



Programa de Pós-Graduação em
Genética, Biodiversidade e Conservação

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

AVALIAÇÃO ANUAL DA DIETA ISOTÓPICA ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) DE TOXODONTES
DO QUATERNÁRIO DA REGIÃO INTERTROPICAL BRASILEIRA

Programa de Pós-Graduação em
Genética, Biodiversidade e Conservação

VERÔNICA SANTOS GOMES



Jequié - BA
2021

Programa de Pós-Graduação em
Genética, Biodiversidade e Conservação



VERÔNICA SANTOS GOMES



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

**AVALIAÇÃO ANUAL DA DIETA ISOTÓPICA ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) DE TOXODONTES
DO QUATERNÁRIO DA REGIÃO INTERTROPICAL BRASILEIRA**



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



Orientador: Prof. Dr. Mário André
Trindade Dantas.

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



**Jequié - BA
2021**



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



FICHA CATALOGRÁFICA

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



G633a Gomes, Verônica Santos.

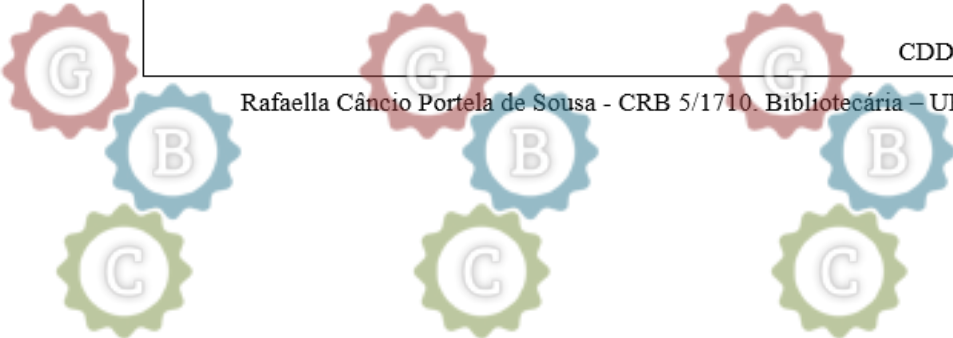
Avaliação anual da dieta isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de toxodontes do Quaternário da Região Intertropical Brasileira / Verônica Santos Gomes. Jequié, 2021. 68f.

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

1.Isótopos estáveis 2.Paleoambiente 3.Paleodieta 4.Pleistoceno 5.RIB
I.Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia II.Título

CDD – 541.388

Rafaella Cândia Portela de Sousa - CRB 5/1710. Bibliotecária – UESB - Jequié



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

FOLHA DE APROVAÇÃO



Governo do
Estado da Bahia

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação

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

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “Avaliação anual da dieta isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de toxodontes do Quaternário da Região Intertropical Brasileira”.

Autor (a): Verônica Santos Gomes

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

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

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

Dr. Renato Pereira Lopes – Porto Alegre/RS

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

Data de realização: 10 de setembro de 2021.

Campus de Jequié

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

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

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

Campus de Vitória da Conquista
Estrada do Bern Querer, km 4
Bairro Universitário
CEP: 45031-300
PABX: (77) 3424-8600

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

DEDICATÓRIA



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Aos pesquisadores que perderam a psique durante o árduo processo da pós-graduação na pandemia.



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) e ao Programa de Pós-graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação (PPGGBC) pela oportunidade e suporte para desenvolver este trabalho.

À CAPES pela bolsa concedida (processo nº 88882.460614/2019-01). Sem ela não seria possível cursar o mestrado.

À equipe vinculada ao laboratório de paleontologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), e ao Sr. Dagoberto Genesio da Silva (Centro Turístico e Cultural Mastodonte - PB) pelas doações do material de estudo.

À Sophie Habinger, Ranasish Roy e Christoph Wißing por sua ajuda na preparação e análise isotópica de amostras de esmalte na Universidade de Tübingen.

Ao meu orientador, Mário André Trindade Dantas, por me acompanhar desde a graduação e acreditar sempre em mim.

Ao co-orientador Hermínio Ismael de Araújo Júnior, pela importante colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do PPGGBC que, mesmo com contato reduzido, colaboraram bastante com meu desenvolvimento profissional.

Ao Colegiado do PPGGBC. Foi uma honra ser Representante discente de 2019 ao início de 2021. Hoje tenho outra visão sobre o funcionamento de uma pós-graduação.

À banca avaliadora desde o início do projeto, a qualificação e a defesa, pelas colaborações pertinentes para o desenvolvimento do trabalho.

À turma maravilhosa do PPGGBC. Agradeço por toda a amizade, companheirismo e pela mão estendida, colo e surtos compartilhados durante este processo.

Ao Laboratório de Ecologia e Geociências da Universidade Federal da Bahia-Instituto Multidisciplinar em Saúde – Campus Anísio Teixeira, e a toda equipe envolvida até o momento, especialmente a Carlos Micael Bonfim Lessa, que me apoiou por um período mais prolongado.

Aos membros do Clube de Ciências Galápagos, que me ajudaram a enxergar a ciência de uma maneira mais ampla e ao mesmo tempo mais simples, pelo apoio e compreensão.

Ao meu psicólogo Cadu Chaves Barreto, por ter sido um excelente profissional



AGRADECIMENTOS

durante o processo.

À Adrielle Maria Machado de França, Jéssica Xavier Silva, Manuela de Souza Martins e Morgana Maria do Carmo Barbosa, por todo apoio e atenção.

Muito em especial, à André Lisboa Santos, Laís Alves Silva e Ronaldo Araújo Leoni. Sem vocês eu realmente não conseguiria chegar ao fim. E vocês sabem disso.

Muitíssimo obrigada. Amo vocês!

À minha família, pelo amor, carinho e suporte. Por toda dedicação e confiança que sempre tiveram.

À Lala e Odin pela companhia e amor incondicional.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram com a produção deste trabalho.



Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação



BIOGRAFIA

Sou Verônica Santos Gomes, tenho 25 anos, nascida em 19 de Novembro de 1995 na cidade de Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. Sou Bióloga, formada como bacharela pela Universidade Federal da Bahia - Campus Anísio Teixeira-Instituto Multidisciplinar em Saúde. Possuo interesse nas áreas de Paleontologia e Ecologia, o que faz da Paleocologia da megafauna extinta a linha de estudo que atuo no momento.

Sempre tive interesse pela Paleontologia, o que me fez ingressar no curso de Ciências Biológicas. Na graduação, estagiei em pesquisas com Entomologia, na identificação de vespas parasitoides, e na Limnologia, observando a diversidade de Rotíferos e Tecamebas da Chapada Diamantina. Trabalhar nestas áreas despertou o meu interesse pela Ecologia.

Partindo do ano de 2017, iniciei um estágio na organização da coleção paleontológica, o que teve um artigo como produto. Posteriormente, iniciei uma pesquisa com fósseis da Chapada do Araripe, que incluía peixes, insetos e plantas.

No mesmo ano, tive a oportunidade de dar continuidade a um trabalho com mamíferos extintos, quando me interessei pelo estudo da megafauna do Pleistoceno brasileiro. Desenvolvi meu trabalho de conclusão de curso nesta linha de pesquisa, investigando a paleoecologia da megafauna extinta por meio de isótopos estáveis.

Este interesse se expandiu para o mestrado, com apoio do meu orientador, Prof. Dr. Mário André Trindade Dantas, que é vinculado ao programa de Pós-graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação. Pesquisei sobre a paleoecologia do megamamífero *Toxodon platensis*, investigando a dieta e relações ambientais por meio de isótopos de carbono e oxigênio. Isso insere o meu trabalho na grande área da Biodiversidade e Conservação, uma das linhas de pesquisa do programa.

EPÍGRAFE



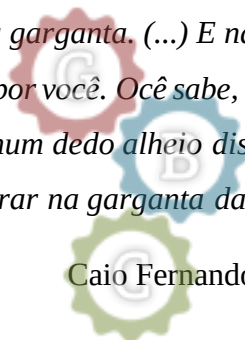
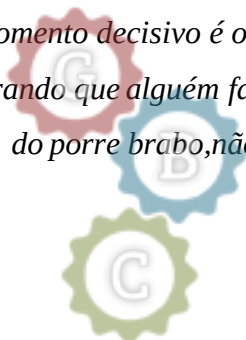
Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

“Pra mim, e isso pode ser muito pessoal, escrever é enfiar um dedo na garganta. Depois, claro, você peneira essa gosma, amolda-a, transforma. Pode sair até uma flor. Mas o momento decisivo é o dedo na garganta. (...) E não fique esperando que alguém faça isso por você. Ocê sabe, na hora do porre brabo, não há nenhum dedo alheio disposto a entrar na garganta da gente.”

Caio Fernando Abreu



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação



RESUMO E PALAVRAS-CHAVE

Este trabalho apresenta a avaliação da variação dietética de toxodontídeos da Região Intertropical Brasileira ao longo de um ciclo de consumo, em relação às mudanças ambientais. Para isto, foram analisados fragmentos dentários de taxa pertencentes à subfamília Toxodontinae (Mammalia, Notoungulata, Toxodontidae), resgatados em tanques fossilíferos nos estados da Paraíba e Pernambuco. No total, 42 amostras foram analisadas em série, com foco na assinatura isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$). Apesar do consumo geral ter sido maior para C_3 , nossos resultados apontam hábito generalista para o grupo. Desta forma, concordamos com a literatura, sugerindo que os toxodontes são animais de hábitos generalistas, que se adaptam muito bem às condições vegetais disponíveis no ambiente. O ambiente parecia estar se tornando mais quente, e algumas mudanças rápidas nos valores de oxigênio parecem estar relacionadas à precipitação. A sua dieta não sofreu variações significativas com as mudanças ao longo do ano. Além disso, são feitas inferências sobre a taxa de crescimento dentário para este grupo de notoungulados, que pode ter variado num intervalo de 11 mm a 15 mm ao longo de um ciclo, considerando um ano na vida do animal.

PALAVRAS-CHAVE: Isótopos estáveis, paleoambiente, paleodieta, Pleistoceno, RIB.

Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação

Genética, Biodiversidade e Conservação



ABSTRACT AND KEYWORDS

This work presents the evaluation of dietary variation of toxodontids from the Brazilian Intertropical Region along a consumption cycle, in relation to environmental changes. For this, tooth fragments of taxa from the subfamily Toxodontinae (Mammalia, Notoungulata, Toxodontidae), recovered from fossiliferous tanks in the states of Paraíba and Pernambuco, were analyzed. In total, 42 samples were analyzed in series, focusing on the isotopic signature of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$). Although the consumption has been higher to C_3 plants, our results point to generalist habits to the group. Thus, we agree with the literature, suggesting that toxodonts are animals with generalist habits, which adapt very well to plant conditions available in the environment. The environment appeared to be getting warmer, and some rapid changes in oxygen values appear to be related to precipitation. Their diet did not vary significantly with changes throughout the year. In addition, inferences are made on the dental growth rate for this group of notoungulates, which may have varied in a range from 11 mm to 15 mm over a cycle, considering one year in the animal's life.

KEYWORDS: Stable isotopes, paleoenvironment, paleodiet, Pleistocene, RIB.



LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- Mapa do Brasil (Cinza) com destaque para os estados da Região Intertropical Brasileira (RIB) (Verde): Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, São Paulo, Sergipe and Rio Grande do Norte) (Cartelle, 1999; Oliveira et al., 2017).

Capítulo 1

Figure 1. Location map of the Brazilian Intertropical Region, highlighting the municipality of Puxinanã - PB. In dark green, the 14 states belonging to the RIB (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, São Paulo, Sergipe and Rio Grande do Norte) (Cartelle, 1999; Oliveira et al., 2017).

Figure 2. Enamel bands of the incisors of the notoungulate *Toxodon platensis* (A-LEG 2250; B-LEG 2250), rescued in a lake in Lagoa de Dentro, Puxinanã, Paraíba.

Figure 3. Carbon isotopic values (grey) and oxygen isotopic values (black) variation recorded through the incisive tooth enamel band LEG 2249 (A) and LEG 2250 (B) for *T. platensis*. The white arrows shows the most negative values of $\delta^{18}\text{O}$, for about each 15 mm.

Capítulo 2

Figura 1. Mapa de localização da Região Intertropical Brasileira, destacando o município de Caruaru / PE. Em verde escuro, os 14 estados pertencentes à RIB (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, São Paulo, Sergipe e Rio Grande do Norte) (Cartelle, 1999; Oliveira et al., 2017).

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2. Bandas de esmalte dos dentes dos notoungulados Toxodontinae, LEG 2251 (A), LEG 2252 (B) e LEG 2253 (C), resgatados em um tanque na Serra do Medo, Caruaru, Pernambuco.

Figura 3. Variação dos valores de carbono (cinza) e oxigênio (preto) registrados ao longo da altura do dente (hipselodonte incisivo) LEG 2251 (A), LEG 2252 (B) e LEG 2253 (C) de Toxodontinae, resgatado em um tanque fossilífero na região da Serra do Medo, Caruaru / PE. As setas brancas mostram os valores mais negativos de $\delta^{18}\text{O}$, para cerca de cada 11 mm.

LISTAS DE TABELAS

Capítulo 1

Table 1. Distance of the samples to the occlusal face (in mm), carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$) isotopic values, food resources proportions (%), and standard niche breadth (B_A) for *Toxodon platensis* incisive tooth samples from Lagoa de Dentro, Puxinamã, Paraíba.

Capítulo 2

Tabela 1 Distância das amostras da face oclusal (em mm), valores isotópicos de carbono ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$) e oxigênio ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$), proporções de recursos alimentares (%) e largura de nicho padrão (B_A) para amostras de dentes de Toxodontinae de Serra do Medo, Caruaru, Pernambuco.

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A = Massa atômica;

B = Largura de Nicho;

B_A = Largura de Nicho Padronizada;

BM = Massa corporal em kg;

C = Carbono

CAM = Plantas com o metabolismo ácido das crassuláceas;

C₃ = Plantas que realizam a fotossíntese via 3 carbonos;

C₄ = Plantas que realizam a fotossíntese via 4 carbonos;

¹³C = Carbono 13;

¹⁴C = Carbono 14;

δ¹³C₁ = Valor do limite para recurso 1;

δ¹³C₂ = Valor limite para recurso 2;

δ¹³C_{mix} = Valor de carbono encontrado no tecido analisado;

CO₃²⁻ = Carbonato; **δ** = Razão isotópica; **E** = Elétron;

ε* = Enriquecimento;

f₁ = Proporção do recurso 1;

f₂ = Proporção do recurso 2.

n = Quantidade de recursos consumidos.

N = Neutron;

¹⁸O = Oxigênio 18;

p_i = Proporção de recursos;

RIB = Região Intertropical Brasileira



LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% = Por cento;

‰ = Por mil;

Σ = Somatório;

Z = Próton;



Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação



Programa de Pós-Graduação em

Genética, Biodiversidade e Conservação

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	19
REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 Isótopos.....	20
2.2 Isótopos de Carbono.....	20
2.3 Isótopos de Oxigênio.....	21
2.4 Isótopos na Paleoecologia.....	21
2.6 A Megafauna na Região Intertropical Brasileira.....	22
OBJETIVOS.....	25
3.1 Objetivo geral.....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
CAPÍTULO 1.....	33
A Annual diet evaluation ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of <i>Toxodon platensis</i> Owen 1837 (Notoungulata, Toxodontidae) in the Brazilian Intertropical Region.....	34
5.1 Introduction.....	34
5.2 Methodology.....	34
Study area.....	34
Study material.....	35
Serial analysis.....	35
Enrichment and consumption of food resources ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$).....	36
Width of Ecological Niche.....	37
Oxygen 18 ($\delta^{18}\text{O}$).....	38
5.3 Results and discution.....	38
Tooth growth.....	38
Resource consumption.....	38
Diet and seasonality.....	40
5.4 Final remarks.....	40
5.5 Acknowledgment.....	41
5.6 References.....	41
6. CAPÍTULO 2.....	50
Avaliação anual da dieta ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de três Toxodontinae do final do Pleistoceno de	

Pernambuco, Brasil.....	50
6.1 Introdução.....	51
6.2 Metodologia.....	52
Local e material de estudo.....	52
Análise em série	53
Enriquecimento e consumo de recursos alimentares ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$).....	53
Largura de Nicho Ecológico.....	54
Oxygen 18 ($\delta^{18}\text{O}$).....	55
6.3 Resultados e discussão	56
Razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e dieta.....	56
Razão isotópica de Oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$)	56
Correlação entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$	57
6.4 Considerações finais.....	58
6.5 Agradecimentos.....	58
6.6 Referências.....	59
7. Conclusões Gerais.....	68

1. INTRODUÇÃO

Isótopos são elementos intrínsecos ao meio ambiente e os vegetais incorporam esses elementos durante o processo de fotossíntese, que, por sua vez, são transferidos para os consumidores primários. Esta regra também funciona para fósseis, já que foram seres vivos em ambientes pretérito, e funcionam como marcadores naturais do funcionamento da vida passada.

