

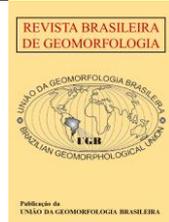


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

# Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 25, nº 1 (2024)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i1.2502>



*Artigo de Pesquisa*

## Uma breve história sobre o tanque natural fossilífero Jirau 01 Vale da Megafauna de Itapipoca (CE)

*A brief history about the fossiliferous natural tank Jirau 01 - The Megafauna  
Valley of Itapipoca (CE)*

Felipe Rodrigues Waldherr<sup>1</sup>, Telma Mendes da Silva<sup>2</sup>, Celso Lira Ximenes<sup>3</sup>, Hermínio Ismael de Araújo-  
Júnior<sup>4</sup> e Sérgio Wilians de Oliveira Rodrigues<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geografia, Rio de Janeiro, Brasil.  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Geociências, Rio de Janeiro, Brasil.  
E-mail: felipewald@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6036-9737>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: telmageo@gmail.com.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8295-6158>

<sup>3</sup> Museu de Pré-história de Itapipoca, Itapipoca, Brasil. E-mail: clx.ximenes@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5600-9045>

<sup>4</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail:  
herminio.ismael@yahoo.com.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4371-0611>

<sup>5</sup> Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Goiânia, Brasil. E-mail: swor@ufg.br.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7467-4508>

Recebido: 12/11/2023; Aceito: 13/02/2024; Publicado: 25/03/2024

**Resumo:** O tanque natural fossilífero Jirau 01, localizado no município de Itapipoca (CE), desponta como uma das principais referências em pesquisas geocientíficas sobre o preenchimento de depósitos quaternários no Semiárido do Brasil. Embora muito já tenha sido esclarecido em relação à camada fossilífera, é interessante destacar que o depósito de tanque corresponde a uma pequena fração da complexa história geomorfológica desta depressão natural. No presente trabalho, buscou-se a elaboração de um modelo evolutivo do tanque Jirau 01, sendo apresentado através de bloco-diagramas as distintas fases ou estágios de desenvolvimento do tanque fossilífero. O modelo baseou-se na reunião de dados obtidos em campo, tais como avaliação da morfologia interna da depressão; análise do preenchimento sedimentar do depósito de tanque; e da análise integrada entre lineamentos estruturais extraídos de imagens de alta resolução e modelos digitais de elevação, ambos adquiridos por *Remotely Piloted Aircraft* (RPA). Desse modo, a sequência evolutiva constitui um ensaio no que se refere a reconstituição dos processos geológico-geomorfológicos, tendo em vista os condicionantes geoambientais, que atuaram na origem e na conformação do tanque natural fossilífero Jirau 01, no Vale da Megafauna de Itapipoca, durante o Quaternário.

**Palavras-chave:** Tanque fossilífero; Relevo granítico; Etchplanação; Semiárido Brasileiro; Quaternário.

**Abstract:** The fossiliferous natural tank Jirau 01, located in the municipality of Itapipoca (CE), stands out as one of the main references in geoscientific research on the infilling of Quaternary deposits in the Semi-Arid region of Brazil. Although much has already been clarified regarding the fossiliferous layer, it is interesting to highlight that the tank deposit corresponds to a small fraction of the complex geomorphological history of this natural depression. In the present work, we propose an evolutionary model of the Jirau 01 tank, presented through block diagrams of the different phases of evolution. The model was based on gathering data obtained in the field, such as assessment of the internal morphology of the depression; tank deposit sediment fill analysis; and the integrated examination of structural lineaments extracted from high-resolution images

and digital elevation models, both acquired by Remotely Piloted Aircraft (RPA). In this way, the evolutionary sequence constitutes a test with regard to the reconstitution of geological-geomorphological processes, taking into account the geoenvironmental constraints, which acted in the origin and formation of the fossiliferous natural tank Jirau 01, in the Megafauna Valley, during the Quaternary.

**Keywords:** Fossiliferous tank; Granite relief; Etchplanation; Brazilian semi-arid; Quaternary.

---

## 1. Introdução

O município de Itapipoca, no estado do Ceará, usufrui de um importante histórico de atividades no que se refere à produção acadêmica envolvendo os tanques naturais fossilíferos. O vasto material científico coletado e descrito em Itapipoca, desde a metade do século XIX até o presente momento, confere ao município o título informal de *Capital Cearense da Megafauna Pré-histórica*, estabelecendo por excelência um relevante polo de pesquisas no Nordeste do Brasil (BURLAMAQUE, 1855, 1856; ALVIM, 1939; PAULA COUTO, 1962, 1980; GOMIDE; BERGQVIST; REGO, 1987; MAGALHÃES; MELLO; BERGQVIST, 1992; BERGQVIST et al., 1997; XIMENES, 2003, 2009; ARAÚJO-JÚNIOR, 2012, 2015; ARAÚJO-JÚNIOR; MOURA, 2014; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013; ROTTI et al., 2021; COSTA et al., 2023; FARIA et al., 2023). Embora os tanques fossilíferos da região tenham sido investigados, principalmente na esfera da paleontologia, ainda existe uma lacuna de conhecimento na comunidade científica sobre a origem dos tanques naturais e o desenvolvimento dos depósitos de tanque, sendo necessário, portanto, um levantamento de dados sobre os condicionantes geoambientais e os processos geomorfológicos responsáveis pela formação e distribuição geográfica dessas depressões / jazigos fossilíferos no Vale da Megafauna de Itapipoca (XIMENES, 2009; WALDHERR et al., 2019).

O tanque natural fossilífero Jirau 01, localizado no Sítio Paleontológico Jirau, corresponde ao principal foco da investigação (Figura 1). O tanque fossilífero representa uma das principais áreas de pesquisa no Vale da Megafauna, resguardando em seu interior um recorte do tempo geológico que compreende o conjunto de eventos erosivos e deposicionais que ocorreram de modo sequencial na localidade durante o Quaternário. No entanto, o preenchimento sedimentar é somente uma pequena fração da complexa história geomorfológica e têm desencadeado uma enriquecedora discussão sobre a gênese dos tanques naturais no Semiárido Brasileiro. As informações estratigráficas e sedimentológicas tendem a esclarecer parte da dinâmica da paisagem em condições subaéreas que conduziram à formação do depósito de tanque fossilífero. Entretanto, a história de origem da depressão natural perpassa por uma observação mais cautelosa, principalmente em relação ao controle tectono-estrutural e ao contexto geomorfológico que atuou no reafeiçoamento/configuração do tanque natural.

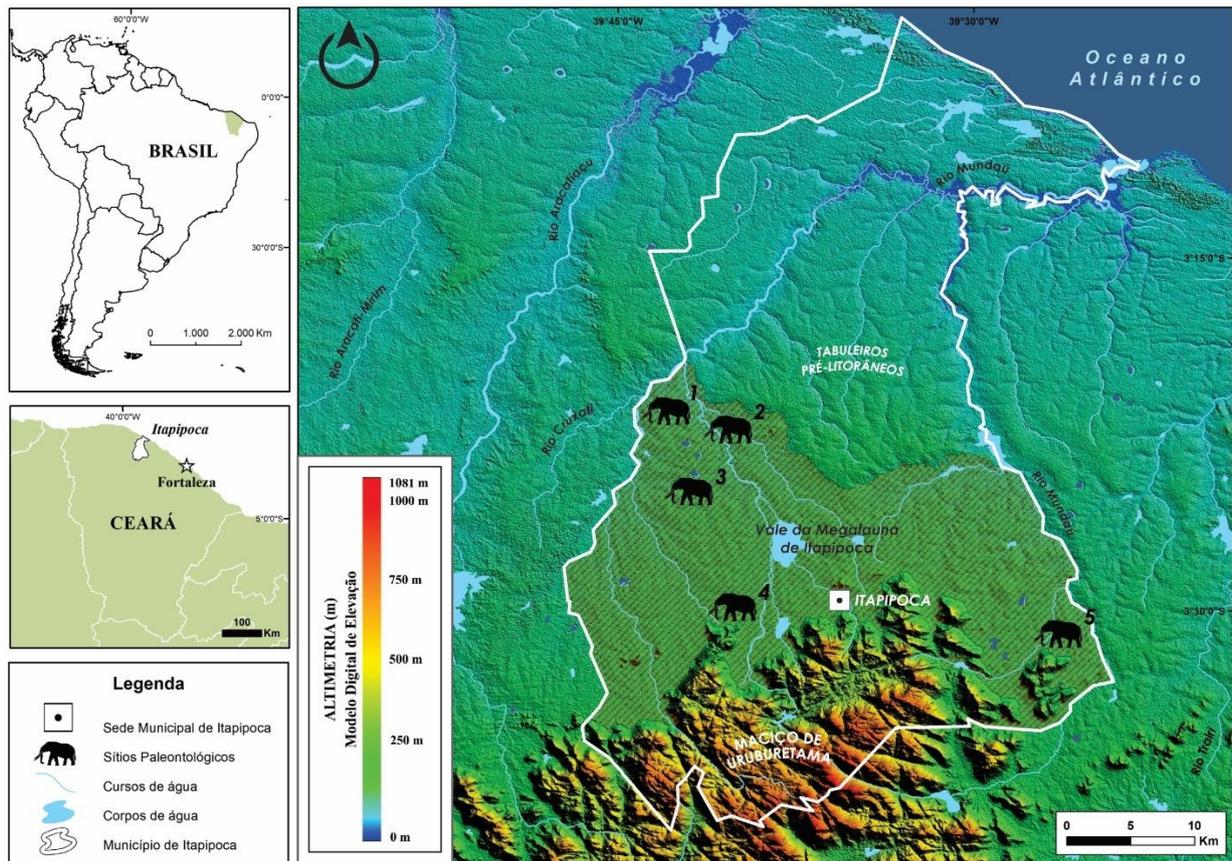


**Figura 1.** Escavação científica realizada no tanque natural fossilífero Jirau 01. É possível visualizar o material sedimentar removido do interior da depressão natural e, conseqüentemente, a exposição da morfologia de fundo e das paredes laterais. Notar a seqüência de hastes de madeira fixadas sobre o depósito de tanque e o contato com o embasamento granítico. Foto: Celso Ximenes, Jan./ 2006.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um modelo hipotético da seqüência evolutiva do tanque natural fossilífero Jirau 01 no formato de desenhos esquemáticos, contendo oito quadros paleogeográficos ou paleocenários individualizados e uma paleoarte complementar. O modelo foi elaborado a partir da integração de dados obtidos em campo, tais como avaliação da morfologia interna da depressão; e, em especial, da análise integrada de lineamentos estruturais extraídos de imagens de alta resolução e dos modelos de elevação, ambos adquiridos por *Remotely Piloted Aircraft* (RPA). Essas etapas da pesquisa auxiliaram na interpretação da disposição espacial das formas menores de relevo granítico e igualmente proveram indícios em relação ao contexto paleoambiental responsável pelas fases de reafeiçoamento desta depressão natural em condições subedáficas e/ou subaéreas. Por fim, a análise do depósito de tanque forneceu uma complementação de informações sobre o preenchimento sedimentar, permitindo uma reconstituição dos processos geológico-geomorfológicos que atuaram na conformação do tanque natural fossilífero Jirau 01 durante o Quaternário.

