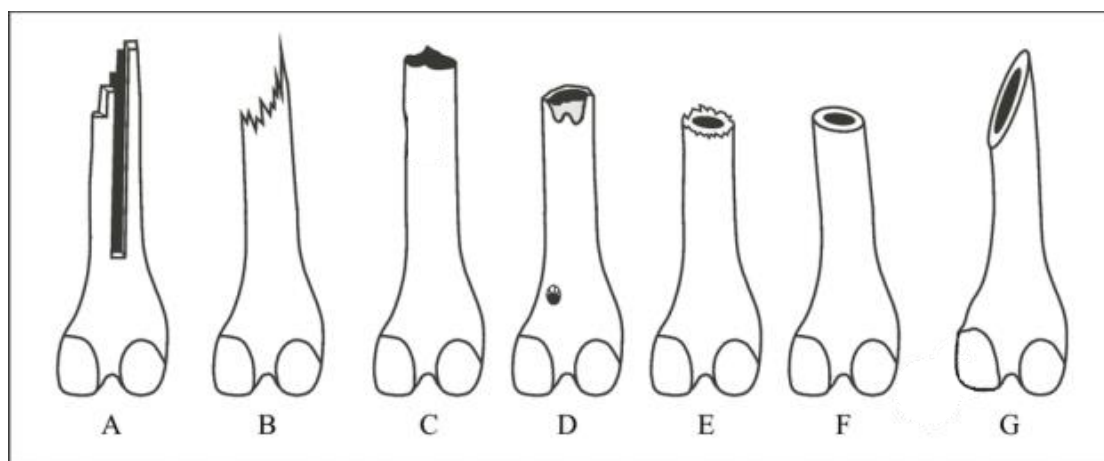
São: estágio 0, não apresenta sinais de rachaduras; estágio 1, o osso começa a apresentar rachaduras (máximo 1 ano); estágio 2, o perióstio começa a soltar lascas (entre 2 a 5 anos); estágio 3, as rachaduras não ultrapassam a superfície óssea, mas conferem ao osso uma textura fibrosa de forma homogênea (4 a 8 anos); estágio 4, o osso já contém uma textura mais fibrosa e áspera, podendo soltar lascas (7 a 20 anos); estágio 5, o osso se desintegra *in situ*, soltando pedaços quando é movimentado (10 a 25 anos) (BEHRENSMEYER, 1978).

7.7 Padrões de quebra

Detalham os tipos de fraturas encontradas nos espécimes, onde os padrões de quebra mais frequentes são as lisas, irregulares, colunares e em mosaico. Os padrões colunares e em espiral são típicos de quebras pré-soterramento, no entanto as quebras transversais, oblíquas e longitudinais caracterizam as quebras secas, que normalmente ocorrem quando o osso não tem mais elasticidade e possivelmente, são ocasionadas no período pós-soterramento (SHIPMAN, 1981; Figura 9).

A identificação do desgaste ósseo pode ser complicada, uma vez que as marcas podem ser confundidas com as marcas que ocorreram pós-soterramento (BEHRENSMEYER & MILLER, 2012). Logo, os estudos tafonômicos de degradação óssea são totalmente fundamentados em ambientes terrestres (ALISSON *et al.*, 1991).

Figura 9 – Padrões de quebra



Legenda: A) Fratura colunar; B) Fratura do tipo denteada; C) Fratura em forma de V na diáfise; D) Perfuração e descamação na fratura da diáfise (sombreado); E) Fratura irregular perpendicular à diáfise; F) Fratura lisa perpendicular à diáfise; G) Fratura em espiral na diáfise. Fonte: MODIFICADO DE SHIPMAN *et al.*, 1981.

7.8 Deformação

É referente ao osso que foi distorcido, mas não quebrado (FERNANDEZ-JALVO & ANDREWS, 2016). Vários fatores influenciam no grau de deformação de partes duras de vertebrados, como fatores intrínsecos, que dependem da morfologia original, a orientação do fóssil nos planos horizontal ou vertical e do grau da elasticidade óssea. Os fatores extrínsecos consistem em fatores diagenéticos, como a granulometria, composição dos sedimentos e o tipo de alteração geoquímica a que o espécime está sendo submetido (LYMAN, 1994).

7.9 Integridade física

Esta feição nos fornece um parâmetro do grau de preservação do fóssil e se o elemento esquelético pode ser identificado. Sendo classificados como completo (>90% do espécime), parcial (50% a 90% do espécime) e fragmento (<50% do espécime) (ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013; Tabela 4).

Tabela 4 – Integridade física

Integridade física	Grau de preservação
Completo	>90%
Parcial	50% - 90%
Fragmento	<50%

Fonte: MODIFICADO PELA AUTORA DE ACORDO COM A METODOLOGIA PROPOSTA POR ARAÚJO-JÚNIOR *et al.*, 2013.

7.10 Corrosão

Implica nas feições de desgaste sofridas pelo fóssil; normalmente estão relacionadas ao tempo de exposição à interface d'água ou sedimento (HOLZ & SIMÕES, 2002).

Segundo Behrensmeyer (1991), as feições corrosivas são comuns em ossos que estiveram expostos ao crescimento de algas e também pastagem de invertebrados em ambientes subaquáticos. Os remanescentes esqueléticos ainda estão sujeitos a uma gama de modificações causadas pela longa atividade de insetos, pré e pós-soterramento e também, à corrosão causada por ácidos orgânicos (BEHRENSMEYER, 1978; ANDREWS, 1990).

7.11 Coloração

É a variação de cor dos ossos, que podem vir a escurecer pela presença de elementos químicos no sedimento (MUNSELL, 2009).

Os componentes do solo também podem influenciar na coloração do material, de acordo com a análise da cor dos espécimes, é possível inferir o teor de matéria orgânica, tipificação de óxidos de ferro, dentre outros. Porém, a observação da coloração provê somente informações qualitativas, não fornecendo informações quantitativas (PEREIRA *et al.*, 2020).

Neste estudo foi empregada a carta de cores proposta por Munsell (1994) para a análise do material fóssil e possíveis componentes do solo.

8. RESULTADO E DISCUSSÃO

O item 6, resultado e discussão, está sendo exposto no artigo científico anexado no apêndice. O artigo foi intitulado “*Biostratigraphic aspects of Itapeuasaurus cajapioensis (Dinosauria, Diplodocoidea) from the Alcântara Formation, Cenomanian of the São Luís Basin, Northeast of Brazil*” e submetido à revista *Cretaceous Research*, como pré-requisito para a obtenção do grau de mestre.

9. CONCLUSÕES

Segundo as análises das feições bioestratinômicas feitas no conjunto fossilífero da praia de Itapeua, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) De acordo com a orientação dos fósseis em planta, grau de desarticulação (100%) e análises da equivalência hidráulica, o conjunto fossilífero da praia de Itapeua aparenta ter sofrido transporte, provavelmente pelas correntes de canais e maré de um ambiente tectonicamente ativo, estuarino incisivo, que predominava na Formação Alcântara durante o Cenomaniano;
- b) Não foram encontradas marcas de predação ou pisoteio excluindo a possibilidade desses animais terem agido como agentes transportadores. Logo, tudo indica que a desarticulação completa do material se deu pelo fluxo energético do ambiente, costeiro transicional;
- c) As feições bioerosivas na maior parte do material, 18 espécimes das amostras, indicam que houve um tempo relevante de exposição subaérea, visto que foi suficiente para que ocorresse a colonização de organismos nos remanescentes esqueléticos;
- d) Todos os espécimes coletados possuem feições abrasivas, que variam do grau 1 ao grau 3. Possivelmente os graus de abrasão são resultado de transporte pela ação das correntes e contato repetitivo com o substrato;
- e) As feições de ressecamento variam entre o estágio 2 (2-5 anos de exposição) e o estágio 4 (7-20 anos de exposição), sugerindo que houve um período significativo e diversificado de exposição subaérea entre os fósseis, além de terem sido submetidos a diferentes condições ambientais;
- f) Os padrões de quebra identificados nos fósseis da Praia de Itapeua são majoritariamente do período pré-soterramento;
- g) Dos espécimes fósseis, 5 exemplares apresentam deformação por compressão litostática;

- h) Em relação à integridade física, a maior parte se trata de fragmentos ósseos, essa alta taxa de fragmentação provavelmente foi causada pelo retrabalhamento dos fósseis no período pré-soterramento;
- i) Há presença de corrosão na maioria das amostras estudadas, o que também corrobora os indícios de exposição subaérea prolongada em zona intermaré e contato repetitivo com os ácidos orgânicos das ondas;
- j) O padrão de coloração do material varia entre o cinza claro e o cinza, com eventuais tons mais escuros, avermelhados e pretos, que podem indicar a presença de óxido de ferro, manganês, matéria orgânica e umidade no substrato;
- k) Foram encontradas ainda, evidências de retroalimentação tafonômica em 1 espécime, apesar da dificuldade em inferir tempo exato a essa feição, tudo indica serem recentes, uma vez que são facilmente obliteradas em situações adversas, como tempestades. Logo, este espécime deve ter sido exumado e ficado em zona intermarés ou submerso tempo suficiente para que houvesse a colonização de organismos sésseis;
- l) De acordo com observações da tafocenose da Lage do Coringa, de onde provém boa parte das amostras de saurópodes da Formação Alcântara, ainda há indícios de que o alto grau de fragmentação e abrasão se deve ao transporte por correntes de canais e pelo retrabalhamento de depósitos mais antigos, indicando que os fósseis possivelmente foram exumados, deslocados e posteriormente soterrados mais uma vez. Dessa forma, a inferência de tempo às feições tafonômicas observadas a partir dos eventos pode ser inconsistente;
- m) Por fim, as análises das feições tafonômicas nos fósseis da Praia de Itapeua, indicam que os remanescentes esqueléticos provavelmente não pertencem a um único indivíduo.

10. REFERÊNCIAS

- ALISSON, P. A; SMITH, C. R.; KUKERT, H.; DEMING, J. W.; BENNET, B. A. 1991. Deep-Water taphonomy of vertebrate carcasses: a whale skeleton in the bathyal Santa Catalina Basin. *Paleobiology*, 17(1): 78-89.
- ALMEIDA, F. F. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. *Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral / Departamento de Geologia e Mineralogia*, Rio de Janeiro, V. 241, p. 36 p. 1967a.
- ALMEIDA, F. F. M. Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. *Anais do congresso Brasileiro de geologia*, SBG, salvador, 1967b.
- ARANHA, L. G; LIMA, H. P., SOUZA, J. M. P.; MAKINO, R. K. Origem e evolução das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: Gabaglia, G. P. R. & Milani, E. J. (editores). *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1990, p. 221-233.
- ANDREWS, P. *Owls, Caves and Fossils*. Natural History Museum Publications, London, p. 1–231 1990.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; BISSARO-JÚNIOR, M. C. Tafonomia de vertebrados em ambientes continentais. In: HORODYSKI, R. S.; ERTHAL, F. *Tafonomia: Métodos, processos e aplicação*. Curitiba: Editora CRV, 2017, p. 175 – 236.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; BISSARO-JÚNIOR, M. C.; SANTOS, T. T.; ALVES, R. S.; BERGQVIST, L. P. Tafonomia da megafauna pleistocênica brasileira: Fluvial Transport Index (FTI) em análises de representatividade óssea. *Revista Brasileira de Paleontologia*, [S.l.], v. 15, p. 95 – 104, 2012.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P. Taphonomic analysis of a late Pleistocene vertebrate accumulation from Lage Grande paleontological site, Pernambuco state, northeastern Brazil: newremarks on preservational aspects of tank deposits. *Quaternary International*, [S.l.], v. 317, p. 88 – 101, 2013.
- ARAÚJO, K. C. O.; SOMMER, M.G.; MEDEIROS. M. A.; GIRNOS, E. C.; SCHMDIT, I. D. Lenhos de Coníferas do Mesocretáceo do Norte do Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 14, n. 1, p. 29-38, 2011.
- ARÊAS, I.; FERRARI, A. L.; BEZERRA, J. D. R.; FERRAZ, A. E. 2013. A INFLUÊNCIA TECTÔNICA DO LINEAMENTO TRANSBRASILIANO NA BACIA DO PARNAÍBA.
- AZEVEDO, R. P. Tectonic evolution of Brazilian Equatorial continental margin basins. 1991. 455p. Tese (Doutoramento). London Royal School of Mines, Imperial College, London, 1991.