Os isótopos são ferramentas que vem sendo utilizadas em trabalhos de paleoecologia para inferir a parâmetros como temperatura do ambiente, disponibilidade de nutrientes, hábito alimentar, migração, condições ambientais em que viveram mamíferos que foram extintos ao longo do tempo, entre outros.

Esta análise realizada em dentes de herbívoros permite verificar mudanças na dieta alimentar, distinguindo recursos das vias fotossintéticas dos tipo C_3 e C_4 , possibilitando a compreensão da dinâmica das populações extintas. De acordo com Dantas *et al.* (2013), existe uma dificuldade na reconstrução da paleoecologia da megafauna extinta do Pleistoceno, tanto pela ausência de espécies análogas viventes, como pela escassez de informações baseadas em análises isotópicas.

Um destes grupos de animais extintos são os toxodontídeos, mamíferos de grande porte que habitaram a América do Sul durante o Pleistoceno e Holoceno, tendo ampla distribuição pelo território brasileiro. A sua ocorrência é bem descrita na Região Intertropical Brasileira, e têm se investigado sobre suas relações com o ambiente em que viviam, por meio de análises dietéticas utilizando isótopos. No geral, são considerados animais oportunistas que possuem hábitos plásticos, se adaptando bem a diversas condições ambientais.

A sazonalidade ambiental modifica a estrutura de uma comunidade vegetal e pode influenciar a dieta de mamíferos herbívoros, pois vários recursos vegetais mudam ao longo do ano. Apesar da plasticidade alimentar dos toxodontes, não se sabe se o consumo de recursos alimentares sofriam alterações ao longo das estações na RIB. Isto se deve ao fato das amostragens não serem realizadas em sequência, obtendo apenas um valor médio de consumo de recursos.

Este trabalho visou avaliar a dieta de toxodontídeos de estados do nordeste do Brasil, inseridos na RIB, num espectro mais refinado, utilizando a técnica de análise seriada de carbono e oxigênio, para verificar se o hábito do grupo tende a mudar com as mudanças ambientais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Isótopos

Isótopos, do grego “iso” - igual e “topos”- lugar, são variações de um elemento químico que possuem o mesmo número de prótons (Z) e elétrons (E), distinguindo em número de neutrons (N) e massa atômica (A) (Ferraz *et al.*, 2009; Pereira & Benedito, 2018).

A capacidade do elemento manter sua estrutura ao longo do tempo é o que diz respeito à estabilidade, desta forma, os isótopos podem ser radioativos ou estáveis (Teruyra & Duarte, 2011). Os isótopos radioativos são instáveis em função do decaimento, emitindo energia e partículas, enquanto os estáveis não têm sua massa alterada com o tempo, sem emitir radiação (Ferraz *et al.*, 2009; Teruya & Duarte, 2011).

Os isótopos considerados mais leves são abundantes na natureza (~98,89%), enquanto aqueles de massa atômica maior são mais raros (~1,11%) (Alves *et al.*, 2005; Albrecht *et al.*, 2021). A discriminação de ocorrência na natureza acontece por conta de processos químicos, biológicos e físicos, processo chamado “Fracionamento isotópico”, resultado de enriquecimento do elemento presente no tecido em observação (Martinelli *et al.*, 1988; Pereira *et al.*, 2007).

2.2 Isótopo de Carbono

O carbono apresenta três isótopos: um radioativo (^{14}C) e dois estáveis (^{12}C e ^{13}C), sendo o carbono 12 o mais leve e abundante (Ducatti *et al.*, 2011). A razão isotópica de carbono, presente nos tecidos de mamíferos, é assimilada por meios dos nutrientes presentes na sua dieta. Com a $\delta^{13}\text{C}$ é possível distinguir o tipo de recurso vegetal consumido, além daquele presente na base da cadeia alimentar de predadores (Bocherens & Drucker, 2013; Rivals *et al.*, 2018).

Geralmente são consideradas as vias fotossintéticas C_3 e C_4 para inferência de consumo de recursos. O fracionamento de carbono nas plantas C_3 e C_4 ocorre em processos diferentes, logo, a razão do carbono mais pesado (^{13}C) pode ser utilizada para distinguir as diferentes vias metabólicas (Albrecht *et al.*, 2021). As plantas C_3 são representadas por gramíneas de estações frias, árvores tropicais e arbustos, enquanto as C_4 são gramíneas forrageadoras de estações e ambientes secos (Higgins, 2018).

Em plantas da via fotossintética C₃ a abundância isotópica de ¹³C varia de -20‰ a -34‰ com média de -27‰, enquanto nas da via fotossintética C₄, esta variação vai de -9‰ a -17‰ com média de -13‰ (MacFadden *et al.*, 1999; Alves *et al.*, 2005).

2.3 Isótopo de Oxigênio

O oxigênio é elemento mais abundante da Terra, ocorrendo em corpos gasosos, líquidos e sólidos. (Hoefs, 2004). Ele possui três isótopos estáveis, com as seguintes abundâncias: ¹⁶O, o mais leve (99.76 %), um intermediário ¹⁷O (0.03 %) e o mais pesado ¹⁸O (0.19%) (Rodrigues & Fauth, 2013).

O oxigênio é absorvido pela ingestão de água, pela dieta ou por meio da respiração (Bocheréns & Drucker, 2013). É estável em ampla escala de temperaturas, sendo muito útil em inferências de paleoambientais, pois a $\delta^{18}\text{O}$ permite inferir variações referentes à temperatura e aridez ambiental (Rodrigues & Fauth, 2013).

A razão isotópica associados ao ¹⁸O geralmente estão relacionados ao efeito latitudinal, quantidade de precipitação e temperatura do ar na superfície (Pacheco, 2012). Valores mais altos de $\delta^{18}\text{O}$ (em água ou em tecidos fósseis) indicam períodos mais quentes ou mais secos, com maiores taxas de evaporação; enquanto os valores mais baixos indicam temperaturas mais baixas, aumento da umidade e precipitação. Também pode refletir temperatura mais baixa, mas em contextos tropicais, o efeito da quantidade é o fator determinante (Bocherens & Drucker, 2013; Dantas *et al.*, 2017).

2.4 Isótopos na Paleoecologia

A Paleoecologia integra a Paleontologia, Evolução, Ecologia e Biogeografia, utilizando componentes fósseis da fauna e da flora para entender as interações passadas, processos e padrões ecológicos (Carvalho *et al.*, 2010; Lima-Ribeiro & Diniz-Filho, 2013).

Existem áreas de estudo que funcionam como ferramentas para os estudos paleoecológicos, como por exemplo a Biomecânica, que se refere ao estudo da mecânica dos seres vivos e isso pode ser aplicado em grupos fósseis (e.g Bargo *et al.*, 2006; Bargo & Vizcaíno, 2008; Tambusso *et al.*, 2018); os estudos de microdesgaste, que analisam o desgaste dentário dos mamíferos ocasionados pela alimentação (e.g Asevedo *et al.*, 2012, 2020); a Modelagem preditiva de distribuição e de nicho, que permite inferir distribuição

potencial de espécies (e.g. Ribeiro *et al.*, 2012; Domingo *et al.*, 2017; Varela *et al.*, 2018; Silveira *et al.*, 2019); Tafonomia, que estuda os processos desde a morte até a finalização da fossilização (e.g. Stoetzel *et al.*, 2011; Holden *et al.*, 2013); e a análise isotópica a partir de tecidos.

Os isótopos variam na natureza de acordo com suas especificidades, podendo ser ferramentas úteis nos estudos paleoecológicos (Fry, 2006; Ferraz *et al.*, 2009). Os isótopos mais utilizados nestes estudos são: O isótopo instável de Carbono (^{14}C), que possibilita a datação de fósseis (Rosetti *et al.*, 2004; Dantas *et al.*, 2013); e os isótopos estáveis de Oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$), Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e Nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) que permitem inferências dietéticas (e.g. Longinelli, 1984; Bocheréns *et al.*, 1997; Kohn, 2010; Dantas *et al.*, 2013; França *et al.*, 2014, 2015; Leichliter *et al.*, 2017).

A razão isotópica de isótopos de Carbono e Oxigênio em fósseis geralmente pode ser medida no fosfato (para análise de oxigênio) ou carbonato de três tecidos principais: esmalte, dentina ou ossos (Kohn & Cerling, 2002; Fricke, 2007). Os dois primeiros são os mais indicados por sofrerem menos ações diagenéticas. Além disso, as análises podem ser realizadas a partir do colágeno (fração orgânica), e da hidroxiapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)$) fração mineral (Dantas *et al.*, 2017).

A distinção da massa entre os átomos destes elementos químicos é possível pela utilização, geralmente, de um espectômetro de massa (Fernandes, 2014). Este tipo de análise permite o desenvolvimento de reconstruções paleoambientais e paleoclimáticas, principalmente em fósseis de mamíferos pleistocênicos (e.g. Quade *et al.*, 1995; Pushkina *et al.*, 2010, 2020; Kovács *et al.*, 2012; González-Guarda *et al.*, 2017; Bravo- Cuervas *et al.*, 2017).

2.5 A Megafauna na Região Intertropical Brasileira

A Região Intertropical Brasileira, situada entre as latitudes 6°S e 14°S (Dantas *et al.*, 2013), abrange os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro e Sergipe (Figura 1).

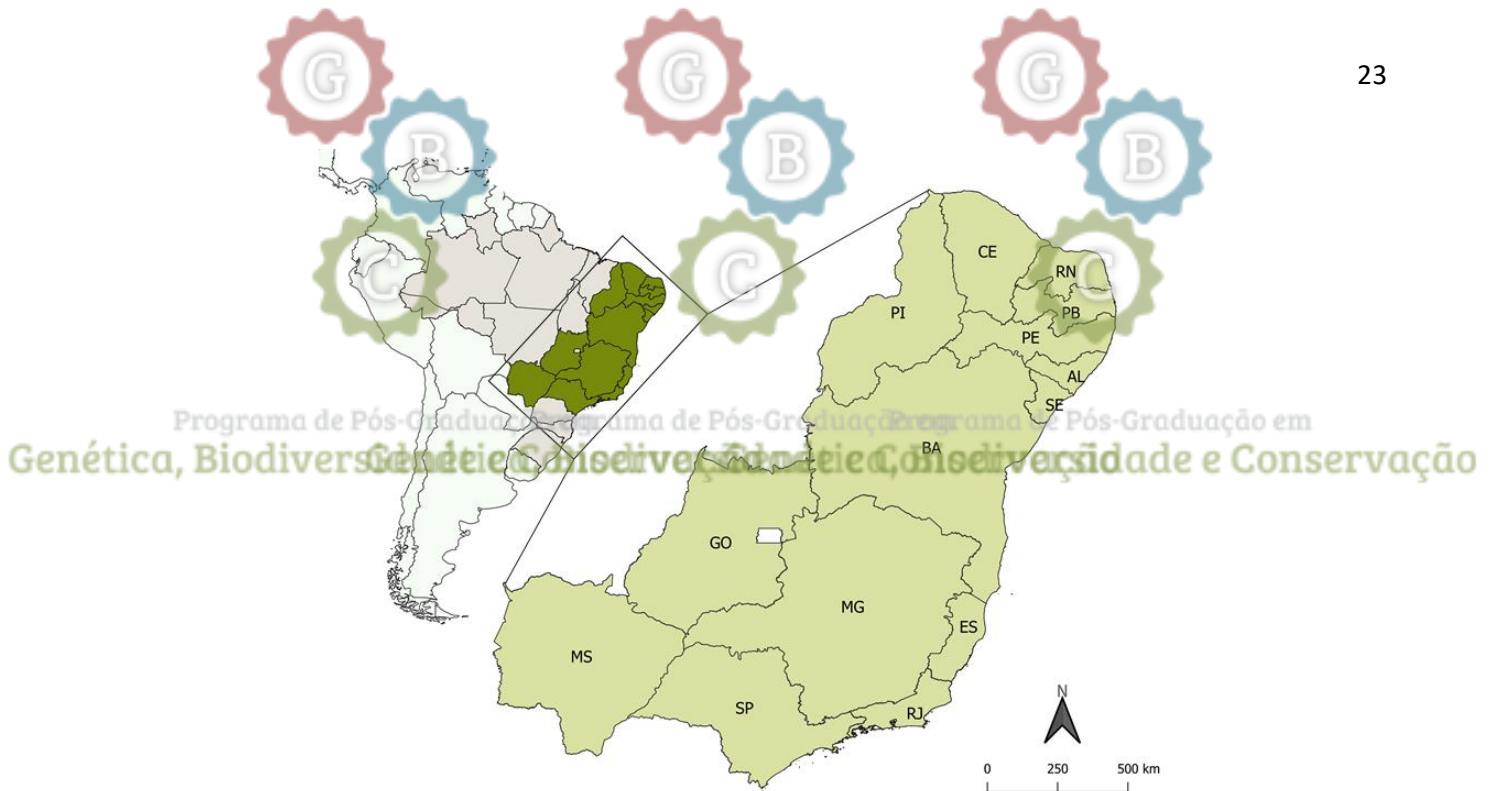


Figura 1- Mapa do Brasil (Cinza) com destaque para os estados da Região Intertropical Brasileira (RIB) (Verde): Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, São Paulo, Sergipe e Rio Grande do Norte) (Cartelle, 1999; Oliveira *et al.*, 2017).

Esta delimitação foi estabelecida por Cartelle (1999), considerando uma área que foi habitada por uma fauna de megamamíferos que inclui espécies endêmicas e imigrantes da América do Norte no Pleistoceno, distribuídas em ambientes abertos do tipo savana. Recentemente, os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul foram incluídos na RIB, com base em ocorrências de espécies endêmicas da região zoogeográfica (Oliveira *et al.*, 2017).

A fauna pleistocênica brasileira era composta principalmente por mamíferos de grande porte, como por exemplo os Notoungulata (Toxodontes), os Xenarthra (Preguiças-gigantes, tatus-gigantes, gliptodontes); os Litopterna (Xenorrinotérios e macrauquênias), além dos migrantes da América do Norte, como os Proboscidea (mastodontes), Carnivora, Perissodactylae Cetartiodactyla (Fariña *et al.*, 2013; Scherer *et al.*, 2016).

Os notoungulatos formavam um grupo que possuía ampla distribuição no Brasil, sendo registrado em quase todo território (Braunn & Ribeiro, 2017). Se tratava de um grupo monofilético endêmico da América do Sul (Roth, 1903), dividido em quatro subordens: Typotheria, Notioprogonia, Hegetotheria e Toxodontia (Simpson, 1945; Billet, 2011). Os toxodontes, a única família sobrevivente até o Holoceno, possuía grande porte,

podendo chegar a três metros de comprimento e mais de uma tonelada (Scherer *et al.*, 2016).

Na RIB, estes registros são provenientes de estudos realizados em tanques e cavernas. Os tanques fossilíferos são depósitos sedimentares restritos ao nordeste do Brasil, resultantes de intemperismo físico-químico, causando depressões em afloramentos rochosos (Araújo-Júnior *et al.*, 2013). Estas concavidades, que podem acumular água sazonalmente, possuem grande potencial de preservação fóssil, principalmente quando se trata da fauna extinta do Pleistoceno Final-Holoceno (Ximenes, 2008; Araújo-Júnior *et al.*, 2013).

Já as cavernas são cavidades geológicas formadas por processos naturais, independente de suas dimensões ou tipo de rocha, que são propícias à preservação de fósseis e integram em grande parte uma paisagem denominada carste (Piló & Auler, 2011; Lobo & Boggiani, 2013).