## 2. Área de Estudo

O tanque natural fossilífero Jirau 01 figura entre as formas menores do relevo granítico que simbolizam o cenário paisagístico do Sítio Paleontológico Jirau, no Vale da Megafauna de Itapipoca (Figura 2). O sítio paleontológico dista cerca de 35 km a noroeste da sede do município de Itapipoca e a 160 km da capital, Fortaleza, no estado do Ceará. O acesso ao sítio paleontológico, a partir da cidade de Itapipoca, é feito pela rodovia BR-402. Na altura do km 241, na bifurcação à direita, próxima ao Rio Cruxati, no limite municipal entre Itapipoca e Amontada. Neste ponto, segue-se através de estrada não pavimentada por cerca de 10 km até o topônimo Lagoa do Juá e, posteriormente, em nova bifurcação, segue-se à direita até a localidade de Jirau.

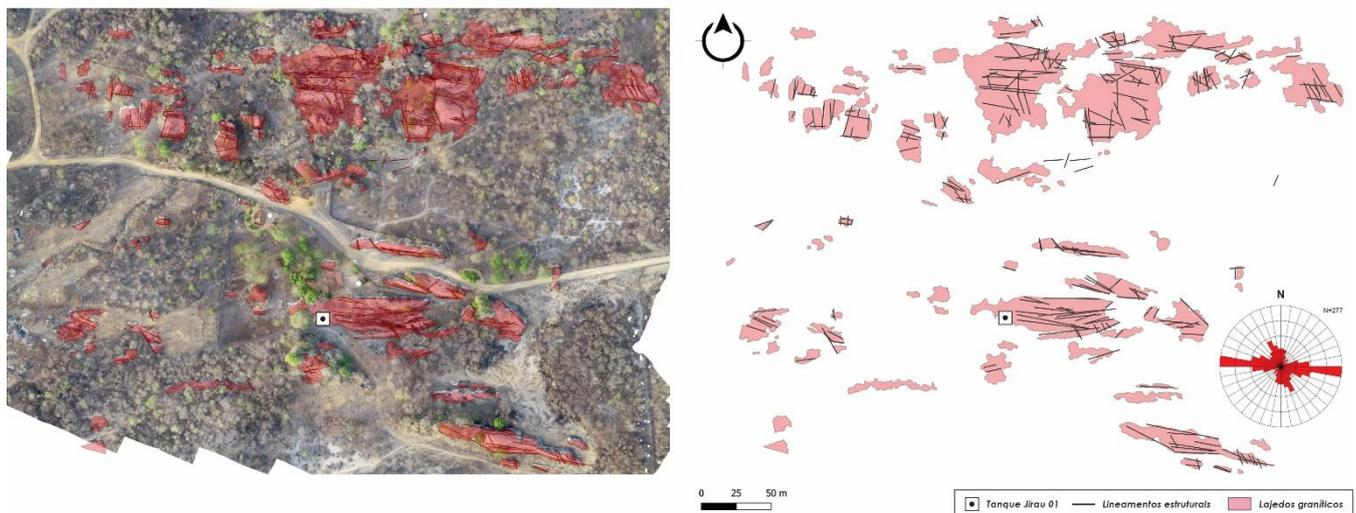


**Figura 2.** A distribuição dos sítios paleontológicos com ocorrência de tanques naturais fossilíferos no Vale da Megafauna, município de Itapipoca (CE). 1 - Sítio Paleontológico Jirau; 2 - Sítio Paleontológico Coelho; 3 - Sítio Paleontológico Lajinhas; 4 - Sítio Paleontológico João Cativo; e 5 - Sítio Paleontológico Pedra D'água. Modificado de Waldherr et al. (2022).

De acordo com Braga e Gomes (2018), a depressão natural ocorre sobre um lajedo integrado a unidade litoestratigráfica Leucogranito Penedos, pertencente à Suíte Magmática Tardi a Pós-orogênica de idade Cambriano-Ordoviciano (541 - 485 Ma). A plataforma granítica possui uma área de aproximadamente 5.260 m<sup>2</sup>, mantendo-se nivelada em altitude de 75 metros. As coordenadas geográficas do tanque natural fossilífero Jirau 01 são: 3°21'23.22"S e 39°42'19.81"O. De acordo com Waldherr et al. (2022), o tanque natural se estende por aproximadamente 53 metros sobre o lajedo granítico, seguindo a direção WNW-ESE. A depressão corresponde a um tanque natural escarpado de grandes dimensões, balizado por ombreiras e com morfologia de fundo do tipo côncavo e/ou cunha (WALDHERR et al., 2017).

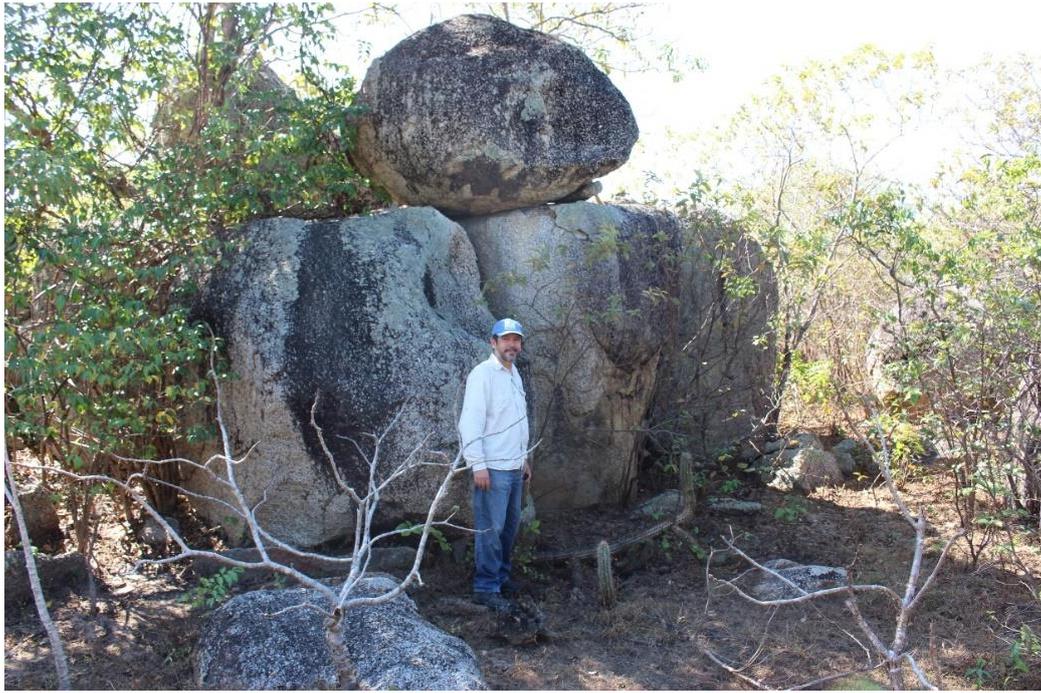
### 3. Materiais e Métodos

O modelo hipotético de evolução do tanque natural fossilífero consiste na continuidade de análise sobre os resultados obtidos por WALDHERR et al. (2022, 2023). No primeiro trabalho, os autores buscaram esclarecer o papel do controle litológico-estrutural e a atuação de processos de corrosão química no reafeiçoamento da depressão natural em subsuperfície, configurando na disposição atual das formas relictuais no Sítio Paleontológico Jirau (Figura 3). De acordo com Waldherr et al. (2022), o diagrama de rosáceas, resultante da somatória de frequência de orientação de lineamentos *versus* orientação no sítio paleontológico, evidencia duas orientações principais de lineamentos, as direções WNW-ESE e NW-SE. A direção WNW-ESE reflete de maneira significativa a maior parte dos lineamentos observados tanto naqueles evidenciados na imagem ótica (cor verdadeira), quanto nos mapas de relevo sombreado. A direção indica a orientação principal do tanque natural fossilífero Jirau 01, inferindo igualmente na disposição dos lajedos graníticos.



**Figura 3.** Disposição dos lineamentos estruturais sobre a área do tanque natural fossilífero Jirau 01 e entorno. Sobreposição entre os lineamentos e os afloramentos de leucogranito (lajedos) obtidos a partir da imagem ótica em cor natural (WALDHERR, et al., 2022).

Um indício que direciona à teoria da etchplanação reside na disposição das formas de relevo que integram parte da área circunvizinha do tanque natural fossilífero Jirau 01. No Sítio Paleontológico Jirau, a ocorrência de formas menores do relevo granítico tem auxiliado na interpretação dos processos geológico-geomorfológicos que conduziram à evolução da paisagem local. Na literatura acadêmica, a recorrência de formas específicas em terrenos graníticos, por exemplo, *matacões (boulders)*, *tors*, *castle koppies* e, em alguns casos, os tanques naturais, são atribuídos à teoria de etchplanação ou modelo de dupla-etapa (Figuras 4 e 5). Este agrupamento de formas menores do relevo tem sido compreendido a partir do controle estrutural e da atuação contínua de processos associados à corrosão química em subsuperfície (BASTOS, 2018; MAIA; NASCIMENTO, 2018; MAIA et al., 2018; WALDHERR, 2023). Assim, o intemperismo químico teria papel fundamental, resultando no aprofundamento da frente de alteração em condições subedáficas e, posteriormente, sendo alçados à superfície através do trabalho remontante da rede de drenagem. A contínua remoção da matriz regolítica tenderia a expor os núcleos rochosos de resistência (menor incidência de fraturamento) que estavam em subsuperfície (TWIDALE; VIDAL-ROMANÍ, 2005; BASTOS, 2018; MAIA; NASCIMENTO, 2018; MAIA et al., 2018). Uma vez exumado, o conjunto de formas menores sobre o terreno granítico estaria propenso à atuação de eventos deposicionais ou de sedimentação no Vale da Megafauna de Itapipoca. Acredita-se que a área fonte do material sedimentar de caráter alóctone seja atribuída ao processo de erosão e dismantelamento de mantos residuais intemperizados situados no entorno dos tanques naturais e/ou em áreas topograficamente mais elevadas (WALDHERR, 2023). O transporte e a redistribuição do material sedimentar alóctone seria direcionado a partir do escoamento superficial, de modo a recobrir e mascarar eventuais irregularidades do relevo.



