

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SAÚDE
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANDREIA SABINO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DOS CALCRETES DA COLEÇÃO DE PALEOVERTEBRADOS DO
SETOR DE PALEONTOLOGIA DO MHN-UFAL, COM FOCO EM FÓSSEIS DE
TOXODON SP.**

Maceió
2025

ANDREIA SABINO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DOS CALCRETES DA COLEÇÃO DE PALEOVERTEBRADOS DO
SETOR DE PALEONTOLOGIA DO MHN-UFAL, COM FOCO EM FÓSSEIS DE
*TOXODON SP.***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas Bacharelado da
Universidade Federal de Alagoas como um
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Lopes da
Silva

Maceió
2025

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

O48e Oliveira, Andreia Sabino de.

Estudo dos calcretes da coleção de paleovertebrados do setor de paleontologia do MHN-UFAL, com foco em fósseis de *Toxodon* sp / Andreia Sabino de Oliveira. – 2025.
40 f. : il. color.

Orientador: Jorge Luiz Lopes da Silva.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Ciências Biológicas: Bacharelado) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 37-40.

1. Depósitos fossilíferos – Semiárido alagoano. 2. Calcetres. 3. *Toxodon* sp.
I. Título.

CDU: 57 : 56

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANDREIA SABINO DE OLIVEIRA

ESTUDO DOS CALCCRETES DA COLEÇÃO DE PALEOVERTEBRADOS DO SETOR DE PALEONTOLOGIA DO MHN-UFAL, COM FOCO EM FÓSSEIS DE *TOXODON SP.*

Trabalho de conclusão de curso submetido
à banca examinadora do curso de
Bacharelado em Ciências Biológicas da
Universidade Federal de Alagoas aprovada
em 06 de maio de 2025.

Orientador - Prof. Dr. Jorge Luiz Lopes da Silva
Universidade Federal de Alagoas

Banca examinadora:

Examinadora Externa – Prof^a. Dr^a. Ana Paula Lopes da Silva
Universidade Federal de Alagoas

Examinador Interno – Prof. Dr. Renato Gaban Lima
Universidade Federal de Alagoas

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, por me conceder a oportunidade de vivenciar este momento. Diante de tantas dificuldades enfrentadas ao longo da minha trajetória acadêmica, foi Ele quem me manteve firme e tornou possível a realização desse grande sonho.

À minha família, em especial à minha mãe Maria José Genú e ao meu pai Manoel Sabino, pelo apoio e incentivo em todo o processo, não tenho palavras para descrever minha gratidão, vocês foram e sempre serão o motivo pelo qual não desisto dos meus sonhos.

À Silvanaide Anjos, minha eterna gratidão. Seu apoio foi fundamental para que eu continuasse acreditando nos meus sonhos. Nos momentos mais difíceis, sua presença, seus conselhos e seu incentivo me deram força para seguir em frente. Obrigada por acreditar em mim e por ser um dos maiores motivos para eu alcançar a minha tão sonhada formação.

Ao Prof. Dr. Jorge Luiz Lopes da Silva, do Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Alagoas, pela orientação, apoio, paciência e oportunidades oferecidas. Sua orientação foi fundamental não apenas para o desenvolvimento deste trabalho, mas também para meu crescimento profissional e pessoal. E à Profa. Dra. Ana Paula Lopes da Silva, pelo aprendizado e apoio.

Existem pessoas que cruzam o nosso caminho e tornam cada passo mais leve, cada desafio mais possível. Assim foi Adrícia Rotondaro para mim: amiga, parceira incansável de graduação, de estágios, de laboratório e de tantas viagens inesquecíveis. Sua presença me trouxe segurança nos momentos difíceis e, mais do que dividir o caminho, ela dividiu sonhos, medos e conquistas, fazendo de cada momento uma lembrança preciosa. À Adrícia, minha eterna gratidão e o carinho de quem leva para a vida uma amizade construída na cumplicidade e na superação. E à Julianny Soares, também minha eterna gratidão, por ter sido amiga, parceira e apoio em tantos momentos. Ambas foram essenciais para que essa caminhada se tornasse possível.

Aos meus amigos de graduação Jennifer Lorrane, Lavínea Carneiro, Mirele Santos, Fabiola Santana, Rose Avelino, Adriana Santos, Vitória França, Edjane Nascimento e Gabriel Nascimento, por todos os momentos compartilhados; e a todos os colegas que, de alguma forma, fizeram parte da minha trajetória. Como também, à minha amiga Valdenia Rodrigues, do Laboratório de Geologia da Universidade Federal de Alagoas, pela amizade, pelo apoio e por tornar as manhãs mais leves com nossos cafés compartilhados.

À Ana Ribeiro, técnica do Laboratório de Caracterização e Microscopia de Materiais do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas, pela realização das análises do DRX e EDX, essenciais para este trabalho. Como também, ao Johnson Sarmiento, que foi essencial para a análise dos dados do trabalho.

Ao Museu de História Natural, por todas as experiências vividas lá e pela oportunidade de fazer parte de um ambiente tão enriquecedor, que contribuiu imensamente para minha formação pessoal e profissional.

A todos dos Laboratórios Integrados de Paleontologia e Espeleologia (LIPE), da Universidade Federal da Alagoas.

A todos que contribuíram e torceram por esta conquista, o meu muito obrigada!

RESUMO

A região semiárida de Alagoas apresenta uma significativa ocorrência de depósitos fossilíferos, que podem conter restos da megafauna pleistocênica, assim como conglomerados em fundo de tanques fossilíferos denominados de calcrete. O material analisado neste estudo inclui quatro dentes fragmentados, uma mandíbula fragmentada com dois dentes, um calcâneo incompleto de *Toxodon* sp. e o cimento de um do bloco de calcrete da cidade de Cacimbinha – Alagoas. Os blocos de calcrete foram coletados no ano de 2001, se encontram depositados no acervo de paleovertebrados do Setor de Paleontologia do Museu de Historia Natural da Universidade Federal de Alagoas (SPMHNUFAL). O estudo consistiu na separação dos blocos de calcrete, retirada e limpeza dos fosseis, quando tratava-se do gênero *Toxodon* sp. além da realização de análises por Difractometria de Raios X (RDX) e Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDX). Dos nove blocos de calcrete analisados, foram encontrados quatro dentes, um fragmento de mandíbula com dois dentes ainda articulados e um calcâneo parcialmente preservado de *Toxodon* sp. Os demais blocos, ainda não analisados, serão utilizados em estudos posteriores. As análises do cimento calcífero/siliciclástico apresentaram resultados que corroboram com as hipóteses sugeridas para a extinção da megafauna, pois demonstram uma mudança de clima mais úmido para o regime de semiaridez no nordeste brasileiro. Os resultados das análises de EDX e RDX sustentam essa hipótese, pois o tipo de cimentação dos calcretes é tipicamente formado pela precipitação dos minerais do grupo dos carbonatos e silicatos. Que representam ambientes de maior umidade mudando para ambientes de maior aridez.

Palavras-chave: semiárido alagoano; depósitos fossilíferos; toxodonte; Pleistoceno; conglomerado.

ABSTRACT

The semi-arid region of Alagoas presents a significant occurrence of fossiliferous deposits, which may contain remains of the Pleistocene megafauna, as well as conglomerates at the bottom of fossiliferous tanks called calcrete. The material analyzed in this study includes four fragmented teeth, a fragmented mandible with two teeth, an incomplete calcaneus of *Toxodon* sp., and the cement from a calcrete block from the city of Cacimbinha – Alagoas. The calcrete blocks were collected in 2001 and are deposited in the paleovertebrate collection of the Paleontology Sector of the Natural History Museum of the Federal University of Alagoas (SPMHNUFAL). The study consisted of separating the calcrete blocks, removing and cleaning the fossils (in the case of the genus *Toxodon* sp.), as well as performing analyses by X-ray Diffraction (XRD) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). From the nine calcrete blocks analyzed, four teeth, a fragment of a mandible with two still-articulated teeth, and a partially preserved calcaneus of *Toxodon* sp. were found. The remaining blocks, not yet analyzed, will be used in future studies. The analyses of the calcareous/siliciclastic cement presented results that corroborate the hypotheses suggested for the extinction of the megafauna, as they demonstrate a change from a more humid climate to a semi-arid regime in northeastern Brazil. The results of the EDS and XRD analyses support this hypothesis, as the type of cementation of the calcretes is typically formed by the precipitation of minerals from the carbonate and silicate groups, which represent environments transitioning from higher humidity to greater aridity.