No Nordeste brasileiro ocorrem muitas destas formações, e os fósseis acumulados nestes ambientes são ferramentas importantes para compreender os paleoambientes relacionados à fauna extinta da região (Silva *et al.*, 2019; Waldherr *et al.*, 2019; Dantaset *al.*, 2020). Esses fósseis geralmente são restos de animais que caem naturalmente ali, ou são arrastados por chuvas sazonais (Dantas *et al.*, 2020).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- ✓ Avaliar se a dieta de toxodontes do Quaternário da Região Intertropical Brasileira apresentava variação sazonal/anual.

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Inferir a dieta anual de fósseis de toxodontídeos provenientes de depósitos de tanque dos estados da Paraíba (PB) e Pernambuco(PE);
- ✓ Inferir largura de nicho ecológico para os taxa estudados;
- ✓ Comparar os dados das paleodietas para ambos os estados;
- ✓ Fazer estimativas do paleoambiente onde os toxodontes viveram.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, MP., REIS, AS., NERES-LIMA, V., & ZANDONÀ, E. 2021. Isótopos estáveis e outras ferramentas em estudos tróficos de peixes em riachos tropicais. *Oecologia Australis*, 25(2), 300.

ALVES, BJR., ZOTARELLI, L., JANTALIA, CP., BODDEY, RM., & URQUIAGA, S. 2005. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. *Processos biológicos no sistema solo-planta: Ferramentas para uma agricultura sustentável*. Brasília, Embrapa-SCT, 343-350.

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

ASEVEDO, L., WINCK, GR., MOTHE, D., & AVILLA, LS. 2012. Ancient diet of the Pleistocene gomphothere *Notiomastodon platensis* (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae) from lowland mid-latitudes of South America: stereomicroscopy and tooth calculus analyses combined. *Quaternary International*, 255, 42-52.

ASEVEDO, L., D'APOLITO, C., MISUMI, SY., BARROS, MA., BARTH, O. M., & AVILLA, LS. 2020. Palynological analysis of dental calculus from Pleistocene proboscideans of southern Brazil: A new approach for paleodiet and paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 540. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109523>.

AZEVEDO, RL., ASFORA, VK., MÜTZENBERG, DS., CISNEIROS, D., SULLASI, HL., KINOSHITA, AM., GUZZO, PL., SKINNER, AR., BAFFA, O., PESSIS, AM., & KHOURY, HJ. 2020. ESR dating of megafauna enamel teeth from Lagoa Uri de Cima Archaeological Site (Pernambuco, Northeastern Brazil). *Quaternary International*, 556, 38-48.

BALASSE, M., BOCHERENS, H., MARIOTTI, A., & AMBROSE, SH. 2001. Detection of Dietary Changes by Intra-tooth Carbon and Nitrogen Isotopic Analysis: An Experimental Study of Dentine Collagen of Cattle (*Bos taurus*). *Journal of Archaeological Science*, 28, 235–245. <https://doi.org/10.1006/jasc.1999.0535>.

BARGO, MS., DE IULIIS, G., & VIZCAÍNO, SF. 2006. Hypsodonty in Pleistocene ground sloths. *Acta Palaeontologica Polonica*, 51(1).

- BARGO, MS., & VIZCAÍNO, SF. 2008. Paleobiology of Pleistocene ground sloths (Xenarthra, Tardigrada): biomechanics, morphogeometry and ecomorphology applied to the masticatory apparatus. *Ameghiniana*, 45(1), 175-196.
- BILLET, G. 2011. "Phylogeny of the Notoungulata (Mammalia) Based on Cranial and Dental Characters." *Journal of Systematic Palaeontology*, vol. 9, no.4, p. 481–97. <https://doi.org/10.1080/14772019.2010.528456>.
- BOCHERENS, H., & DRUCKER, DG. 2013. CARBONATE STABLE ISOTOPES [Terrestrial Teeth and Bones. In *Encyclopedia of Quaternary Science* (pp. 304–314). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00341-1>.
- BOCHERENS, H., BILLIOU, D., PATOU-MATHIS, M., BONJEAN, D., OTTE, M., & MARIOTTI, A. 1997. Paleobiological Implications of the Isotopic Signatures (^{13}C , ^{15}N) of Fossil Mammal Collagen in Scladina Cave (Sclayn, Belgium). *Quaternary Research*, 48(3), 370–380. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1927>.
- LOBO, HAS., & BOGGIANI, PC. 2013. Cavernas como patrimônio geológico. *Boletim paranaense de geociências*, 70.
- BRAUNN, PR.; RIBEIRO, AM. 2017. Evolução dos Toxodontia da América do Sul duranteo Cenozoico: aspectos dentários, paleoclimáticos e paleoambientais. *Terrae Didactica*, v. 13, n. 2, p. 127, 10 ago. 2017.
- BRAVO-CUEVAS, VM., RIVALS, F., & PRIEGO-VARGAS, J. 2017. Paleoeecology ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ stable isotopes analysis) of a mammalian assemblage from the late Pleistocene of Hidalgo, central Mexico and implications for a better understanding of environmental conditions in temperate North America (18° – 36°N Lat.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485, 632–643. <https://doi.org/10.1016/J.PALAEO.2017.07.018>.
- CARTELLE, C. 1999. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: J. F. Eisenberg ; K. H. Redford (eds.) *Mammals of the Neotropics. The Central Neotropics*. 3. The University of Chicago Press, p. 27-46.
- CARVALHO, IS. 2010. Paleontologia: Conceitos e métodos. *Rio de Janeiro: Interciência*, 1,3.
- CERLING, TE., ANDANJE, SA., BLUMENTHAL, SA., BROWN, FH., CHRITZ, KL., HARRIS, JM., HART, JA., FRANCIS, MK., PRINCE KALEME, P., LEAKEYL, N.,LEAKEY, MG., LEVIN NE., MANTHI, FK., PASSEY, B.H., UNO, KT. 2015. Dietary changes of large herbivores in the Turkana Basin, Kenya from 4 to 1 Ma. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*,

112(37), 11467–11472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1513075112>.

DANTAS, MAT., DUTRA, RP., CHERKINSKY, A., FORTIER, DC., KAMINO, LHY., COZZUOL, MA., RIBEIRO, AS., VIEIRA, FS. 2013. Paleoecology and radiocarbon dating of the Pleistocene megafauna of the Brazilian Intertropical Region Quaternary Research(United States), 79(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.09.006>.

DANTAS, MAT., CHERKINSKY, A., BOCHERENS, H., DREFAHL, M., BERNARDES, C., & FRANÇA, LM. 2017. Isotopic paleoecology of the Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region: Feeding ecology ($\delta^{13}\text{C}$), niche breadth and overlap. *Quaternary Science Reviews*, 170, 152–63. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2017.06.030>.

DANTAS, MAT., CHERKINSKY, A., LESSA, CMB., SANTOS, LV., COZZUOL, MA., OMENA, ÉC., SILVA, JLL, SIAL, AN., & BOCHERENS, H. 2020. Paleoecologia isotópica ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de uma comunidade de vertebrados do final do Pleistoceno da Região Intertropical Brasileira. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 23 (2), 138-152.

DOMINGO, L., RODRÍGUEZ-GÓMEZ, G., LIBANO, I., & GÓMEZ-OLIVENCIA, A. 2017. New insights into the Middle Pleistocene paleoecology and paleoenvironment of the Northern Iberian Peninsula (Punta Lucero Quarry site, Biscay): A combined approach using mammalian stable isotope analysis and trophic resource availability modeling. *Quaternary Science Reviews*, 169, 243–262. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.06.008>.

DUCATTI, C., MARTINS, CL., ARRIGONI, MDB., MARTINS, MB., VIEIRA JÚNIOR, LC., & DENADAI, JC. (2011). Utilização de isótopos estáveis em ruminantes. *Revista brasileira de zootecnia*, 68-75.

FARIÑA, RA., VIZCAÍNO, SF., IULIIS, G. 2013. Megafauna. Giant Beasts of Pleistocene South America, Indiana University Press, Bloomington ,p. 416.

FERNANDES, RF. 2014. Isótopo. *Revista de Ciência Elementar*, 2 (1).

FERRAZ, ESB., OMETTO, JPHB., MARTINELLI, LA., MOREIRA, M. Z., CAMARGO, PB., & VICTORIA, RL. 2009. *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. Oficina de Textos.

FRANÇA, LM., DANTAS, MAT., BOCCHIGLIERI, A., CHERCKINSKY, A., RIBEIRO, AS., & BOCHERENS, H. 2014. Chronology and ancient feeding ecology of two upper Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region. *Quaternary Science Reviews*, 99, 78–83.

<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.04.028>.

FRICKE, H. 2007. Stable isotope geochemistry of bonebed fossils: reconstructing paleoenvironments, and paleobiology. In A. R. F. Raymond R. Rogers, David A. Eberth (Ed.), *Bonebeds: Genesis, Analysis, and Paleobiological Significance* (p. 499). <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226723730.001.0001>.

FRY, B. 2006. *Stable Isotope Ecology*. New York: Springer. p. 308. DOI:10.1007/0-387-33745-8.

GONZÁLEZ-GUARDA, E., DOMINGO, L., TORNERO, C., PINO, M., FERNÁNDEZ, M.H., SEVILLA, P., VILLAVICENCIO, N. & AGUSTÍ, J. 2017. Late Pleistocene ecological, environmental and climatic reconstruction based on megafauna stable isotopes from northwestern Chilean Patagonia. *Quaternary Science Reviews*, 170, 188–202. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.06.035>

HIGGINS, P. 2018. Isotope ecology from biominerals. In D. A. Croft, D. F. Su, & S. W. Simpson (Eds.), *Methods in paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities* (pp. 99–120). https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_7.

HOEFS J. 2004. *Stable Isotope in Geochemistry*. Springer-Verlag. Germany. p. 244, 5 ed.

HOLDEN, AR., HARRIS, JM., & TIMM, RM. 2013. Paleoeological and Taphonomic Implications of Insect-Damaged Pleistocene Vertebrate Remains from Rancho La Brea, Southern California. *PLOs ONE*, 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067119>

JONES, DB., & DESANTIS, LRG. 2017. Dietary ecology of ungulates from the La Brea tar pits in southern California: A multi-proxy approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 466, 110–127. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.11.019>.

KOHN, MJ. 2010. Carbon isotope compositions of terrestrial C3 plants as indicators of (paleo)ecology and (paleo)climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(46), 19691–19695. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004933107>

LIMA-RIBEIRO, MS., & DINIZ-FILHO, JAF. 2013. Modelos ecológicos ea extinção da megafauna: clima e homem na América do Sul. *Cubo, São Carlos*.

LEICHLITER, J., SANDBERG, P., PASSEY, B., CODRON, D., AVENANT, NL., PAINE, OCC., CODRON, J., RUITER, D., & SPONHEIMER, M. 2017. Stable

carbon isotope ecology of small mammals from the Sterkfontein Valley: Implications for habitat reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 485, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.06.003>.

LONGINELLI, A. 1984. Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research? *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(2), 385–390. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90259-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90259-X).

MARTINELLI, LA., VICTORIA, RL., MATSUI, E., FORSBERG, BR., & MOZETO, AA. 1988. Utilização das variações naturais de $\delta^{13}\text{C}$ no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: princípios e perspectivas. *Acta Limnol Bras*, 1, 859-882.

OLIVEIRA, AM., BECKER-KERBER, B., CORDEIRO, LM., BORGHEZAN, R., AVILLA, LS., PACHECO, MLAF., & SANTOS, CMD. 2017. Quaternary mammals from central Brazil (Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul) and comments on paleobiogeography and paleoenvironments. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 20(1), 31-44.

OMENA, ÉC., SILVA, JLLD, SIAL, AN, CHERKINSKY, A., & DANTAS, MAT (2020). Meso-megaherbívoros do Pleistoceno Superior da Região Intertropical Brasileira: dieta isotópica ($\delta^{13}\text{C}$), diferenciação de nicho, guildas e reconstrução paleoambiental ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$). *Biologia Histórica*, 1-6.

PACHECO, WL. 2012. Águas Subterrâneas do Distrito Federal – Efeito de Sazonalidade e Características Associadas aos Isótopos de Deutério, Oxigênio e Carbono. 129f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PEREIRA, AL., & BENEDITO, E. 2018. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas.

PILÓ, LB., & AULER, A. 2011. Introdução à espeleologia. *Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Belo Horizonte: Instituto Terra Brasilis*, 7-23.

PUSHKINA, D., BOCHERENS, H., CHAIMANEE, Y., & JAEGER, JJ. 2010. Stable carbon isotope reconstructions of diet and paleoenvironment from the late Middle Pleistocene Snake Cave in Northeastern Thailand. *Naturwissenschaften*, 97(3), 299–309. <https://doi.org/10.1007/s00114-009-0642-6>

PUSHKINA, D., SAARINEN, J., ZIEGLER, R., & BOCHERENS, H. 2020. Stable isotopic and mesowear reconstructions of paleodiet and habitat of the Middle and Late Pleistocene mammals in south-western Germany. *Quaternary Science Reviews*,

227. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.106026>.

QUADE, J., CERLING, TE., ANDREWS, P., & ALPAGUT, B. 1995. Paleodietary reconstruction of Miocene faunas from Paşalar, Turkey using stable carbon and oxygen isotopes of fossil tooth enamel. *Journal of Human Evolution*, 28(4), 373–384. <https://doi.org/10.1006/jhev.1995.1029>.

RIBEIRO, MSL., VARELA, S., NOGUÉS-BRAVO, D., & DINIZ FILHO, JAF. 2012. Potential suitable areas of giant ground sloths dropped before its extinction in South America: the evidences from bioclimatic envelope modeling.

RIVALS, F., & ÁLVAREZ-LAO, DJ. 2018. Ungulate dietary traits and plasticity in zones of ecological transition inferred from late Pleistocene assemblages at Jou Puerta and Rexidora in the Cantabrian Region of northern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 499, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.03.024>.

WALDHERR, FR., ARAÚJO-JÚNIOR, HI., RODRIGUES, SWO., & LIRA XIMENES, C. 2019. La importancia de los tanques naturales (megafanomas) en la preservación de fósiles de la Megafauna cuaternaria en el Noreste de Brasil. *Cadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular*, 41, 99-122.

RODRIGUES, GB., & FAUTH, G. 2013. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio em ostracodes do Cretáceo: metodologias, aplicações e desafios. *Terrae Didática*, 9(1), 34-49.

ROTH, S. 1903. Los ungulados sudamericanos. Talleres de publicaciones del Museo.

SCHERER, CS.; MORAES, SSD. & OLIVEIRA, TVD. 2016. Projeto FIOL salvamento paleontológico: Uma ponte entre a universidade e a sociedade. 1. ed. Salvador: Universidade Federal da Bahia.

SILVA, JA., LEAL, LA., CHERKINSKY, A., & DANTAS, MAT. 2019. Meso-megamamíferos do Pleistoceno superior de Anagé, Bahia, Brasil: Taxonomia e paleoecologia isotópica ($\delta^{13}\text{C}$). *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102362.

SILVEIRA, MHB., MASCARENHAS, R., CARDOSO, D., & BATALHA-FILHO, H. 2019. Pleistocene climatic instability drove the historical distribution of forest islands in the northeastern Brazilian Atlantic Forest. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 527, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.04.028>

SIMPSON, GG. 1945. The principles of classification and a classification of mammals.

Bull. Amer. Museum Nat. History., v. 85, 350 p.

STOETZEL, E., MARION, L., NESPOULET, R., EL HAJRAOUI, MA., & DENYS, C. 2011. Taphonomy and palaeoecology of the late Pleistocene to middle Holocene small mammal succession of El Harhoura 2 cave (Rabat-Témara, Morocco). *Journal of Human Evolution*, 60(1), 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2010.07.016>

TAMBUSSO, PS., VARELA, L., & MCDONALD, HG. 2020. Fusion of anterior thoracic vertebrae in Pleistocene ground sloths. *Historical Biology*, 32(2), 244-251.

TERUYA, N., & DUARTE, SB. 2012. Núcleos exóticos e síntese dos elementos químicos. *Química Nova*, 35(2), 360-366.