**Figura 4.** Ocorrência de matacão (*boulder*) seccionado sobre um lajedo granítico de topo nivelado no Sítio Paleontológico Jirau. Na literatura acadêmica, os matações têm sido associados ao amplo controle estrutural, sob orientação de fraturas ortogonais, sendo reafeiçoados em condições subedáficas a partir do intemperismo químico sob matriz regolítica. Foto: Felipe Waldherr, Jul./2019.



**Figura 5.** Ocorrência de *castle koppies* em afloramento granítico no Sítio Paleontológico Jirau. Foto: Felipe Waldherr, Dez./2022.

O segundo artigo (WALDHERR et al., 2023), refere-se à descrição e análise das camadas sedimentares que preencheram o tanque fóssilífero Jirau 01 (Figura 6). Uma vez estabelecida a condição de depocentro em escala reduzida, o tanque natural começou a ser preenchido por sedimentos pleistocênicos e holocênicos. A camada de conglomerado com elevado grau de arredondamento dos clastos que corresponde à porção basal do depósito de tanque sugere um transporte de longa distância, remobilizados a partir de enxurradas que seguiam os principais

eixos de drenagem do Riacho Sororó e afluentes no entorno do sítio paleontológico (Figura 6C). O registro sedimentar indica uma condição paleoambiental distinta, sugerindo a atuação de uma drenagem de maior energia e com ampla capacidade de transporte, mesmo que de modo intermitente.

A camada sedimentar sobreposta, constituída por um material inconsolidado (depósito colúvio-aluvial), remete a fluxos de escoamento superficial concentrados, típico de chuvas torrenciais em ambientes do semiárido. O conjunto de chuvas torrenciais seria o responsável por carrear os sedimentos oriundos das áreas adjacentes, favorecendo o dismantelamento de mantos intempéricos e o desprendimento de lascas de descamação da parede lateral para o interior da depressão (Figura 6B). Acima do preenchimento sedimentar colúvio-aluvial encontra-se a camada fossilífera, constituída por fragmentos ósseos oriundos da megafauna quaternária (Figura 6A). Os estudos tafonômicos (ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013; ARAÚJO-JÚNIOR; MOURA, 2014) junto à análise da matriz sedimentar, apontaram um transporte rápido a partir de enxurradas que carregaram os fragmentos ósseos para o interior do tanque natural. É importante mencionar que havia uma camada sedimentar sobrejacente à camada fossilífera, constituída por sedimentos finos, no caso, argilosos e siltitos, com abundância de matéria orgânica. A camada sedimentar foi inteiramente removida, inicialmente para abertura de cacimbas (poços) e, posteriormente, através da escavação científica e coleta de fósseis.



**Figura 6.** Exposição do registro sedimentar no interior do tanque natural Jirau 01. O contato entre as camadas siltico-argilosa e a fossilífera é apontado pelo Prof. Celso Ximenes. Modificado de Waldherr et al. (2023).

Em síntese, a pesquisa buscou apresentar os principais mecanismos geoambientais que viabilizaram a formação do depósito de tanque e os processos geomorfológicos que atuaram no transporte do material sedimentar e fossilífero ao interior do tanque natural durante o Quaternário. O levantamento estratigráfico, junto à elaboração de um perfil sedimentográfico (Figura 7), permitiu uma reconstituição parcial das condições paleoambientais e paleoecológicas que ocorreram no Sítio Paleontológico Jirau, no Vale da Megafauna.

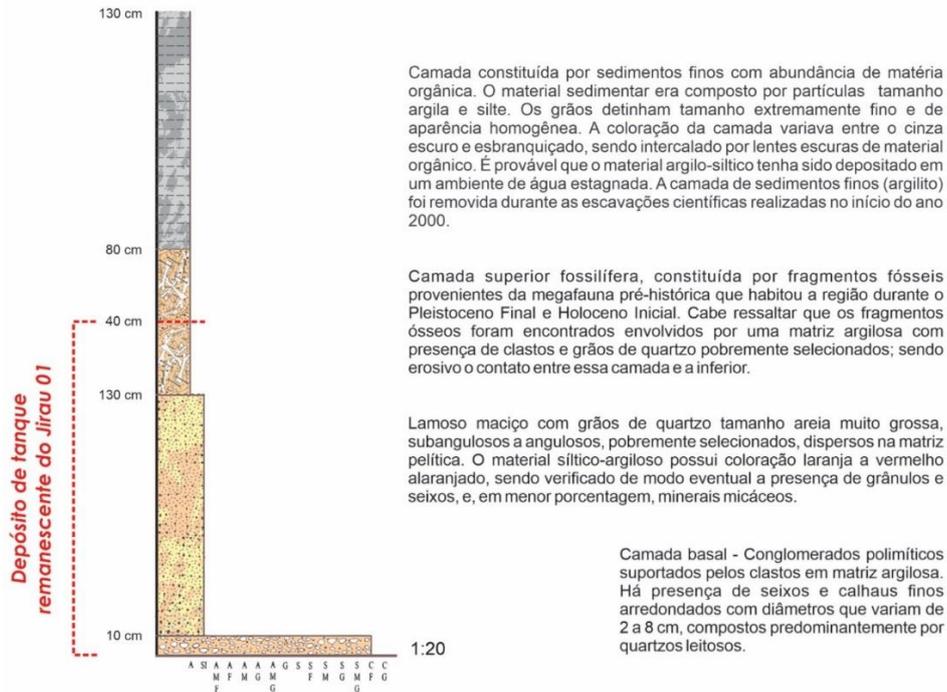


Figura 7. Perfil sedimentográfico do depósito de tanque no Jirau 01. Modificado de Waldherr et al. (2023).

Em relação aos indícios observados em campo sobre a atuação do intemperismo químico nas zonas de debilidade, é possível destacar o acomodamento das camadas sedimentares do depósito de tanque vinculado ao sistema de fraturamento que conforma a depressão natural. A escavação científica sobre o depósito de tanque do Jirau 01 expôs um aspecto interessante no que se refere ao contato entre o preenchimento sedimentar e o conjunto de lascas de descamação (*sheet structure*), o qual encontram-se em diferentes estágios de alteração. As lascas ocorrem desde o estado saprolítico, próximo ao eixo central da depressão, até a rocha inalterada, constituindo as ombreiras laterais do tanque. As lascas de descamação constituem estruturas rúpteis do embasamento granítico e que no interior da depressão permanecem verticalizadas. Na parede lateral, ainda há resquícios de lascas que desprenderam e contribuíram para o próprio preenchimento do depósito de tanque (Figura 8).

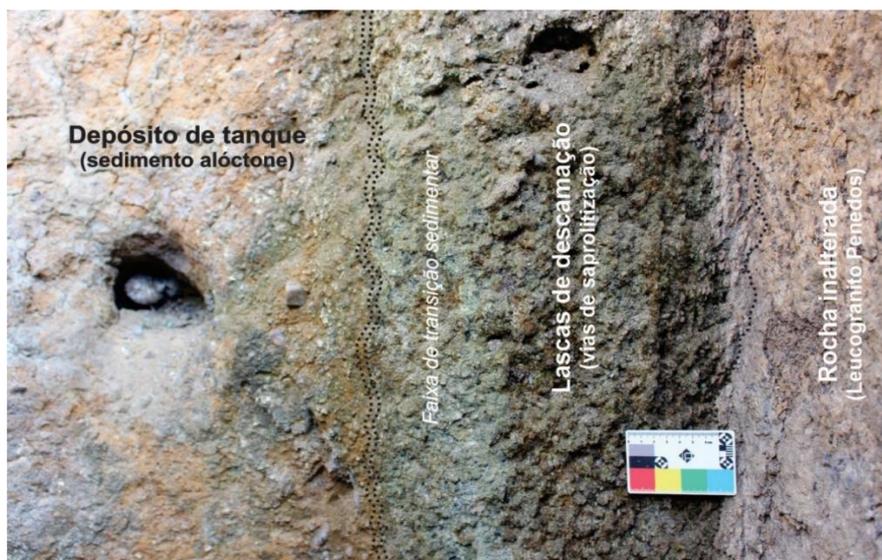


Figura 8. Ocorrência de lascas de descamação verticalizadas em estado saprolítico, posicionadas de modo paralelo, que delimita o registro sedimentar no interior do tanque natural. A escala está posicionada no contato da parede lateral, conformada pela rocha granítica (Leucogranito Penedos), e as lascas de descamação saprolitizadas. Modificado de Waldherr et al. (2023).

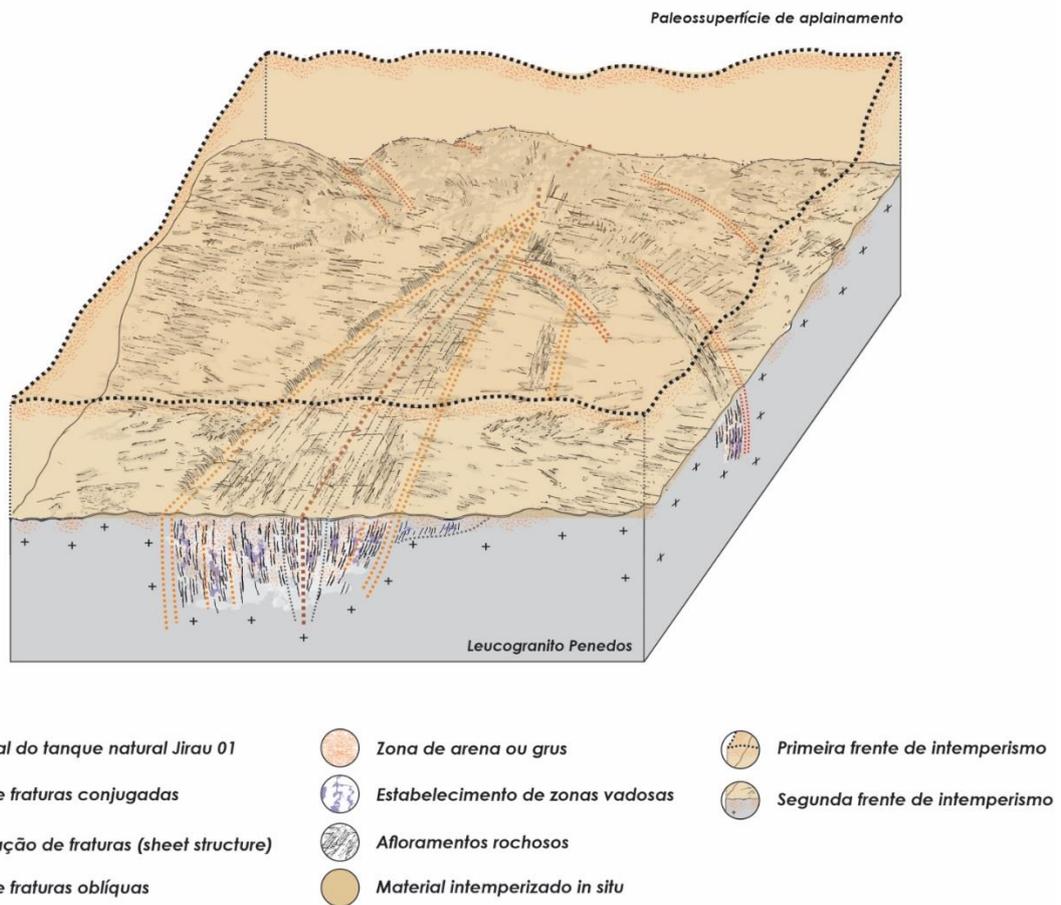
Desse modo, ao reunir os dados obtidos em relação ao controle estrutural e ao preenchimento sedimentar, foi possível idealizar uma sequência evolutiva através de desenhos esquemáticos, distinguindo as fases e/ou estágios de maior relevância do tanque natural fossilífero Jirau 01. Uma vez definido os quadros paleogeográficos, foi dado início à elaboração do conjunto de oito bloco-diagramas com caneta nanquim (ponta 0.05), buscando apresentar a dinâmica local da paisagem e, conseqüentemente, do tanque natural. É importante destacar que para uma maior verossimilidade com a forma menor de relevo, foi utilizado de modo paralelo - à concepção dos desenhos esquemáticos - uma série de imagens de sobrevoo de RPA e o modelo digital de elevação de alta resolução através dos *softwares* ArcGIS 10 e Global Mapper 2018. Na fase final de preparação dos bloco-diagramas, o *software* CorelDRAW 2020 foi aplicado para realizar correções em relação aos quadros paleogeográficos e, eventualmente, implementar informações adicionais.