- BAKKER, R. T. (1980). Dinosaur heresy-dinosaur renaissance: why we need endothermic archosaurs and a comprehensive theory of bioenergetic evolution. *A cold look at the warm-blooded dinosaurs*, 351-462.
- BEHRENSMEYER, A. K. 1975. The taphonomy and paleoecology of PlioPleistocene vertebrate assemblage east of Lake Rudolf, Kenya. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 146:473-578.
- BEHRENSMEYER, A. K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4(2): 150-162.
- BEHRENSMEYER, A. K. (1988). Vertebrate preservation in fluvial channels. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 63(1-3), 183-199.
- BEHRENSMEYER, A. K. Terrestrial vertebrate accumulations. In: ALLISON, P.A.; BRIGGS, D.E.G. (eds.) *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*, Plenum Press. p. 291-335, 1991.
- BEHRENSMEYER, A. K. (2007). Bonebeds through time. *Bonebeds: Genesis, analysis, and paleobiological significance*, 65-101.
- BEHRENSMEYER A. K. & HILL A. 1984. Disarticulation patterns of some East African mammals. *Paleobiology*, 10(3):366-376.
- BEHRENSMEYER, A. K., & KIDWELL, S. M. 1985. Taphonomy's contributions to paleobiology. *Paleobiology*, 11(1), 105-119.
- BEHRENSMEYER, A. K.; KIDWELL, S. M.; GASTALDO, R. A. 2000. Taphonomy and paleobiology. *Paleobiology*, 26(4): 103–147.
- BEHRENSMEYER, A. K.; MILLER, J. H. Building links between Ecology and Paleontology using taphonomic studies of recent vertebrate communities, In: LOUYS, J. (ed.), *Paleontology in Ecology and Conservation*. Berlin: Springer-Verlag, 2012, p. 69 – 91.
- BEHRENSMEYER, A.K.; WESTERN, D. & DECHANT-BOAZ, D.E. 1979. New perspective in vertebrate paleoecology from a recent bone assemblage. *Paleobiology*, 5(1):12-21.
- BÉLAND, P.; RUSSELL, D. A. (1978). Paleoecology of Dinosaur Provincial Park (Cretaceous), Alberta, interpreted from the distribution of articulated vertebrate remains. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15(6), 1012-1024.
- BERTONI-MACHADO, C., SOARES, MB, KISLOWSKI, FF, & DENTIEZ-DIAS, PC (2008). Uma tafocenose peculiar controlada por ação biogênica no Triássico Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*. Vol. 35, n. 1 (2008), pág. 57-69 .
- BRETT, C. E.; BAIRD, G. C. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*, p. 207-227, 1986. CARVALHO, I. S. As pistas de dinossauros da Ponta da Guia (Bacia de São Luís, Cretáceo Superior-Maranhão, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 67, p. 413-431, 1994.

CARVALHO, I. S. Pegadas de dinossauros em depósitos estuarinos (Cenomaniano) da Bacia de São Luís (MA), Brasil. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed). O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú. Belém: Ed. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p. 245-264.(Friedrich Katzer).

CARVALHO, M. S. S. & SILVA, V. G. Ocorrência de escamas de *Lepidotes*(Pices) na Formação Itapecurú, Cretáceo Superior da Bacia de São Luís, Estado do Maranhão, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 64, p. 419, 1992.

CARVALHO, I. S.; GONÇALVES, R. A. Pegadas de dinossauros neocretáceos da Formação Itapecuru, Bacia de São Luís (Maranhão, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, V. 66, p. 280-292, 1994.

CARVALHO, I. S.; AVILLA, L. S. & SALGADO, L. *Amazonsaurus maranhensis* gen. et sp. nov. (Sauropoda, Diplodocoidea) from the Lower Cretaceous (Aptian–Albian) of Brazil. *Cretaceous Research*, 24: 697–713, 2003.

CORRÊA-MARTINS, F. J. A Laje do Coringa: um bone-bed da Formação Itapecuru (Cretáceo Superior da Bacia de São Luís - MA). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 69, n. 3, p. 436-437, 1997.

CUNHA, J. A. D. O., SOUSA, D. D. C.; CÓRDOBA, V. C. (2019). Evolução estratigráfica dos depósitos cretáceos da porção norte da Bacia de São Luís-Grajaú (NE do Brasil). *Geologia USP. Série Científica*, 19(2), 151-170.

DAMUTH, J. 1982. Analysis of the preservation of community structure in assemblages of fossil mammals. *Paleobiology*, 8:434-446.

DODSON, P. 1973. The significance of small bones in paleobiological interpretation. *Contributions to Geology*, 12:13-19.

DODSON, P.; BEHRENSMEYER, A. K.; BAKKER, R. T.; MCINTOSH, J. S. (1980). Taphonomy and paleoecology of the dinosaur beds of the Jurassic Morrison Formation. *Paleobiology*, 6(2), 208-232.

DUTHEIL, D.B. 1999. An overview of the freshwater fish fauna from the Kem Kem beds (Late Cretaceous: Cenomanian) of southeastern Morocco. In: ARRATIA, G & SCHULTZE, H.P. (Eds.) *Mesozoic Fishes*, 2, Munchen, Ed. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, p. 553-563, 8 figs.

DUTRA, M. F. A.; MALABARBA, M. C. S. L. Peixes do Albiano-Cenomaniano do Grupo Itapecuru no Estado do Maranhão, Brasil. In: ROSSETTI D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Eds.) *O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi, 2001. p. 191-208.

EFREMOV, I. A. Taphonomy: a new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*, [S.l.], v. 74, p. 81 – 93, 1940.

Efremov, I. A., Paleontological studies in the Mongolian People's Republic (preliminary results of expeditions in 1946, 1948, and 1949), *Tr. Mongol. Komiss.*, 1954, vol. 59 (Collected works on the Paleontology of the Mongolian People's Republic), pp. 3–32.

ESTRELLA, G. O. O estágio rift nas bacias marginais do Leste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 3, 26, 1972, Belém. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1972, p. 29-34.

EUGÊNIO, W. S. 1994. Caracterização Geopaleontológica do Cretáceo da Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil. 1994. 74p. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

FERNANDEZ-JALVO, Y. & ANDREWS, P. 2016. Atlas of taphonomic identifications: 1001+ images of fossil and recent mammal bone modification. New York: Springer, 359p.

FIORILLO, A. R.; EBERTH, D. A. Tafonomia de dinossauros. DB Weishampel, P. Dodson e H. Osmólska (eds.), *The Dinosauria*, 2ª Edição, p. 607-613, 2004.

FRISON, G. C.; TODD, L. C. 1986. Taphonomic study of the Colby Site mammoth bones. In: FRISON, G. C. *The Colby Mammoth Site: Taphonomy and Archaeology of a Clovis Kill in Northern Wyoming*. Albuquerque: University of New Mexico Press, 1986.

FURSICH, FT. 1978. A influência da condensação e mistura faunística na preservação de comunidades bentônicas fósseis. *Lethaia*, 11 (3), 243-250.

GEOPHYSICS STUDY COMMITTEE. Overview and Recommendations: Estuaries, Geophysics and the Environmental. National Academy of Sciences, p. 1- 10. Washington. 1997.

Ghilardi, R. P. (2004). Tafonomia comparada e paleoecologia dos macroinvertebrados (ênfase em trilobites), da Formação Ponta Grossa (Devoniano, Sub-bacia Apucarana), Estado do Paraná, Brasil. Tese de Geologia. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil.

GÓES, A.M., 1995. A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba. Universidade de São Paulo.

GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio Norte do Brasil. In: Rossetti, D. F.; Góes, A. M.; Truckenbrodt, W. (editores). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém: Ed. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001, p. 15-29 (Coleção Friedrich Katzner).

GÓES, A. M.; COIMBRA, A. M. As bacias sedimentares da Província Sedimentar do MeioNorte. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., 1996, Belém. *Boletim de Resumos Expandidos...* Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996. p.186-187.

HANSON, C. B., BEHRENSMEYER, A. K., & HILL, A. P. (1980). Fluvial taphonomic processes: models and experiments. *Fossils in the making: Vertebrate taphonomy and paleoecology*, 156-181.

- HASIOTIS, S. T.; FIORILLO, A. R.; HANNA, R. R.; GILLETTE, D. D. (1999). Preliminary report on borings in Jurassic dinosaur bones: Evidence for invertebrate-vertebrate interactions. *Vertebrate Paleontology in Utah. Utah Geological Survey Miscellaneous Publication*, 99(1), 193-200.
- HOLZ, M. & BARBERENA, M.C. 1989. A importância da tafonomia para o estudo de vertebrados fósseis. *Acta Geologica Leopoldensia*, 12(29):77-92.
- HOLZ, M. & SIMÕES, M. G. 2002. Elementos fundamentais de tafonomia. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231 p.
- HOLZ, M.; SIMÕES, M. G. Taphonomy-Overview of main concepts and applications to sequence stratigraphic analysis. *Applied stratigraphy*, p. 249-278, 2005.
- HOLZ, M. & SOARES, M.B. 1995. Tafonomia de vertebrados: estado da arte e perspectivas para a paleontologia sul-rio-grandense. *Comunicações do Museu de Ciência e Tecnologia da UBEA/ UFRGS*, 1:85-94.
- HORODYSKI, R. S.; ERTHAL, F. Tafonomia: Métodos, Processos e Aplicação. Curitiba: CRV, 2017, p. 175-236.
- HUBERT, J. F., PANISH, P. T.; CHURE, D. J.; PROSTAK, K. S. 1996, Chemistry, microstructure, petrology, and diagenetic model of Jurassic dinosaur bones, Dinosaur National Monument, Utah: *Journal of Sedimentary Research*, v. 66, p. 531–547.
- HUNT, R. M. Depositional setting of a Miocene mammal assemblage, Sioux County, Nebraska (U.S.A.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, [S.l.], v. 24, p. 1 – 52, 1978.
- HUTSON, J.M., 2012. Neotaphonomic measures of carnivore serial predation at Ngamo Pan as an analog for interpreting open-air faunal assemblages. *Journal of Archaeological Science* 39, 440–457.
- JERZYKIEWICZ, T.; RUSSELL, D. A. (1991). Late Mesozoic stratigraphy and vertebrates of the Gobi Basin. *Cretaceous Research*, 12(4), 345-377.
- KISCHLAT, E.E.; CARVALHO, I.S. 2000. A specimen of *Araripemys barretoii* Price (*Chelonii*, *Pleurodira*) from the Itapecuru Formation (Lower Cretaceous of Northeastern Brazil). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 2, 2000, Rio de Janeiro, *Boletim de Resumos, MN/UFRJ*, p. 33.
- KLEIN, V. C. & FERREIRA, C. S. Paleontologia e estratigrafia de uma fácies estuarina da Formação Itapecurú, Estado do Maranhão. *Anais. Academia. Brasileira. Ciências*. v. 51, p. 523-533, 1979.
- KOUTSOUKOS, E. A. M; DESTRO, N.; AZAMBUJA FILHO, N. C.; SPADINI, A. R. Upper Aptian-Lower Coniacian carbonate sequences in the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. In: J. A. Tonisimo, R. W. Scott e J. P. Masse (editores). *Cretaceous Carbonate Platform*, Tulsa: AAPG, 1993, p. 127-144.

KOUTSOUKOS, E. A. M.; MELO, M. R.; AZAMBUJA FILHO, N. C.; SPADINI, A. R. The upper Aptian-Albian succession of the Sergipe Basin, Brazil: an integrated paleoenvironmental assessment. *American Association Petroleum Geologists Bulletin*, Tulsa, V. 75, p. 479-498, 1991.

LARSON, R. L.; LADD, J. W. Evidence for the opening of South Atlantic in the Early Cretaceous. *Nature*, New York, V. 246, p. 209-212, 1973.

LAWRENCE, D.R. 1968. Taphonomy and information losses in fossil communities. *Bulletin of Geology Society American*, 79:1315-1330.

LINDOSO, R. M., MEDEIROS, M. A. Histórico das pesquisas paleontológicas na Bacia de São Luís-Grajaú com ênfase em novas localidades fossilíferas na Ilha do Cajual, 2009. V. 24, n. 62.

LINDOSO, R. M., MEDEIROS, M. A. A., DE SOUZA CARVALHO, I., PEREIRA, A. A., MENDES, I. D., IORI, F. V., SOUSA, E. P., ARCANJO, S. H. S., SILVA, T. C. M. (2019). A new rebbachisaurid (Sauropoda: Diplodocoidea) from the middle Cretaceous of northern Brazil. *Cretaceous Research*, 104, 104191.