Keywords: Alagoan semi-arid; fossiliferous deposits; toxodont; Pleistocene; conglomerate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Afloramento rochoso evidenciando fraturas e quebras por ação do intemperismo físico.....	13
Figura 2 – Afloramento rochoso evidenciando o registo do Intemperismo químico.....	14
Figura 3 – Tanque no município de Maravilha (AL) onde foram encontrados fósseis de mamíferos pleistocênicos.....	15
Figura 4 – Bloco concrecionado formando o que se denomina de Calcrete. As setas indicam os fósseis (vermelha); fragmentos de rochas (azul) e o cimento (verde).....	17
Figura 5 – Paleontografia do Gênero <i>Toxodon</i> sp.....	19
Figura 6 – Reconstituição de um <i>Toxodon platensis</i> , baseado no esqueleto completo do espécime Argentino.....	19
Figura 7 – Localização da área de estudo dos municípios de Maravilha e Cacimbinhas, Alagoas.....	21
Figura 8 – Vegetação típica da Caatinga. (A) <i>Chorisia</i> sp (barriguda) Caatinga hipoxerófila; (B) <i>Cereus jamacaru</i> (mandacaru) Caatinga hiperxerófila.....	23
Figura 9 – Remoção do fóssil com o auxílio da caneta de alta rotação.....	24
Figura 10 – <i>Toxodon</i> sp. Dentes molariformes fragmentados. (A) SPMHNUFAL-2405-V. Escala: 6,5 cm; (B) SPMHNUFAL-2432-V. Escala: 8,5 cm; (C) SPMHNUFAL-2433-V. Escala: 7,7 cm; (D) SPMHNUFAL-2435-V. Escala: 4cm.....	30
Figura 11 – <i>Toxodon</i> sp. Fragmento de mandíbula com dois dentes. SPMHNUFAL-2437-V. Escala: 13 cm.....	31
Figura 12 – <i>Toxodon</i> sp. Fragmento de calcâneo. SPMHNUFAL-2439-V. Escala: 10,5 cm.....	32
Figura 13 – Bloco de calcrete com grãos de quartzo e fósseis da megafauna da cidade de Cacimbinhas/AL. Escala: 30 cm.....	32
Figura 14 – Difratoograma de raios-X da amostra AM1_C de Cacimbinhas.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espécimes fósseis do gênero <i>Toxodon</i> sp. dos sítios Paleontológicos das cidades de Maravilha e Cacimbinhas do estado de Alagoas.....	28
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Intemperismo.....	12
2.2	Depósitos fossilíferos do tipo Tanque	15
2.3	Os Calcretes	16
2.4	O Gênero <i>Toxodon</i>	18
3	METODOLOGIA	21
3.1	Área de estudo	21
3.2	Clima.....	22
3.3	Vegetação	22
3.4	Trabalho em laboratório	24
4	RESULTADOS e DISCUSSÕES	27
4.1	Sistemática dos espécimes fósseis.....	27
4.2	Descrição dos blocos de Calcrete de Cacimbinhas (AL).....	32
4.3	Resultado e interpretação da análise por RDX.....	33
4.4	Resultado e interpretação da análise de EDX.....	34
5	CONCLUSÃO.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida do estado de Alagoas possui consideráveis ocorrências de depósitos fossilíferos, denominados de tanques, que são depressões naturais sobre as rochas do embasamento cristalino e/ou sedimentar preenchidas por sedimentos e restos de mamíferos da megafauna pleistocênica (Lima, 2014). Nesses depósitos de tanques também podem ser encontradas concreções formadas por um cimento de sílica e carbonato de cálcio, denominados como calcrete, contendo grãos de quartzo e principalmente bioclastos associados (Silva, 2008).

Os calcretes ou caliches ocorrem principalmente em ambientes áridos e semiáridos, tendo sua origem relacionada a períodos de não sedimentação, onde os sedimentos e as rochas sofrem os efeitos de agentes intempéricos da exposição subaérea. Além disso, os calcretes não são restritos a perfis de solo, podendo ocorrer abaixo da zona de formação de solo, mas dentro da zona vadosa, na franja capilar ou abaixo do nível d'água, formando calcretes freáticos (Santos, 2019). Nesses conglomerados de calcretes podem ser encontrados vários tipos de fósseis de mamíferos da megafauna pleistocênica, preservados inteiros ou muito fragmentados, que incluem, principalmente, restos das preguiças terrícolas, mastodontes e toxodontes.

O estudo dos calcretes nos depósitos de tanques em Alagoas se configura como uma das ferramentas para o conhecimento sobre a conservação dos fósseis de mamíferos pleistocênicos, do paleoclima e do paleoambiente no estado, pois os estudos anteriores apenas citam os depósitos de tanques fossilíferos onde foram encontrados este cimento, também, carbonático. Tendo em vista a ausência de trabalhos desenvolvidos sobre *Toxodon* em calcrete nos depósitos fossilíferos do semiárido alagoano, este trabalho visa remover os fósseis dos blocos de calcrete com o intuito de gerar um conhecimento sobre o nível de conservação dos fósseis da megafauna pleistocênica, com foco no Gênero *Toxodon*.

Diante do exposto, justifica-se a necessidade de estudos nos depósitos fossilíferos da região semiárida do estado de Alagoas, pois são escassos os estudos sobre os calcretes encontrados no fundo dos tanques, e sobre a diagênese dos mesmos e dos fósseis dos mamíferos encontrados nesse cimento silicoso e carbonático. O estudo desses fósseis contribui para o entendimento sobre o

paleoclima e o paleoambiente da região no Pleistoceno, porém, são poucos os trabalhos realizados com abordagem de reconstrução paleoambiental. Desta forma, os dados adquiridos nesta pesquisa poderão contribuir para a compreensão da formação dos depósitos de tanques durante o Pleistoceno e seu conteúdo fossilífero.

Esse trabalho tem como objetivo principal realizar a remoção de fósseis do mamífero *Toxodon* nos blocos de calcrete depositados na coleção do Setor de Paleontologia do Museu de História Natural da Universidade Federal de Alagoas, Como também identificar nestas concreções presença de estruturas anatômicas pertencentes ao gênero *Toxodon*; preparar em laboratório os espécimes fósseis retirados dos calcretes, descrever tafonomicamente o grau de conservação dos ossos nas concreções, submeter amostras de calcretes para análises por EDX e RDX para identificação do cimento dos blocos de calcretes.

O trabalho está organizado em três capítulos. O primeiro capítulo apresenta os referenciais teóricos sobre intemperismo, tanques, formação do calcrete e o táxon *Toxodon* sp. O segundo capítulo descreve a metodologia utilizada e a descrição da área de estudo. Por fim, o terceiro capítulo apresenta os resultados e a discussão do mesmo, seguido das considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ossos de mamíferos do Pleistoceno são os principais fósseis depositados no acervo de paleovertebrados do Setor de Paleontologia do MHN-UFAL, com um significativo número de espécimes encontrados em calcretes. Uma pergunta importante sobre os calcretes é: como são gerados? Para entendê-los importante é seguir todo o processo, começando pelo intemperismo.

2.1 Intemperismo

Intemperismo ou meteorização é um conjunto de processos físicos e químicos que alteram as rochas quando ficam expostas na superfície terrestre (Branco, 2014). Esses processos de desagregação e decomposição das rochas ou sedimentos por intemperismo ocorrem devido à interação entre litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera (Toledo, 2014).

O intemperismo pode ser classificado de acordo com as modificações nas propriedades físicas e químicas dos minerais e rochas. Essas alterações podem ser físicas (intemperismo físico), químicos (intemperismo químico) ou também biológicos (intemperismo biológico), como citado por, Branco (2014).

Intemperismo físico ou mecânico envolve a alteração das rochas sem mudanças químicas na composição desses materiais (Figura 1). É influenciado, sobretudo, pela variação de temperatura, congelamento e de pressão. Esse processo pode auxiliar na aceleração do intemperismo químico, pois é responsável por aumentar a sua superfície específica (Logicambiental, 2016).

Esse tipo de fragmentação e desagregação do intemperismo físico acaba facilitando a entrada da água da chuva na rocha, a presença da água no estado líquido, em contato com as rochas promove reações químicas e podem causar o chamado intemperismo químico (Branco, 2014).

Figura 1 - Afloramento rochoso evidenciando fraturas e quebras por ação do intemperismo físico.

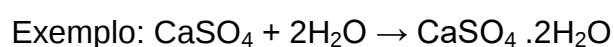


Fonte: Arruda *et al.*, 2023.

O intemperismo químico envolve reações químicas diversas, onde entre os principais agentes temos a água, o oxigênio e o gás carbônico atuando isolada ou simultaneamente e determinando modificações químicas nos componentes mineralógicos das rochas (Figura 2). O resultado das reações será a formação de minerais secundários que constituem as formações superficiais (Oliveira, 2020).

As principais reações que ocorrem no intemperismo químico são: hidratação, dissolução, hidrólise, oxidação e acidólise.

Hidratação ocorre à adesão da água na estrutura de um mineral que pode formar um novo constituinte. Por exemplo, a anidrita (sulfato de cálcio) transforma-se em outro mineral, o gipso, pela entrada de H_2O em sua estrutura cristalina (Toledo, 2014).



A dissolução acontece quando um mineral é solubilizado pela ação de um ácido. Em água relativamente pura, esse processo pode ser limitado, não promovendo a dissolução completa do mineral. No entanto, quando a água contém

dióxido de carbono (CO_2) dissolvido, formando ácido carbônico, a acidez resultante pode favorecer a dissolução total do constituinte mineral (Logicambiental, 2016).

Exemplo: CaCO_3 (calcita) + H^+ + HCO_3^- à $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (bicarbonato de sódio).

Figura 2 - Afloramento rochoso evidenciando o registro do Intemperismo químico.



Fonte: Javageology, 2025.