#### 4. Resultados

Baseando-se no conjunto de informações coletadas em trabalhos de campo, na observação dos aspectos morfológicos no Sítio Paleontológico Jirau e análise das camadas sedimentares que constituem o depósito de tanque, foi organizado uma sequência evolutiva do tanque natural fossilífero Jirau 01. A sequência de oito quadros paleogeográficos, junto à apresentação da paleoarte complementar, consiste na representação em bloco-diagrama de distintas etapas de desenvolvimento da depressão natural durante o Quaternário.

O quadro paleogeográfico 01 corresponde ao episódio onde o substrato rochoso granítico, constituído pela unidade litológica Leucogranito Penedos, se encontra integralmente recoberto por um espesso manto regolítico (Figura 9). No desenho esquemático, a cobertura regolítica denota a ocorrência de uma paleossuperfície de aplainamento, resultante da atuação de distintos domínios morfoclimáticos com maiores índices de umidade, e do aprofundamento da frente de intemperismo em diferentes intervalos de tempo durante o Neógeno (LIMA, 2008; SANTOS et al., 2022). É interessante levantar a possibilidade da existência de irregularidades topográficas sobre a paleossuperfície o qual corresponderia às zonas e/ou setores de debilidade no substrato rochoso. Assim, a dinâmica da paisagem em ambiente subaéreo estaria vinculada ao intemperismo diferencial, evidenciando áreas de rugosidades e da confluência (concentração) do escoamento superficial e subsuperficial. De modo simultâneo, a cobertura proveria duas frentes de intemperismo, no entanto, com diferenças em relação à dinâmica de alteração e aprofundamento. A primeira frente de intemperismo é atribuída à camada superficial, enquanto a segunda atua em condições subedáficas, diretamente sobre o embasamento granítico. De modo geral, a frente de intemperismo atua com maior eficiência sobre o conjunto de estruturas secundárias ou tardias, no caso, os sistemas de fraturas conjugadas e as juntas que delimitam o tanque natural fossilífero Jirau 01. A concentração e o estreito espaçamento entre as fraturas (*sheet structure*) condicionaram a área que viria a ser o tanque natural em uma zona de debilidade. Esse quadro apresenta igualmente o estabelecimento de zonas vadosas entre as fraturas e o eixo principal da depressão. A manutenção de áreas vadosas em contato direto com a rocha e, em especial sobre as zonas de debilidade, tenderia a acentuar o processo de corrosão química e a desintegração dos minerais que constituem o substrato granítico.

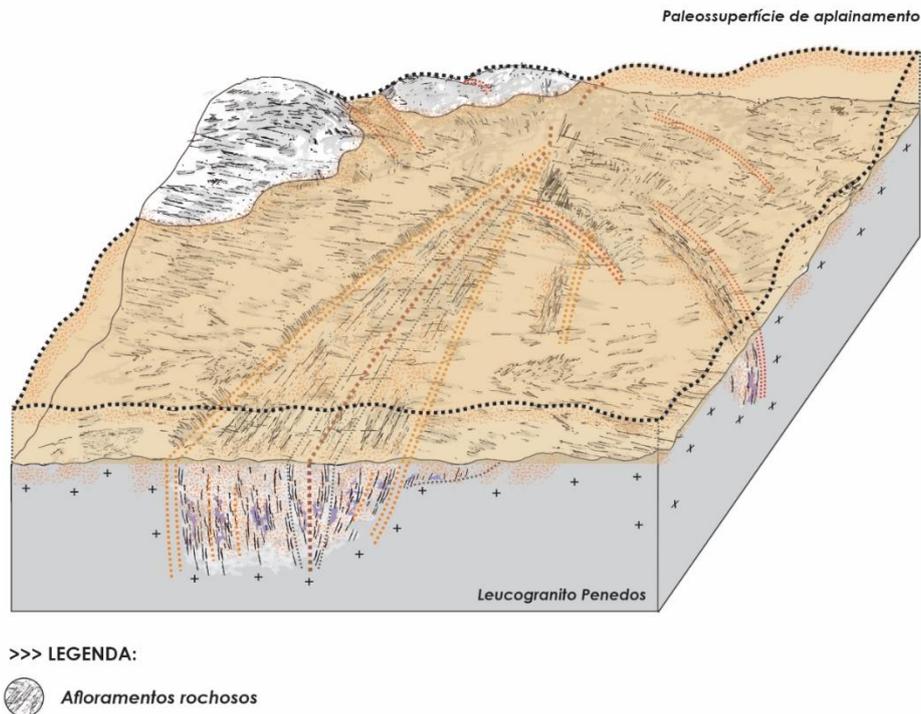
### PALEOCENÁRIO 01



**Figura 9.** O bloco-diagrama corresponde à representação do manto regolítico que recobria a atual área do Sítio Paleontológico Jirau e da atuação da frente de intemperismo sobre o sistema de fraturas conjugadas e juntas que delimitam e conformam o tanque natural. Cabe destacar que a legenda compreende informações vinculadas à sequência dos bloco-diagramas. Fonte: WALDHERR (2023).

O quadro paleogeográfico 02 representa o período de remoção da cobertura regolítica, resultando no dismantelamento da paleossuperfície aplainada e na exposição episódica do embasamento granítico (Figura 10). Os sistemas de fraturas e juntas tendem a organizar e/ou rearranjar a distribuição de formas do relevo. No sítio paleontológico, as áreas que apresentam menor ocorrência de *sets* de fraturamento são comumente associadas a núcleos de resistência. Tais áreas acabam por sobressair em relação ao conjunto paisagístico, seja por extensão e/ou altitude, comportando formas menores do relevo granítico. O entendimento da interferência do controle estrutural na disposição do tanque tende a refletir não somente na configuração do relevo em superfície, mas igualmente no delineamento da feição em subsuperfície, direcionando a atuação da frente de intemperismo sobre as estruturas secundárias pré-estabelecidas no embasamento. Os núcleos expostos tendem a atuar como dispersores de escoamento superficial, redistribuindo para áreas de convergência de fluxos. Desse modo, a redistribuição do escoamento superficial é conduzida preferencialmente para as zonas topograficamente inferiores, promovendo a recarga sobre as zonas de debilidade da rocha em subsuperfície. A manutenção de zonas vadasas e bolsões de umidade em determinados pontos do substrato rochoso torna, assim, mais eficiente a atuação do processo de corrosão química e o reafeiçoamento de formas menores do relevo granítico em condições subedáficas. Na ilustração observa-se o aprofundamento significativo em relação ao eixo principal e as fraturas conjugadas (*sheet structure*), ambas em viés de saprolitização, transformando gradativamente as estruturas rúpteis em zonas de *arena* ou denominado simplesmente como *grus* (material intemperizado *in situ*).

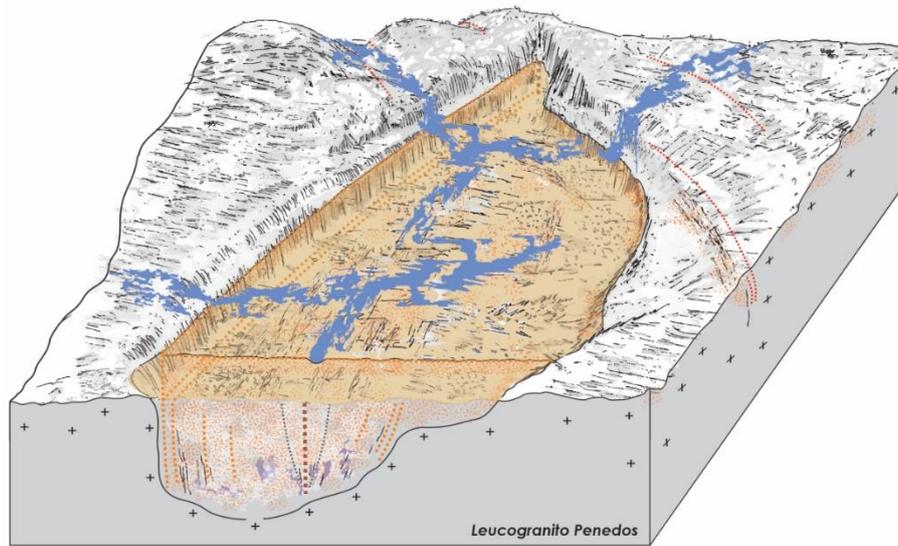
## PALEOCENÁRIO 02



**Figura 10.** O bloco-diagrama é referente à exposição episódica de núcleos rochosos e atuação incisiva da frente de intemperismo sobre o sistema de fraturas conjugadas, transformando o conjunto de estruturas rúpteis em zonas de arena ou *grus* (material intemperizado *in situ*). Fonte: WALDHERR (2023).