UNO, KT., CERLING, TE., HARRIS, JM., KUNIMATSU, Y., LEAKEY, MG., NAKATSUKASA, M., & NAKAYA, H. 2011. Late Miocene to Pliocene carbon isotope record of differential diet change among East African herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(16), 6509–6514. <https://doi.org/10.1073/pnas.1018435108>.

VARELA, L., TAMBUSSO, PS., PATIÑO, SJ., DI GIACOMO, M., & FARIÑA, RA. 2018. Potential Distribution of Fossil Xenarthrans in South America during the Late Pleistocene: co-Occurrence and Provincialism. *Journal of Mammalian Evolution*, 25(4), 539–550. <https://doi.org/10.1007/s10914-017-9406-9>.

XIMENES, CL. 2008. Tanques Fossilíferos de Itapipoca, CE - Bebedouros e cemitérios de megafauna pré-histórica. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 18/09/2008, em <http://www.sigep.cprm.gov.br/sitio014/sitio014.pdf>.

5. CAPÍTULO 1

Annual diet evaluation ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of *Toxodon platensis* Owen 1837 (Notoungulata, Toxodontidae) in the Brazilian Intertropical Region

Verônica Santos Gomes^{a*}, Carlos Micael Bonfim Lessa^a, Hervé Bocherens^b, Herminio Ismael de Araújo-Júnior^c, Hebert Bruno Nascimento Campos^d, Mário André Trindade Dantas^{a,e}.

^a*Programa de Pós-graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié, Bahia, Brasil;*

^b*Biogeology, Department of Geosciences and Senckenberg Center for Human Evolution and Palaeoenvironment (HEP), Universität Tübingen, Hölderlinstr. 12, 72074 Tübingen, Germany;*

^c*Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil;*

^d*Centro Universitário Maurício de Nassau, Campina Grande, Paraíba, Brazil;*

^e*Laboratório de Ecologia e Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA/IMS-CAT), Vitória da Conquista, Bahia, Brazil.*

*Corresponding author: gomes.veronicacb@gmail.com

Abstract. The isotopic signatures of carbon and oxygen, present in the teeth of herbivorous mammals, reflect the isotopic composition of the vegetation consumed by the animal. These signatures can also reflect the seasonal variation of the environment. To assess the annual dietary variation of *Toxodon platensis* Owen, 1837, tooth enamel samples found in a tank in the municipality of Puxinanã (Paraíba, Brazil) were analyzed isotopically ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$). The analyzes were carried out considering the growth cycles and, to verify the proportion of consumption, mathematical models proposed in the literature were used. The results show little variation in the diet of this notoungulate over the months. The diet was not dependent on seasonal variations, being predominantly mixed with a slight increased consumption of C_4 , which corroborates other authors. This lack of relationship may indicate that changes in the availability of C_3 and C_4 in the environment occurred in a time interval shorter than the period of a complete season, while the higher consumption of C_4 may interfere with the rise in temperature. This work

brings news about the period of tooth growth of *Toxodon*.

Keywords: paleodiet, paleoenvironment, seasonality, stable isotopes.

1. Introduction

Notoungulates are an extinct order of mammals that lived in South America, with evolutionary success from the Early Paleocene to the Holocene (Marshall, 1988; Roth, 1903; Cifelli, 1993; Ribeiro, 1994). It is a group divided into four suborders: Typotheria, Notioprogonia, Hegetotheria and Toxodontida (Simpson, 1945; Billet, 2011).

Toxodonts, the only surviving group until the Pleistocene, could reach three meters in length and weight more than one ton (Scherer et al., 2016; Dantas, 2019). During the Pleistocene, they were widely distributed through almost the entire Brazilian territory (Braunn & Ribeiro, 2017). Studies point to food plasticity in species of this suborder, which foraged on plants using both the C₃ and C₄ photosynthetic pathways, and are therefore considered as generalists (Dantas et al., 2017; Braunn & Ribeiro, 2017; Defler, 2018; Pansani et al., 2019; Domingo et al., 2020).

Despite the food plasticity of toxodonts, it is not known whether the consumption of food resources changed seasonally. Environmental seasonality modifies the structure of a plant community and can influence the diet of herbivorous mammals, as several plant resources change throughout the year (Dawson et al., 1994; Vieira et al., 2003; Corrêa, 2014; Bergmann et al., 2015).

An analysis of oxygen and carbon isotopic variation in teeth may reveal this type of change in herbivore feeding (e.g., Balasse et al., 2001; Uno et al., 2011; Cerling et al., 2015). This allows us to understand the dynamics of extinct populations. Thus, the objective of this study was to verify, through stable isotopes, whether the *Toxodon platensis* diet varied with environmental seasonality.

2. Methodology

2.1. Study Area

Lagoa de Dentro is a Pleistocene tank located in Puxinanã (6°40'24.56" S, 35°22'34.89" W), a municipality known as "The city of slabs" (Fig.1). The municipality,

located in the Microregion of Campina Grande and the Mesoregion of Agreste Paraibano (Puxinanã Prefecture, 2020), belongs to the Brazilian semi-arid region, with an arid climate (equatorial semi-arid) (IBGE, 2021). Dams, wells tubes and rock tanks are typical water reservoirs in the region (Ferreira, 2011).

2.2. Study material

To define the values of the isotope ratio of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$), we analyzed two incisive teeth of the species *Toxodon platensis* Owen, 1837 (Toxodontidae, Notoungulata), rescued in a fossiliferous tank in Lagoa de Dentro (Puxinanã) (Fig.2). The incisors of *T. platensis* that we used are different from the upper and lower incisors of *Trigodonops lopesi* (= *Piauhitherium capivarae*; Silva, 2019), which are triangular in shape, curved longitudinally, and implanted at an arcuate shape.

Teeth are hypselodontic incisors, of continuous growth (Paula Couto, 1979), a fundamental characteristic for this type of study. The analyzes were performed on tooth enamel, as it is a tissue that undergoes minimal changes throughout the diagenetic history of fossils (Koch et al., 1997).

The material is part of the Paleontological Collection of the Laboratory of Ecology and Geosciences of the Federal University of Bahia, Campus Anísio Teixeira - Multidisciplinary Institute in Health and receive the code numbers LEG 2249 and LEG 2250.

2.3. Serial analysis

Serial analysis consists of sampling the tissue several times along the direction of tooth growth, so that environmental and habit changes can be inferred (Higgins, 2018). The intradental isotopic values, corresponding to each sample, allow us to verify if there are changes in feeding with seasonal variations.

In this way, each sample was collected with 3-6 mm intervals along the height of the tooth crown, starting at the occlusion zone. A total of 16 samples were taken from the fragments of both teeth (LEG 2249 and LEG 2250, Fig. 2), eight for each of them.

Bocherens et al. (2001) proposed an estimate that, at every 40 mm of sampling along tooth height, we have a representation of one cycle (year) of tooth growth in some species of horse. For proboscideans this interval can be smaller, about 15 mm (e.g.

Metcalfe & Longstaffe, 2012), showing that there is no standard for ungulates. There is no growth estimate for toxodonts yet.

This cycle is estimated based on maximum and minimum isotopic values, considering oxygen isotopes (Fricke & O'neil, 1996; Feranec & MacFadden, 2000; Bocherens et al., 2001; Higgins & MacFadden, 2004; Jiao et al., 2019).

To estimate the variation in diet with seasonal change, in addition to the tooth growth rate of the species, the series analysis was performed considering the larger growth interval (40 mm). It is important to emphasize that the cycles mentioned only indicate how much resources have changed over the course of a year, not allowing inferences about the animal's age.

Analyzes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) were performed using the carbonate (CO_3^{2-}) present in the mineral fraction of hydroxyapatite. They were carried out at the Senckenberg Human Evolution and Paleoenvironment Center, University of Tübingen, Germany.

Laboratory data are calibrated in delta d notation $\frac{1}{4} [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}} - 1) \times 1000]$ (Coplen, 1994), and $\delta^{13}\text{C}$ considering the V-PDB scale (Vienna – Pee Dee Belemnite), and $\delta^{18}\text{O}$, V-SMOW (Vienna Standard Mean Oxygen of Water), an international isotopic standard distributed by the International Atomic Energy Agency (IAEA) (Coplen, 1994; Higgins, 2018).

2.4. Enrichment and consumption of food resources ($\delta^{13}\text{C}$)

When an herbivorous mammal feeds, the organism assimilates the carbon isotopes present in plants, which are enriched in the digestion process. According to Tejada-Lara et al. (2018), the value of this enrichment is directly related to the consumer's body mass.

Thus, to estimate enrichment, the mean body mass of *T. platensis* (~1,800 kg) (Dantas, 2019) in the Tejada-Lara model was considered:

$$\mathcal{E}^* = 2.4 + 0.034(BM)$$

Where: $\mathcal{E}^*$ = Enrichment, BM = Body mass (Kg).

In tropical regions C_3 plants usually are represented by tree and shrubs, while C_4 plants are generally grass. There are estimated patterns on the proportion of $\delta^{13}\text{C}$ in C_3 and C_4 plants, in their habitat, being $-27 \pm 3\text{‰}$ and $-13 \pm 2\text{‰}$, respectively (MacFadden et al., 1999). Adding the enrichment measured from the body mass (+14 ‰), $\delta^{13}\text{C}$ values

more negative than -13‰ indicate C₃ resources, while those higher than +1 ‰ indicate C₄ type resources.

Such values will establish the limits for the interpretation of isotope values recorded in the material. The proportion of various foods consumed can be established with the carbon isotopic ratios, using the mathematical model proposed by Phillips (2012):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{mix}} = \delta^{13}\text{C}_1 f_1 + \delta^{13}\text{C}_2 f_2$$

$$1 = f_1 + f_2$$

Where: f_1 = proportion of resource 1; $\delta^{13}\text{C}_{\text{mix}}$ = carbon value found in animal tissue; $\delta^{13}\text{C}_1$ = Limit value for resource 1; $\delta^{13}\text{C}_2$ = Limit value for resource 2; f_2 = Proportion of resource 2.

2.5. Width of Ecological Niche

According to Pianka (1973), ecological niche dimensions allow us to infer explored habitats, consumed resources, etc., and the variation in these dimensions interferes with the structure and diversity of communities. Based on the values obtained for the resources, the Niche Width was calculated, according to:

$$B = 1/\sum p_i^2$$

Where B = Niche width; p_i = Proportion of resources consumed.

The ecological niche width values found can be standardized using the Levins measure (1968), where the results must vary between 0 and 1, indicating whether the animal is a specialist (0) or a generalist (1):

$$B_A = B - 1/n - 1$$

Where: B_A = Standardized Niche Width; B = Niche width; n = Number of resources consumed.

2.6. Oxygen 18 ($\delta^{18}\text{O}$)

Seasonal variation in extinct species can also be observed from the oscillation of oxygen isotope values (Feranec & MacFadden, 2000). Since oxygen is absorbed, mainly through water intake and breathing (Bocherens & Drucker, 2013), the $\delta^{18}\text{O}$ allows inferring variations in temperature and ambient aridity. Higher values of $\delta^{18}\text{O}$ (in water or in fossil tissues) indicate warmer or drier periods, with higher rates of evaporation; while lower values indicate lower temperatures, increased humidity and precipitation. It can also reflect lower temperature, but in tropical contexts, the amount effect is the driving factor (Bocherens & Drucker, 2013; Dantas et al., 2017).

To verify the effect of oxygen variation on the proportion of food consumed, we used the Pearson Linear Correlation test, using the R statistical program. This test makes it possible to verify the degree of association between the two variables Carbon 14 and Oxygen 18. Here, the Pearson coefficient r must vary between -1 and +1, indicating a strong negative or positive correlation, respectively; the closer to 0, the greater the lack of correlation. The significance level (p) should vary between 0 and 0.05 (5%) to confirm the hypothesis that there is a relationship between seasonal change and food.

3. Results and discussion

3.1. Tooth growth

We consider 40 mm as the maximum interval equivalent to a cycle growth for dental sampling, starting from the occlusion zone. We note, based on minimum values of $\delta^{18}\text{O}$, that the cycle for toxodont occurs every 15 mm (Fig. 3), a growth rate like some proboscideans (e.g. Metcalfe & Longstaffe, 2012).

A cycle marking the summer and winter seasons (using isotope analysis) was presented by Feranec and MacFadden (2000). They observed that the points with the most positive oxygen values indicated periods of higher temperatures, while the most negative values were related to lower temperatures. According to Trayler (2012), this cycle corresponds to approximately one year. Larmon et al. (2019) found, based on the rainy season indications observed in oxygen isotope analysis, that the dental growth rate of the giant sloth *Eremotherium laurillardii* is 70 mm per year.

If the maximum and minimum oxygen points recorded in the *T. platensis* dental

samples represent the beginning and end of wet and dry periods, the tooth of this species would possibly grow about 15 mm in a year, a shorter interval than what we use in standardizing samples.

The first tooth fragment (LEG 2249) had samples analyzed over a length of 29 mm. Considering the 15 mm growth cycle, this interval registered a period of approximately two cycles (23 months) (Fig. 3). For LEG 2250, there were 22.5 mm, indicating about a cycle and a half (18 months) (Fig. 3).

3.2. Resource consumption

The LEG 2249 fragment had $\delta^{13}\text{C}$ (‰) values between -3.9 ‰ and -5.1 ‰ ($\mu\delta^{13}\text{C} = -4.5 \pm 0.4$ ‰) (Table 1, Fig. 3A). This individual probably had a mixed diet for the sampled cycle, consuming a mean of 46 % of C_3 resources and 54 % of C_4 . The LEG 2250 samples had $\delta^{13}\text{C}$ (‰) values vary between -4.4 ‰ and -5.4 ‰ ($\mu\delta^{13}\text{C} = -4.9 \pm 0.3$ ‰) (Table 1, Fig. 3B). In this cycle, the individual consumed a mean of 49 % of C_3 resources and 51 % of C_4 resources, a result like the previous sample.

The diet of this notoungulate did not show marked variations over the analyzed cycles (Fig. 3), with a predominantly mixed profile. The means of standard niche width for LEG 2249 and LEG 2250 were 0.98 and 0.99, respectively, indicating the generalist niche of the species in the state of Paraíba. This signify that *T. platensis*, in this region, did not have food preferences, being able to establish itself in periods of scarcity of both resources

The results corroborate the work of Macfadden (2005), Dantas et al (2013, 2017) and Pansani et al (2019). These authors characterize *T. platensis* as a mixed consumer, in some environments preferring C_4 resources (grazing) and in others, C_3 (browsing), reaffirming the food plasticity of the species.

In more recent works we found the same pattern (Dantas et al., 2020; Omena et al., 2020; Faria et al., 2021), where the authors performed similar analyzes of carbon and oxygen isotopes. There is also an indication that there were only four localities with more than two values of $\delta^{13}\text{C}$ for this *T. platensis*, in the states of Alagoas and Bahia (Omena et al, 2020). Although all these data indicate similar results, this is the first to assess the diet pattern through serial analyses.

3.3. Diet and seasonality

The values of $\delta^{18}\text{O}$ (‰) in LEG 2249 became more positive, vary between 29.1 ‰ and 29.8 ‰ ($\mu\delta^{18}\text{O} = 29.6 \pm 0.3$ ‰) (Table 1), as well as in LEG 2250, which varied between 30.2 ‰ and 31.8 ‰ ($\mu\delta^{18}\text{O} = 30.7 \pm 0.3$ ‰) (Table 1).

The beginning and end of the cycle are well marked by the decline in $\delta^{18}\text{O}$ values, which occurs approximately every 15 mm (Fig. 3A). The pattern indicates that, for most months, the environment was dry, probably with low rainfall. The same can be seen in LEG 2250 (Fig. 3B). The variations in oxygen marking the beginning and end of cycles are clear. Over than, the measured $\delta^{18}\text{O}$ values suggest a progressive increase in temperature.

These results corroborate those obtained by Larmon et al. (2019), who analyzed serial dental samples from the giant sloth *E. laurillardi*. They suggested that during the late Pleistocene, dry periods were longer than nowadays.

There is no correlation between seasonal change and resource preference for the first data set (LEG 2249), where $r = 0.15$ and $p = 0.71$. Thus, we cannot affirm that the changes in feeding recorded in the LEG 2249 samples are dependent on the environmental condition. As for LEG 2250, we observed a strong negative correlation ($r = -0.92$ and $p = 0.00$), indicating that the consumption of C_4 resources decreased as the oxygen values became more positive.