A Hidrólise é uma reação química em que a molécula de água interage com outra substância, resultando na quebra de suas ligações químicas. Nesse processo, a água se separa em íons H^+ e OH^- , os quais interagem com os fragmentos da substância-alvo, dando origem a novos compostos (Cosme, 2025).

Exemplo: KAlSi_3O_8 (K feldspato) + H^+ + OH^- à $\text{H}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ + K^+ + OH^-

A oxidação ocorre quando minerais reagem com o oxigênio, alterando o estado de oxidação de seus elementos constituintes. Esse processo pode causar a perda da estrutura cristalina original do mineral. É comum em rochas que contêm ferro na forma de Fe^{2+} (ferro ferroso), que se oxida para Fe^{3+} (ferro férrico), originando minerais secundários, como os óxidos (Manfredini, 2016).

Exemplo: Fe_2SiO_4 (Fe-olivina) + $1/2\text{O}_2$ + $2\text{H}_2\text{O}$ à Fe_2O_3 (hematita) + H_4SiO_4

A Acidólise ocorre em ambientes de clima frio, onde a decomposição da matéria orgânica pode ser incompleta, resultando na formação de ácidos orgânicos. Esses ácidos reduzem o pH da água para valores inferiores a 5, favorecendo a solubilização de minerais como Fe e o Al (Logicambiental, 2016).

Exemplo: KAlSi_3O_8 (K feldspato) + 4H^+ + $4\text{H}_2\text{O}$ à $3\text{H}_4\text{SiO}_4$ + Al^{3+} + K^+ .

É a ação em conjunto das duas formas de intemperismos associados aos processos erosivos que forma as depressões nas rochas do embasamento no semiárido do Nordeste, chamadas de tanques.

2.2 Depósitos fossilíferos do tipo Tanque

Desde a metade do século XIX, os tanques naturais do Nordeste se tornaram feições de grande importância em termos paleontológicos. No entanto, desde a década de 1990 os estudos relacionados à origem e morfologia dessas depressões naturais encontram-se estagnados (Waldherr; Araújo-júnior; Rodrigues, 2017).

Os tanques naturais (Figura 3) são importantes feições geomorfológicas que ocorrem em todo Nordeste brasileiro e consistem em depressões produzidas por intemperismo físico-químico em rochas cristalinas durante o Quaternário (Araújo-júnior, 2016).

Figura 3 - Tanque no município de Maravilha (AL) onde foram encontrados fósseis de mamíferos pleistocênicos.



Fonte: Da autora, 2024.

Essas depressões possuem poucos metros de profundidade e na maioria das vezes de formas ocelar, ovalada ou circular nas rochas do embasamento cristalino, geralmente de natureza granítica, que foram preenchidas por sedimentos no final do Pleistoceno (Silva, 2001). O preenchimento desses tanques ocorreu por meio da desagregação mecânica e química das rochas encaixantes e do transporte de material através de chuvas (Alves, 2007).

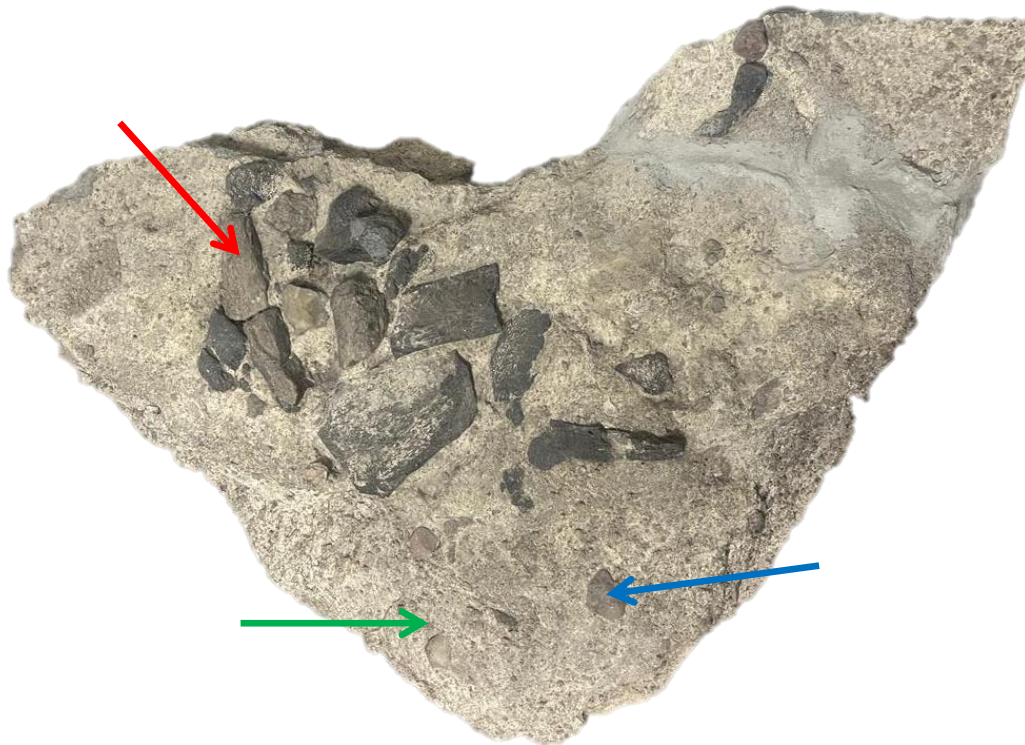
Existem alguns termos encontrados na literatura para se referir a essas depressões, como depressões de intemperismo, marmitas (caldeirões), painéis de intemperismo, gnamas e cacimbas (Ximenes, 2008). Entretanto, o termo tanque é o mais utilizado atualmente na região do Nordeste do Brasil, para se referir tanto às feições naturais desenvolvidas no substrato granítico-gnáissico ou ocasionalmente em rochas sedimentares (Waldherr *et al.*, 2019).

Os tanques, as cacimbas e os caldeirões são depressões topográficas de origens diferentes (Ximenes, 2008). No caso das cacimbas, não é uma feição natural, mas sim o resultado da ação humana, que consistem em qualquer depressão contendo água, independente da natureza da rocha cristalina ou depósitos sedimentares (Silva, 2008). No interior dessas depressões, espécimes fósseis podem ser encontrados isolados, apenas, envolvidos pelo sedimento que os recobre ou presos em uma massa compacta, formando conglomerados ou brechas, cimentada por sílica, carbonatos ou ambos, denominados de calcrete.

2.3 Os Calcretes

Calcretes são acumulações terrestres próximas à superfície, composta principalmente por carbonato de cálcio (CaCO_3), ocorrendo sob uma variedade de formas, desde pulverulentas, nodulares e altamente endurecidas (Figura 4). Esses conglomerados são consequência de cimentação, deslocamento e substituição de carbonato de cálcio em perfis de solo, rochas e sedimentos em áreas vadasas e freáticas rasas, onde a água subterrânea se torna saturada em carbonato de cálcio. (Wright; Tucker, 1991).

Figura 4 - Bloco concrecionado formando o que se denomina de Calcrete. As setas indicam os fósseis (vermelha); fragmentos de rochas (azul) e o cimento (verde).



Fonte: Da autora, 2024.

Os calcretes são comuns em regiões áridas e semiáridas, bem como em áreas de clima subúmida com estação seca. Têm sido usados como indicadores paleoambientais em sucessões aluviais, especialmente para o entendimento das flutuações na zona vadosa e freática (Cunha, 2011). Sendo que sua gênese é controlada por diversos fatores como: biogênicos, climáticos, composição das águas das chuvas, os movimentos e as características das águas subterrâneas, processos sedimentares, duração da exposição subaérea, tectonismo, dentre outros fatores (Wright, 2007).

Os calcretes representam um dos tipos de carbonatos continentais que têm recebido grande atenção de cientistas de diversas áreas, como a geomorfologia, pedologia e sedimentologia, nas últimas décadas. O crescente interesse em estudá-los vem através da sua grande distribuição, pois se estima que esses solos cobrem 13% da superfície terrestre atual, na Austrália, os calcretes ocupam 21% da superfície terrestre, mas este número pode incluir formas não pedogênicas (Alonso-Zarza; Wrigth, 2010).

Em relação ao ambiente de formação, os calcretes são divididos em dois tipos. Os calcretes pedogênicos são originados na zona de alteração meteórica vadosa, formam frequentemente perfis bem desenvolvidos e apresentam diversas feições resultantes do ambiente preenchido por água e ar. Já os calcretes freáticos são originados na zona de alteração freática ou na zona de transição e apresentam feições relacionadas ao ambiente totalmente preenchido por água, tais como perfis menos desenvolvidos e falta de feições biológicas (Wright; Tucker, 1991).

Na classificação dos calcretes podemos utilizar vários critérios. Classificações descritivas consideram a mineralogia e a morfologia. Uma diferenciação fundamental entre os tipos de calcretes é que o pedogênicos deve sua origem à adição ou redistribuição de carbonato de cálcio associado a processos eluviais/iluviais, enquanto os freáticos são originados devido à precipitação a partir de águas subterrâneas (Borges, 2016).