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

MABESOONE, J. M.; VIANA, M. S. S.; LIMA FILHO, M. F. Sedimentary fill of the Araripe-Potiguar depression (NE Brazil). In: Congresso Internacional de Sedimentologia, 14, 1994, Recife. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1994, p. 46-48.

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

MATOS, R. M. D. The Northeast Brazilian Rift System. *Tectonics*, Vol 11, New York, EUA, 1992.

MATOS, R. M. D. Abertura do Atlântico Sul: riftes na margem Equatorial. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 7, 1999, Lençóis. Resumos Expandidos... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1999, p. 64-66.

MEDEIROS, M. A. A laje do Coringa (Ilha do Cajual, bacia de São Luís baía de São Marcos, MA): Conteúdo fossilífero, bioestratigrafia, diagênese e implicações na paleobiogeografia do Mesocretáceo do Nordeste brasileiro. 2001.137p. Tese de Doutorado- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. Porto Alegre 2001. Programa de Pós- Graduação em Geociências.

MEDEIROS, M. A. & VILAS BÔAS, I. Ocorrência de uma paleocomunidade continental do Cenomaniano (Cretáceo Superior) do Nordeste do Brasil. In: JORNADAS ARGENTINAS DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 15, 1999, La Plata. Resúmenes, La Plata, UNLP, 1999. p. 18.

MEDEIROS, M. A.; SCHULTZ, C. L. Uma paleocomunidade de vertebrados do Cretáceo Médio, bacia de São Luís. In: ROSSETTI, D. F., GÓES, A. M. & TRUCKENBRODT, W. (eds.) O Cretáceo na Bacia de São Luís – Grajaú: Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001, p. 209-221.

MEDEIROS, M. A.; SCHULTZ, C. L. A fauna dinossauriana da Laje do Coringa, Cretáceo médio do Nordeste do Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, 2002. n. 60, v. 3, p 155-162.

MEDEIROS, M. A.; SCHULTZ, C. L. *Rayososaurus* (Sauropoda, Diplodocoidea) no meso-Cretáceo do nortenordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 7, n. 2, p. 255-279, 2004.

MEDEIROS, M. A.; FREIRE, P. C.; PEREIRA, A. A.; SANTOS, R. A. B.; LINDOSO, R. M.; COELHO, A. F. A.; PASSOS, E. B.; JÚNIOR, E. S. 2007. Another African dinosaur recorded in the EoCenomanian of Brazil and a revision of the paleofauna of the Laje do Coringa site. In: Carvalho, I.S., Cassab, R.C.T., Schwanke, C., Carvalho, M.A., Fernandes, A.C.S., Rodrigues, M.A.C., Carvalho, M.S.S., Arai, M., Oliveira, M.E.O. (Eds.), *Paleontologia: Cenários De Vida*, vol. 1. Interciência, Rio De Janeiro, p. 413 e p. 423.

MEDEIROS, M. A.; DAL`BÓ, P. F.; LINDOSO, R. M. & CARVALHO, I. S. Vertebrate Fauna and Environmental Interpretation of the Itapecuru and Alcântara Formations (Early-late Cretaceous of the Parnaíba and São Luís Basins). In: INTERNATIONAL PALAEONTOLOGICAL CONGRESS, 4., 2014a. MENDOZA. Resumos. Mendoza: CONICET, 2014a. p. 752.

MEDEIROS, M. A.; SOMMER, M. G.; MARCON, G. G. Fósseis como Indicadores Paleoclimáticos para o Eocenomaniano da Bacia de São Luís-Grajaú. In: CARVALHO et al., *Paleontologia Cenários de Vida- Paleoclimas*: Interciência, 2014b. p. 155-164.

MEDEIROS, M. A.; ARCANJO, S. H.; CARVALHO, I. S.; PEREIRA, A. A.; LINDOSO, R. M.; MENDES, I. D.; SOUSA, E. P.; COSTA FILHO, J. F.; SIQUEIRA, W. S. Nova ocorrência de Diplodocoidea na Bacia de São Luís (Cretáceo, Cenomaniano), norte do Maranhão. In: 14° Simpósio de Geologia da Amazônia, Marabá, PA. 14° SGA: Recursos Minerais da Amazônia e Suas Implicações Socioeconômicas. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2015.

MENDES, D. C. S. Dentes de terópodes associados a restos esqueléticos de diplodocóide no Cretáceo superior do Nordeste do Brasil. Monografia (Curso de Ciências Biológicas) Universidade Estadual do Maranhão. São Luís. 2016.

MESNER, J. C.; WOOLDRIDGE, P. Estratigrafia das bacias paleozóica e cretácica do Maranhão. *Boletim Técnico da PETROBRAS*. Rio de Janeiro. V. 7, p. 137-164, 1964.

MIURA, K. Geologia da plataforma continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. Relatório Interno da PETROBRÁS / DEXPRO / DIVEX. Rio de Janeiro, 41 p., 1972.

MUNSELL, A. H.; Munsell soil color charts. Revised edition. New Windsor: Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation, 1994, 29p.

MUNSELL COLOR. Geological rock-color chart. Geological Society of America (GSA), 2009.

MUSSA, D.; CARVALHO, I. S.; MARTINS, F. J. C & ZUCCOLOTO, M. E. Paradoxopteris Hirmer, 1927, o caule de Weichselia Stiehler, 1857 presente no Cretáceo da bacia de São Luís, Estado do Maranhão, Brasil. Revista Universidade Guarulhos, Geociências, São Paulo, v. 5, n.6, p. 60-70, 2000.

MYERS, T. S.; STORRS, G. W. (2007). Taphonomy of the mother's day quarry, Upper Jurassic Morrison Formation, south-central Montana, USA. *Palaios*, 22(6), 651-666.

NOBRE, P.H.; CARVALHO, I.S. 2002. Osteologia do crânio de *Candidodon itapecuruense* (Crocodylomorpha, Mesoeucrocodylia) do Cretáceo do Brasil. In: SIMPÓSIO CRETÁCEO BRASIL, 6, 2002, São Pedro, Boletim..., UNESP, p. 77-81.

NOTO, C. Hierarchical Control of Terrestrial Vertebrate Taphonomy Over Space and Time: Discussion of Mechanisms and Implications for Vertebrate Paleobiology. In: P.A. ALLISON; D.J. BOTTJER (eds.) Taphonomy: Process and Bias Through Time, Topics in geobiology book series, vol. 32. Taphonomy: Springer, p. 287-336, 2011.

OJEDA, H. A. O. Structural framework, stratigraphy, and evolution of Brazilian marginal basins. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. Tulsa. V. 66, p. 732-749, 1982.

OSTROM, J. H. 1969. Terrestrial vertebrates as indicators of Mesozoic climates. Proc. North Amer. Paleontol. Convention, p. 347-376.

PAIK, I. S. 2000. Bone chip-filled burrows associated with bored dinosaur bone in floodplain paleosols of the Cretaceous Hasandong Formation, Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 157: 213-225.

PEDRÃO, E.; ARAI, M.; BARRILARI, I.M.R. & CARVALHO, I.S. 1993a. Análise palinológica de uma amostra de superfície de Querru (Formação Itapecuru), Município de Itapecuru-Mirim - MA. Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, 11 p. (Relatório Técnico).

PEDRÃO, E.; ARAI, M.; CARVALHO, I.S. & FERREIRA, C.S. 1993b. Palinomorfos de sedimentos albianos (Formação Itapecuru) da Bacia do Parnaíba. Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, 13 p. (Relatório Técnico).

PEDRÃO, E.; ARAI, M.; CARVALHO, I.S. & SANTOS, M.H.B. 1993c. Palinomorfos da Formação Itapecuru - análise palinológica de uma amostra de superfície da Ponta do Farol, São Luís - MA. Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, 10 p. (Relatório Técnico).

PEREIRA, A. A. & MEDEIROS, M. A. 2008. A new Sclerorhynchiform (Elasmobranchii) from the middle Cretaceous of Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11: 207-212.

PEREIRA, M. G.; RAVELLI, A. N.; DOS ANJOS, L. H. C.; CEDDIA, M. B.; SCHULTZ, N.. Práticas de Morfologia e Física do Solo. Seropédica – RJ: UFRJ, 2020.

PETRI, S. Cretaceous paleogeographic maps of Brasil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Amsterdam. V. 59, p. 117-168, 1987.

PONTE, F. C. Origem e Evolução das Pequenas Bacias Cretácicas do Interior do Nordeste do Brasil. In: *Anais do simpósio sobre bacias cretáceas Brasileiras*. Rio Claro – São Paulo. 1992.

PONTE, F. C.; ASMUS, H. E. The Brazilian marginal basins: current state of knowledge. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Rio de Janeiro. V. 48 (suplemento), p. 215-240, 1976.

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

PRICE, L. I. Sedimentos mesozóicos da Baía de São Marcos, Estado do Maranhão. *Notas Preliminares Estudos, Divisão Geologia do DNPM*. Rio de Janeiro, V. 40, p. 1-9, 1947.

PRICE, L. I. Dentes de Theropoda num testemunho de sondagem no Estado do Amazonas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Rio de Janeiro. V. 32, p. 79- 84, 1960.

REYMENT, R. A.; TAIT, E. A. Biostratigraphical dating of the early history of the South Atlantic Ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B – Biological Sciences*. London. V. 264, p. 55-95, 1972.

REYMENT, R. A.; DINGLE, R. V. O. Palaeogeography of Africa During the Cretaceous Period. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Amsterdam. V. 59, p. 93-116, 1987.

ROBERTS, E. M.; ROGERS, R. R. & FOREMAN, B. Z. 2007. Continental insect borings in dinosaur bone: examples from the late Cretaceous of Madagascar and Utah. *Journal of Paleontology*, 81(1):201-208.

RODRIGUES, J. O.; LOVATO, O. G.; CAYE, B. R. Contribuição à estratigrafia da Folha São Luís (AS.23-Z-A)/MA. In: 36º Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, Anais, p.124-135. Suporte financeiro: UFMA, UFRJ, CNPq, FAPERJ, FAPEMA, SECMA, 1990.

ROGERS, R. R. 1992. Non-marine borings in dinosaur bones from the Upper Cretaceous Two Medicine Formation, northwestern Montana. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 12:528-531.

ROGERS, R.R.; EBERTH, D.A. & FIORILLO, A.R. 2008. Bonebeds: genesis, analysis and paleobiological significance. Chicago, University of Chicago Press, 499 p.

ROSSETTI, D. F. Internal architecture of mixed tide-and storm-influenced deposits: an example from the Alcântara Formation, Northern Brazil. *Sedimentary Geology*, London, v. 114, p. 163-188. 1997.

ROSSETTI, D. F. Evidência de atividade sísmica sinsedimentar em depósitos cretácicos da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). *O Cretáceo na Bacia de São*

Luís-Grajaú. Belém: Ed. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001a. p. 47-66. (Friedrich Katzer).

ROSSETTI, D. F. Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú. Belém: Ed. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001b. p. 31-46. (Friedrich Katzer).

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W. Revisão estratigráfica para os depósitos do AlbianoTerciário Inferior (?) na Bacia de São Luís (MA), Norte do Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, v. 9, p. 29-41. 1997.

SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO, M. S. S. Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís, 2ª ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2004, 211 p.

SANTOS, M. E. D. C. M.; CARVALHO, M. S. S. Paleontologia das bacias de Parnaíba, Grajaú e São Luís. CPRM Serviço Geológico do Brasil. Rio de Janeiro, 2009. p.108-133.

SHEEHAN, P. M.; FASTOVSKY, D. E.; HOFFMAN, R. G.; BERGHAUS, C. B.; GABRIEL, D. L. 1991, Sudden extinction of the dinosaurs: Latest Cretaceous, upper Great Plains, USA: Science, v. 254, p. 835–839.

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

SHIPMAN, P.; BOSLER, W.; DAVIS, K. L. Butchering of giant geladas at an Anceulian site. Current Anthropology, [S.l.], v. 46, p. 77 – 86, 1981.

SIMÕES, M. G.; SALES, A. M. F.; GHILARDI, R. P.; HOLZ, M.; RODRIGUES, S. C. & LEME, J. M. 2002a. Assinaturas tafonômicas como marcadoras de limites de parassequências em offshore settings: um exemplo do Devoniano, Bacia do Paraná, Brasil. In: XLII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, João Pessoa, PB, Boletim de resumos..., p. 680-681.