O quadro paleogeográfico 03 corresponde ao momento de exposição do tanque natural Jirau 01 e à remoção do material intemperizado *in situ* (autóctone) que preenchia o interior da depressão (Figura 11). A remoção e o transporte do material intemperizado *in situ*, denominado igualmente na literatura acadêmica como zonas de arena ou *grus*, era então realizado a partir da ação do escoamento superficial estabelecido pela rede de drenagem. É importante destacar o reaproveitamento da rede de drenagem sobre as zonas de debilidade do embasamento granítico, anteriormente recobertas pelo manto regolítico, e que ainda inferem atualmente, sobre a dinâmica local da paisagem. Os sistemas de fraturas conjugadas e o eixo central do tanque natural encontram-se amplamente saprolitizados e compreendem autênticas zonas de arena ou *grus*. A remoção do material intemperizado através do escoamento superficial se mantém até alcançar o seu exutório ou abertura (nível de base do tanque natural).

**PALEOCENÁRIO 03**



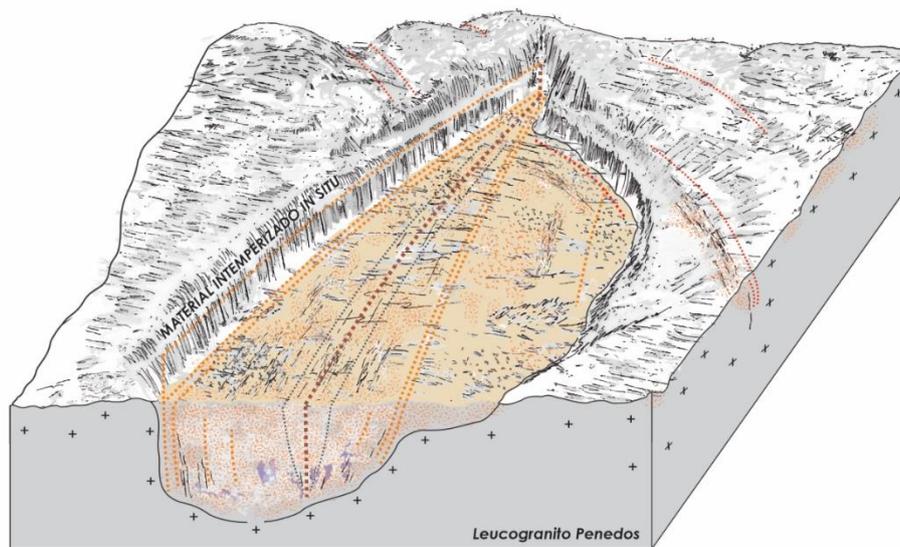
>>> LEGENDA:

 Escoamento superficial

**Figura 11.** O bloco-diagrama corresponde à exposição do tanque e a remoção de depósito sedimentar autóctone (material intemperizado *in situ*) a partir do escoamento superficial. Fonte: WALDHERR (2023).

O quadro paleogeográfico 04 corresponde ao momento da remoção parcial do material intemperizado *in situ*, expondo uma série de formas e estruturas menores do relevo granítico (Figura 12). A remoção e o transporte do material intemperizado (zonas de arena ou *grus*) é interrompido pela exumação do exutório, localizado a jusante do tanque natural, e que corresponde ao nível de base local ao tanque. O processo de intemperismo segue atuando no interior do tanque em condições de subsuperfície, no entanto de modo mais restrito e pontual. A área anteriormente definida através da concentração de fraturas conjugadas e onde encontrava-se o eixo principal (lineamento estrutural WNW-ESE), já está totalmente alterada/modificada. A transformação física, química e mineralógica alterou a maior parte do conjunto de estruturas rúpteis (secundárias ou tardias) que compreendem o interior do tanque natural.

### PALEOCENÁRIO 04



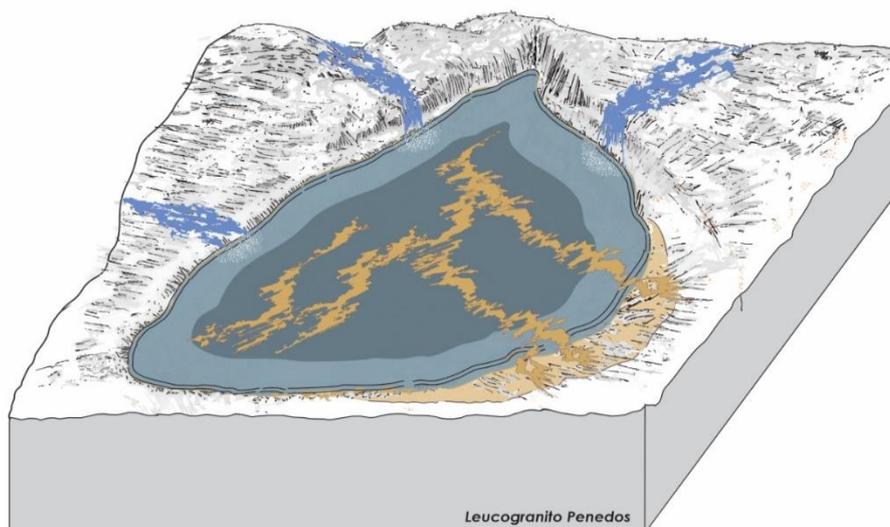
>>> LEGENDA:

 Detritos (lascas de descamação)

**Figura 12.** O bloco-diagrama indica a espessura do depósito autóctone a partir da linha tracejada de cor laranja na parede lateral do tanque, o qual foi removido gradualmente do interior da depressão natural. Fonte: WALDHERR (2023).

O quadro paleogeográfico 05 corresponde ao período de transbordamento do tanque natural, resultante da confluência dos fluxos de escoamentos superficiais e, conseqüentemente, na remoção dos sedimentos de tamanho fino (Figura 13). Além de revolver os sedimentos assentados sobre o fundo do tanque natural, a contínua entrada de fluxos d'água pode ter contribuído de modo a manter em suspensão o material intemperizado (argila, silte e matéria orgânica) e, como efeito, remover parte desse material através do processo de transbordamento.

### PALEOCENÁRIO 05



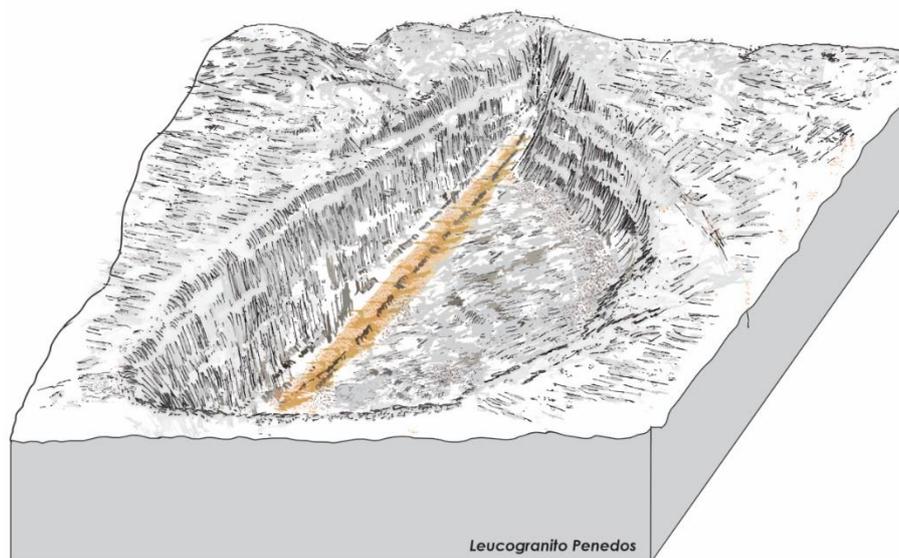
**Figura 13.** O bloco-diagrama denota a convergência de fluxos d'água em direção ao interior do tanque natural. Além de manter em suspensão os materiais mais finos, a entrada do escoamento superficial contribui igualmente para

revolver os sedimentos de fundo. A remoção dos sedimentos mais finos seria através do transbordamento, representado na figura pela mancha de cor marrom no entorno da depressão. Fonte: WALDHERR (2023).

O quadro paleogeográfico 06 indica o momento da remoção de sedimentos finos em suspensão a partir da entrada de água por escoamento superficial no interior do tanque e, conseqüentemente, do seu transbordamento (Figura 14). Uma porção do material intemperizado permanece no fundo do tanque natural, mascarando as irregularidades e desníveis ocasionados pela atuação diferencial da frente de intemperismo. A remoção da maior parte do depósito sedimentar de caráter autóctone resulta na formação de espaços de acomodação, ou seja, na disponibilidade de áreas propícias ao novo ciclo de preenchimento sedimentar.

É provável que a deposição da camada basal, constituída por conglomerados polimíticos suportados pelos clastos em matriz argilosa de tonalidade esverdeada a cinza, principalmente no contato com o material saprolítico do embasamento cristalino, tenha ocorrido durante esse momento. É notório igualmente a exposição de formas e estruturas menores (*flared slopes, tafoni* e alvéolos), assim como texturas associadas à corrosão química (*pitting*), que ocorrem sobre as superfícies do tanque. Uma vez removido o material do contato solo-rocha (material intemperizado e o Leucogranito Penedos), compreende-se que há uma descontinuidade na atuação do intemperismo químico em áreas específicas, sobretudo nas superfícies verticalizadas, por exemplo, nas paredes laterais do tanque natural. É possível indicar a atuação do intemperismo em condições subaéreas, por exemplo, o efeito de termoclastia sobre as paredes laterais, resultando no desprendimento/desagregação (mecanismo de *flaking*) de lascas de descamação em estado saprolítico (resquício de processos vinculados à corrosão química), e na sua desintegração a partir da dinâmica restrita de transporte no interior do tanque natural.

#### PALEOCENÁRIO 06

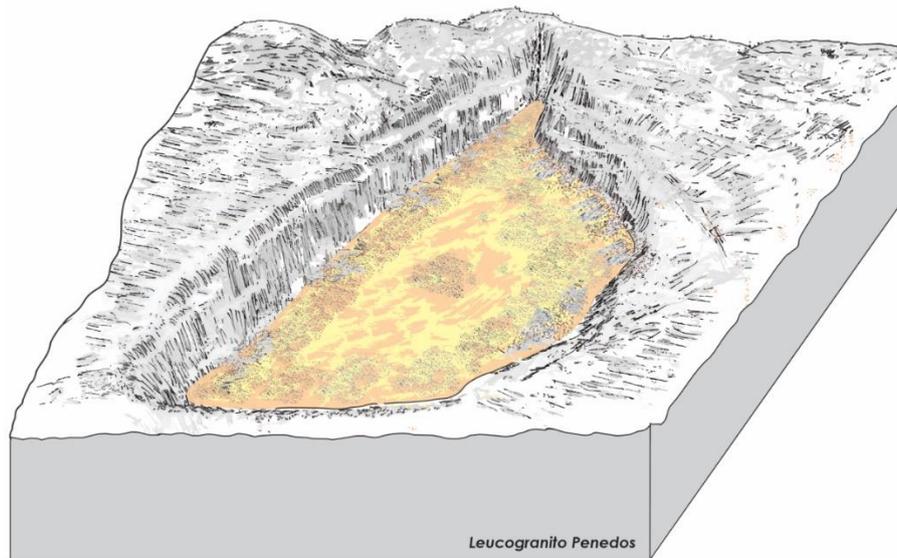


**Figura 14.** O bloco-diagrama apresenta o fundo de tanque preenchido com o material intemperizado que não foi removido pelos sucessivos eventos de transbordamentos e atuação de processos associados a condições subaéreas, por exemplo, a termoclastia. A atuação da termoclastia pode ter acentuado o desprendimento parcial e/ou total de lascas de descamação nas paredes laterais do tanque natural, resultando na adição de material saprolitizado ao depósito de tanque. Fonte: WALDHERR (2023).