Nos calcretes encontrados nos tanques em Alagoas, fósseis de mamíferos pleistocênicos são geralmente encontrados fragmentados. No entanto, partes anatômicas menores podem estar preservadas inteiras, como os dentes que se destacam por sua resistência, como por exemplo, os dentes do gênero *Toxodon* sp.

2.4 O Gênero *Toxodon*

Durante sua viagem à América do Sul, em 1833, Charles Darwin encontrou o primeiro fóssil do mamífero que posteriormente seria denominado *Toxodon* por Richard Owen (Figura 5). Pois, ao analisar os dentes do animal observou sua característica mais significativa: os “dentes arqueados”. Ambos os naturalistas ficaram bastante impressionados com esse achado, visto que reunia uma combinação única de características de distintos mamíferos (Almeida, 2024).

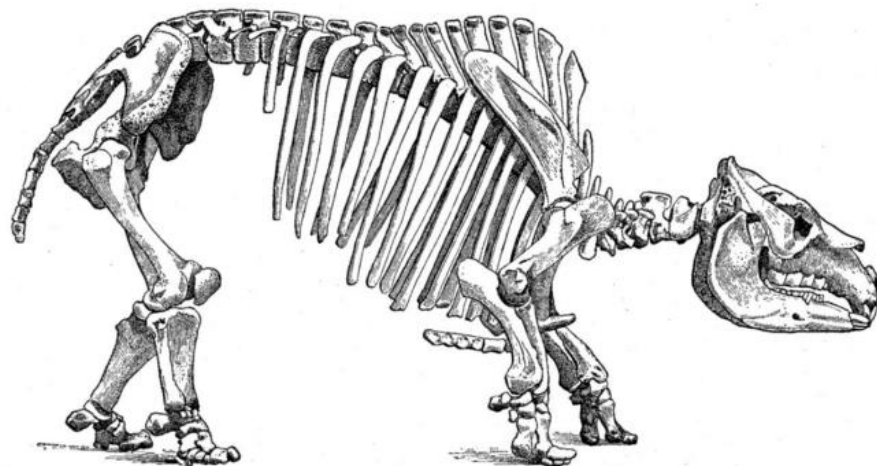
Figura 5 - Paleontografia do Gênero *Toxodon* sp.



Fonte: Biodiversidade brasileira, 2023.

Os Toxodontes foram um grupo extinto de mamíferos ungulados que habitaram praticamente toda América até o Pleistoceno final, foram muito comuns desde o Paleoceno até o final do Pleistoceno. Atualmente considera-se que o gênero *Toxodon* inclui somente uma espécie sul-americana *Toxodon platensis* (Figura 6), de amplo registro no Pleistoceno Brasileiro (Cartelle, 1994).

Figura 6 - Reconstituição de um *Toxodon platensis*, baseado no esqueleto completo do espécime Argentino.



Fonte: Silva, 2019.

Os toxodontes foram os últimos representantes da ordem Notoungulata a se extinguirem e não deixaram descendentes. Ao longo do Cenozóico, esses mamíferos variaram não só apenas em tamanho, mas também em hábitos e aparência. No Quaternário, foram registrados alguns *Toxodon* de grande porte, que podem ser comparados aos hipopótamos e rinocerontes africanos da megafauna da atualidade, ou seja, animais que pesavam mais de uma tonelada (Silva, 2019).

Alguns estudos têm sugerido que os toxodontes possuíam uma dieta mais diversificada do que se supunha anteriormente, devido à sua dentição hipsodonte, de crescimento contínuo e com câmara pulpar aberta. A dentição definitiva apresenta estrutura prismática, com pré-molares e molares lofodontes, o que sugere adaptação a habitats mais abertos ou, ainda, uma possível ampliação de nicho ecológico (Braunn, 2011).

Estes mamíferos apresentavam crânio relativamente curto comparado ao seu corpo, chegando a medir aproximadamente 70 cm de comprimento, possuía a caixa craniana também relativamente pequena e achatada, o nasal bem largo e comprido, com uma região auditiva de grande bula timpânica e o seio epitimpânico no osso esquamosal. A evolução das patas mesaxônicas resultou em membros com três dedos funcionais e cascos derivados da modificação de garras (Paula Couto, 1979).

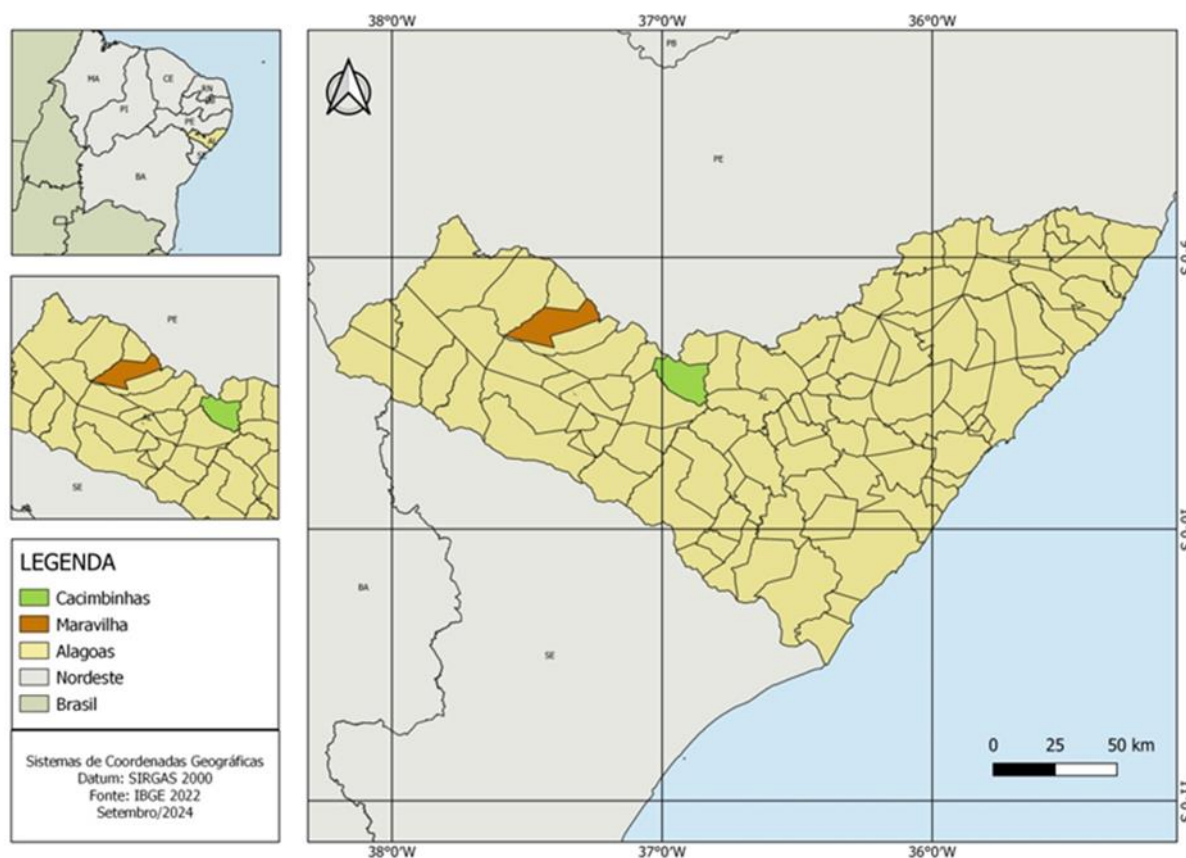
3 METODOLOGIA

A realização deste trabalho inicia com as coletas em campo e posterior trabalho em laboratório.

3.1 Área de estudo

O material selecionado para ser estudado é oriundo de sítios paleontológicos localizados nos Municípios de Maravilha e Cacimbinhas, situados na região semiárida do Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil (Figura 7).

Figura 7 - Localização da área de estudo dos municípios de Maravilha e Cacimbinhas, Alagoas.



Fonte: Elaborado por Sabino e Rodrigues, 2024.

O Município de Maravilha ocupa uma área de 332,370 km² (Ibge, 2023), situado a cerca de 362 metros de altitude acima do nível do mar e está a 232 km de distância da Capital Maceió. Com as coordenadas geográficas 09°14'08" de latitude sul e 37°21'00" de longitude oeste (Sinc, 2023). Está inserida na mesorregião do Sertão Alagoano e microrregião de Santana do Ipanema, sendo limites ao norte com

Ouro Branco, ao sul com Poço das Trincheiras, ao leste com o estado de Pernambuco e oeste com Canapi.

O Município de Cacimbinhas ocupa uma área de 281, 692 km² (Ibge, 2023), situado a cerca de 270 metros de altitude acima do nível do mar e está a 177 km de distância da Capital Maceió. Com as coordenadas geográficas 09°24'01" de latitude sul e 36°59'25" de longitude oeste (Sinc, 2023). Está inserida na mesorregião do Agreste Alagoano e microrregião de Palmeira dos Índios, fazendo limites com Dois Riachos, Major Isidoro, Igaci, Estrela de Alagoas, Minador do Negrão e Iati (PE).