4. Final remarks

Based on the results obtained, we cannot say that the diet, recorded as mixed for the period analyzed, is related to seasonality. This could be an indication that changes in the availability of C_3 and C_4 in the environment were occurring in a time interval less than a full season period, and the landscape might not be uniform, without dominance of one type of plant.

However, there is a record of slightly higher consumption by C_4 -type resources. This may be related to the increase in temperature, which favors the availability of C_4 grasses. There is a consensus in the literature about the diet of *T. platensis* having mixed characteristics. Serial analyzes are essential to understand possible changes in food and environmental behavior.

The difference in correlation for the two sets of data may indicate that the teeth

belong to different individuals, living at different ages, since no dating was performed on the material. Although the results do not show a correlation between consumption pattern and seasonal variation, it is important to carry out this type of analysis for other regions. With more information like this, we can know, for example, if there were environmental factors in specific regions that could change the species' habit, leading to discontinuous food preferences.

For future "mass enamel" isotopic studies, to have an annual mean of $\delta^{13}\text{C}$ values, we suggest that it is only necessary to sample a vertical range of 15 mm, this is important when only one sample per tooth is collected in *T. platensis*.

5. Acknowledgment

To the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for the master's scholarship granted to the first author (process nº 1843306/2019). To the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for the MATD research grant (PQ / CNPq 311003 / 2019-2). To the Carlos Chagas Filho Foundation for Research Support of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ) (Grant E-26 / 203.176 / 2017). We thank Mr. Dagoberto Genesio da Silva (Mastodon Tourist and Cultural Center), for donating the material; and Sophie Habinger, Ranasish Roy and Christoph Wißing for their help in the preparation and isotopic analysis of enamel samples at the University of Tübingen.

References

- BALASSE, M., BOCHERENS, H., MARIOTTI, A., & AMBROSE, S. H. 2001. Detection of Dietary Changes by Intra-tooth Carbon and Nitrogen Isotopic Analysis: An Experimental Study of Dentine Collagen of Cattle (*Bos taurus*). *Journal of Archaeological Science*, 28, 235–245. <https://doi.org/10.1006/jasc.1999.0535>.
- BERGMANN, G. T., CRAINE, J. M., ROBESON, M. S., & FIERER, N. 2015. Seasonal shifts in diet and gut microbiota of the American bison (*Bison bison*). *PLoS ONE*, 10(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142409>.
- BILLET, G. 2011. Phylogeny of the Notoungulata (Mammalia) based on cranial and dental characters. *Journal of Systematic Palaeontology*, 9(4), 481–497. <https://doi.org/10.1080/14772019.2010.528456>.
- BOCHERENS, H., & DRUCKER, D. G. 2013. CARBONATE STABLE ISOTOPES |

Terrestrial Teeth and Bones. In *Encyclopedia of Quaternary Science* (pp. 304–314).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00341-1>.

BOCHERENS, H. MASHKOUR, M., BILLIOU, D., PELLÉ, E., & MARIOTTI, A.
 2001. A new approach for studying prehistoric herd management in arid areas: intra-
 tooth isotopic analyses of archaeological caprine from Iran. *Comptes Rendus de
 l'Académie Des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 332(1), 67–74.
[https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(00\)01488-9](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(00)01488-9).

BRAUNN, P. R., & RIBEIRO, A. M. 2017. Evolução dos Toxodontia da América do Sul
 durante o Cenozoico: aspectos dentários, paleoclimáticos e paleoambientais. *Terrae
 Didactica*, 13(2), 127. <https://doi.org/10.20396/td.v13i2.8650100>.

CARTELLE, C. 1999. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In:
 J. F. Eisenberg ; K. H. Redford (eds.) *Mammals of the Neotropics. The Central
 Neotropics*. 3. The University of Chicago Press, p. 27-46.

CERLING, T. E., ANDANJE, S. A., BLUMENTHAL, S. A., BROWN, F. H., CHRITZ,
 K. L., HARRIS, J. M., HART, J. A., KIRERA, F. M., KALEME, P., LEAKEY, L. N.,
 LEAKEY, M. G., LEVIN, N. E., MANTHI, F. K., PASSEY, B. H., UNO, K. T. 2015.
 Dietary changes of large herbivores in the Turkana Basin, Kenya from 4 to 1 Ma.
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,
 112(37), 11467–11472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1513075112>.

CERNUSAK, L. A., TCHERKEZ, G., KEITEL, C., CORNWELL, W. K., SANTIAGO,
 L. S., KNOHL, A., BARBOUR, M. M., WILLIAMS, D. D., REICH, P. B.,
 WLLSWORTH, D. S., DAWSON, T. E., GRIFFITHS, H. G., FARQUHAR, G. D.,
 WRIGHT, I. J. 2009. Why are non-photosynthetic tissues generally ¹³C enriched
 compared with leaves in C3 plants? Review and synthesis of current hypotheses.
Functional Plant Biology, Vol. 36, pp. 199–213. <https://doi.org/10.1071/FP08216>.

CIFELLI, R. L. 1993. The phylogeny of the native South American ungulates. *Mammal
 phylogeny*, 2, 195-216.

COPLEN, T. B. 1994. Reporting of stable hydrogen, carbon, and oxygen isotopic
 abundances: (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 66(2), 273–276.
<https://doi.org/10.1351/pac199466020273>.

CORRÊA, MRJ 2014. Influência da sazonalidade e variáveis ambientais sobre pequenos
 mamíferos não voadores em fragmentos de mata ciliar do Rio Grande, MG /
 SP. Dissertação: Universidade Federal de Ouro Preto.

DANTAS, M. A. T., CHERKINSKY, A., BOCHERENS, H., DREFAHL, M.,

BERNARDES, C., & FRANÇA, L. de M. 2017. Isotopic paleoecology of the Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region: Feeding ecology ($\delta^{13}\text{C}$), niche breadth and overlap. *Quaternary Science Reviews*, 170, 152–163. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2017.06.030>.

DANTAS, M. A. T., VIEIRA ARAÚJO, A., ELTINK NOGUEIRA, E., ALVES SILVA, L., ARAUJO LEONI, R., MOURA FÊLIX, P. & CHERKINSKY, A. 2019. Isotopic paleoecology ($\delta^{13}\text{C}$) of mesoherbivores from Late Pleistocene of Gruta da Marota, Andaraí, Bahia, Brazil. *Historical Biology*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1650742>.

DANTAS, M. A. T., CHERKINSKY, A., LESSA, C. M. B., SANTOS, L. V., COZZUOL, M. A., OMENA, É. C., SILVA, J. L. L., SIAL, A.N., BOCHERENS, H. 2020. Isotopic paleoecology ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of a late Pleistocene vertebrate community from the Brazilian Intertropical Region. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 23(2), 138–152. <https://doi.org/10.4072/rbp.2020.2.05>.

DAWSON, T. J., & ELLIS, B. A. 1994. Diets of mammalian herbivores in Australian arid shrublands: Seasonal effects on overlap between red kangaroos, sheep and rabbits and on dietary niche breadths and electivities. *Journal of Arid Environments*, 26(3), 257–271. <https://doi.org/10.1006/jare.1994.1028>.

DEFLER, T. 2018. *The Native Ungulates of South America (Condylarthra and Meridiungulata)*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98449-0_5.

DOMINGO, L., TOMASSINI, R. L., MONTALVO, C. I., SANZ-PÉREZ, D., & ALBERDI, M. T. 2020. The Great American Biotic Interchange revisited: a new perspective from the stable isotope record of Argentine Pampas fossil mammals. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58575-6>.

FARIA, F. H. C., DE SOUZA CARVALHO, I., & DE ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. 2021. Inferências Paleoambientais e Paleoecológicas da Megafauna Quaternária de Lajedão do Patrício, Bahia, Brasil. *Journal of South American Earth Sciences*, 103378.

FERANEC, R. S., & MACFADDEN, B. J. 2000. Evolution of the grazing niche in Pleistocene mammals from Florida: Evidence from stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162(1–2), 155–169. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00110-3](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00110-3).

FERREIRA, E.S., 2011. Ação antropica nos recursos hídricos em Puxinanã-Paraíba. [Trabalho de Conclusão de Curso]. Campina Grande, PB. Universidade Estadual da

Paraíba.

FRICKE, H. C., & O'NEIL, J. R. 1996. Inter- and intra-tooth variation in the oxygen isotope composition of mammalian tooth enamel phosphate: implications for palaeoclimatological and palaeobiological research. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 126(1), 91–99. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00072-7).

HIGGINS, P. 2018. Isotope ecology from biominerals. In D. A. Croft, D. F. Su, & S. W. Simpson (Eds.), *Methods in paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities* (pp. 99–120). https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_7.

HIGGINS, P., & MACFADDEN, B. J. 2004. “Amount Effect” recorded in oxygen isotopes of Late Glacial horse (*Equus*) and bison (*Bison*) teeth from the Sonoran and Chihuahuan deserts, southwestern United States. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 206(3–4), 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.01.011>.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2018. Semiárido Brasileiro. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

JIAO, M. A., YUAN, W., CHANG-ZHU, J., ZHANG, H.-W., & YAO-WU, H. U. 2019. A preliminary study of serial stable isotope analysis tracks foraging ecology of fossil Asian elephants in South China. *Vertebrata Palasiatica*, 57(3), 225–240. <https://doi.org/10.19615/j.cnki.1000-3118.190327>.

KOCH, P. L., TUROSS, N., & FOGEL, M. L. 1997. The effects of sample treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science*, 24(5), 417–429. <https://doi.org/10.1006/jasc.1996.0126>.

LARMON, J. T., MCDONALD, H. G., AMBROSE, S., DESANTIS, L. R., & LUCERO, L. J. 2019. A year in the life of a giant ground sloth during the Last Glacial Maximum in Belize. *Science advances*, 5(2), eaau1200.

LEVINS, R. 1968. *Evolution in changing environments: some theoretical explorations*. Princeton University Press.

MACFADDEN, B. J. 2005. Diet and habitat of toxodont megaherbivores (Mammalia, Notoungulata) from the late Quaternary of South and Central America. *Quaternary Research*, 64(2), 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2005.05.003>.

MACFADDEN, B. J., CERLING, T. E., HARRIS, J. M., & PRADO, J. 1999. Ancient latitudinal gradients of C₃/C₄ grasses interpreted from stable isotopes of New World

- Pleistocene horse (*Equus*) teeth. *Global Ecology and Biogeography*, 3, 137–149.
Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1466-822X.1999.00127.X>.
- MARSHALL, L.G. 1988. Land mammals and the great American interchange. *American Scientist*, 76: 380-388.
- METCALFE, J. Z., & LONGSTAFFE, F. J. 2012. Mammoth tooth enamel growth rates inferred from stable isotope analysis and histology. *Quaternary Research*, 77(3), 424-432.
- OLIVEIRA, A. M., BECKER-KERBER, B., CORDEIRO, L. M., BORGHEZAN, R., AVILLA, L. S., PACHECO, M. L. A. F., & SANTOS, C. M. D. 2017. Quaternary mammals from central Brazil (Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul) and comments on paleobiogeography and paleoenvironments. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 20(1), 31-44.
- OMENA, É. C., SILVA, J. L. L. DA, SIAL, A. N., CHERKINSKY, A., & DANTAS, M. A. T. 2020. Late Pleistocene meso-megaherbivores from Brazilian Intertropical Region: isotopic diet ($\delta^{13}\text{C}$), niche differentiation, guilds and paleoenvironmental reconstruction ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$). *Historical Biology*, 1–6.
<https://doi.org/10.1080/08912963.2020.1789977>.
- PAULA COUTO, C. 1979. *Tratado de paleomastozoologia*. Academia Brasileira de Ciências.
- PANSANI, T. R., MUNIZ, F. P., CHERKINSKY, A., PACHECO, M. L. A. F., & DANTAS, M. A. T. 2019. Isotopic paleoecology ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of Late Quaternary megafauna from Mato Grosso do Sul and Bahia States, Brazil. *Quaternary Science Reviews*, 221, 105864. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105864>.
- PHILLIPS, D. L. 2012. Converting isotope values to diet composition: the use of mixing models. *Journal of Mammalogy*, 93(2), 342–352. <https://doi.org/10.1644/11-MAMM-S-158.1>.
- PIANKA, E. R. 1973. The Structure of Lizard Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 53–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000413>.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PUXINANÃ: A Juventude no caminho certo do trabalho. 2020. Aspectos Gerais. Puxinanã, Paraíba. [Acesso em 31 de julho de 2020]. <https://www.puxinana.pb.gov.br/portal/a-cidade/aspectos-gerais>.
- RIBEIRO, A. M. 1994. Leontinídeos e Notohipídeos (Toxodontia, Notoungulata) da Formação Tremembé, Bacia de Taubaté, Estado de São Paulo, Brasil.

- ROTH, Santiago. 1903. Los ungulados sudamericanos. Talleres de publicaciones del Museo.
- SCHERER, C.S.; MORAES, S.S.; OLIVEIRA, T.V. 2016. Projeto FIOL: Salvamento Paleontológico. Uma ponte entre a universidade e a sociedade. Salvador: Ed. UFBA,.
- SIMPSON, G. G. 1945. *The principles of classification and a classification of mammals*.
- TEJADA-LARA, J. V., MACFADDEN, B. J., BERMUDEZ, L., ROJAS, G., SALAS-GISMONDI, R., & FLYNN, J. J. 2018. Body mass predicts isotope enrichment in herbivorous mammals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1881). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1020>.
- UNO, K. T., CERLING, T. E., HARRIS, J. M., KUNIMATSU, Y., LEAKEY, M. G., NAKATSUKASA, M., & NAKAYA, H. 2011. Late Miocene to Pliocene carbon isotope record of differential diet change among East African herbivores. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(16), 6509–6514. <https://doi.org/10.1073/pnas.1018435108>.
- VIEIRA, M. V., FARIA, D., ANTONIO, F., FERNANDEZ, S., & FREITAS, S. R. 2003. *Mamíferos Investigating the effects of habitat reduction on biodiversity patterns and processes in the Brazilian Atlantic Forest View project*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/267702072>.

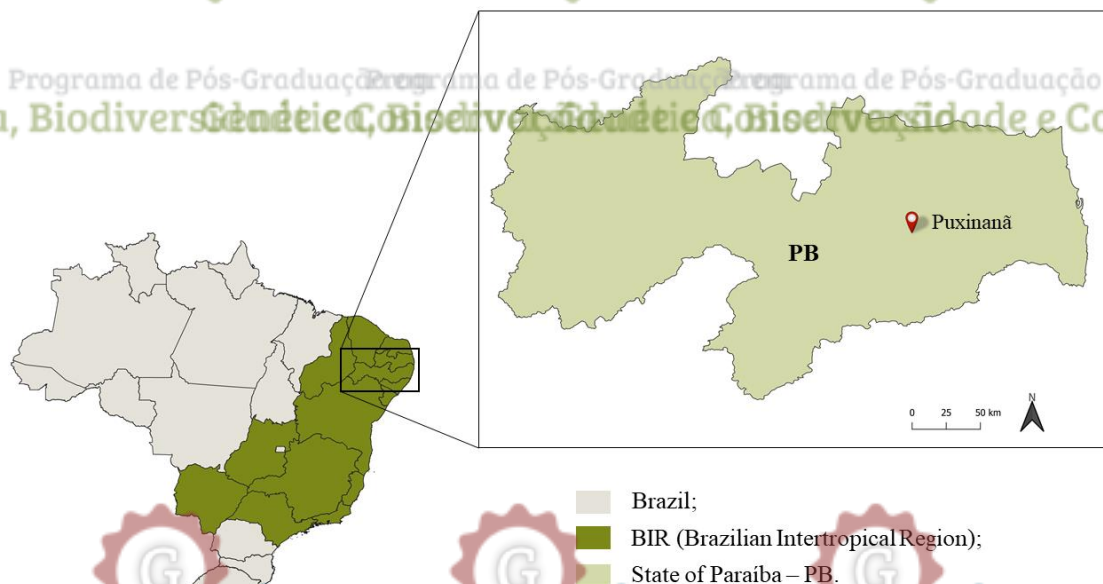


Figure 1. Location map of the Brazilian Intertropical Region, highlighting the municipality of Puxinanã - PB. In dark green, the 14 states belonging to the RIB (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba,

Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, São Paulo, Sergipe and Rio Grande do Norte)
(Cartelle, 1999; Oliveira et al., 2017).