SIMÕES, M. G.; GHILARDI, R. P.; SALES, A. M. F.; HOLZ, M.; RODRIGUES, S. C. & LEME, J. M. 2002b. Taphonomic signatures marking parasequence boundaries in offshore settings: an example from Devonian, Parana Basin, Brazil. In: GONDWANA ELEVEN, New Zealand, 2002, Abstracts..., p. 77.

SIMÕES, M. G.; GHILARDI, R. P.; SALES, A. M. F. & HOLZ, M. 2002c. Sequence stratigraphic controls on the pattern of vertical distribution of taphonomic signatures: the Devonian of the Parana Basin, Brazil. . In: GONDWANA ELEVEN, New Zealand, 2002, Abstracts..., p.78.

SIMÕES, M. G.; RODRIGUES, S. C.; BERTONI-MACHADO, C. & HOLZ, M. 2010. Tafonomia: Processos e ambientes de fossilização, 19-51. In: Carvalho, I. S. (Ed). Paleontologia. Rio de Janeiro: Interciência, Vol 1, 756p.

SOUSA-LIMA, W & HAMSI JUNIOR, G. P. Bacias sedimentares brasileiras: bacias da margem continental. Fundação Paleontológica Phoenix, 2003.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. Evolução tectônica da margem Equatorial brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. V. 17, p.180-188, 1987.

TABASTE, N. 1963. Étude de restes de poissons du Crétacé Saharien. *Mélanges Ichthyologiques à la memoire d'Achille Valenciennes*. Mémoire de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire, Mélanges Ichthyologiques, Dakar, v. 68, p. 437-485, est. 1-3.

THERRIEN, F.; FASTOVSKY, D. E. (2000). Paleoenvironments of early theropods, Chinle Formation (Late Triassic), Petrified Forest National Park, Arizona. *Palaaios*, 15(3), 194-211.

TRUEMAN, C. N. (1999). Rare earth element geochemistry and taphonomy of terrestrial vertebrate assemblages. *Palaaios*, 14(6), 555-568.

TRUEMAN, C. N.; BENTON, M. J. (1997). A geochemical method to trace the taphonomic history of reworked bones in sedimentary settings. *Geology*, 25(3), 263-266.

VAZ, P. T., REZENDE, N. G. A. M., WANDERLEY FILHO, J. R., TRAVASSOS, W. A. (2007). Bacia do Parnaíba. In: E. J. Milani, H. D. Rangel, G. V. Bueno, J. M. Stica, W. R. Winter, J. M. Caixeta, O. C. Pessoa Neto (Eds.), *Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas*. Boletim de Geociências da Petrobras, 15(2), 253-263.

VIANA, C. F. Evolução paleoambiental eocretácea nas bacias marginais do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, 1986, Goiânia. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1986, p. 1-7.

VOORHIES, M. R., 1969. Taphonomy and Population Dynamics of an Early Pliocene Fauna, Knox County, Nebraska. In: *Contributions to Geology*, Special Paper 1, pp. 1-69.

WENZ, S. 1981. Un Coelacanth géant *Mawsonia lavocati* Tabaste, de l'Albien -base du Cénomani du sud Marocain. *Annales de Paléontologie (Vertébrés)*. France, v. 67, fasc.1, p.1-20.

WESTERN, D. Linking the ecology of past and present mammal communities. In: BEHRENSMEYER A.K.; HILL A.P. (eds.) *Fossils in the Making*. Univ. Chicago Press, p. 41-54, 1980.

WING, S. L.; SUES, H. D.; POTTS, R.; DiMICHELE, W. A.; BEHRENSMEYER, A. K. Evolutionary Paleoecology. In: BEHRENSMEYER, A.K.; DAMUTH, J.D.; DiMICHELE, W. A.; POTTS, R.; SUES, H. D.; WING, S. L. (eds.) *Terrestrial Ecosystems through Time*, The University of Chicago Press, Chicago, p. 1- 13, 1992.

APÊNDICE

Biostratigraphic aspects of *Itapeussaurus cajaploensis* (Dinosauria, Diplodocoidae) from the Alcântara Formation, Cenomanian of the São Luís Basin, Northeast of Brazil

**Ana Carolina Nunes de Moraes Rago¹, Hermínio Iamesi de Araújo-Júnior¹,
Fernando Henrique de Souza Barbosa¹, Manuel Alfredo Araújo Medeiros²**

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, 20550-013, Brazil.

² Departamento de Ciências Biológicas, Laboratório de Paleontologia, Universidade Federal do Maranhão, Avenida dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65080-905, Brazil.

carolmoraes1001@gmail.com, herminio.iamesi@yahoo.com.br,
fhbarbosa@gmail.com, manuel.alfredo@ufma.br

Abstract

A fossil deposit of the Alcântara Formation (Cenomanian of the São Luís Basin) located in the northern part of the state of Maranhão, Brazil, brought a significant record of skeletal remains belonging to *Itapeussaurus cajaploensis* (Dinosauria, Diplodocoidae). This is the first study about dinosaur taphonomy from this area, and provide valuable paleoenvironmental and paleobiogeographical insights in Northeast basins during the Early Cretaceous. The specimen was completely disarticulated, and no marks of teeth or trampling were identified, according to analysis of the hydraulic equivalence and fossil position there was some transportation probably triggered by an incise estuarine and tectonically active environment that predominated in the Alcântara Formation during the Cenomanian. Regarding the bioerosion features, there was probably a relevant time of exposure, enough for the colonization of organisms to occur. The high level of corrosion, the variation of the stages of weathering, and abrasion patterns denote that the specimens were submitted to different environmental conditions and processes during their taphonomic history, also they have significant amount of subaerial exposure, transport, repetitive contact with silt, and organic acids caused by the prolonged interaction with the rising and falling of the tides. The breakage patterns were produced during the biostratigraphic phase and probably generated during the specimens' extended exposure. The high degree of fragmentation, seems to be generated by reworking of pre-buried bones. Taphonomic feedback was found in a single sample, and regardless of been difficult to infer time to this feature, all suggests to its recentness, provided the readily it can be destroyed under adverse circumstances. Considering that the specimens remains collected at this location usually are reworked, fractured, abraded, transported, and redeposited, they are not appropriate to evaluate relative variation, and it may not be accurate to infer time to taphonomic traits from occurrences. In

¹ Corresponding author: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, 20550-013, Brazil.
E-mail addresses: carolmoraes1001@gmail.com, herminio.iamesi@yahoo.com.br, fhbarbosa@gmail.com, manuel.alfredo@ufma.br.

conclusion, according to the taphonomic analysis of the Itapeva beach samples, the skeletal remains may not belong to only one individual.

Taphonomy. Cretaceous. Bone modification. São Luís Basin, Brazil.

1. Introduction

The Alcântara Formation is a Cenomanian lithostratigraphic unit of the São Luís-Grajaú Basin and is paleontologically characterized by an expressive record of extinct vertebrates, such as dinosaurs, crocodiles, pterosaurs, and freshwater fishes. Additionally, plants specimens like conifers, tree ferns, and Equisetaceae have been found associated with the vertebrate fauna (Corrêa-Martins, 1987; Medeiros et al., 2014a, b; Mues et al., 2000; Araújo et al., 2011). This large fossil record is equivalent to the one that occurred in North Africa, mostly related to the specimens from southeast Morocco at the same period of time (Medeiros, 2001; Medeiros and Viss Bôas, 1999; Medeiros and Schultz, 2001; 2002).

Regarding the dinosaurian fossil record of the Alcântara Formation, the majority of specimens can only be assigned to broader taxonomic groups, due to the low quality of the fossil record. This assignment has been performed based specially on comparisons with the almost complete skeleton found in Neuquén, in Argentine Patagonia. For instance, the most of the caudal vertebral centers from the Alcântara Formation can be assigned to Rebbachisauridae (Medeiros and Schultz, 2004).

Recently, the skeletal remains of a new sauropod species, *Itapevasaurus cajapóensis* (Lindoso et al., 2019), have been discovered in a new fossil locality

on the Itapeua beach, municipality of Cajapió, on the northern coast of Maranhão State (Fig. 1). This new sauropod species offers a crucial opportunity to better understanding the processes by which this material was preserved, along with data on how the fossil accumulation originated in this particular type of environment during the Brazilian Cenomanian (Medeiros et al., 2015; Lindoso et al., 2019).

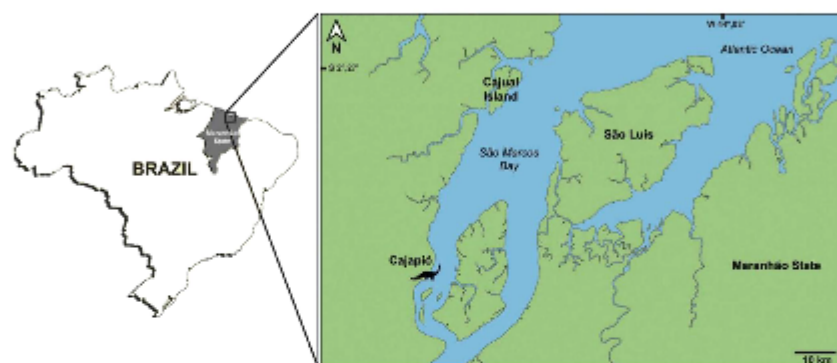


Fig. 1. Location of Itapeua beach, Cajapió municipality, northern Maranhão State, Brazil (modified from Lindoso et al., 2019).

Itapeusaurus cajapiensis is the second Rebbachisauridae from the middle Cretaceous to be identified in Brazil and the first record of Diplodocoidea from the Alcântara Formation (Lindoso et al., 2019). This group of sauropods is exceptionally rare in Brazil, due to the restricted occurrences of Early Cretaceous outcrops originated in continental environments, when these animals were widespread in South American continent (Medeiros et al., 2015). The only species known up until 2019 was *Amazonseurus maranhensis*, which was reported in Aptian-Albian layers in the Parnaíba Basin (north of Maranhão) (Carvalho et al., 2003).

The importance of this research is highlighted by the significance of this newly identified specimen, besides being the first study concerning dinosaur taphonomy from this location. Therefore, given the lack of taphonomic information on the Alcântara Formation, the aim of this paper was to provide a biostratigraphic analysis integrating the information that was obtained about this newly named species and its depositional environment.

2. Geological setting

The São Luís Basin is a rift-type coastal basin situated on the Brazilian equatorial edge, which covers an emergent area of approximately 16,000 km² (Rodrigues et al., 1990). Its outcrops date predominantly from the Cretaceous, and are identified as the Codó-Grajaú (Aptian) and Itapecuru (Albian-Cenomanian) groups, preserving deposits related to the separation of Africa and South America (Menner and Woodrige, 1984; Aranha et al., 1990).

The sedimentary record of São Luís Basin can be divided into three distinct depositional sequences: S1, S2, and S3 (Rossetti, 2001b). The S1 sequence comprises the Codó and Grajaú formations, which were deposited between the Aptian and Albian ages. This sequence consists of approximately 450 m of sandstones, shales, and limestones that were deposited in shallow marine, lacustrine, and fluvio-deltaic environments. Sequence S2 corresponds to the Itapecuru Formation (Campbell, 1949) or the "Undifferentiated Unit" (Rossetti and Truckenbrodt, 1997). It was accumulated during the lower-middle Albian age and comprises approximately 500 m of sandstone and fine sediments assigned to fluvial, deltaic, and shallow marine environments. The sequence S3 includes about 600 m of sandstones and fine sediments, which

document six depositional cycles from the middle Albian to the Upper Cretaceous. These cycles are associated with incised estuarine valleys and encompass the Alcântara and Cajupe formations, as well as the upper part of the Itapicuru Formation (Rossetti and Truckenbrodt, 1997; Paz and Rossetti, 2001; Rossetti, 2001a; Rossetti, 2001b).

The fossiliferous set is located at the Itapeua beach, Cajaló municipality, northern Maranhão State, Brazil. The sedimentary section is part of the Alcântara Formation in the São Luís Basin. The fossils were recovered from a succession that starts with 2.5 meters of reddish clayey layers at the base that are immediately overlain by lateritized centimetric levels of fine to medium siltstones (Fig. 2A). This layer is followed by a reddish clayey strata, alternating with a green siltite (Fig. 2C). The material under investigation were found within a sedimentary layer with an area of about 30 m² (Medeiros et al., 2015; Fig. 2B).