3.2 Clima

De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, o clima na região prevalece os tipos mais secos (B) BSsh'e BSs'h', muito quente, semiárido, com longos períodos de seca, com chuvas concentradas principalmente no verão e temperatura média anual (h) superior a 18°C (Embrapa, 2012). A precipitação pluvial anual é inferior a 600 mm e, em diversos locais, não ultrapassa 400 mm, a evapotranspiração anual excede a precipitação e a ausência de corpos d'água permanentes (Almeida, 2016).

De acordo com a classificação bioclimática de Gaussen, o clima da área estudada é tipo 3bTh e 3aTh. A temperatura média anual do ar na região varia entre 17°C e 33°C, sendo que o mês mais quente pode ultrapassar os 33°C e o mês mais frio registra 17°C (Embrapa, 2012).

3.3 Vegetação

A área de estudo se encontra predominantemente no bioma Caatinga, que significa "mata-branca" no tupi-guarani, uma alusão ao fato das espécies de vegetais, na seca, ficarem sem folhas e assumirem os troncos esbranquiçados em respostas à escassez de água (INSA, 2025).

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que abrange a porção oeste do estado de Alagoas, entre outras regiões do Nordeste, com aproximadamente 150 dias secos ao ano (Oliveira; Amorim; Lemos, 2020). Nos municípios de Maravilha e

Cacimbinhas a vegetação típica é xerófita ou estepe (S), com predomínio de caatinga hipoxerófila no tipo BSsh' e a hiperxerófila no tipo BSs'h' (Embrapa, 2012).

As principais espécies de vegetais, encontradas na região fazem parte dos seguintes grupos:

Arbóreas: *Tabebuia aurea* (craibeira, árvore símbolo de alagoas), *Spondias tuberosa* (umbuzeiro), *Chorisia* sp (barriguda) (Figura 8 A), *Caesalpinia pyramidalis* (catingueira), *Mimosa hostilis* (jurema-preta), *Ziziphus joazeiro* (juazeiro), *Schinopsis brasiliensis* (baraúna), *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro).

Cactáceas: *Cereus jamacaru* (mandacaru) (Figura 8 B), *Pilosocereus gounellei* (xiquexique), *Melocactus bahiensis* (coroa-de-frade), *Opuntia inamoena* (quipá).

Bromeliáceas: *Encholirium spectabile* (macambira-de-flecha) e *Bromelia laciniosa* (macambira).

Figura 8 - Vegetação típica da Caatinga. (A) *Chorisia* sp (barriguda) Caatinga hipoxerófila; (B) *Cereus jamacaru* (mandacaru) Caatinga hiperxerófila.



Fonte: Da autora, 2025.

3.4 Trabalho em laboratório

Este trabalho foi realizado no Laboratórios Integrados de Paleontologia e Espeleologia (LIPE) a partir do estudo e identificação de blocos de calcrete coletados no ano de 2001 nos depósitos de tanques das cidades de Maravilha e Cacimbinhas, blocos esses depositados na coleção de paleovertebrados do Setor de Paleontologia do Museu de História Natural da Universidade Federal de Alagoas.

Os blocos conglomerados de calcres foram separados e organizados para a retirada dos materiais fósseis, com especial foco nas amostras de *Toxodon* sp. Primeiramente, foi preparada uma solução de ácido clorídrico diluído a 20%, para enfraquecimento do carbonato. A retirada dos fósseis foi feito com auxílio de uma caneta de alta rotação com uma broca diamantada (Figura 9), com talhadeira, martelo e pincel. Em seguida, foi feita a limpeza do fóssil para remoção de pequenos fragmentos do cimento e, quando necessário, os fragmentos foram colados e protegidos com cola branca.

Figura 9 - Remoção do fóssil com o auxílio da caneta de alta rotação.



Fonte: Da autora, 2024.

A identificação taxonômica do material foi realizada a partir de comparações com outros espécimes depositadas na coleção de paleovertebrados do Setor de Paleontologia da UFAL e com descrições encontradas na literatura. Após a comparação e identificação dos fósseis de *Toxodon*, realizou-se a descrição anatômica, feitas fotografias e a medição dos mesmos. Para isso, foi utilizada uma base para corte como escala, às fotografias foram tiradas utilizando uma máquina fotográfica da marca NIKON modelo D90.

Após as etapas descritas acima foi realizado o tombamento dos fósseis no livro de tombo da Coleção de Paleovertebrados. No livro de tombo são registradas informações referentes ao espécime como: espécie atribuída, tipo de osso, local de coleta, geologia da área, coordenadas, coletores e data da coleta. Os números de tombo iniciam pelo acrônimo "SPMHNUFAL", seguido do número e a letra V de vertebrado.

Para a análise mineralógica da amostra de cimento do calcrete de Cacimbinhas, utilizou-se o método do pó. Inicialmente, foi realizado o preparo mecânico da amostra, com a trituração do material até sua conversão em pó. Posteriormente, a amostra foi encaminhada ao Laboratório de Caracterização e Microscopia de Materiais (LCMMat), vinculado ao Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), para a realização da análise por Difração de Raios X (RDX).

O Difractometria de Raios X (RDX) é uma técnica analítica empregada para caracterizar materiais cristalinos, permitindo a identificação de sua estrutura e composição. A técnica se baseia na interação dos raios X com os elétrons dos átomos presentes no material, resultando em um padrão de difração característico. A intensidade dos raios X difratados é medida em função do ângulo 2θ (dois teta), gerando um padrão único para cada composto (Silva, 2020). Este padrão é comparado com o banco de dados Inorganic Crystal Structure Database (ICSD), que reúne informações detalhadas sobre estruturas cristalinas e fases minerais presentes (Fiz Karlsruhe, 2025).

Para a caracterização da amostra, foi utilizado o equipamento difratômetro de raios-X XRD 6000, da marca Shimadzu, para realizar a análise química da amostra

de cimento do calcrete do sítio paleontológico Minuano de Cacimbinhas, a amostra foi identificada como AM1_C. Assim, o ensaio de difração de raios X foi realizado utilizando uma tensão de 40 kV e uma corrente de 30 mA. Os padrões de difração foram efetuados variando de 5 a 55° nas amostras Ax e de 5 a 80° nas amostras calcrete, com um passo de 0,02° e velocidade angular de 2 graus/min. As fendas utilizadas de divergência e espalhamento foram de 1° e a de recepção de 0,30 mm, sendo a radiação utilizada $\text{CuK}\alpha$.

Após a obtenção do difratograma, os picos de intensidade foram comparados com os padrões disponíveis no Inorganic Crystal Structure Database (ICSD). Os resultados foram processados utilizando o software *Crystallography*, que integra um banco de dados contendo fichas cristalográficas de compostos minerais. O programa realiza a leitura automática dos picos de difração presentes no gráfico e os compara com os registros do banco de dados, possibilitando a identificação dos minerais presentes na amostra. Cada pico difratado está associado à estrutura cristalina específica de um composto, e o cruzamento dessas informações permite determinar com precisão os constituintes minerais do cimento analisado.

Após a análise de RDX, foi utilizada a técnica de Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDX). Essa técnica, baseada na análise da energia dos raios X emitidos pelos elementos presentes na amostra, complementa a difração de raios X ao fornecer dados qualitativos e quantitativos sobre a composição elementar, permitindo identificar os elementos presentes e determinar a concentração relativa de cada um, expressa em porcentagem. Dessa forma, o EDX contribui para uma caracterização mais completa do material analisado.

A composição química elementar da amostra de calcrete foi realizada por Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDX) utilizando o equipamento EDX-800hs, da marca Shimadzu. O material analisado foi colocado sobre filme de polipropileno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos nove blocos conglomerados de calcretes estudados, foram encontrados apenas quatro dentes, muito fragmentados, de *Toxodon* sp., com menos de 50% de preservação. Entretanto, as características diagnósticas desses fósseis estão mantidas o que possibilitou a identificação. Nos calcretes analisados também foi possível detectar a presença de outras estruturas fósseis pertencentes a outros mamíferos como, por exemplo, osteodermos, dentes, falanges, fragmentos de costelas de preguiças terrícolas e fragmentos de dentes de mastodontes. Ademais, foi observada uma mandíbula fragmentada com dois dentes e um calcâneo fragmentado de *Toxodon* sp. nos blocos de calcrete que não foram estudados da coleção. A classificação sistemática utilizada neste trabalho se baseou em estudos morfológicos propostos por Paula Cauto (1979) e Cartelle (1994).

4.1 Sistemática dos espécimes fósseis

Ordem NOTOUNGULATA Roth, 1903

Subordem TOXODONTIA Owen, 1858

Família TOXODONTIDAE Gervais, 1947

Subfamília TOXODONTINAE Trouessart, 1898

Gênero *Toxodon* Owen, 1840

Os espécimes fósseis do gênero *Toxodon* sp. analisados neste estudo estão depositados na coleção do setor de Paleovertebrados do Museu de História Natural da Universidade Federal de Alagoas (SPMHNUFAL). Os dados incluem informações como o número de registro dos exemplares, tipo de elemento anatômico preservado (dentes, mandíbula, calcâneo), estado de conservação e procedência geográfica (Tabela 1).

Tabela 1 - Espécimes fósseis do gênero *Toxodon* sp. dos sítios Paleontológicos das cidades de Maravilha e Cacimbinhas do estado de Alagoas.