O quadro paleogeográfico 07 corresponde ao momento de preenchimento sedimentar sobre os espaços de acomodação do tanque natural (Figura 15). O novo aporte sedimentar seria carreado ao interior do tanque a partir do escoamento superficial, principalmente por enxurradas (*flash floods*). O escoamento superficial seria o responsável por transportar o material intemperizado de característica alóctone para o interior do tanque natural. O material intemperizado, carreado ao interior do tanque, corresponde ao depósito de tanque atual, sendo constituído por um sedimento lamoso maciço com grãos de quartzo tamanho (de fração) areia muito grossa, subangulosos a angulosos, pobremente selecionados, dispersos na matriz pelítica. As características indicam que

o material siltico-argiloso poderia estar associado a depósitos do tipo colúvio-aluvial. É possível notar também a continuidade do efeito de termoclastia, junto ao mecanismo de *flaking* (desagregação e desprendimento de lascas de descamação), resultando no acúmulo no interior do tanque de material detrítico no sopé das ombreiras graníticas e na desintegração de material intemperizado recém carreado e depositado no interior do tanque natural e que se encontrava no entorno do sítio paleontológico.

### PALEOCENÁRIO 07



>>> LEGENDA:

 Sedimento transportado (alóctone)

**Figura 15.** O bloco-diagrama refere-se à etapa de preenchimento do tanque natural a partir do escoamento superficial, em especial as enxurradas (*flash floods*), que transportavam e depositavam o material intemperizado do entorno do Sítio Paleontológico Jirau para o interior do tanque natural. Fonte: WALDHERR (2023).

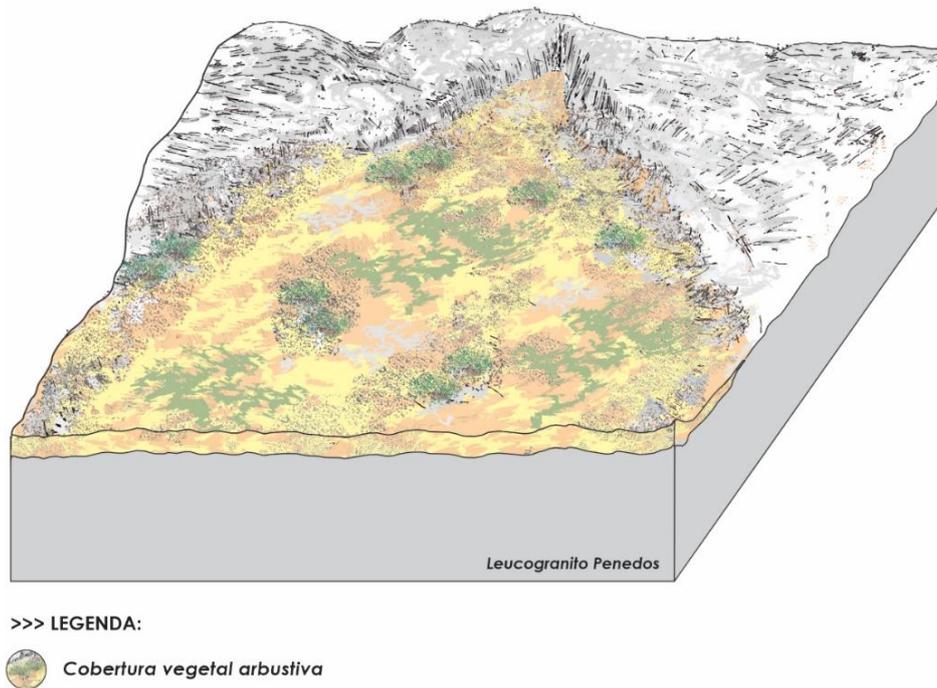
É interessante destacar que após o quadro paleogeográfico 07, o período em destaque denota a formação da camada fossilífera no interior do tanque natural (Figura 16). A paleoarte retrata a dinâmica da paisagem local durante o Quaternário, sendo baseada a partir de referências bibliográficas previamente selecionadas do Sítio Paleontológico Jirau (XIMENES, 2006, 2009; ARAÚJO-JÚNIOR, 2012, 2015; ARAÚJO-JÚNIOR; MOURA, 2014; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2011, 2013; WALDHERR et al., 2022, 2023; FARIA et al., 2023). A camada fossilífera é constituída por fragmentos ósseos oriundos da megafauna quaternária que habitou a região de Itapipoca durante o Pleistoceno Final e Holoceno Inicial e Médio (XIMENES, 2009; FARIA et al., 2023). Os fragmentos ósseos foram encontrados envolvidos por uma matriz argilosa com presença de clastos e grãos de quartzo pobremente selecionados; sendo erosivo o contato entre essa camada e a inferior. O contato erosivo pode ser atribuído à condição de alta energia na qual os fluxos d'água em enxurradas adentravam o interior do tanque, revolvendo as camadas sedimentares do depósito de tanque. O tipo de material sedimentar e o aspecto de deposição do conjunto fóssil, junto à análise tafonômica (ARAÚJO-JÚNIOR, 2012, 2015; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013), indica o transporte rápido e de elevada energia associado ao papel de *flash floods* ou enxurradas, resultante de chuvas torrenciais. O escoamento superficial atuaria de modo a transportar e depositar, eventualmente, os fragmentos ósseos no interior do tanque natural. É aceito na literatura acadêmica que a maior parte do material fossilífero encontrado no depósito de tanque são de animais que haviam perecido nas proximidades da depressão (ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013). É importante destacar que a partir da deposição dos fragmentos ósseos da megafauna quaternária pode ser atribuída a denominação "tanque natural fossilífero" ou "tanque fossilífero", resultante da conformação entre o tanque natural e o depósito de tanque fossilífero. Este tipo de integração consiste até o presente momento em uma forma *sui generis* do Nordeste do Brasil, em especial no Semiárido Brasileiro (WALDHERR et al., 2017, 2019).



**Figura 16.** Tanque natural Jirau 01 e a formação da camada fossilífera no depósito de tanque. Ao fundo e em plano médio, uma manada de macrauquênias (*Xenorhinotherium bahiense*) e em primeiro plano, uma carcaça de preguiça-gigante (*Eremotherium laurillardii*), sendo consumida por aves carniceiras e necrófagas sobre o lajedo granítico durante o Quaternário. A imagem retrata, além da ocorrência expressiva de uma cobertura arbustiva e arbórea, a ampla distribuição dos ossos oriundos da megafauna no entorno do tanque natural e o papel do escoamento superficial, carreando parte do material sedimentar e ósseo para o interior da depressão. Desenho: Júlia D'Oliveira (2023).

O quadro paleogeográfico 08 corresponde ao momento de preenchimento generalizado do tanque natural fossilífero Jirau 01 (Figura 17). A área do tanque natural converteu-se em uma ampla zona de sedimentação, ultrapassando o próprio nível de base local estabelecido pelo exutório. A camada superior do depósito de tanque corresponderia aos sedimentos finos, com aproximadamente 1,5 m de espessura, composto por sedimentos argilosos e siltitos, com eventual ocorrência de seixos de quartzo e abundância de material orgânico. A sedimentação sobre o tanque natural e área de entorno, predominantemente alóctone, tenderia a mascarar as irregularidades das formas do relevo granítico. Em registros fotográficos da década de 1960, há evidência de vegetação arbustiva e arbórea, inclusive de grande porte, sobre o depósito de tanque no interior da depressão natural. Infelizmente, a maior parte do material sedimentar referente à camada superior foi desentulhada para a abertura de cacimbas (poços) no intuito de armazenar água em períodos de estiagem e, conseqüentemente, o conjunto de dados e informações que poderiam provir da análise estratigráfica foram descartadas e/ou eliminadas.

## PALEOCENÁRIO 08



**Figura 17.** O bloco-diagrama corresponde ao tanque natural fossilífero totalmente preenchido, convertendo-se em uma ampla zona de sedimentação (alóctone). Fonte: WALDHERR (2023).

## 5. Discussão

A conformação entre o tanque natural e o preenchimento sedimentar/fossilífero indica o transcorrer de duas etapas distintas no desenvolvimento do tanque natural fossilífero Jirau 01, no Vale da Megafauna de Itapipoca. A primeira etapa corresponde à gênese do tanque natural integrado aos condicionantes litológicos e tectono-estruturais, delimitando as vias de acesso e de maior susceptibilidade ao ataque intempérico em subsuperfície. A hipótese de origem dos tanques naturais corrobora com a atuação preponderante de processos de corrosão química em condições subedáficas sobre as estruturas previamente estabelecidas no substrato rochoso (WALDHERR et al., 2017). Assim, a atuação da frente de intemperismo, sob o manto regolítico, seria o responsável por reafeiçoar/remodelar os tanques naturais em pontos de debilidade da rocha, por exemplo, em áreas de ocorrência de *sets* de fraturas (*sheet structure*). A segunda etapa consiste na exposição episódica do tanque natural em condições subaéreas e a remoção gradual do material sedimentar *in situ* do interior da depressão, gerando assim os espaços de acomodação para receber o aporte sedimentar alóctone durante o Quaternário. O acúmulo do material sedimentar alóctone, por sua vez, gerou o depósito de tanque do Jirau 01, provendo uma série de informações sobre as condições paleoambientais e paleoecológicas, além de importantes dados sobre a atuação de processos geomorfológicos na área de investigação (XIMENES, 2009; ARAÚJO-JÚNIOR, 2012, 2015; ARAÚJO-JÚNIOR; MOURA, 2014; ARAÚJO-JÚNIOR et al., 2013; WALDHERR, 2023; WALDHERR et al., 2022; WALDHERR et al., 2023; FARIA et al., 2023).