Figure 2. Enamel bands of the incisors of the notoungulate *Toxodon platensis* (A - LEG 2250; B - LEG 2250), rescued in a lake in Lagoa de Dentro, Puxinamã, Paraíba.

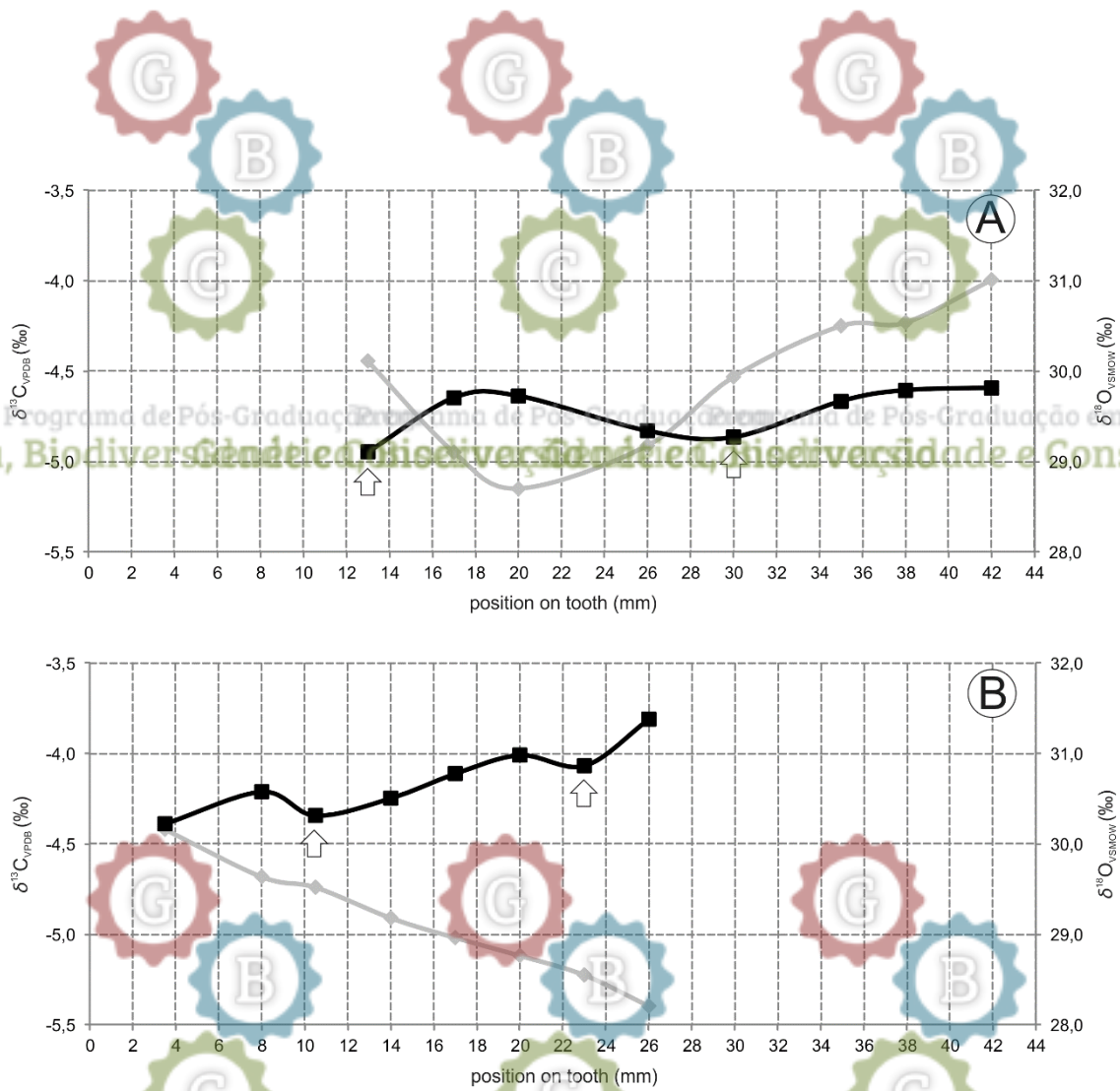


Figure 3. Carbon isotopic values (grey) and oxygen isotopic values (black) variation recorded through the incisive tooth enamel band LEG 2249 (A) and LEG 2250 (B) for *T. platensis*. The white arrows show the most negative values of $\delta^{18}\text{O}$, for about each 15 mm.

Table 1. Distance of the samples to the occlusal face (in mm), carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$) isotopic values, food resources proportions (%), and standard niche breadth (B_A) for *Toxodon platensis* incisive tooth samples from Lagoa de Dentro, Puxinanã, Paraíba.

Sample	Distance	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	$p_i\text{C}_3$	$p_i\text{C}_4$	B_A
LEG 2249	13.0	-4.4	29.1	0.45	0.55	0.98
	17.0	-4.9	29.7	0.50	0.50	1.00
	20.0	-5.1	29.7	0.51	0.49	1.00
	26.0	-4.9	29.3	0.49	0.51	1.00
	30	-4.5	29.2	0.46	0.54	0.99
	35.0	-4.2	29.6	0.44	0.56	0.97
	38.0	-4.2	29.7	0.44	0.56	0.97
	42.0	-3.9	29.8	0.42	0.58	0.95
LEG 2250	3.5	-4.4	30.2	0.45	0.55	0.98
	8.0	-4.6	30.5	0.47	0.53	0.99
	10.5	-4.7	30.3	0.48	0.52	1.00
	14.0	-4.9	30.5	0.49	0.51	1.00
	17.0	-5.0	30.7	0.50	0.50	1.00
	20.0	-5.1	30.9	0.51	0.49	1.00
	23.0	-5.2	30.8	0.52	0.48	1.00
	26.0	-5.4	31.3	0.53	0.47	0.99

6. CAPÍTULO 2

Avaliação anual da dieta ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de três Toxodontinae do final do Pleistoceno de Pernambuco, Brasil

Verônica Santos Gomes¹, Juliana Manso Sayão², Gustavo Ribeiro de Oliveira³, Renan Alfredo Machado Bantim⁴, Hervé Bocherens⁵, Hermínio Ismael de Araújo-Júnior⁶, Mário André Trindade Dantas^{1,7}

¹Programa de Pós-graduação em Genética, Biodiversidade e Conservação, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié, Bahia, Brasil; ²Museu Nacional/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil; ³Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Área de Ecologia, Recife, Pernambuco, Brazil; ⁴Universidade Regional do Cariri, Departamento de Ciências Físicas e Biológicas, Crato, Ceará, Brazil; ⁵Biogeology, Department of Geosciences and Senckenberg Center for Human Evolution and Palaeoenvironment (HEP), Universität Tübingen, Hölderlinstr. 12, 72074 Tübingen, Germany; ⁶Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil; ⁷Laboratório de Ecologia e Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA/IMS-CAT), Vitória da Conquista, Bahia, Brazil.

Corresponding author: gomes.veronicacb@gmail.com

Avaliação anual da dieta ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de três Toxodontinae do final do Pleistoceno de Pernambuco, Brasil

O uso de isótopos de carbono e oxigênio tem sido utilizados na paleoecologia como boa ferramenta para a inferência da dieta de mamíferos extintos. Além disso, é possível deduzir características paleoambientais. Por meio de análises em série ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de esmalte de dentes resgatados em Serra do Medo, Caruaru, Pernambuco, avaliamos a variação da dieta anual de três Toxodontinae indeterminados. As análises foram realizadas considerando os ciclos de crescimento e, para verificar a proporção do consumo, foram utilizados modelos matemáticos propostos na literatura. Os toxodontídeos analisados apresentaram uma dieta mista e pouca variação, reforçando a hipótese de que se tratava de um grupo de hábito alimentar misto, se adaptando bem a mudanças ambientais, permitindo forragear em diferentes áreas, seja em temperaturas elevadas ou mais amenas.

Palavras-chave: Isótopos estáveis, Quaternário, RIB.

Introdução

Toxodontes são um grupo de notoungulados extintos que habitaram uma faixa ampla da América do Sul durante o Pleistoceno e Holoceno, fazendo parte também da Região Intertropical Brasileira (RIB) (Cartelle, 1999; Pansani et al., 2016; Defler, 2019). *Toxodon* foi o gênero mais diversificado deste grande grupo (Boilini et al., 2016). A subfamília Toxodontinae inclui *Toxodon platensis* (Owen 1837) e *Trigodonops lopesi* (Roxo, 1921), ambas espécies ocorrentes no nordeste do Brasil, em estados considerados da Região Intertropical Brasileira (Dantas et al., 2008; Silva, 2019).

Toxodon platensis foi identificada no Brasil pela primeira vez em 1886, por Cope, e atualmente há registros da sua ocorrência em vários estados do país, sendo a espécie de toxodonte mais abundante no território brasileiro (Mendonça, 2007). Muitos dos estudos sobre toxodontes, que abordam a paleodieta e paleoambiente, estão relacionados a *T. platensis* (MacFadden et al., 1997; Neves et al., 2007; Santos, 2008; Dantas et al., 2013; Pansani et al., 2019).

Vários pesquisadores descrevem o grupo como um animal de hábito misto para o Pleistoceno brasileiro, com a dieta variando entre preferências por C₃ ou C₄, dependendo da predominância da vegetação local (MacFadden, 2005; França et al., 2014; Omena et al., 2020). Isto mostra a capacidade evolutiva deles explorarem diversos recursos, como

generalistas, o que também pode explicar a ampla distribuição pelo território (França et al., 2015; Dantas et al., 2017; Silva, 2019; Faria et al., 2021).

A análise de isótopos estáveis é uma ferramenta muito útil para inferências de paleodietas e paleoambientes. As análises isotópicas para *Toxodon platensis* na Região Intertropical Brasileira, por meio do carbono e oxigênio, geralmente não são feitas partindo de amostras adas no dente (e.g Viana et al., 2011; Dantas et al., 2013, 2017; Pansani et al., 2019; Herrera et al., 2021).

Análises em série em dentes de crescimento contínuo fornecem dados sobre a dieta e clima, podendo registrar variações na escala de meses a anos, portanto, pode-se avaliar mudanças nos hábitos ou ambientes em que o indivíduo viveu (Higgins & MacFadden, 2004; DeSantes & Wallace, 2008; Wang et al., 2008; Merceron et al., 2021).

Este trabalho tem como objetivo avaliar se a dieta de toxodontídeos no estado de Pernambuco poderia variar com as mudanças ambientais ao longo de um ano, colaborando para o enriquecimento de informações acerca da fauna habitante da Região Intertropical Brasileira durante o Quaternário, e suas relações com o meio.

Metodologia

Área e material de estudo

O material foi doado pela coleção de paleontologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Atualmente, o material faz parte da Coleção Paleontológica do Laboratório de Ecologia e Geociências da Universidade Federal da Bahia, Campus Anísio Teixeira - Instituto Multidisciplinar em Saúde (IMS/UFBA).

Os dentes do toxodonte são resultantes de um resgate paleontológico em um tanque fossilífero situado na região de Serra do Medo, Caruaru, estado de Pernambuco. O município de Caruaru está inserido na unidade do Planalto da Borborema, região do semiárido que corresponde a um conjunto de terras altas contínuas e se estende por vários estados ao longo do Nordeste do Brasil (Corrêa et al., 2010; Tavares et al., 2015).

Foram analisados três bandas de esmalte de molares inferiores de Toxodontinae indeterminados, por meio de 26 amostras (LEG 2251 (13), LEG 2252 (04) e LEG 2253 (09)) (Fig. 2). Dente de crescimento contínuo (hipselodonte) é uma característica fundamental para o tipo de análise seriada. As análises foram realizadas no esmalte dentário, por ser um tecido que sofre menos alterações nos processos diagenéticos (Koch et al, 1997).

Análise em série

Na análise em série o tecido é amostrado várias vezes ao longo da direção do crescimento do dente, de forma que mudanças ambientais e de hábito possam ser inferidas (Higgins, 2018). Os valores isotópicos intradentais, correspondentes a cada amostra, permitem verificar se há mudanças na alimentação com variações sazonais. Desta forma, cada amostra foi coletada com intervalos de 1-3 mm ao longo da altura da coroa do dente, partindo da zona de oclusão (registro mais antigo) para a raiz (registro mais recente).

Certos intervalos ao longo da altura do dente registram ciclos de crescimento dentário, que podem corresponder a um ano. Estes ciclos variam para as espécies de ungulados (Bocherens et al., 2001; Metcalfe & Longstaffe, 2012; Blumenthal et al., 2014). Um ciclo é estimado com base em valores isotópicos máximos e mínimos, considerando isótopos de oxigênio (Fricke & O'neil, 1996; Feranec & MacFadden, 2000; Bocherens et al., 2001; Higgins & MacFadden, 2004; Jiao et al., 2019).

As análises ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) foram realizadas usando o carbonato (CO_3^{2-}) presente na fração mineral da hidroxiapatita presente no esmalte dentário. Eles foram realizados no Centro de Paleoambiente e Evolução Humana de Senckenberg, Universidade de Tübingen, Alemanha.

Os dados de laboratório são calibrados na notação delta δ $\frac{1}{4} [(R_{\text{sample}} / R_{\text{standard}}) * 1000]$ (Coplen, 1994) a $\delta^{13}\text{C}$, considerando a escala V-PDB (Viena - Pee Dee Belemnite) e $\delta^{18}\text{O}$, V-SMOW (Vienna Standard Mean Oxygen of Water), um padrão isotópico internacional distribuído pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) (Coplen, 1994; Higgins, 2018).

Enriquecimento e consumo de recursos alimentares ($\delta^{13}\text{C}$)

Os isótopos de carbono presentes nas plantas são absorvidos pelo organismo quando um herbívoro se alimenta. Os valores destes isótopos são enriquecidos no processo de digestão e, de acordo com Tejada-Lara et al. (2018), este enriquecimento está diretamente relacionado à massa corporal do consumidor.

Para estimar o enriquecimento, foi considerada a massa corporal média de *T. platensis* (~ 1.800 kg) (Dantas, 2019) no modelo de Tejada-Lara:

$$\mathcal{E}^* = 2.4 + 0.034(BM)$$

Onde: $\mathcal{E}^*$ = Enriquecimento, BM = Massa corporal (Kg).

Em regiões tropicais, as plantas C₃ geralmente são representadas por árvores e arbustos, enquanto as plantas C₄ são geralmente gramíneas que têm maior tolerância a temperaturas mais elevadas (Buckeridge et al., 2009; Bertolli, 2012).

A média da $\delta^{13}\text{C}$ em plantas C₃ em seu habitat é de $-27 \pm 3\text{‰}$, enquanto para C₄ esta média aumenta para $-13 \pm 2\text{‰}$ (MacFadden et al., 1999). Considerando o enriquecimento medido à partir da massa corporal do toxodonte ($+14\text{‰}$), valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais negativos que -13‰ indicam consumo de recursos C₃, e aqueles maiores que $+1\text{‰}$ recursos do tipo C₄.

A proporção do consumo de C₃ e C₄ pode ser inferida aplicando os valores da razão isotópica de carbono no modelo matemático proposto por Phillips (2012):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{mix}} = \delta^{13}\text{C}_1 f_1 + \delta^{13}\text{C}_2 f_2$$

$$1 = f_1 + f_2$$

Onde: f_1 = Proporção do recurso 1; $\delta^{13}\text{C}_{\text{mix}}$ = Valor de carbono encontrado no tecido;

$\delta^{13}\text{C}_1$ = Valor limite para o recurso 1; $\delta^{13}\text{C}_2$ = Valor limite para o recurso 2;

f_2 = Proporção do recurso 2.

Largura de Nicho Ecológico

A conceituação de nicho ecológico está direcionada, em múltiplos aspectos, pela relação dos seres vivos com o meio, uma vez que temos a definição moderna que se trata de um hipervolume num espaço n-dimensional (Hutchinson, 1957; Ferraro, 2017).