NÚMERO DE TOMBO	MATERIAL ESTUDADO	LOCALIDADE - SÍTIO PALEONTOLÓGICO	GEOLOGIA DA ÁREA	DATA
2405 - V	Dente fragmentado	Fazenda Ovo da Ema - Maravilha - AL	Calcrete com cimento carbonático em tanque granítico	20/IX/2001
2432 - V	Dente fragmentado	Fazenda Ovo da Ema - Maravilha - AL	Calcrete com cimento carbonático em tanque granítico	20/IX/2001
2433 - V	Dente fragmentado	Fazenda Ovo da Ema - Maravilha - AL	Calcrete com cimento carbonático em tanque granítico	20/IX/2001
2435 - V	Dente fragmentado	Fazenda Ovo da Ema - Maravilha - AL	Calcrete com cimento carbonático em tanque granítico	20/IX/2001
2437 - V	Fragmento de mandíbula com dois dentes	Fazenda Ovo da Ema - Maravilha - AL	Calcrete com cimento carbonático em tanque granítico	20/IX/2001
2439 - V	Fragmento de calcâneo	Sítio paleontológico Minuano - Cacimbinhas - AL	Calcrete com cimento carbonático em tanque gnaisse	26/IV/2013

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Material: Quatro dentes molariformes fragmentados (SPMHNUFAL-2405-V, 2432-V, 2433-V, 2435-V); um fragmento de mandíbula com dois dentes molariformes em calcrete (SPMHNUFAL-2437-V) e um calcâneo fragmentado em calcrete (SPMHNUFAL-2439-V).

Descrição: Dente molar fragmentado (SPMHNUFAL-2405-V) apresenta uma coroa alta e curva, parcialmente revestida com uma camada de esmalte e com sinais de desgaste. Possui aproximadamente 2 cm de comprimento, 1,5 cm de largura e 6,5 cm de altura (Figura 10 A). O dente molar fragmentado (SPMHNUFAL-2432-V) está bastante desgastado e possui uma coroa alongada e afilada, com uma base mais larga e a extremidade mais pontiaguda. Apresenta falhas e fraturas no esmalte. Mede aproximadamente 3 cm de comprimento, 1,5 cm de largura e 8,5 cm de altura (Figura 10 B). Já o dente molar fragmento (SPMHNUFAL-2433-V) Apresenta forma retangular e robusta, com coroa alta e levemente inclinada. A camada de esmalte está parcialmente preservada, com algumas áreas fraturadas ou ausentes. Possui 4 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e 7,7 cm de altura (Figura 10 C).

Ademais, o dente molar fragmentado (SPMHNUFAL-2435-V) apresenta estrutura compacta, levemente curva, de coloração escura acinzentada e com superfície irregular. A camada de esmalte esta presente na sua base. Mede aproximadamente 2,5 cm de comprimento, 1 cm de largura e 4 cm de altura (Figura 10 D). Dessa forma, pelas características dos fragmentos e de acordo com a descrição feita por Paula Couto (1979) e Cartelle (1994) os dentes pertences ao gênero *Toxodon* (Figura 10).

Comentários: Os dentes de *Toxodon* tem cora alta (hipsodontia completa) crescem continuamente até certa idade, nunca formando raízes durante toda a vida do animal (Braunn; Ribeiro, 2017). Tinha dentes incisivos avantajados em forma de “pá” ou ovoides e os molariformes são curvados para dentro. Era um animal herbívoro, o desgaste dentário provocado pela mastigação era devido á sua alimentação com vegetação abrasiva, como gramínea, que era compensado, nos adultos, pelo crescimento continuo dos dentes (Cartelle, 1994).

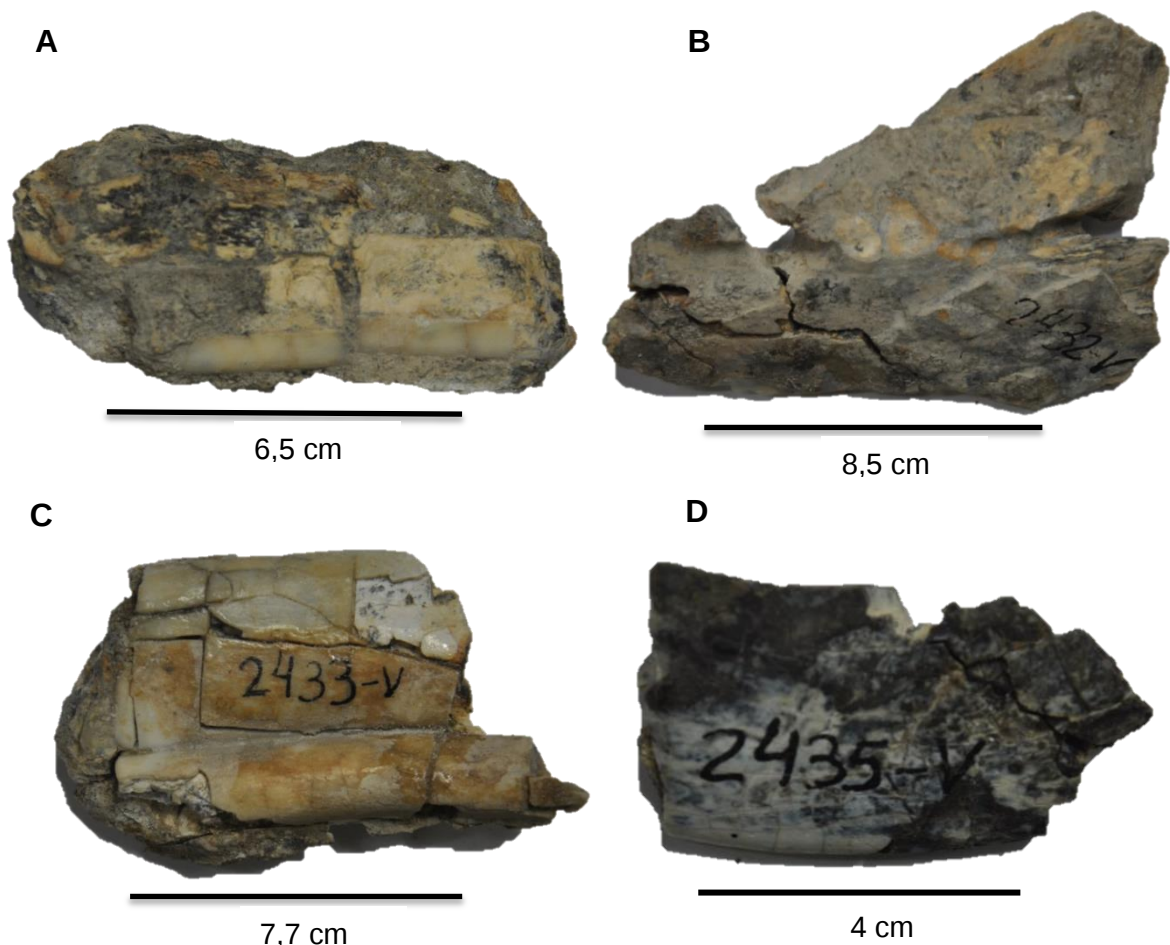


Figura 10 - *Toxodon* sp. Dentes molariformes fragmentados. (A) SPMHNUFAL-2405-V. Escala: 6,5 cm; (B) SPMHNUFAL-2432-V. Escala: 8,5 cm; (C) SPMHNUFAL-2433-V. Escala: 7,7 cm; (D) SPMHNUFAL-2435-V. Escala: 4 cm.

Descrição: O fragmento de mandíbula com dois dentes molariformes em calcrete (SPMHNUFAL-2437-V) corresponde à porção proximal da mandíbula, com os dois dentes bem visíveis, ainda incrustados nos alvéolos, e com a superfície oclusal parcialmente desgastada. Apesar de estarem significativamente fragmentados, os dentes preservam o esmalte espesso, altamente mineralizado e resistente ao desgaste, característico do gênero *Toxodon* sp. O fragmento mandibular possui aproximadamente 13 cm de comprimento, 9 cm de largura e 11 cm de altura (Figura 11).

Comentários: A mandíbula do *Toxodon* também é semelhante a dos rinocerontes e muito diferente das dos hipopótamos, nos quais o desvio lateral da região angular é extremamente desenvolvido, indicado características morfológicas importantes na mecânica mastigatória (Mendonça, 2012). O *Toxodon* tinha mandíbulas soldada inferiormente com sínfises largas e estendidas nos adultos, com uma dentição

completa, podendo possuir dentes caninos ou não, os dentes não são revestidos totalmente por esmalte, se apresenta na forma de bandas que são relacionadas a uma das características dos toxodontídeos (Silva, 2019).



13 cm

Figura 11 - *Toxodon* sp. Fragmento de mandíbula com dois dentes. SPMHNUFAL-2437-V. Escala: 13 cm.

Descrição: O calcâneo fragmentado em calcrete (SPMHNUFAL-2439-V) esta incompleto e apresenta apenas a faceta de articulação para o astrágalo. Mede aproximadamente 10,5 cm de comprimento, 9 cm de altura e 6 cm de largura (Figura 12).