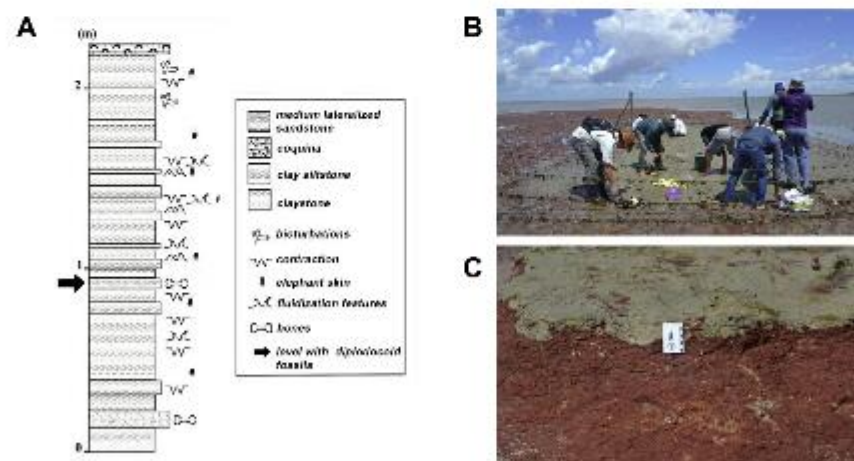


Fig. 2. A) Stratigraphic log of the outcrop (modified from Medeiros et al., 2016); B) Process of the removal of the fossils; C) Section of the geological point at Itapeua beach illustrating reddish/greenish fine deposits (figures adapted from Lindoso et al., 2018).

3. Materials and methods

The material includes twenty-two specimens, all of which have been assigned by Lindoso et al. (2018) to a single individual of *Itapourasaurus cajapóensis*. The sample consists of nine vertebrae (two of which exhibit preserved neural spines), seven isolated neural spines, two chevrons, one partially preserved neural complex, one rib, and two undetermined bone fragments. Six isolated teeth were also found (see Mendes, 2016) and an assortment of bone fragments associated to the specimens. However, taphonomic analysis on some skeletal elements, such as teeth, horns, and xenarthran osteodermis, have become less widespread than analyses on elements conducted in traditional neotaphonomic/actual paleontological studies (Voorhies, 1969; Dodson, 1973; Behrensmeyer, 1975, 1978; Frison and Todd, 1986; Hutson, 2012), and for this reason these elements were not considered in this study. As well as the multiple bone fragments were disregarded because affecting the number of samples, it may influence improperly the results as the fragments could be pieces of a single bone element. All specimens are housed at the paleontological collection of the Universidade Federal of Maranhão (UFMA) at São Luís municipality, State of Maranhão, Brazil.

The biostratigraphic analysis of the specimens followed the methods suggested by Shipman (1981), Holz and Simões (2002), Araújo-Júnior et al. (2013), Behrensmeyer (1978), Munsell (2008), Fernandez-Jalvo and Andrews (2016), and Frison and Todd (1986) which have been widely employed in taphonomic investigations. The biostratigraphic features evaluated on specimens included i) transport; ii) disarticulation; iii) position of the *in situ* fossils; iv) hydraulic equivalence; v) bioerosion; vi) corrosion vii) predation

and/or scavenging marks; vii) trampling marks; ix) physical integrity; x) degrees of abrasion; xi) stages of weathering; xii) breakage; xiii) deformation; and xiv) coloring.

4. Results and discussion

4.1 Hydraulic equivalence, disarticulation and bioerosion

Hydraulic equivalency, defined by Hanson (1980) and Behrensmeyer (1968), is the result of water systems' effects on bioclasts and is a significant variable related to the taphonomic history of the fossil deposit. According to Behrensmeyer (2007), around 45% of bonebeds are the result of hydraulic processes.

To the analysis of hydraulic transport was adopted the relative densimetric similarity, the transportability index (FTI - Fluvial Transport Index) obtained through experiments by Friszon and Todd (1988) with bones of Indian elephants (*Elephas maximus*). Myers & Storms (2007) used the FTI data to improve the analysis of a sauropod bones taphocenosis from the Morrison Formation (Late Jurassic, Montana). They believed that among the animals already utilized for transportability experiments, elephant bones exhibit higher physical similarities to sauropods (Myers & Storms, 2007).

The values from table 1 were used as a guide and classified as follows: FTI 60 low transportability; 60 FTI 75 moderate transportability; and high transportability FTI > 75.

Table 1. FTI (Fluvial Transport Index) values for skeletal elements of Indian elephant (*Elephas maximus*), modified from Friszon and Todd, 1988

Skeletal element	FTI
Jaw	34,88
Atlas	41,87
Cervical vertebra	88,84
Thoracic vertebra	76,43
Lumbar vertebra	78,21
Caudal vertebra	82,43
Sacrum	80,11
Rib	53,88
Scapula	82,85
Humerus	57,77
Radius-Ulna	49,85
Metacarpal	86,83
Pelvis	0,00
Femur	24,26
Patella	90,19
Tibia	72,84
Fibula	80,19
Astragalus	96,83
Calcaneus	100,00

All the fossils evaluated (Table 2) are categorized, in accordance with the research conducted by Friszon and Todd (1988), as materials with moderate to high transportability, being skeletal remains easily carried by chains and tides.

Position of the *in situ* fossils analysis (Fig. 3) reveals that the fossils were found completely disarticulated, and when compared to the results of the study of hydraulic equivalence, it is evident that they underwent some form of transport. The movement of water currents acts as a significant transport agent that affects many taphonomic deposits (Hanson et al., 1980; Bahrensmeier, 1988).

The transport was probably triggered by a transitional estuarine environment with predominance of tides that prevailed in the Alcântara Formation during the Cenomanian (Meener & Wooldridge, 1964; Klein & Femeira, 1979; Pedrão et al., 1983; Rossetti, 1997; Rossetti & Truckenbrodt, 1997). Also this high level of disarticulation suggests that there was a significant

time span of subaerial exposure, and may have been caused by either biological agents and/or physical factors (Kidwell et al., 1986).



Fig. 2. A schematization of the position of fossils in plan. The scale bar represents 1 m.

Most of the specimens present bioerosion marks (Table 2), which have been identified in 18 bones (Fig. 4A). The bioerosion marks produced by insect activity has been described as a bone modifier (Kaiser, 2000). This is due to the fact that the pupal chambers in vertebrate bones provide an excellent remnant of the organism's postmortem history (Laudet and Antoine, 2004). Considering the possibility of colonization, this characteristic is also a sign of subaerial exposure (see Holz and Simões, 2002). In this study, insect traces were identified mainly by comparison with other works (e.g., Xing et al., 2013; Fernández-Jalvo and Andrews, 2016).

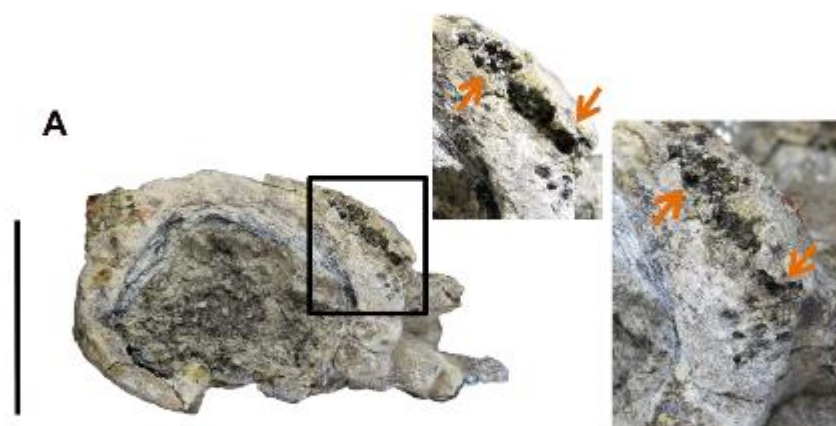


Fig. 4. Caudal vertebra with marks of bioerosion. A) Bioerosion marks (orange arrows) on caudal median vertebra (UFMA1.10.1960-08) with enlarged images of the trails. The scale bar represents 5 cm.

Considering the dimensions and depth of the impressions observed, trails from predators and/or scavengers were not found on the specimens. The possibility that predators or scavengers transported the carcass is likewise ruled out by the absence of these marks. Since there was enough exposure for complete disarticulation by the tides, it is possible that the flow of energy from an incised estuarine coastal environment triggered the disarticulation of the

bones, which most likely had a low rate of sedimentation due the subaerial exposure features.

4.2. Abrasion

The repeated contact of the bone with the silt produces the abrasive features, occur due to the mechanical impact of wind or hydraulically charged particles on the bone surface (Shipman, 1981). Wear is eventually generated by the rounding and polishing that could be present in the skeletal portion, which may have been carried on by transport, trampling, or another kind of repetitive contact (Fernandez-Jalvo and Andrews, 2016). Edges, anatomical ridges, and fractures tend to round the bone during the abrasion process and in more extreme situations, can completely erode the surface of the bones (Shipman, 1981).

All specimens present signals of abrasion (Table 2), with the following distribution: stage 1 of abrasion (soft with the edges little polished) is present in 7 fossils (Fig. 5A); stage 2 of abrasion (moderate: bone surface has well-rounded and polished edges) is present in 13 fossils (Fig. 5B), and stage 3 of abrasion (Intense: extremely polished on the surface and highly rounded edges) is present in 2 fossils (Fig. 5C).

According to Shipman (1981) and Lyman (1994), in quickly buried assemblages a large number of complete skeletal elements are expected. Occasionally, elements are fractured by natural processes of deterioration, wear, predatory action, trampling, hydraulic transport and fossilization events.

In bone accumulations that are vulnerable to hydraulic transport by currents, vertebrate bones, whether large or small, tend to behave differently.

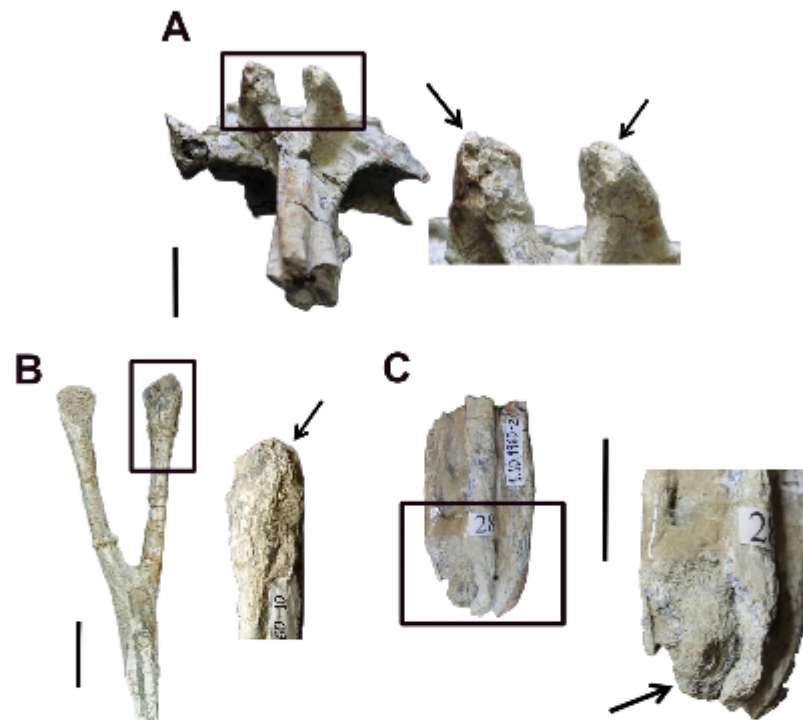


Fig. 6. Abrasion marks observed in specimens of *Iapousaurus cephalensis*. A) Posterior view of caudal vertebra (UFMA1.10.1960-04) with stage 1 of abrasion: note the edges with small abrasive features in the zoom; B) Chevron (UFMA1.10.1960-10) in stage 2 of abrasion - higher rounding can be noted in the ends with enlarged image; C) View of a fragment neural spine (UFMA1.10.1960-19) with stage 3 of abrasion with the ends rounded and loss of processes (in the zoom). The scale bar represents 5 cm.

When generated by coarser and poorly selected sand, abrasive elements show up in shallow water. Due to the lack of flexibility and lower density of the dry bone, which are evidence of energy and transport, bone parts are resistant to this type of action unless they have already been fossilized (Simões et al., 2010). In the context of Itapeva beach, a coastal location, this feature is similarly connected to the rising and falling of the tides (Dantas, 2017) and to transport (Fernandez-Jalvo and Andrews, 2018).