As dimensões do nicho ecológico permitem inferir as adaptações dos organismos, habitats explorados, recursos consumidos, etc., e a variação dessas dimensões interfere na estrutura e diversidade das comunidades (Pianka, 1973, Illoldi-Rangel & Escalante, 2008). Com base nos valores obtidos para os recursos, a Largura do Nicho foi calculada seguindo o modelo:

$$B = 1/\sum p_i^2$$

Onde B = Largura de nicho; p_i = Proporção de recursos consumidos.

Os valores de largura de nicho ecológico encontrados foram padronizados utilizando a medida de Levins (1968). Aqui, os resultados variam entre 0 e 1, indicando se o animal é especialista (0) ou generalista (1):

$$B_A = B - 1/n - 1$$

Onde: B_A = Largura de Nicho Padronizada; B = Largura de Nicho;
 n = Número de recursos consumidos.

Oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$)

A variação sazonal em espécies extintas pode ser observada a partir da oscilação dos valores dos isótopos de oxigênio (Feranec & MacFadden, 2000). O oxigênio é absorvido diretamente e por meio da ingestão hídrica e da respiração (Bocherens & Drucker, 2013), e a $\delta^{18}\text{O}$ permite inferir variações na temperatura e na aridez do ambiente.

Valores mais altos de $\delta^{18}\text{O}$ (em água ou em tecidos fósseis) indicam períodos mais quentes ou mais secos, com maiores taxas de evaporação; enquanto os valores mais baixos indicam temperaturas mais baixas (Bocherens & Drucker, 2013; Dantas et al., 2017).

Em regiões tropicais a interferência da temperatura no fracionamento do oxigênio pode ser suprimida pela precipitação, pois os períodos de altas temperaturas podem coincidir com estações chuvosas e, neste caso, a quantidade de precipitação é determinante (Bocherens & Drucker, 2013; Novello, 2016).

Para verificar o grau de associação entre as duas variáveis Carbono 14 e Oxigênio 18, a fim de verificar a relação da variação do oxigênio e a proporção de alimentos consumidos, aplicamos o teste de Correlação Linear de Pearson, utilizando o programa estatístico R.

O coeficiente de Pearson r varia entre -1 e +1, indicando forte correlação negativa ou positiva, respectivamente; quanto mais próximo de 0, menor será a correlação (Sampaio, 2015). O nível de significância (p) deve variar entre 0 e 0,05 (5%) para confirmar a hipótese de que existe relação entre mudança sazonal e alimentação.

Resultados e discussão

Razão isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e dieta

A amostragem da banda de esmalte do primeiro molar inferior (LEG 2251) foi feita num intervalo de 14,75 mm (Tabela 1, Fig. 3A), equivalente a 11,8 meses,

aproximadamente um ciclo. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre -5,7‰ e -7,8‰ ($\mu\delta^{13}\text{C} = -6,6 \pm 0,9$ ‰; Tabela 1). As 13 amostras seriadas mostraram que a razão isotópica do carbono 13 estava se tornando cada vez mais negativa (Fig. 3A) nas assinaturas mais recentes. Isso indica um aumento progressivo pelo consumo de recursos do tipo C_3 , que variou de 56% para 74%.

A banda de esmalte do segundo dente analisado (LEG 2252) teve quatro amostras retiradas ao longo de 3,3 mm, um intervalo equivalente a cerca de três meses. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram pouco, entre -5,0‰ e -5,9‰ ($\mu\delta^{13}\text{C} = -5,7 \pm 0,4$; Tabela 1), com a $\delta^{13}\text{C}$ se tornando mais negativo (Fig. 3B). O consumo de recursos do tipo C_3 aumentou de 51% para 57%.

Para a banda de esmalte do último molar inferior analisado (LEG 2253) foram retiradas nove amostras num intervalo de 15,5 mm, correspondente a um ciclo. Esta amostragem apresentou valores de $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -8,1‰ para -5,0‰ ($\mu\delta^{13}\text{C} = -6,9 \pm 1,2$; Tabela 1). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ se tornaram mais positivos à medida que a amostragem se distanciou da face oclusal (Fig. 3C). O consumo de recursos C_4 aumentou continuamente, variando entre 30% e 49%.

Apesar do maior consumo de recursos da via fotossintética C_3 , a dieta do toxodonte pode ser considerada como predominantemente mista, uma vez que os valores registrados em todas as amostras estão entre o intervalo limite para exclusividade de C_3 e C_4 (-13‰ e 1‰). Isto está em concordância com outros autores que realizaram inferências dietéticas para o grupo (e.g. Lopes et al., 2013).

A largura de nicho padronizada (B_A) para os dentes LEG 2251, LEG 2252 e LEG 2253 foram de 0,84, 0,97, e 0,77, respectivamente, mostrando que os três espécimes analisados eram generalistas, reforçando o hábito alimentar misto e plástico.

Razão isotópica de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$)

As assinaturas isotópicas de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) (Tabela 1) registradas nas amostras do LEG 2251 oscilaram entre 30,1‰ e 29,5‰ ($\mu\delta^{18}\text{O} = 29,6 \pm 0,3$), com o oxigênio se tornando mais negativo, assim como a $\delta^{13}\text{C}$ deste conjunto de dados (Fig. 3A; Tabela 1). Para o LEG 2252, os dados variaram de 30,4‰ para 30,2‰ ($\mu\delta^{18}\text{O} = 30,3 \pm 0,1$) ficando mais negativos, também semelhante aos valores da $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 3B). Para o último dente, LEG 2253, a variação foi de 28,3‰ a 29,9‰, oscilando bem mais que os registros dos dentes anteriores (Fig. 3C).

Correlação entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$

A correlação só foi positiva e significativa para o primeiro conjunto de dado (LEG 2251), onde $r = 0,7$ e $p = 0,0$. Aqui, os valores de oxigênio estavam se tornando cada vez mais positivos em concordância com os valores de carbono. Isto indica que a temperatura do ambiente estava se elevando progressivamente, principalmente pelo aumento do consumo de recursos da via fotossintética C_4 , que apresentam melhor desempenho em temperaturas mais altas. Neste primeiro caso podemos sugerir que a alimentação do toxodonte estava acompanhando a mudança ambiental.

Para os demais, a correlação não foi significativa, sendo $r = 0,7$ e $p = 0,2$; $r = -0,5$ e $p = 0,1$, para LEG 2252 e 2253, respectivamente. Para LEG 2252, os valores de oxigênio e carbono se tornaram mais positivos. Apesar disso, o intervalo curto de uma amostra para a outra não permitiu verificar a variação dentro de um ciclo. Esta tendência a razões mais positivas pode estar associada a temperaturas mais altas, ou diminuição de precipitação por se tratar de uma região tropical. O que também poderia explicar o aumento de consumo por C_4 , por ser um mecanismo que funciona melhor em ambientes mais secos.

Em LEG 2253, o padrão foi diferente dos anteriores. A primeira amostra de oxigênio teve o valor mais negativo em comparação com todas as amostras analisadas. Em seguida, duas mudanças abruptas foram registradas. Na primeira os valores se tornaram muito positivos por quatro amostras seguidas, e na segunda mudança, o valor de oxigênio desceu para um valor semelhante ao da primeira amostra (Fig. 3C). Estas mudanças podem estar relacionadas a um ciclo de crescimento, que neste caso ocorre num intervalo menor de cerca de 11 mmm,.

A mudança da razão isotópica de carbono, para valores mais positivos, é um indicativo do aumento da disponibilidade de recursos do tipo C_4 no ambiente, que se estabelece melhor em ambientes menos quentes. O oxigênio mais positivo pode estar relacionado à elevação da temperatura, mas com picos de precipitação, é possível que a diferença repentina no valor da $\delta^{18}\text{O}$ tenha sido determinada pelo efeito da quantidade de precipitação (Fig. 3C).

A diferença observada nos primeiros dois fragmentos permite inferir que os dentes pertenciam a indivíduos diferentes, e estágios ontogenéticos diferentes. Os materiais estudados são provenientes de tanques fossilíferos, um tipo de formação sujeita a mistura temporal (e.g. Dantas & Tasso, 2007; Silva, 2013; Araújo-Júnior et al., 2015). Na literatura há registro de datações para taxa da subfamília Toxodontinae variando entre 66

mil e 7 mil anos (Dantas et al., 2011; 2013; Ribeiro et al., 2013; Lobo et al., 2015) e como não foi possível realizar análise de radiocarbono, pode ser que estejamos lidando com dados de diferentes idades.

Outro indicativo de que se tratam de idades diferentes, é o fato dos dados do primeiro fragmento mostrarem que a alimentação estava sofrendo mudanças com a variação do ambiente. Em outro momento as mudanças podem ter durado um curto período, não sendo suficiente para interferir na dieta.

Considerações finais

Estudos paleoecológicos utilizando isótopos de carbono e oxigênio, de forma combinada, produzem dados que permitem mensurar as dietas e ambientes pretéritos. A análise seriada aumenta a precisão nos resultados obtidos e por esta razão, é importante continuar aplicando a metodologia para inferências dietéticas do grupo.

Os toxodontes analisados confirmam a ideia de que o grupo se comportava como animais de hábito misto e se adaptando bem aos recursos disponíveis. Por terem ampla distribuição geográfica principalmente dentro da RIB, além da facilidade de adaptação, este é um caminho para compreender como a fauna e o ambiente respondiam às mudanças climáticas durante o Pleistoceno.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) concedida à primeira autora (processo nº 1843306/2019). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pesquisa MATD (PQ / CNPq 311003 / 2019-2). À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (Bolsa E-26/203.176/2017). Agradecemos a Sophie Habinger, Ranasish Roy e Christoph Wißing por sua ajuda na preparação e análise isotópica de amostras de esmalte na Universidade de Tübingen.

Referências

ARAUJO-JUNIOR, H. I., PORPINO, K.O, & BERGQVIST, L. P. 2015. Vertebrate taphonomy and paleoecology in an Upper Pleistocene tank deposit of Paraíba, Brazil: taphonomic modes, evidence of temporal and spatial resolutions and paleoecological

patterns of the Brazilian Intertropical Region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 437, 1-17.

BERTOLLI, S.C. 2012. Caracterização sistêmica de alterações em redes fisiológicas de plantas C₃ e C₄ submetidas à deficiência hídrica. 85 f. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/87835>>.

BLUMENTHAL, S. A., CERLING, T. E., CHRITZ, K. L., BROMAGE, T. G., KOZDON, R., & VALLEY, J. W. 2014. Stable isotope time-series in mammalian teeth: In situ $\delta^{18}\text{O}$ from the innermost enamel layer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 124, 223-236.

BOCHERENS, H. MASHKOUR, M., BILLIOU, D., PELLÉ, E., & MARIOTTI, A. 2001. A new approach for studying prehistoric herd management in arid areas: intra-tooth isotopic analyses of archaeological caprine from Iran. *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 332(1), 67–74. [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(00\)01488-9](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(00)01488-9).

BOILINI, A.R.M, CERDEÑO, E.; BOND, M. 2006. Revisión del género *Toxodon* Owen, 1837 (Notoungulata: Toxodontidae) en el Pleistoceno de las provincias de Corrientes, Chaco y Santa Fe, Argentina. *Revista Española de Paleontología*, 21(2):93-103.

BUCKERIDGE, M. S., YEPES, A., SOUZA, A. P., MARABESI, M., & TONINI, P. P. 2009. Comparação entre os sistemas fotossintéticos C₃ e C₄. Acesso em, 18 de julho de 2021.

COPE, E. D. 1886. A Contribution to the Vertebrate Paleontology of Brazil. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 23, 1–21.

COPLEN, T. B. 1994. Reporting of stable hydrogen, carbon, and oxygen isotopic abundances: (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 66(2), 273–276. <https://doi.org/10.1351/pac199466020273>.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S., & LIRA, D. R. 2010. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico*, v. 31, p. 35-52.

DANTAS, M. A. T., & TASSO, M. D. L. 2007. Megafauna do Pleistoceno final de Vitória da Conquista, Bahia: taxonomia e aspectos tafonômicos. *Scientia Plena*, 3(3).

DANTAS, M. A. T., SANCHES, A. L., & TASSO, M. A. L. 2008. Nota sobre a ocorrência de fósseis da megafauna do Pleistoceno final–Holoceno de Palmas em

- Monte Alto, Bahia, Brasil. *Revista de Geologia*, 21(1), 109-114.
- DANTAS, M. A. T., PORPINO, K. D., BAUERMANN, S. G., PRATA, A. D. N., COZZUOL, M. A., KINOSHITA, A., BARBOSA, J.H.O, & BAFFA, O. 2011. Megafauna do Pleistoceno superior de Sergipe, Brasil: registros taxonômicos e cronológicos. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 14(3), 311-320.
- DANTAS, M., DUTRA, R., CHERKINSKY, A., FORTIER, D., KAMINO, L., COZZUOL, M., RIBEIRO, A.S., & VIEIRA, F. 2013. Paleoecology and radiocarbon dating of the Pleistocene megafauna of the Brazilian Intertropical Region. *Quaternary Research*, 79(1), 61-65. doi:10.1016/j.yqres.2012.09.006.
- DANTAS, M. A. T., CHERKINSKY, A., BOCHERENS, H., DREFAHL, M., BERNARDES, C., & DE MELO FRANÇA, L. 2017. Isotopic paleoecology of the Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region: Feeding ecology ($\delta^{13}C$), niche breadth and overlap. *Quaternary Science Reviews*, 170, 152-163.
- DANTAS, M. A. T., VIEIRA ARAÚJO, A., ELTINK NOGUEIRA, E., ALVES SILVA, L., ARAUJO LEONI, R., MOURA FÊLIX, P., & CHERKINSKY, A. 2019. Isotopic paleoecology ($\delta^{13}C$) of mesoherbivores from Late Pleistocene of Gruta da Marota, Andaraí, Bahia, Brazil. *Historical Biology*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1650742>.
- DEFLER, T. 2019. The Native Ungulates of South America (Condylarthra and Meridiungulata). In *History of Terrestrial Mammals in South America* (pp. 89-115). Springer, Cham.
- DESANTIS, L. R., & WALLACE, S. C. 2008. Neogene forests from the Appalachians of Tennessee, USA: geochemical evidence from fossil mammal teeth. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 266(1-2), 59-68.
- FARIA, F. H. C., DE SOUZA CARVALHO, I., & DE ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. (2021). Paleoenvironmental and Paleoecological Inferences of the Quaternary Megafauna of Lajedão do Patrício, Bahia, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 103378.
- FRANÇA, L. M., DANTAS, M. A. T., BOCCHIGLIERI, A., CHERCKINSKY, A., RIBEIRO, A. S., & BOCHERENS, H. 2014. Chronology and ancient feeding ecology of two upper Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region. *Quaternary Science Reviews*, 99, 78-83.
- FRANÇA, L.M., ASEVEDO, L., DANTAS, M. A. T., BOCCHIGLIERI, A., AVILLA, L. S., LOPES, R. P., & SILVA, J. L. L. 2015. Review of feeding ecology data of Late

Pleistocene mammalian herbivores from South America and discussions on niche differentiation. *Earth-Science Reviews*, 140, 158-165.

FERANEC, R. S., & MACFADDEN, B. J. 2000. Evolution of the grazing niche in Pleistocene mammals from Florida: Evidence from stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 162(1-2), 155-169. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00110-3](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00110-3).

FERRARO, J. L. S. 2017. Análise de conteúdo sobre o conceito de nicho ecológico: o que dizem os livros didáticos?. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática (REnCiMa)*.

FRICKE, H. C., & O'NEIL, J. R. 1996. Inter- and intra-tooth variation in the oxygen isotope composition of mammalian tooth enamel phosphate: implications for palaeoclimatological and palaeobiological research. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 126(1), 91-99. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00072-7).

HERRERA, E. Z., RIOS, S. D., AYALA, C. A., COLMAN, C., SOUBERLICH, R., IDOYAGA, M. L., SÁNCHEZ, C.J., ANDRELLO, A.C., & MELLO, A. 2021. Characterization of dental fragments of *Toxodon* sp.(Mammalia, Notoungulata) by multiple physical and chemical techniques. *Vibrational Spectroscopy*, 114, 103248.

HIGGINS, P., & MACFADDEN, B. J. 2004. "Amount Effect" recorded in oxygen isotopes of Late Glacial horse (*Equus*) and bison (*Bison*) teeth from the Sonoran and Chihuahuan deserts, southwestern United States. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 206(3-4), 337-353. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.01.011>.