Comentários: O calcâneo faz parte dos ossos do pé dos *Toxodon* e representa o maior osso do tarso. Em sua face proximal apresenta as faces de articulação para tibia e fíbula, as facetas de articulação para o astrágalo e as faces de articulação para o cuboide e navicular (Mendonça, 2012). Possuíam ainda membros locomotores relativamente curtos e maciços, em forma de coluna parecida com as dos hipopótamos e elefantes, as patas anteriores são mais curtas que as posteriores em relação com o corpo. Normalmente associados a ambientes abertos de savana ou cerrado com abundancia de água, sugerindo provavelmente um habito anfíbio ou semiaquático, similar ao hipopótamo (Paula Couto, 1979).



10,5 cm

**Figura 12 - *Toxodon* sp. Fragmento de calcâneo.
SPMHNUFAL-2439-V. Escala: 10,5 cm.**

4.2 Descrição dos blocos de Calcrete de Cacimbinhas (AL)

Os blocos de calcrete analisados são oriundos do município de Cacimbinhas, no sertão de Alagoas, e encontram-se associados a depósitos aluvionares atribuídos ao Quaternário, especialmente durante ao Pleistoceno Superior. Estes calcretes se apresentam como concreções silicosas e carbonáticas de elevada dureza, coloração acinzentada, amarelada e amarronzada, textura densa a consolidada e estrutura maciça (Figura 13).

Figura 13 - Bloco de calcrete com grãos de quartzo e fósseis da megafauna da cidade de Cacimbinhas/AL. Escala: 30 cm.



30 cm

Fonte: Da autora, 2025.

A composição da matriz é predominantemente constituída por sílica e carbonato de cálcio, grânulos de quartzo, fragmentos de rochas, e fragmentos fossilíferos da megafauna pleistocênica, bem como por material arenoso de granulação média a grossa. A matriz carbonática exhibe textura fina a média, atuando como cimento que liga os clastos e bioclastos de variadas naturezas, além de conter nódulos carbonáticos dispersos. Essas características texturais e composicionais indicam que os calcretes se originaram a partir da diagênese de sedimentos fluviais com posterior atuação de processos pedogenéticos em ambiente semiárido, formando paleossolos calcificados (Wright; Tucker, 1991).

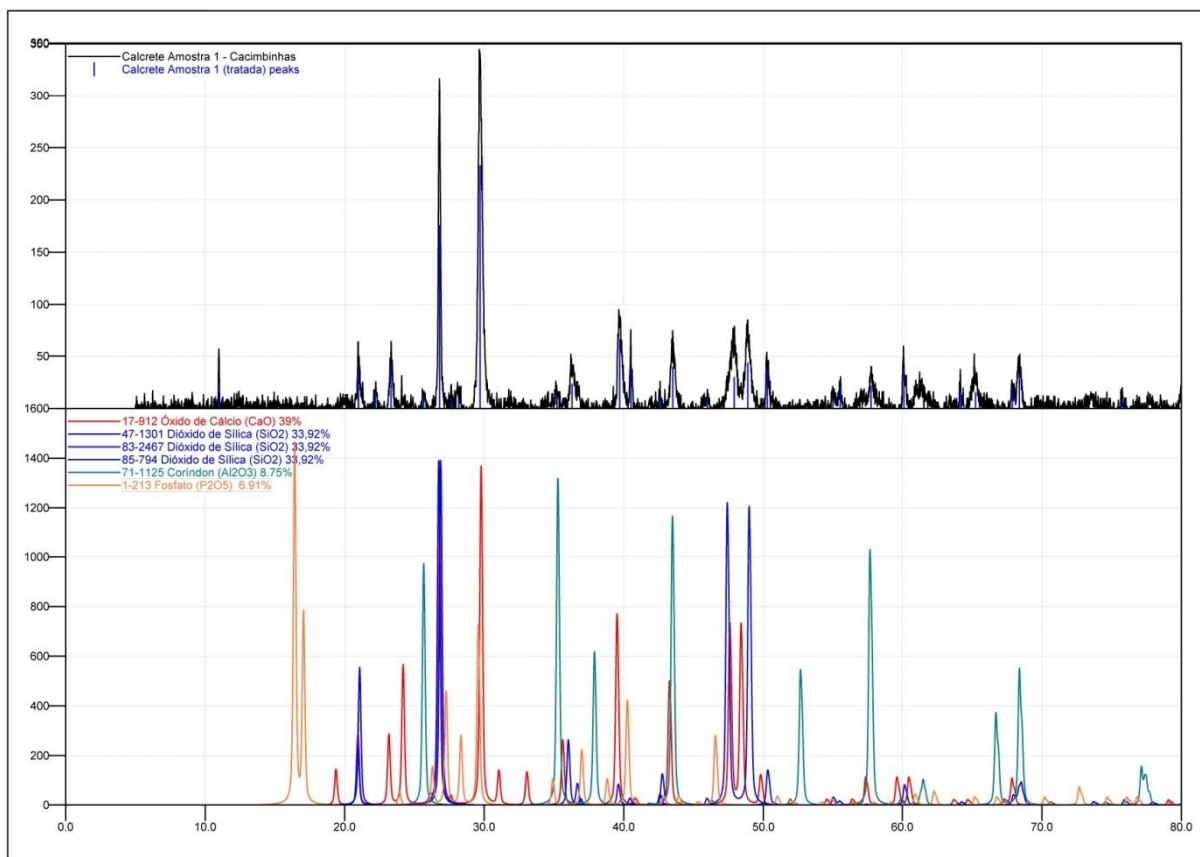
Em relação às dimensões dos calcretes, o menor bloco de calcrete estudado mede aproximadamente 16,5 cm de comprimento, 14 cm de altura e 12 cm largura, já o maior possui 30 cm de comprimento, 23 cm de altura e 11 de largura.

Os dados observados estão de acordo com os estudos conduzidos em outras regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, onde calcretes semelhantes estão frequentemente associados a sedimentos aluvionares do Pleistoceno, refletindo condições climáticas predominantemente áridas, intercaladas com períodos de maior umidade, características marcantes do Sertão Alagoano durante o Quaternário e apresentam relações diretas com a dinâmica climática do período (Macedo, 2023).

4.3 Resultado e interpretação da análise por RDX

A análise química por Difração de Raios X (RDX) foi realizada com o objetivo de identificar os minerais presentes na amostra do cimento carbonático do município Cacimbinhas. O difratograma obtido para a amostra AM1_C Cacimbinhas (Figura 14) apresenta picos intensos e bem definidos, os quais foram comparados com os padrões de referência do banco de dados ICSD (Inorganic Crystal Structure Database).

Figura 14 - Difratoograma de raios-X da amostra AM1_C Cacimbinhas.



Fonte: Elaborado por Sabino e Sarmento, 2025.

4.4 Resultado e interpretação da análise de EDX

A análise química por Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDX) realizada no cimento do calcrete da cidade de Cacimbinhas revelou uma composição predominantemente constituída por óxidos de cálcio (CaO) e de dióxido de silício (SiO₂) com concentrações de 39,01% e 33,92%, respectivamente. Esses valores indicam que o material apresenta alta concentração de carbonatos e sílica, características típicas de processos de cimentação química associados a ambientes áridos ou semiáridos (Wright; Tucker, 1991). A alta presença de CaO no cimento favorece a formação de carbonatos de cálcio, que são fundamentais para a consolidação dos sedimentos e para a formação dos calcretes. Já a sílica está relacionada aos processos de intemperismo físico e químico, promovendo a alteração e a recristalização dos minerais originais.

A presença significativa de óxido de alumínio (Al₂O₃ - 8,76%) e óxido de fósforo (P₂O₅ - 6,92%) sugere a ocorrência de minerais do grupo dos

aluminossilicatos, caracterizados pela presença de alumínio e sílica em sua composição e possíveis fosfatos, que podem estar associados a fases diagenéticas ou a contribuições biogênicas (Alonso-Zarza; Wright, 2010). Este último, por exemplo, pode estar relacionado à presença de fósseis ou matérias orgânicos fosfatizados incorporados ao material (Pimentel *et al.*, 2005).

Além disso, outros óxidos foram identificados em menores proporções incluem Fe_2O_3 (3,33%), K_2O (3,03%), e SO_3 (2,63%), que podem indicar a presença de minerais como hematita, feldspatos potássicos e sulfatos (possivelmente gipsita ou anidrita). (Moro *et al.*, 2007).

5 CONCLUSÃO

O presente estudo dos blocos de calcrete proveniente dos depósitos fossilíferos da região semiárida de Alagoas permitiu a identificação de fósseis atribuídos ao gênero *Toxodon* sp., incluindo quatro dentes molariformes fragmentados, um fragmento da porção proximal da mandíbula com dois dentes molariformes em calcrete e um calcâneo incompleto em calcrete. Além disso, a análise química do cimento do sítio paleontológico Minuano (Cacimbinhas - AL), revelou altas concentrações de carbonato de cálcio e sílica, elementos fundamentais para a formação e consolidação dos calcretes em ambientes áridos ou semiáridos. A detecção significativa de óxidos de alumínio e fósforo sugere a presença de minerais do grupo dos aluminossilicatos e possíveis fosfatos, que podem estar associados a processos diagenéticos ou a contribuições biogênicas.