Table 2. Taphonomic features observed on the specimens of *Spinosaurus cajuprenensis*.
 Styles: U = undetermined; SFP = smooth fracture perpendicular to long bone axis; IFP =
 irregular fracture perpendicular to long bone axis; PC = perpendicular to long bone axis and
 columnar; G = columnar; S = spiral; Fluvial Transport Index = FTI

Fossil	Statolith cleavage	Microstr on	Corrosio n	Physical integrity	Deformation	Weathering stage	Degree of stratification	Stratigraphic pattern	FTI
UFMA1.1 0.1880-21	Dorsal vertebra	Absent	Absent	Partial	Absent	1	1	—	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-22	Dorsal vertebra	Absent	Absent	Fragment I	Absent	1	2	SFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-23	Caudal vertebra	Present	Present	Complete	Absent	1	1	SFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-24	Caudal vertebra	Present	Present	Partial	Absent	2	1	IFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-25	Caudal vertebra + Neural Spine	Present	Present	Partial	Absent	1	1	SFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-26	Neural Spine	Present	Present	Partial	Present	1	2	PC	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-27	Anterior vertebra + Neural Spine	Present	Present	Partial	Present	2	2	SFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-28	Dorsal median vertebra	Present	Present	Complete	Present	3	2	—	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-29	Neural complex	Present	Present	Fragment I	Absent	1	2	—	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-10	Clavicle	Absent	Absent	Complete	Absent	1	2	—	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-11	Clavicle	Present	Present	Complete	Absent	1	2	—	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-12	Caudal median vertebra	Present	Present	Complete	Absent	1	2	—	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-13	Caudal vertebra	Present	Present	Fragment I	Present	3	2	—	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-14	Neural spine	Present	Present	Fragment I	Present	3	1	SFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-15	Neural spine	Present	Present	Fragment I	Absent	3	2	C	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-16	Neural spine	Absent	Absent	Partial	Absent	3	2	S	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-17	Neural spine	Absent	Absent	Fragment I	Absent	1	2	PC	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-18	Neural spine	Present	Present	Fragment I	Absent	1	1	IFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-19	Neural spine	Present	Present	Fragment I	Absent	2	3	IFP	FTI > 75
UFMA1.1 0.1880-20	U	Present	Present	Fragment I	Absent	2	2	—	—
UFMA1.1 0.1880-31	U	Present	Present	Fragment I	Absent	4	3	—	—
UFMA1.1 0.1880-32	Rib	Absent	Absent	Complete	Absent	2	1	SFP	80 < FTI < 75

4.3. Weathering

In the specimens analyzed (Table 2), no fossils were found in stages 0 and 1 of weathering (unaltered and surface cracks). The stage 2 (well-defined cracks) is observed in 7 specimens (after 2-5 years of exposure, according to Behrensmeyer, 1978; Fig. 6A), while 14 specimens are in stage 3 (rough and fibrous in texture; after 4-8 years of subaerial exposition according to Behrensmeyer, 1978; Fig. 6B), and 1 specimen is in stage 4 of weathering (releasing small and large splinters; after 7-20 years of exposure according to Behrensmeyer, 1978; Fig. 6C).

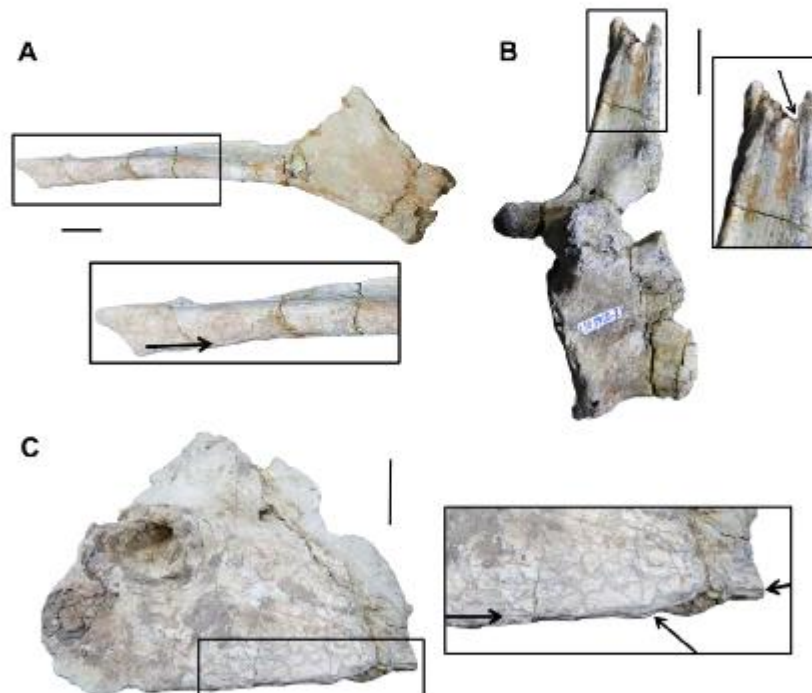


Fig. 3. Desiccation marks observed in the bones of *Neovenustus ocellifera*. A) Rib (UFMA1.10.1960-22) showing stage 2 weathering with an enlarged image of the same sample; B) Caudal vertebra with neural spine (UFMA1.10.1960-05) presenting stage 3 of weathering; C) Indeterminate fossil (UFMA1.10.1960-21) in stage 4 of weathering. The scale bar represents 5 cm.

Considering a synchronous fossiliferous assemblage, where each specimen was subjected to the same weathering processes in the same environment, there should usually be a pattern in the drying features for all samples. It is possible to notice a variety of weathering stages in the fossils from Itapeva beach. It can be inferred from the data that some skeletal components were preserved at different moments in time and under different environmental conditions (Araújo-Júnior et al., 2013).

4.4. Breakage pattern

Regarding the breakage pattern analyzed in long bones (Table 2), four different types of breaks can be identified: smooth and perpendicular-to-the-diaphysis fracture, in 6 samples (Fig. 7A); irregular and perpendicular-to-the-diaphysis fracture, in 3 samples (Fig. 7B); columnar and perpendicular-to-the-diaphysis fracture, in 2 samples (Fig. 7C); columnar fracture, in 1 sample (Fig. 6D); and spiral fracture, in 1 sample (Fig. 7E).

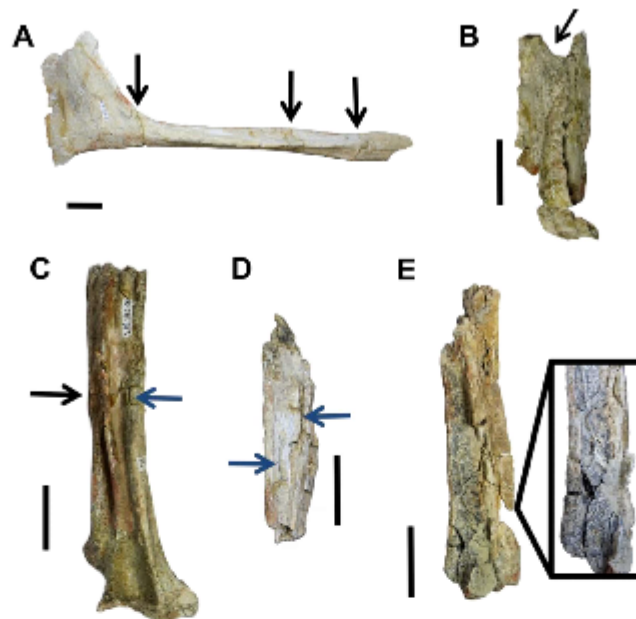


Fig. 7. Breakage pattern. A) Smooth fractures (black arrow), perpendicular to long bone axis on the rib (UFMA10.1.1980-22); B) Irregular fracture (black arrow) perpendicular to long bone axis perpendicular fracture on neural spine (UFMA1.10.1980-18); C) Perpendicular to long bone axis (black arrow) and columnar fracture (blue arrow) on neural spine (UFMA1.10.1980-08); D) Columnar fracture (blue arrow) in neural spine fragment (UFMA1.10.1980-16); E) Spiral fracture in neural spine (UFMA1.10.1980-18) in the zoom. The scale bar represents 5 cm.

The irregular and perpendicular-to-the-diaphysis fractures, columnar fractures, and spiral fractures are typical of fracturing that occurred before burial, when the bones still had some flexibility. Dry breaks, on the other hand, are characterized by smooth fractures perpendicular to long axes, transverse, oblique, and longitudinal fractures, which typically happen when the skeletal element loses its elasticity and possibly have been triggered on after burial (Shipman, 1981; Cladera et al., 2004; Bergqvist and Almeida, 2004). The fractures identified in the studied specimens primarily can be interpreted as produced during the biostratigraphic phase. Probably, the biostratigraphic fractures

were generated during the specimens' prolonged subaerial exposure (Santos et al., 2002; Alves et al., 2007; Araújo-Júnior et al., 2013).

4.5. Deformation

Deformation refers to a bone that has been distorted but not broken in the process (Fernandez-Jalvo and Andrews, 2018). Around 5 samples (Table 2) exhibit deformation (Fig. 8). This pattern is suggestive of lithostatic compression of the material by the load of the overlain layers or tectonic efforts on the fossiliferous layer during the fossilization (Hotz and Simões, 2002).

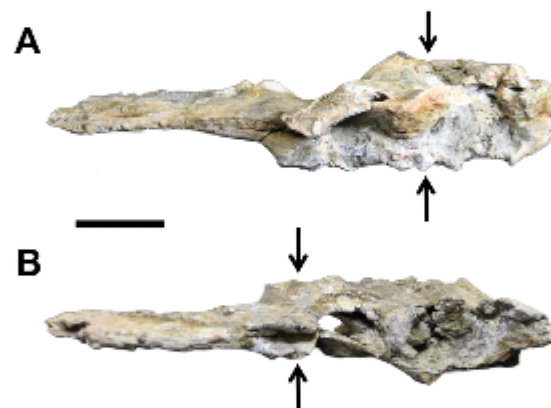


Fig. 8. Lateral deformation. A) Front view of deformation feature in caudal vertebra with neural spine (UFMA1.10.1860-07); B) Posterior view of the same sample. The scale bar represents 5 cm.

4.6. Physical Integrity

Related to physical integrity (Table 2), there are 6 (Fig. 9A; 9B) complete fossil specimens (> 90% preserved), 6 (Fig. 9C; 9D; 9E) partially preserved

specimens (> 50%–90% preserved), and 10 (Fig. 9F; 9G) specimens are fragments (< 50% preserved).

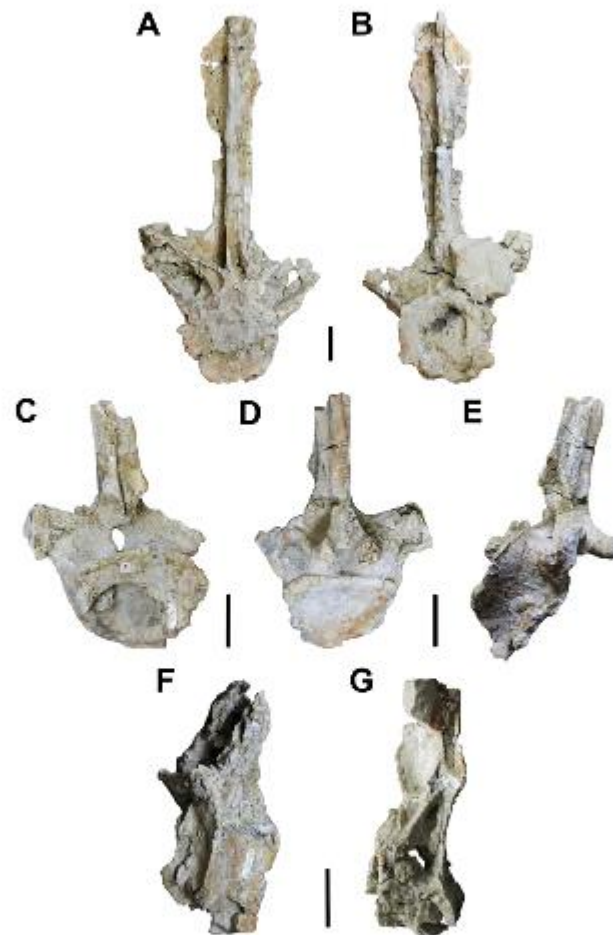


Fig. 9. Physical integrity. A) Posterior view of a complete caudal vertebra with neural spine (UFMA1.10.1980-03); B) Anterior view of the same sample; 1C) Posterior view of a caudal vertebra (UFMA1.10.1980-04) partially preserved with absence of a portion of the neural spine; D) Anterior view and E) Left side view of the same sample; F) Oblique lateral view of a fragment of neural complex (UFMA1.10.1980-09); G) Anterior view of the neural complex. The scale bar represents 5 cm.