As unidades litoestratigráficas denotam a uma série de características intrínsecas em relação ao controle litológico e estrutural na distribuição/disposição das formas de relevo que integram os quadros fisiográficos do Vale da Megafauna de Itapipoca. A unidade litológica Leucogranito Penedos, onde encontra-se o tanque natural Jirau 01, foi alojada em profundidade no Granitoide Santa Quitéria, sob condições confinantes, sendo submetida ao resfriamento magmático em distintos estágios, seguido de fases de deformações de caráter rúptil e, posteriormente, ao alívio de pressão (redução da pressão confinante ou erosão de camadas sobrejacentes) ao longo do tempo geológico. O conjunto desses processos tem sido aceito como responsável pela origem e ampliação de famílias ou *sets* de fraturas e diáclases em diferentes estágios no embasamento cristalino (OLLIER, 1984; VIDAL ROMANÍ, 1989, 2008; VIDAL ROMANÍ; TWIDALE, 1999; VIDAL ROMANÍ et al., 1995; TWIDALE; VIDAL

ROMANÍ, 2005). A ocorrência de fraturas sobre o embasamento granítico tem sido apontada como uma das principais vias de acesso ao intemperismo químico e, conseqüentemente, aos processos de corrosão em condições subedáficas. Assim, o estabelecimento de águas vadasas sobre áreas específicas, por exemplo, em interseções de fraturas, considerando a proximidade (espaçamento) e a disposição das estruturas rúpteis, teria permitido a atuação e o reafeiçoamento diferencial a partir da frente de intemperismo em subsuperfície. No entanto, os sistemas de fraturamento (*sheet structure*), além de resultar na abertura de numerosas vias de acesso para o ingresso e estabelecimento de águas vadasas, também podem ter originado a formação de numerosos pontos de migração e concentração de carga, entre os blocos e/ou lascas de descamação, a partir de tensões oriundas de processos tectônicos. A concentração de cargas resultaria em estruturas pré-estabelecidas, no caso, o desenvolvimento de estruturas menores sobre zonas internamente deformadas, semelhantes a bulbos de tensões, que atuariam como áreas preferenciais sobre o embasamento granítico ao ataque intempérico em subsuperfície.

Em análise de campo, uma hipótese apreciada é que a fase de aprofundamento dos tanques naturais de grande porte tenha sido interrompida, expondo de modo gradual os tanques naturais em superfície, mantendo a morfologia concebida em condições subedáficas. É coerente mencionar que, devido à baixa porosidade e permeabilidade do embasamento granítico, o tanque naturalossilífero Jirau 01 tenha pouco modificado desde a exposição subaérea. Desse modo, é possível sugerir que a ocorrência (e permanência) de distintos níveis ou mesmo estágios de desenvolvimento destes tipos de depressões naturais após a remoção da cobertura regolítica influenciaram diretamente na preservação da morfologia após a exposição dos tanques do Sítio Paleontológico Jirau. Embora os processos vinculados ao aprofundamento e/ou o alargamento do tanque natural continuem após a exposição e as condições subaéreas, estes estariam submetidos a taxas significativamente mais lentas em relação aos processos subedáficos. É importante destacar que após a conformação do depósito de tanque, a dinâmica local não teve competência suficiente para a remover o material ósseo as camadas subjacentes, viabilizando assim a preservação do jazigo fossilífero.

Ao remover de modo sucessivo o material intemperizado *in situ* que anteriormente recobria os tanques naturais, as superfícies rochosas exumadas tenderiam a descontinuar e/ou restringir os processos de corrosão química em virtude da redução da área do contato solo-rocha e, conseqüentemente de atuação da frente de intemperismo. Em contrapartida, os processos erosivos e de transporte atuariam com maior eficiência sobre o material regolítico *in situ* (zonas de *arena* ou *grus*), favorecendo a exposição episódica dos tanques naturais. Os eventos associados a distintos pulsos erosivos e a dissecação do relevo local, além de indicar períodos mais acentuados de precipitações, ampliação do trabalho remontante do escoamento superficial sobre o material friável e uma recorrência maior de fenômenos de transbordamento, poderiam estar igualmente associados aos processos responsáveis pela remoção parcial do material sedimentar acumulado no interior das depressões, gerando os espaços de acomodação. Assim, os espaços de acomodação seriam preenchidos, posteriormente, por uma seqüência de eventos deposicionais, conformando os depósitos de tanque. A questão do preenchimento de tanques naturais por sedimentos pleistocênicos e holocênicos constitui igualmente um capítulo importante sobre a Geomorfologia do Quaternário no Semiárido Brasileiro, uma vez que tais feições de relevo, quando completamente preenchidas, preservam informações sobre a dinâmica da paisagem e de seu entorno, auxiliando na reconstituição de parte do quadro paleoambiental.

Em relação a história do intemperismo no Semiárido Brasileiro, Lima (2008) identifica a partir de métodos de datação  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  em óxidos de manganês e (U-Th)/He em goetitas a presença de períodos mais pronunciados da atuação do intemperismo químico na Província Borborema, enfatizando a coleta de amostras de minerais supergênicos de mantos intempéricos em distintos domínios geomorfológicos. De acordo com Lima (2008), os perfis de intemperismo na Depressão Sertaneja, fornecem idades que variam de  $3.1 \pm 0.5$  a  $0.8 \pm 0.4$  Ma, indicando uma história de intemperismo mais recente neste compartimento geomorfológico. Os perfis de intemperismo rasos e incipientes da Depressão Sertaneja, todos mais jovens que 3 Ma, indicam uma história mais ativa de erosão em relação a esta superfície, o que impediu a formação ou, principalmente, na preservação de perfis de intemperismo mais antigos. Os perfis de intemperismo incipientes e rasos da Depressão Sertaneja, datados em torno de 1.5 Ma, caracterizam o contínuo retrabalhamento desta superfície. De acordo com Costa et al. (2020), a área que integra a Depressão Sertaneja pode ser entendida como Superfície Sertaneja 1 (SS1). A Superfície Sertaneja 1 (SS1) compreende setores topograficamente mais baixos, correspondendo as áreas onde os processos de aplainamento se mostram mais evidentes. A unidade SS1 está localizada entre as cotas de 50 e 250 m de altitude, apresentando morfologias planas ou levemente onduladas (COSTA et al., 2020).

Desse modo, é interessante refletir sobre a possibilidade de qual a atuação da frente de intemperismo em condições subedáficas tenha sido reduzida e/ou interrompida, mantendo a morfologia pré-estabelecida dos tanques naturais de maiores dimensões, incluindo o tanque natural Jirau 01, em idades patamar de 3.1 e 1.5 Ma durante um período de maior umidade e condicionado a exposição gradual das formas menores do relevo granítico. O estabelecimento exato no que se refere ao momento o qual a frente de intemperismo tenha alcançado o substrato rochoso e, conseqüentemente, iniciado o reafeiçoamento das formas de relevo torna-se de difícil assimilação em virtude dos distintos pulsos de intemperismo associado ao predomínio de domínios morfoclimáticos de maior umidade que sucederam ao longo do Cenozoico, em especial durante o Neógeno e o Quaternário. No entanto, a implementação de um período de intenso intemperismo químico no Nordeste Setentrional, sugerido entre o Mioceno Médio e Pleistoceno (LIMA, 2008; SANTOS et al., 2022), denota a reflexão sobre a conjuntura o qual a frente de intemperismo pôde ter alcançado de modo incipiente o nível dos tanques naturais (embasamento granítico) em subsuperfície. Nesse contexto, o aprofundamento do manto regolítico sobre as rochas subjacentes teria ocorrido em um momento posterior ao importante evento erosivo que sucedeu durante o Oligoceno na porção continental, registrando na margem *offshore* as maiores taxas de sedimentação siliciclástica (Formação Tibau) na Sub-bacia do Mundaú (MORAIS NETO et al., 2003). Ainda de acordo com o autor, a Sub-bacia do Mundaú é limitada a partir de uma importante inflexão de falha de borda, no prolongamento nordeste da Zona de Cisalhamento Forquilha, e a leste através do Alto de Fortaleza (MORAIS NETO et al., 2003), recebendo o aporte sedimentar proveniente da porção continental, incluindo da bacia de drenagem do rio Mundaú que integra toda extensão do Vale da Megafauna de Itapipoca.

Uma resposta assertiva em relação a idade do início da formação dos tanques naturais de maiores dimensões ainda carece de dados mais precisos, no entanto, sabe-se que a dinâmica da frente de intemperismo acontece de modo difuso e irregular em condições subedáficas, sendo posteriormente direcionada a zonas preferenciais, por exemplo, sobre estruturas rúpteis/dúcteis ou estruturas secundárias e tardias, resultando na atuação e efetividade do intemperismo químico (corrosão química) em áreas específicas ou pré-estabelecidas no contato solo-rocha. É comumente explicitado que a atuação da frente de intemperismo e o seu aprofundamento (desenvolvimento do manto regolítico) está vinculada ao predomínio e/ou concentração de umidade. A interpretação paleoambiental para os perfis de intemperismo de 3.1 Ma. indica, além do predomínio de pulsos erosivos de maior intensidade, a recarga de zonas vadosas que estariam posicionadas em áreas de maior debilidade do substrato rochoso. É provável que a remoção gradual do material intemperizado tenha sido acentuada, desmantelando as capas regolíticas e expondo, de modo episódico, o conjunto de tanques naturais na área de investigação que haviam sido previamente reafeiçoados em subsuperfície.

Em relação ao depósito de tanque do Jirau 01, os resultados obtidos a partir de métodos geocronológicos ( $C^{14}$ , ESR, entre outros) efetuados em uma pequena quantidade de espécimes têm posicionado de modo inédito a presença da megafauna entre o Holoceno Inicial e Médio (FARIA et al., 2023). Em geral, as datações a partir de ESR e  $C^{14}$  em diversos tipos de jazigos fossilíferos no Semiárido do Brasil têm estabelecido os fósseis da megafauna quaternária entre o Pleistoceno Final e o Holoceno Inicial (FARIA; CARVALHO; ARAÚJO-JÚNIOR, 2020; FARIA et al., 2020). É importante destacar que o conjunto de datações no tanque natural fossilífero Jirau 01 incluem as idades mais jovens conhecidas na Região Intertropical Brasileira, sendo as idades obtidas para *Xenorhinotherium bahiense* (idade = 3.493 - 4.217 anos cal AP) e *Palaeolama major* (idade = 3.353 - 4.231 anos cal AP) as mais recentes conhecidas para megafauna nas Américas. Em relação à análise de isótopos de carbono ( $\delta^{13}C$ ), Faria et al. (2023) sugerem que as associações de mamíferos no Vale da Megafauna de Itapipoca forrageavam predominantemente recursos  $C_3$  em um paleoambiente formado por um mosaico vegetacional composto de florestas e campos abertos.