Esses resultados reforçam a importância dos calcretes como registros não apenas das mudanças paleoambientais e dos processos de fossilização ocorridos na região semiárida de Alagoas durante o Quaternário. As análises realizadas por Difractometria de Raios-X (RDX) e Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDX) fornecem evidências mineralógicas que corroboram a hipótese de mudanças climáticas na região, indicando uma transição de um ambiente mais úmido para condições semiáridas.

Tais descobertas contribuem para o entendimento dos fatores ambientais associados à extinção da megafauna pleistocênica no Nordeste brasileiro, sugerindo que o aumento da aridez, pode ter desempenhado um papel significativo nesse processo. Além disso, a preservação dos fósseis em calcretes reforça a importância dos depósitos fossilíferos como registros paleontológicos e paleoambientais.

Dessa forma, o estudo destaca a importância da região semiárida de Alagoas como um valioso sítio paleontológico para a compreensão das mudanças climáticas e seus impactos sobre a fauna durante o Quaternário. Reforça-se a necessidade de continuidade das pesquisas com o material ainda não analisado, a fim de ampliar o entendimento sobre a biodiversidade extinta e os paleoambientes do nordeste brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. A. **Climatologia aplicada à geografia**. Campina Grande: EDUEPB, 2016. Disponível em:

<https://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/13346/1/Climatologia-Aplicada-aCC80-Geografia%20%281%29.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ALMEIDA, V. **Toxodontes**. Fauna digital do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/faunadigitalrs/toxodontes/>. Acesso em: 5 maio 2024.

ALONSO-ZARZA, A. M.; WRIGHT, V.P. Calcretes. **Developments in Sedimentology**. v. 61, p. 225-267, 2010.

ALVES, R. S. **Os mamíferos pleistocênicos de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco: aspectos taxonômicos e paleoambientais**. 2007. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. Classifying vertebrate assemblages preserved in Quaternary tank deposits: Implications for vertebrate taphonomy and paleoecology. **Elsevier**, Rio de Janeiro, v. 445, p. 147-152, 2016.

ARRUDA, I. R. P. *et al.* Proposta de geoconservação no distrito de Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco, NE do Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 87-98, 2023.

BORGES, S. V. F. **Calcretes pedogênicos ao longo de sistemas de fraturas e acamamentos em carbonatos neoproterozóicos da Bacia de Irecê, Estado da Bahia**. 2016. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

BRANCO, P. M. **O intemperismo e a erosão**. Serviço Geológico do Brasil, 2014. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/o-intemperismo-e-a-erosao>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BRAUNN, P. R. **Hipoplasia de esmalte em Toxodon Owen, 1837 (Mammalia, Notoungulata) do Pleistoceno do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BRAUNN, P. R.; RIBEIRO, A. M. Evolução dos Toxodontia da América do Sul durante o Cenozoico: aspectos dentários, paleoclimáticos e paleoambientais. **Terra e Didática**, v. 12, n. 3, p. 150-170, 2017.

BLANCO, J. **Biodiversidade brasileira**. Twitter, 3 fev. 2022. Disponível em: <https://twitter.com/BiodiversidadeB/status/1489356641745182730>. Acesso em: 29 abr. 2025.

CARTELLE, C. **Tempo passado: mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Palco, 1994. 132 p.

COSME, A. L. **Hidrólise – o que é, tipos, importância e aplicações**. Ecos, 2025. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/hidrolise/>. Acesso em: 16 maio 2025.

CUNHA, P. V. C. **Gênese de calcretes da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, Paraná**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Climatologia do Estado de Alagoas**. Recife, PE: Embrapa, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/950797/1/BPD211ClimatologiaAlagoas.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

FIZ KARLSRUHE – Leibniz institute for information infrastructure. Inorganic Crystal Structure Database – ICSD. Karlsruhe, 2025. Disponível em: <https://www.fiz-karlsruhe.de/en/produkte-und-dienstleistungen/inorganic-crystal-structure-database-icsd>. Acesso em: 14 maio 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama: Cacimbinhas (AL)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/cacimbinhas/panorama>. Acesso em: 10 mar. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama: Maravilha (AL)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maravilha/panorama>. Acesso em: 10 mar. 2025.

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. **O semiárido brasileiro**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>. Acesso em: 10 mar. 2025.

JAVAGEOLOGY. **Intemperismo o meteorización**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.jovageology.com/p/intemperismo-o-meteorizacion.html>. Acesso em: 11 mar. 2025.

LIMA, J. S.; SILVA, J. L. L. Mamíferos fósseis pleistocênicos em tanque arenítico no município de Delmiro Gouveia, Alagoas, Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 26, p. 77-90, 2014.

LOGICAMBIENTAL. **Intemperismo por ação física**. 2016. Disponível em: <https://logicambiental.com.br/intemperismo-por-acao-fisica/>. Acesso em: 8 abr. 2025.

LOGICAMBIENTAL. **Intemperismo por ação química**. 2016. Disponível em: https://logicambiental.com.br/intemperismo-quimico/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 14 maio 2025.

MACEDO, O. A. **O paleoambiente e as ocupações humanas pré-históricas na região da serra da Capivara: análise geoarqueológica dos depósitos quaternários**. 2023. 270 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

MANFREDINI, L. **Gênese do relevo entre a Serra da Fartura e rio Chapecó – Planalto das Araucárias: o caso da superfície geomorfológica de Abelardo Luz (SC)**. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2016.

MENDONÇA, R. **Diversidade de toxodontes pleistocênicos (Notoungulata, Toxodontidae): uma nova visão**. 2012. 166 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MORO, M. C. *et al.* Mineralogia e gênese de calcretes em ambientes semiáridos do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 240–252, 2007.

OLIVEIRA, A. N. S.; AMORIM, C. M. F.; LEMOS, R. P. L. **Alagoas: Unidades de Conservação: as riquezas das áreas protegidas no território alagoano**. 2. ed. Maceió: Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas, 2020. Disponível em: https://www2.ima.al.gov.br/app/uploads/2023/08/Unidades-de-Conservacao-de-Alagoas-Livro-Laranja_compressed.pdf. Acesso em: 10 mar. 2025.

OLIVEIRA, L. P. S. P. **Comportamento geomecânico de perfis de intemperismo de rochas graníticas no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES**. 2020. 69 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

PAULA COUTO, C. **Tratado de Paleomastozoologia**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1979. 590 p.

PIMENTEL, M. M. *et al.* Geoquímica de calcretes e paleossolos no Brasil Central: implicações paleoclimáticas. **Geochimica Brasiliensis**, v. 19, n. 1, p. 12–23, 2005.

SANTOS, R. M. O. **Caracterização petrográfica dos calcretes da Formação Caatinga – Bahia**. 2019. 79 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SILVA, A. K. B. **Toxodontídeos (Mammalia, Notoungulata) pleistocênicos dos estados de Pernambuco e Piauí, Nordeste do Brasil: aspectos sistemáticos e paleoecológicos**. 2019. 132 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVA, J. L. L. **Reconstituição paleoambiental baseada no estudo de mamíferos pleistocênicos de Maravilha e Poço das Trincheiras, Alagoas, Nordeste do Brasil**. 2008. 244 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, J. L. L. **Tafonomia em mamíferos pleistocênicos: caso da planície colúvio-aluvionar de Maravilha – AL**. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

SILVA, R. F. A Difração de Raios X: uma Técnica de Investigação da Estrutura Cristalina de Materiais. **Revista Processos Químicos**, v. 14, n. 27, p. 73-82, 2020.

SINC. Superintendência de Informação de Cenários. **Perfil Municipal de Cacimbinhas**, Alagoas, 2023. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/2faafe79-05b2-458c-a991-56d3ce383dbc/resource/7edff17a-d03a-4a18-8099-b40cecc19bb6/download/cacimbinhas.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

SINC. Superintendência de Informação de Cenários. **Perfil Municipal de Maravilha**, Alagoas, 2023. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/2faafe79-05b2-458c-a991-56d3ce383dbc/resource/a9e2d0e4-1220-4c17-aeaf-f5ca6e1f87dd/download/maravilha.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

TOLEDO, M. C. M. **Intemperismo e pedogênese**. 2014. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf. Acesso em: 24 fev. 2025.

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

WALDHERR, F. R. *et al.* La importancia de los tanques naturales (mega gnammas) en la preservación de fósiles de la Megafauna cuaternaria en el Noreste de Brasil. **Cadernos Laboratorio Xeológico de Laxe**, Coruña, v. 41, p. 99-122, 2019.

WRIGHT, V. P. Calcretes. In: NASH, D. J.; MCLAREN, S. J. (Ed.). **Geochemical sediments and landscapes**. Oxford: Blackwell, 2007. p. 10-45.

WRIGHT, V. P.; TUCKER, M. E. **Calcretes: an introduction**. In: WRIGHT, V. P.; TUCKER, M. E. (Eds.). Calcretes. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991. p. 1-22. (IAS Reprint Series, v. 2).

XIMENES, C. L. **Tanques fossilíferos de Itapipoca, CE: bebedouros e cemitérios de megafauna pré-histórica**. 2008. Disponível em: https://www.sigep.eco.br/sitio014/sitio014_impresso.pdf. Acesso em: 16 mar. 2025.