As the breakage pattern described for long bones suggests that the fragmentation observed is biostratigraphic (Shipman et al., 1981; Lyman, 1994).

This high degree of fragmentation, seems to be generated by reworking of pre-buried bones.

Chains, tides, and currents act as reworking agents in coastal ecosystems with transitional systems, like estuaries, deltas, and lagoons. The best preservation of organisms from continental settings can be observed in deltaic deposits, where fluvial processes are predominant. Wave-dominated tidal deltas typically contain substantially reworked deposits with an accumulation of specimens from several periods of time (Simões et al., 2003). Therefore, since the sauropod samples identified in the Alcântara Formation come from Laje of Coringa, a fossiliferous site situated on Cajual Island in Northern Maranhão, the fossil remains collected there are reworked, fractured, abraded, transported, and redeposited, they are not appropriate to evaluate relative variation (Medeiros and Schultz, 2004; Holz, 2003).

According to Santos and Carvalho (2004), on the Laje of Coringa, there is a complex taphocoenoses which consist of bonebeds made up of broken and rounded bones impregnated with silica and iron oxide. The rolled and imbricated bones probably underwent transport by chains and reworking from older deposits, which suggests that previously buried fossils were exhumed, relocated, and then buried once again in the substrate (Medeiros et al., 1996; Silva and Andreis, 1997). Therefore, it may not be accurate to infer time to taphonomic traits from occurrences.

4.7. Corrosion

Around 18 fossils has signs of corrosion (Table 2; Fig. 10A). According to Behrensmeyer (1991), specimens that have been exposed to algae

development and invertebrate grazing in aquatic habitats frequently exhibit irregular holes produced in bone elements or teeth as a result of corrosion. In addition to the corrosion brought on by organic acids and prolonged insect activity, the mortal remains are still susceptible to a variety of alterations (Behranmeyer, 1978; Andrews, 1990). The presence of this feature probably have been caused by prolonged subaerial exposure and repeated contact to organic acids from the tides as the bones were in the intertidal zone.



Fig. 10. Corrosion. A) Corrosion marks on the end of caudal vertebra (UFMA1.10.1980-13). The scale bar represents 5 cm.

4.8. Color

The difference in bone color that can also be influenced by soil elements which may darken as a result of chemical components found in the substrate (Munsell, 2009). According to the color analysis of the specimens, it is possible to deduce the substrate organic matter composition, as iron oxide typification and other information. However, observation of coloration only provides qualitative data and does not provide quantitative measurements (Pereira et al., 2020).

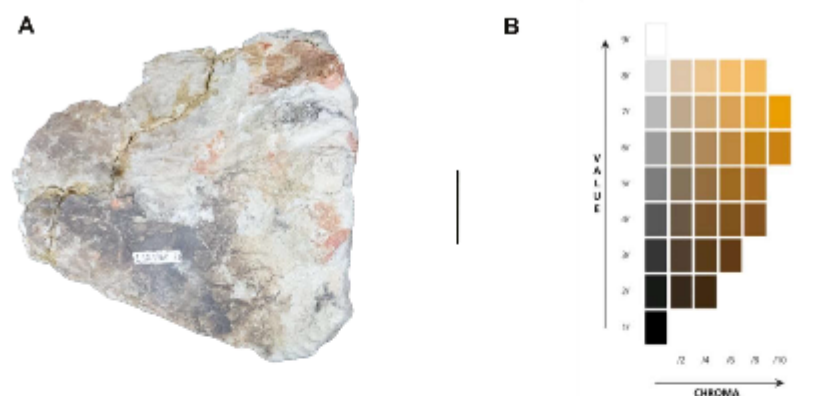


Fig. 11. Color. A) Coloring pattern ranging from light gray with occasional darker and reddish tones in indeterminate fossil (UFMA1.10.1080-21); B) Munsell Color Chart comparison standard. The scale bar represents 5 cm.

According to the Munsell Color Chart (2009; Fig. 11B), the coloring of the fossils from Itapeua beach (Fig. 11A) varies between light gray and gray, with sporadic reddish tones that may be related to the presence of iron oxides in the ground. Darker tones can occasionally be seen, and they can be interpreted as a sign of humidity (Sugita and Marumo, 1996; Croft and Pye, 2004; Murray, 2011). Also, it can be observed the presence of blackish marks, which may be a sign of manganese or a combination of iron and manganese. In the same way they could be a sign of soil organic matter (Guedes and Valentim, 2014).

4.9. Taphonomic feedback

During the analyzes, evidence of taphonomic feedback was observed. This process involves the interaction of living organisms with the hard parts of dead organisms and might arise from physical processes (delivery of allochthonous hard parts, seafloor reworking, sedimentary omission) (Kidwell and Jablonski, 1983). In benthic ecosystems, where organisms interact with thanatocoenoses, taphonomic feedback is typically recognized.

The taphonomic feedback was observed in a single fossil (Fig. 12A; 12B); there are barnacle remnants on the surface of a neural spine, which may suggest that the fossil was in the intertidal zone or submerged for a length of time that allowed sessile organism to inhabit it (Kidwell and Jablonski, 1983).

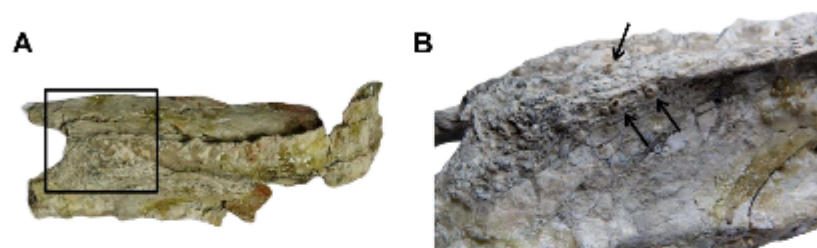


Fig. 12. Taphonomic feedback. A) Taphonomic feedback on neural spine (UFMA1.10.1980-18); B) zoom of the barnacle on the bone surface. The scale bar represents 5 cm.

The ecological growth of a benthic population can be destroyed by repeated storm events, although taphonomic feedback is rarely viable and preserved in such instances. Under very specific circumstances, there is a chance of preservation in a particular form for taphonomic feedback (Miller et al., 1988; Simões et al., 1989 a, b). The most intriguing question about the process of taphonomic feedback from an ecological and structural perspective relates to the period of colonization or recolonization of different types of substrates, owing to the fact that an abrupt burial is typically required for this feature to be preserved in the geological record. The issue, however, is that despite their rapid burial, the definition of time in these accumulations is extremely variable since the recolonization or transformation of the substratum is not instantaneous in ecological terms (Simões et al., 1989 a, b). Accordingly, there are no accurate temporal assignments regarding the taphonomic

feedback process in fossil assemblages. Despite the fact that it can be difficult to infer time to this feature, all suggests to its recentness, provided the readily it can be destroyed under adverse circumstances.

5. Conclusions

The specimen was completely disarticulated, there were no traits from predators and/or scavengers. According to analysis of the hydraulic equivalence and fossil position there was some transportation probably triggered by a transitional estuarine environment that predominated in the Alcântara Formation during the Cenomanian. Regarding the bioerosion features, there was probably a relevant time of exposure, enough for the colonization of organisms to occur. The high level of corrosion, the variation of the stages of weathering and abrasion patterns denote the time of subaerial exposure, transport, repetitive contact with salt and organic acids caused by the prolonged interaction with the rising and falling of the tides. The breakage patterns were produced during the biotratinomic phase and probably generated during the specimens' prolonged subaerial exposure. The high degree of fragmentation, seems to be generated by reworking of pre-buried bones. Five samples are deformed by lithostatic compression. The coloring points to the possibility of the presence of iron oxide, sign of humidity, manganese or a combination of iron and manganese, or a sign of soil organic matter in the soil. It was also found the taphonomic feedback, regardless of been difficult to infer time to this feature, all suggests to its recentness, provided the readily it can be destroyed under adverse circumstances. As the fossil remains collected in Alcântara Formation are reworked, fractured, abraded, transported, and redeposited, they are not appropriate to evaluate relative variation, and it may not be accurate to infer

time to taphonomic traits from occurrences. In conclusion, according to the taphonomic analysis of the Itapeva beach samples, the skeletal remains may not belong to a single individual.

Acknowledgements

This research received financial support of Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - DS). We would like to thank for the logistical assistance service offered by the Centro de Pesquisa de História Natural e Arqueologia do Maranhão (CPHNAMA) and Universidade Federal do Maranhão (UFMA). We are grateful to Kamilla Veras' for her contribution improving the photographic registers. This manuscript is part of master's degree research of the first author at the Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

References

- ALVES, R.S.; BARRETO, A.M.F.; BORGES, L.E.P.; FARIAS, C.C. Aspectos tafonômicos no depósito de mamíferos pleistocênicos de Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. *Estudos Geológicos*, v. 17, n. 2, 2007.
- ANDREWS, P. Owls, Caves and Fossils. Natural History Museum Publications, London, p. 1–231 1980.
- ARANHA, L. G.; LIMA, H. P., SOUZA, J. M. P.; MAKINO, R. K. Origem e evolução das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: Gabaglia, G. P. R. & Milani, E. J. (editores). *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1980, p. 221-233.
- ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; BERGQVIST, L. P. Taphonomic analysis of a late Pleistocene vertebrate accumulation from Lago Grande paleontological site, Pernambuco state, northeastern Brazil: new remarks on preservational aspects of tank deposits. *Quaternary International*, [S.J.], v. 317, p. 88 – 101, 2013.
- ARAUJO, K. C. O.; SOMMER, M.G.; MEDEIROS, M. A.; GERNOS, E. C.; SCHMIDT, I. D. Lanhos de Coníferas do Mesocretáceo do Norte do Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 14, n. 1, p. 29-38, 2011.

BEHRENSMEYER, A. K. 1975. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblages east of Lake Rudolf, Kenya. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 148: 473-578.

BEHRENSMEYER, A. K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4(2): 160-162.

BEHRENSMEYER, A. K. Vertebrate preservation in fluvial channels. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v. 63, n. 1-3, p. 183-199, 1988.

BEHRENSMEYER, A. K. Terrestrial vertebrate accumulations. In: ALLISON, P.A.; BRIGGS, D.E.G. (eds.) *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*, Plenum Press. p. 291-335, 1991.

BEHRENSMEYER, A. K. Bonebeds through time. *Bonebeds: Genesis, analysis, and paleobiological significance*, p. 65-101, 2007.

BERGQVIST, L.P. & ALMEIDA, E.B. Biodiversidade de mamíferos fósseis brasileiros. *Revista Universidade Guarulhos - Geociências*, v. 9, n. 8, p. 54-68, 2004.

CAMPBELL, D.F., 1949. Revised report on the reconnaissance geology of the Maranhão Basin (No. 7), Relatório Interno da Petrobras n° 7. Belém.

CARVALHO, I. S.; AVILA, L. S. & SALGADO, L. *Amazonasaurus maranhensis* gen. et sp. nov. (Sauropoda, Diplodocoidae) from the Lower Cretaceous (Aptian-Albian) of Brazil. *Cretaceous Research*, 24: 697-713, 2003.

CLADERA, G., RUIGOMEZ, E., ORTIZ-JAUREGUIZAR, E., BOND, M., LÓPEZ, G., 2004. *Tafonomía de la Gran Hondonada (Formación Sarmiento, Edad-Mamífero Mustersenses, Eoceno Medio), Chubut, Argentina. Ameghiniana*, v. 41, p. 315-330.

CORRÊA-MARTINS, F. J. A Laje do Coringa: um bone-bed da Formação Itapecuru (Cretáceo Superior da Bacia de São Luís - MA). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 60, n. 3, p. 436-437, 1997.

CROFT D.J., PYE K. 2004. Colour theory and evaluation of an instrumental method of measurement using geological samples for forensic applications. In: Pye, K., Croft, D.J. (Eds.), *Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications*. Geological Society Special Publications 232: 49-62.