HIGGINS, P. 2018. Isotope ecology from biominerals. In D. A. Croft, D. F. Su, & S. W. Simpson (Eds.), *Methods in paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities* (pp. 99-120). https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_7.

HUTCHINSON G. E. 1957. Concluding remarks. Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology 22: 415-427.

ILLOLDI-RANGEL, P. & ESCALANTE, T. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*, 3, 7-12.

JIAO, M. A., YUAN, W., CHANG-ZHU, J., ZHANG, H.-W., & YAO-WU, H. U. 2019. A preliminary study of serial stable isotope analysis tracks foraging ecology of fossil Asian elephants in South China. *Vertebrata Palasiatica*, 57(3), 225-240.

<https://doi.org/10.19615/j.cnki.1000-3118.190327>.

KOCH, P. L., TUROSS, N., & FOGEL, M. L. 1997. The effects of sample treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science*, 24(5), 417–429. <https://doi.org/10.1006/jasc.1996.0126>.

LEVINS, R. 1968. *Evolution in changing environments: some theoretical explorations*. Princeton University Press.

LOBO, L. S., SCHERER, C. S., & DANTAS, M. A. T. 2015. Megafauna do Pleistoceno final de Matina, Bahia, Brasil: sistemática, cronologia e paleoecologia. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 18(2), 325-338.

LOPES, R. P., RIBEIRO, A. M., DILLENBURG, S. R., & SCHULTZ, C. L. 2013. Late middle to late Pleistocene paleoecology and paleoenvironments in the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, from stable isotopes in fossils of *Toxodon* and *Stegomastodon*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369, 385-394.

MACFADDEN, B. J., CERLING, T. E., HARRIS, J. M., & PRADO, J. 1999. Ancient latitudinal gradients of C_3/C_4 grasses interpreted from stable isotopes of New World Pleistocene horse (*Equus*) teeth. *Global Ecology and Biogeography*, 8, 137–149. Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1466-822X.1999.00127.X>.

MACFADDEN, B. J. 2005. Diet and habitat of toxodont megaherbivores (Mammalia, Notoungulata) from the late Quaternary of South and Central America. *Quaternary Research*, 64(2), 113-124.

MENDONÇA, R. 2007. *Revisão dos toxodontes pleistocênicos brasileiros e considerações sobre Trigodonops lopesi (Roxo, 1921)(Notoungulata, Toxodontidae)* (Doctoral dissertation, Master Thesis, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo).

MERCERON, G., BERLIOZ, E., VONHOF, H., GREEN, D., GAREL, M., & TÜTKEN, T. 2021. Tooth tales told by dental diet proxies: An alpine community of sympatric ruminants as a model to decipher the ecology of fossil fauna. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 562, 110077.

METCALFE, J. Z., & LONGSTAFFE, F. J. 2012. Mammoth tooth enamel growth rates inferred from stable isotope analysis and histology. *Quaternary Research*, 77(3), 424-432.

MEYER, K.E.B., CASSINO, R.F., LORENTE, F.L., RACZKA, M. & PARIZZI, M.G.

2014. Paleoclima e paleoambiente do Cerrado durante o Quaternário com base em análises palinológicas. In: Carvalho, I. S., Garcia, M.J., Lana, C.C., Strohschoen, O. (Eds.). Paleontologia: Cenários da Vida, v. 5, Interciência, Rio de Janeiro, p. 403-420.

NOVELLO, V. F. 2016. Paleoclima do Centro-Oeste do Brasil desde o último período glacial com base em registros isotópicos de espeleotemas. In *Geoquímica e Geotectônica*. Universidade de São Paulo São Paulo, SP, Brazil.

OMENA, É. C., SILVA, J. L. L. D., SIAL, A. N., CHERKINSKY, A., & DANTAS, M. A. T. 2020. Late Pleistocene meso-megaherbivores from Brazilian Intertropical Region: isotopic diet ($\delta^{13}\text{C}$), niche differentiation, guilds and paleoenvironmental reconstruction ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$). *Historical Biology*, 1-6.

PANSANI, T. R., MUNIZ, F. P., CHERKINSKY, A., PACHECO, M. L. A. F., & DANTAS, M. A. T. 2019. Isotopic paleoecology ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of Late Quaternary megafauna from Mato Grosso do Sul and Bahia States, Brazil. *Quaternary Science Reviews*, 221, 105864. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105864>.

PHILLIPS, D. L. 2012. Converting isotope values to diet composition: the use of mixing models. *Journal of Mammalogy*, 93(2), 342–352. <https://doi.org/10.1644/11-MAMM-S-158.1>.

PIANKA, E. R. 1973. The Structure of Lizard Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 53–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000413>.

RIBEIRO, R. C., KINOSHITA, A., FIGUEIREDO, A. M. G., CARVALHO, I. S., & BAFFA, O. 2013. Electron spin resonance dating of the late Quaternary megafauna fossils from Baixa Grande, Bahia, Brazil. *Quaternary International*, 305, 91-96.

ROXO, M. G. O. 1921. Note on a new species of Toxodon, Owen, T. lopesi, Roxo. Rio de Janeiro. Empresa Brasil Editora.

SAMPAIO, N. A.S. 2015. Aplicações da Correlação e Regressão Não – Linear. [Rio de Janeiro], 2015. Disponível em: <<https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/52.pdf>>. Acesso em: 17 agosto de 2021.

SANTOS, R. M. N. 2008. Revisão dos toxodontes pleistocênicos brasileiros e considerações sobre Trigonops lopesi (Roxo, 1921) (Notoungulata, Toxodontidae).

SILVA, F. M. D. 2013. Tafonomia em tanque de Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus, Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. SILVA, A. K. B. 2019. Toxodontídeos (Mammalia, Notoungulata) pleistocênicos dos Estados de Pernambuco e Piauí, Nordeste do Brasil: aspectos sistemáticos e paleoecológicos.

TAVARES, B.A.C.; BARROS, A.C.M.; CORREA, A.C.B. 2015. Intemperismo nas superfícies de cimeira do Planalto da Borborema. Revista de Geociências do Nordeste, v. 1, p. 66-75.

VIANA, M. S. S., SILVA, J. L. L., OLIVEIRA, P. V., JULIÃO, M. S.S. 2011. Hábitos alimentares em herbívoros da megafauna pleistocênica no nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos*, 21, 2.

WANG, Y., KROMHOUT, E., ZHANG, C., XU, Y., PARKER, W., DENG, T., & QIU, Z. 2008. Stable isotopic variations in modern herbivore tooth enamel, plants and water on the Tibetan Plateau: Implications for paleoclimate and paleoelevation reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 260(3-4), 359-374.

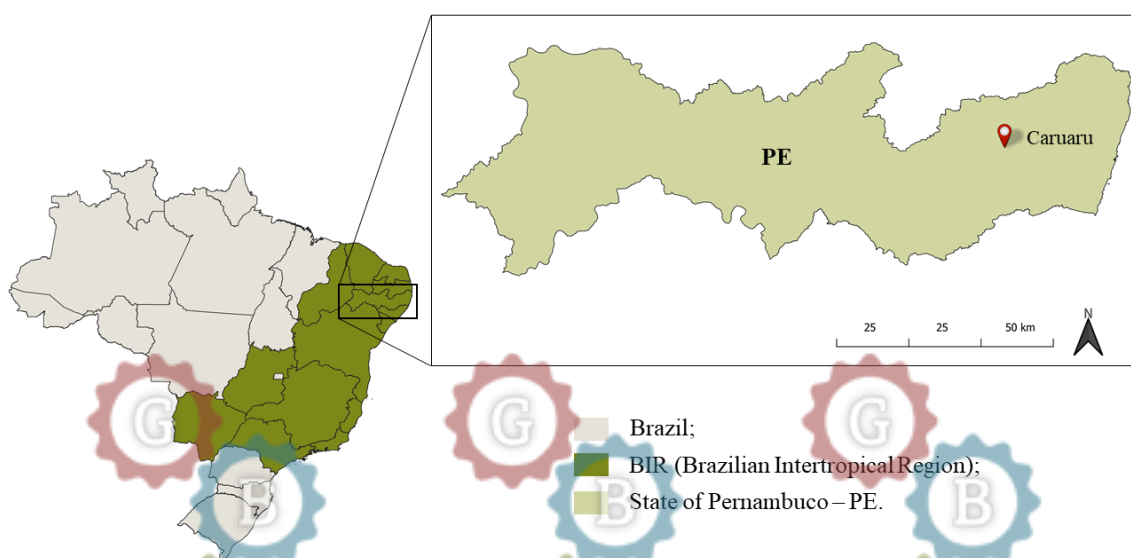


Figura 1. Mapa de localização da Região Intertropical Brasileira, destacando o município de Caruaru/PE. Em verde escuro, os 14 estados pertencentes à RIB (Alagoas, Bahia,

Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, São Paulo, Sergipe e Rio Grande do Norte) (Cartelle, 1999; Oliveira et al., 2017).



Figura 2. Bandas de esmalte dos dentes de Toxodontinae, LEG 2251 (A), LEG 2252 (B) e LEG 2253 (C), resgatados em um tanque na Serra do Medo, Caruaru, Pernambuco.

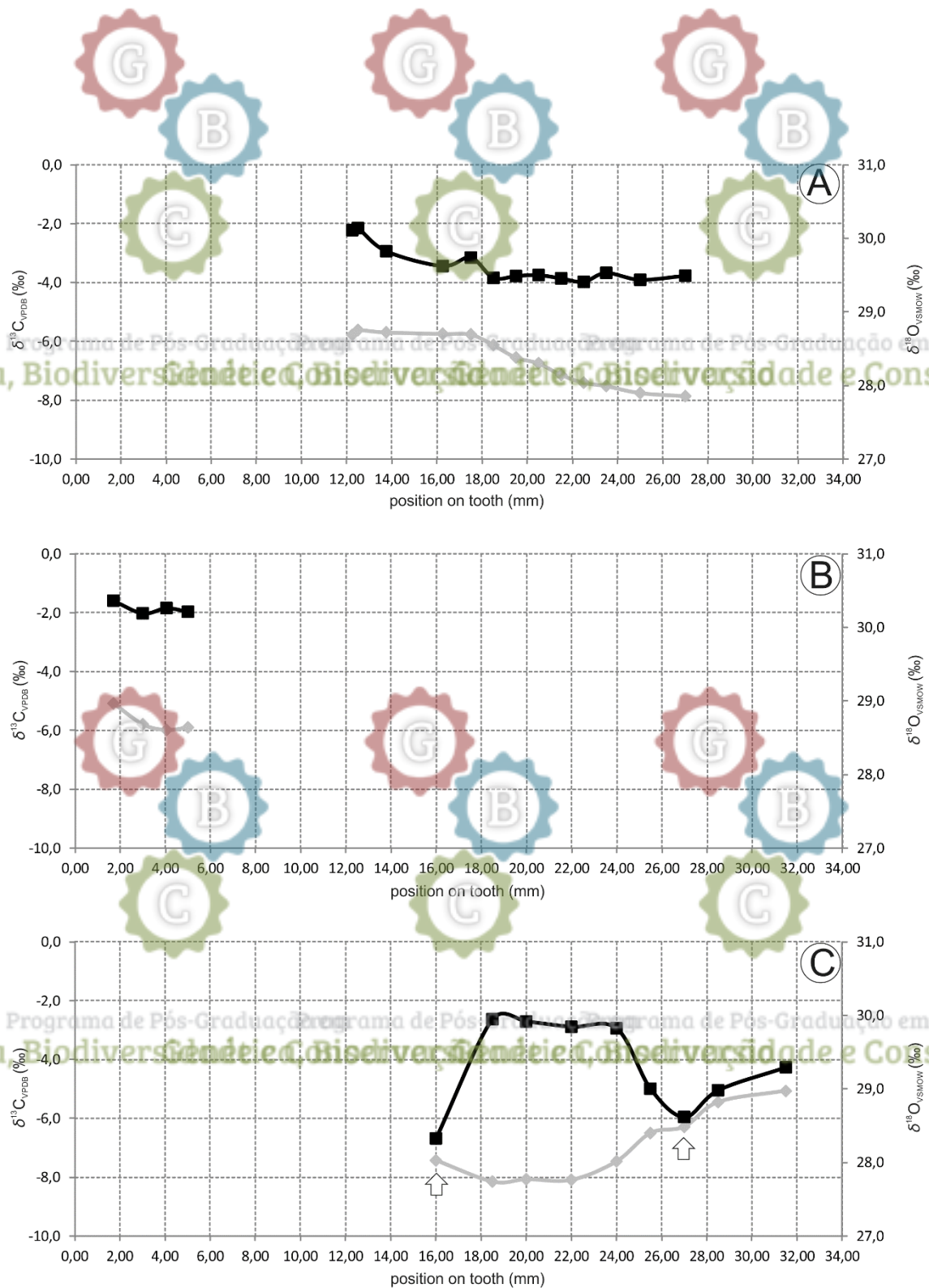


Figura 3. Variação dos valores de carbono (cinza) e oxigênio (preto) registrados ao longo da altura do dente (hipselodonte incisivo) LEG 2251 (A), LEG 2252 (B) e LEG 2253 (C) de Toxodontinae, resgatado em um tanque fossilífero na região da Serra do Medo, Caruaru / PE. As setas brancas mostram os valores mais negativos de $\delta^{18}\text{O}$, para cerca de cada 11 mm. **Figure 3, Cap.2**

Tabela 1 Distância das amostras da face oclusal (em mm), valores isotópicos de carbono ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$) e oxigênio ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$), proporções de recursos alimentares (%) e largura de nicho padrão (B_A) para amostras de dentes de Toxodontinae de Serra do Medo, Caruaru, Pernambuco.

Amostra	Distância (mm)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$p_i\text{C}_3$	$p_i\text{C}_4$	B_A
LEG 2251	12.25	-5.8	30.1	0.56	0.44	0.97
	12.50	-5.6	30.1	0.55	0.45	0.98
	13.75	-5.7	29.8	0.56	0.44	0.97
	16.25	-5.7	29.6	0.56	0.44	0.97
	17.50	-5.8	29.7	0.56	0.44	0.97
	18.50	-6.1	29.5	0.59	0.41	0.93
	19.50	-6.5	29.5	0.63	0.37	0.88
	20.50	-6.7	29.5	0.65	0.35	0.84
	21.50	-7.1	29.5	0.68	0.32	0.77
	22.50	-7.4	29.4	0.70	0.30	0.72
	23.50	-7.5	29.5	0.71	0.29	0.70
	25.00	-7.8	29.4	0.73	0.27	0.65
	27.00	-7.9	29.5	0.74	0.26	0.63
LEG 2252	1.70	-5.1	30.4	0.51	0.49	1.00
	3.00	-5.8	30.2	0.57	0.43	0.97
	4.05	-6.0	30.3	0.58	0.42	0.95
	5.00	-5.9	30.2	0.57	0.43	0.96
LEG 2253	16.00	-7.4	28.3	0.70	0.30	0.72
	18.50	-8.2	29.9	0.76	0.24	0.57
	20.00	-8.1	29.9	0.76	0.24	0.59
	22.00	-8.1	29.8	0.76	0.24	0.58
	24.00	-7.5	29.8	0.71	0.30	0.71
	25.50	-6.5	29.0	0.63	0.38	0.88
	27.00	-6.3	28.6	0.61	0.39	0.91
	28.50	-5.5	29.0	0.54	0.46	0.99
	31.50	-5.1	29.3	0.51	0.49	1.00

7. CONCLUSÕES FINAIS

- Este trabalho apresenta a dieta anual de toxodontídeos da Região Intertropical Brasileira, encontrados nos estados da Paraíba e Pernambuco.
- Foi inferida uma estimativa relacionada à taxa de crescimento dentário para este grupo, que pode estar entre 11 mm e 15 mm, se assemelhando ao crescimento dentário de proboscídeos.
- O ambiente estava se tornando mais quente no período analisado para os dados da Paraíba, enquanto para Pernambuco este padrão só foi observado em um conjunto amostral.
- A dieta dos toxodontídeos permaneceu com caráter misto em ambas regiões ao decorrer do tempo, mesmo com condições climáticas diferentes e com tendência maior por recursos da via fotossintética C₃.
- Com base nos dados não podemos afirmar que a dieta dos toxodontes variou com a mudança ambiental.