DANTAS, C. C. 2017. Análise tafonômica de ossos de mamíferos marinhos provenientes de encalhes no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte no semi-árido nordestino, Brasil. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Mossoró, 51p.

MENDES, D. C. S. Dentes de terópodes associados a restos esqueléticos de diplodocóide no Cretáceo superior do Nordeste do Brasil. Monografia (Curso de Ciências Biológicas) Universidade Estadual do Maranhão. São Luís. 2018.

DODSON, P. 1973. The significance of small bones in paleobiological interpretation. *Contributions to Geology*, 12:13-19.

FERNÁNDEZ-JALVO, Y.; ANDREWS, P. Linear marks. In: DELSON, E.; SARGIS, E. J. (Eds.), *Atlas of taphonomic identifications*. Dordrecht: Springer, 2016, p. 25 – 100.

FRISON, G. C.; TODD, L. C. 1988. Taphonomic study of the Colby Site mammoth bones. In: FRISON, G. C. *The Colby Mammoth Site: Taphonomy and Archaeology of a Clovis Kill in Northern Wyoming*. Albuquerque: University of New Mexico Press, 1988.

GUEDES, A., & VALENTIM, B. (2014). Dados geológicos em ciências forenses. Proveniência da materiais geológicos: abordagem sobre o Quaternário de Portugal, 269-279.

HANSON, C. Bruce; BEHRENSMEYER, A. K.; HILL, A. P. Fluvial taphonomic processes: models and experiments. *Fossils in the making: Vertebrate taphonomy and paleoecology*, p. 156-181, 1980.

HOLZ, M. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system—an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, v. 182, n. 3-4, p. 305-331, 2003.

HOLZ, M. & SIMÕES, M. G. 2002. *Elementos fundamentais de tafonomia*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231 p.

HUTSON, J.M., 2012. Neotaphonomic measures of carnivore serial predation at Ngamo Pan as an analog for interpreting open-air faunal assemblages. *Journal of Archaeological Science* 39, 440–457.

KAISER, T.M. 2000. Proposed fossil insect modification to fossil Mammalian bone from Plio-Pleistocene hominid-bearing deposits of Laetoli (Northern Tanzania). *Annals of the Entomological Society of America*, 93(4):693-700.

KIDWELL, S.M; JABLONSKI, D. 1983. Taphonomic Feedback Ecological Consequences of Shell Accumulation. In: Tevesz, M.J.S; McCall, P. L. ed. *Biotic Interactions in Recent and Fossil Benthic Communities*. Springer, 195-235.

KIDWELL, S. M.; FÜRSICH, F. T. & AIGNER, T. 1986. Conceptual framework for the analysis of fossil concentrations. *Palaios*, 1: 228-238.

KLEIN, V. C. & FERREIRA, C. S. Paleontologia e estratigrafia de uma fácies estuarina da Formação Itapecurú, Estado do Maranhão. *Anais. Academia. Brasileira. Ciências*. v. 51, p. 623-633, 1979.

LAUDET, F. & ANTOINE, P.O. 2004. Des chambres de pupation de Dermestidae (Insecta: Coleoptera) sur un os de mammifère tertiaire (phosphorites du Quercy): Implications taphonomiques et paléoenvironnementales. *Geobios*, 37:376-381.

LINDOSO, R. M., MEDEIROS, M. A. A., DE SOUZA CARVALHO, I., PEREIRA, A. A., MENDES, I. D., IORI, F. V., SOUSA, E. P., ARCANJO, S. H. S., SILVA, T. C. M. (2019). A new rebbachisaurid (Sauroptoda: Diplodocoidae) from the middle Cretaceous of northern Brazil. *Cretaceous Research*, 104, 104191.

LYMAN, R. L. Quantitative units and terminology in zooarchaeology. *American Antiquity*, v. 59, n. 1, p. 36-71, 1994.

MYERS, T., STORRS, G.W., 2007. Taphonomy of the Mother's Day Quarry, Upper Jurassic Morrison Formation, South-Central Montana.

MEDEIROS, M. A. A laje do Coringa (Ilha do Cajual, baía de São Luís bacia de São Marcos, MA): Conteúdo fossilífero, bioestratigrafia, diagênese e implicações na paleobiogeografia do Mesocretáceo do Nordeste brasileiro. 2001.137p. Tese de Doutorado- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. Porto Alegre 2001. Programa de Pós- Graduação em Geociências.

MEDEIROS, M. A. & VILAS BOAS, I. Ocorrência de uma paleocomunidade continental do Cenomaniano (Cretáceo Superior) do Nordeste do Brasil. In: JORNADAS ARGENTINAS DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 15, 1999, La Plata. Resúmenes, La Plata, UNLP, 1999. p. 18.

MEDEIROS, M. A.; SCHULTZ, C. L. Uma paleocomunidade de vertebrados do Cretáceo Médio, baía de São Luís. In: ROSSETTI, D. F., GÔES, A. M. & TRUCKENBRODT, W. (eds.) O Cretáceo na Bacia de São Luís – Grajaú: Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001, p. 209-221.

MEDEIROS, M. A.; SCHULTZ, C. L. A fauna dinossauriana da Laje do Coringa, Cretáceo médio do Nordeste do Brasil. Arquivos do Museu Nacional, 2002. n. 60, v. 3, p. 155-162.

MEDEIROS, M. A.; SCHULTZ, C. L. Rayosaurus (Sauropoda, Diplodocidae) no meso-Cretáceo do nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Paleontologia, v. 7, n. 2, p. 255-279, 2004.

MEDEIROS, M. A.; DAL'BÓ, P. F.; LINDOSO, R. M. & CARVALHO, I. S. Vertebrate Fauna and Environmental Interpretation of the Itapecuru and Alcântara Formations (Early-late Cretaceous of the Parnaíba and São Luís Basins). In: INTERNATIONAL PALAEONTOLOGICAL CONGRESS, 4., 2014a. MENDOZA. Resúmenes. Mendoza: CONICET, 2014a. p. 752.

MEDEIROS, M.A.; MARTINS, F.C.; SILVA JR., F.R.; PONTES, H.; VILAS BOAS, I. 1996. A laje do Coringa (Ilha do Cajual, Maranhão): depósitos conglomeráticos fossilíferos contendo restos de dinossauros. Revista de Geologia, v. 9, p. 123-129.

MEDEIROS, M. A.; SOMMER, M. G.; MARCON, G. G. Fósseis como Indicadores Paleoclimáticos para o Eocenomaniano da Bacia de São Luís-Grajaú. In: CARVALHO et al., Paleontologia Cenários de Vida- Paleoclimas Interdisciplina, 2014b. p. 155-164.

MEDEIROS, M. A., ARCANJO, S. H., DE SOUZA CARVALHO, I., PEREIRA, A. A., LINDOSO, R. M., & MENDES, I. D. (2015). Nova ocorrência de Diplodocoidea na Bacia de São Luís (Cretáceo, Cenomaniano), norte do Maranhão. In 14º Simpósio de Geologia da Amazônia. Marabá. p. 1-4.

MESNER, J. C.; WOOLDRIDGE, P. Estratigrafia das bacias paleozóica e cretácica do Maranhão. Boletim Técnico da PETROBRAS. Rio de Janeiro. V. 7, p. 137-164, 1964.

MILLER, KEITH B.; BRETT, CARLTON E.; PARSONS, KARLA M. The paleoecologic significance of storm-generated disturbance within a Middle Devonian muddy epiclastic sea. *Pelagos*, p. 35-52, 1988.

MUNSELL, C. Geological rock-color chart. Geological Society of America (GSA), 2009.

MURRAY R.C. 2011. Evidence from the Earth: Forensic Geology and Criminal Investigation, Second Edition. Mountain Press, Missoula.

MUSSA, D.; CARVALHO, I. S.; MARTINS, F. J. C. & ZUCCOLOTO, M. E. *Paradoxa* Himmer, 1827, o caule de *Welchella* Stahler, 1857 presentes no Cretáceo da bacia de São Luís, Estado do Maranhão, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, São Paulo, v. 5, n.8, p. 60-70, 2000.

PAZ, J.D., ROSSETTI, D.F., 2001. Reconstrução paleoambiental da Formação Codó (Aptiano), borda leste da Bacia do Grajaú, MA. In: Rossetti, D. de F., Goes, A.M., Truckenbrodt, W. (Eds.), *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friedrich Katzer, Belém, Brasil, pp. 77 - 100.

PEDRÃO, E.; ARAI, M.; BARRILARI, I.M.R. & CARVALHO, I.S. 1993. Análise palinológica de uma amostra de superfície de Quemu (Formação Itapecuru), Município de Itapecuru-Mirim - MA. Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, 11 p. (Relatório Técnico).

PEREIRA, M. G.; RAVELLI, A. N.; DOS ANJOS, L. H. C.; CEDDIA, M. B.; SCHULTZ, N.. *Práticas de Morfologia e Física do Solo. Seropédica – RJ: UFRRJ*, 2020.

RODRIGUES, J. O.; LOVATO, O. G.; CAYE, B. R. Contribuição à estratigrafia da Folha São Luís (AS.23-Z-A)/MA. In: 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, Anais, p.124-135. Suporte financeiro: UFMA, UFRJ, CNPq, FAPERJ, FAPEMA, SECMA, 1990.

ROSSETTI, D. F. Internal architecture of mixed tide-and storm-influenced deposits: an example from the Alcântara Formation, Northern Brazil. *Sedimentary Geology*, London, v. 114, p. 163-188. 1987.

ROSSETTI, D. F. Evidência de atividade sísmica almedimentar em depósitos cretácicos da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém: Ed. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001a. p. 47-66. (Friedrich Katzer).

ROSSETTI, D. F. Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Ed.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém: Ed. Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001b. p. 31-46. (Friedrich Katzer).

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W. Revisão estratigráfica para os depósitos do AlbiãoTerciário Inferior (?) na Bacia de São Luís (MA), Norte do Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, v. 8, p. 29-41. 1987.

SANTOS, M. F. C. F.; BERGQVIST, L. P.; LIMA-FILHO, F. P.; PEREIRA, M. M. V. 2002. Feições tafonômicas observadas em fósseis pleistocênicos do Rio Grande do Norte. *Revista de Geologia*, v. 15, n. 3, 2002.

SANTOS, M. E. D. C. M., & DE CARVALHO, M. S. S. (2008). *Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís* (p. 211). CPRM Serviço Geológico do Brasil.

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

SHIPMAN, P.; BOSLER, W.; DAVIS, K. L. Butchering of giant geladas at an Acheulian site. *Current Anthropology*, [S.l.], v. 48, p. 77 – 88, 1981.

SILVA JR, F.R.; ANDREIS, R.R. 1997. O "Bone-bed" da laje do Coringa, Ilha do Cajual, estado do Maranhão, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 16, São Pedro, Boletim ..., São Pedro: SBP, 1997, p. 102.

SIMÕES, M. G., & KOWALEWSKI, M. (1998a). Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Facies*, 38, 175-195.

SIMÕES, M. G., & KOWALEWSKI, M. (1998b). Genetic complexity and geobiological implications of simple shell beds: An example from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Journal of African Earth Sciences*, 27(1), 178-179.

SIMÕES, M. G.; RODRIGUES, S. C.; BERTONI-MACHADO, C. & HOLZ, M. 2010. Tafonomia: Processos e ambientes de fossilização, 19-51. In: Carvalho, I. S. (Ed). *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Interciência, Vol 1, 756p.

SIMÕES, M. G.; RODRIGUES, S. C.; LEME, J. M. & VAN ITEN, H. 2003. Some Middle Paleozoic conularids (Cnidaria) as possible examples of taphonomic artifacts. *Journal of Taphonomy*, 1: 165-186.

SINIBALDI, R. W. What Your Fossils Can Tell You: Vertebrate Morphology, Pathology, and Cultural Modification. University Press of Florida, 2021.

SUGITA R., MARUMO Y. 1996. Validity of color examination for forensic soil identification. *Forensic Science International* 83: 201-210.

VOORHIES, M. R. (1988). Taphonomy and populations dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox County, Nebraska. *Contrib. Geol.* 1, 1-69. doi: 10.2113/gserocky.8.special_paper_1.1

XING, L.; ROBERTS, E. M.; HARRIS, J. D.; GINGRAS, M. K.; RAN, H.; ZHANG, J.; XU, X.; BURNS, M. E.; DONG, Z. (2013) Novel insect traces on a dinosaur skeleton from the Lower Jurassic Lufeng Formation of China. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. Volume 388, p. 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.paleo.2013.07.028>.