O resultado indica igualmente um período de deposição dos fragmentos ósseos oriundos da megafauna quaternária sobre um espaço de acomodação, gerando assim a camada fossilífera que constitui o depósito de tanque. A reflexão inicial sugere que o preenchimento foi possível a partir do estabelecimento de espaços de acomodação no interior do tanque natural. Os dados têm apontado que a datação do conjunto de fósseis remete ao Holoceno Inicial, sendo a idade mais antiga correspondente ao mastodonte *Notiomastodon platensis* (idade = 7.836-10.159 anos cal AP) e de modo indireto um limite temporal para o início da deposição da camada fossilífera. No entanto, a aquisição de novos dados referentes à datação dos fósseis, junto ao exame da camada sedimentar subjacente por método LOE (Luminescência Opticamente Estimada), pode prover dados mais assertivos em relação aos pulsos erosivos/deposicionais no interior do tanque e a formação de espaços de acomodação durante

o Pleistoceno Final - Holoceno Inicial, indicando os períodos de exposição do tanque natural em condições subaéreas durante o Quaternário.

## 6. Conclusões

A presença de tanques naturais e depósitos de tanque fossilíferos no Vale da Megafauna de Itapipoca denotam momentos distintos em relação à evolução da paisagem. Os dados obtidos a partir da análise do tanque natural fossilífero Jirau 01 e de áreas adjacentes no Sítio Paleontológico Jirau, conduziram à aplicação da teoria da etchplanação na elaboração da sequência evolutiva e, conseqüentemente, na construção do conjunto de bloco-diagrama. A sequência inicial dos quadros paleogeográficos buscou expor o papel do controle lito-estrutural, principalmente no que se refere à disposição dos *sets* de fraturamento e à atuação preponderante da frente de intemperismo na configuração do tanque natural em condições subedáficas. A concentração dessas zonas de debilidade (*sheet structure*) sobre o embasamento favoreceu o reafeiçoamento prévio dessas feições em áreas específicas do substrato rochoso em subsuperfície. Desse modo, a primeira etapa em relação à gênese do tanque natural corresponderia à atuação de processos de corrosão química a partir da frente de intemperismo, moldando as formas de relevo sobre estruturas previamente estabelecidas no Leucogranito Penedos.

A segunda etapa consiste na exposição episódica do tanque natural Jirau 01 e a remoção parcial do material regolítico *in situ* do interior da depressão, gerando assim os espaços de acomodação para receber o aporte sedimentar alóctone e fossilífero durante o Quaternário. Em relação à idade de deposição sedimentar do tanque, a pesquisa ainda carece de informações, sendo necessário obter dados a partir da datação das camadas sedimentares que conformam o depósito de tanque. Embora a datação de fósseis tenha sido realizada, posicionando o preenchimento da camada fossilífera entre o Holoceno Inicial e Médio, o resultado ainda corresponde a uma informação incipiente. Desse modo, o tanque natural fossilífero Jirau 01, no Vale da Megafauna de Itapipoca, resguarda em seu interior uma parte importante do registro morfológico e sedimentar vinculado à dinâmica da paisagem local, provendo informações paleoambientais e paleoecológicas que auxiliaram na elaboração de uma proposta evolutiva da depressão natural na presente pesquisa. Além disso, o estudo multidisciplinar e sistemático do tanque fossilífero Jirau 01 têm direcionado novas perspectivas em relação à história geológica, geomorfológica e paleontológica do Semiárido Brasileiro durante o Quaternário.

**Contribuições dos Autores:** Felipe R. Waldherr: Concepção, Metodologia, Investigação, Preparação de dados, Redação de dados, Redação - versão inicial, Redação - revisão e edição, Visualização. Telma M. da Silva: Investigação, Redação - revisão e edição. Celso L. Ximenes: Investigação, Redação - revisão e edição. Hermínio I. de Araújo-Júnior: Investigação, Redação - revisão e edição. Sérgio W. de O. Rodrigues: Metodologia, Curadoria de dados, Redação - revisão e edição.

**Financiamento:** Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) - Programa Doutorado Nota 10 (E-26/200.660/2021 - 262134) e Programa Pós-doutorado Nota 10 (E-26/200.006/2024 e 200.007/2024 - 292473).

**Agradecimentos:** À equipe da Secretaria de Cultura da Prefeitura Municipal de Itapipoca e ao Museu de Pré-história de Itapipoca; em especial à Prof.<sup>a</sup> Eveline Sonielle Sampaio Avelino - Diretora do MUPHI - pelo apoio logístico e empenho na divulgação científica sobre os tanques naturais fossilíferos que integram o Vale da Megafauna; ao Sr. Aristóteles Barroso Nunes, proprietário da fazenda Queimadas, e ao casal, Sr. Raimundo Coelho de Andrade e Dona Maria Meires Severiano de Andrade, que permitiram a investigação e a coleta de dados no tanque natural fossilífero Jirau 01 em suas respectivas propriedades; aos geógrafos, MSc. Ricardo Matos Machado e MSc. Henrique Sampaio de Castro, pelo auxílio em campo; ao Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos, pela revisão crítica em relação ao contexto de sedimentação do depósito de tanque no Sítio Paleontológico Jirau; ao Prof. Dr. Marcelo Motta de Freitas, por auxiliar na concepção dos esquetes em nanquim (sequência bloco-diagrama); à equipe da Biblioteca Professor Maurício de Almeida Abreu do Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG-UFRJ), da Biblioteca Central do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Biblioteca do Centro de Tecnologia e Ciência (CTC/C) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo auxílio na pesquisa documental e disponibilização das obras utilizadas; e, por fim, aos revisores anônimos pelos comentários e sugestões que permitiram o aprimoramento deste manuscrito.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. ALVIM, G. F. Jazigos brasileiros de mamíferos fósseis. **Notas preliminares e estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia**. DNPM, Rio de Janeiro, v. 18, p. 8-16, 1939.
2. ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. **Tafonomia da acumulação fossilífera de vertebrados pleistocênicos do Tanque do Jirau, Itapipoca, Estado do Ceará, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012. 185p.
3. ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. **Modelo tafonômico para vertebrados de depósitos de tanque do Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2015. 253p.
4. ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; MOURA, G. J. B. Anuros (Amphibia, Anura) do Pleistoceno Final-Holoceno inicial de Itapipoca, Estado do Ceará, Brasil: Taxonomia, paleoecologia e tafonomia. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 17, n. 3, p. 373-388, 2014.
5. ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; XIMENES, C. L.; BERGQVIST, L. P. Unveiling the taphonomy of natural tank deposits: a case study in the Pleistocene of northeastern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, n. 378, p. 52-74, 2013.
6. ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PORPINO, K. O.; XIMENES, C. L.; BERGQVIST, L. P. Análise multivariada como ferramenta tafonômica no estudo das associações quaternárias de mamíferos do Nordeste do Brasil. **Gaea** (São Leopoldo. Online), v. 7, p. 104-111, 2011.
7. BASTOS, F. H. Evidências morfológicas de condições paleoclimáticas úmidas no semiárido brasileiro. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4, p. 324-343, 2018.
8. BERGQVIST, L. P.; GOMIDE, M.; CARTELLE, C.; CAPILLA, R. Faunas-locais de mamíferos pleistocênicos de Itapipoca / Ceará, Taperoá / Paraíba e Campina Grande / Paraíba: Estudo comparativo, bioestratinômico e paleoambiental. **Geociências**, v. 2, n. 6, p. 23-32, 1997.
9. BRAGA, I. F.; GOMES, I. P. **Geologia e recursos minerais da Folha Itapipoca - SA. 24-YD-II, Escala 1:100.000, Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, p. 1-73 (1 mapa). 2018.
10. BURLAMAQUE, F. L. C. Notícia acerca dos animaes de raças extintas descobertos em vários pontos do Brasil. **Trabalhos da Sociedade Vellosiana**, v. 20, p. 1-16, 1855.
11. BURLAMAQUE, F. L. C. Notícia acerca dos animaes de raças extintas descobertos em vários pontos do Brasil. **Trabalhos da Sociedade Vellosiana**, v. 20, p. 17-21, 1856.
12. COSTA J. P., TRIFILIO, L. H. M. S., ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; XIMENES, C. L. Trace fossils on megafaunal bone remains from Quaternary natural tank deposits of Brazil: A case study in João Cativo Paleontological site, Megafauna Valley, Brazil, **Ichnos**, 30:1, 39-48, 2023.
13. COSTA, L. R. F.; MAIA, R. P.; BARRETO, L. L.; CLAUDINO SALES, V. C. Geomorfologia do Nordeste setentrional brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, p. 185-208, 2020.
14. FARIA, F. H. C.; KINOSHITA, A.; CARVALHO, I. S.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; PEGORIN, P.; FIGUEIREDO, A. M. G.; BAFFA, O. ESR dating of late Quaternary megafauna fossils from João Dourado, Bahia, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 101, p. 1-7, 2020.
15. FARIA, F. H. C.; CARVALHO, I. S.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I. Genesis and taphonomic biases of Quaternary tank deposits of northeastern Brazil. **Quaternary Internacional**, v. 550, p. 184-193, 2020.
16. FARIA, F. H. C.; CARVALHO, I. S.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; XIMENES, C. L.; FACINCANI, E. M. Holocene megafauna in Brazil: New records in Itapipoca (Ceará) and Miranda (Mato Grosso do Sul) In: SIMPÓSIO

- BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS, 12., 2023, Santa Maria. **Boletim de Resumos...** Santa Maria: SBP. 2023. v. 1, p. 47.
17. GOMIDE, M.; BERQVIST, L. P.; REGO, D. D. O "Tigre dente-de-sabre" (*Smilodon populator*) de Itapipoca, Ceará. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10., 1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBP. 1987. p. 197-204.
18. LIMA, M. G. **A história do intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas.** Tese (Doutorado em Geodinâmica) - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2008. 594p.
19. MAGALHÃES, R. M. M.; MELLO, M. G. S.; BERGQVIST, L. P. Os cérvidas pleistocênicos da região Nordeste brasileira. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 64, n. 2, p. 149-154, 1992.
20. MAIA, R. P.; BASTOS, F. H.; NASCIMENTO, M. A. L.; LIMA, D. L. S.; CORDEIRO, A. M. N. **Paisagens graníticas do Nordeste brasileiro.** Fortaleza: Edições UFC, 2018. 104p.
21. MAIA, R. P.; NASCIMENTO, M. A. L. Relevos graníticos do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, p. 373-389, 2018.
22. MORAIS NETO, J. M.; PESSOA NETO, O. C.; LANA, C. C.; ZALAN, P. V. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Ceara. **Phoenix**, v. 57, p. 1-6, 2003.
23. OLLIER, C. D. **Weathering.** New York: Longman, 1984. 270p.
24. PAULA COUTO, C. Explorações paleontológicas no Pleistoceno do Nordeste. **Sessões da Academia Brasileira de Ciências**, v. 34, n. 3, p. 8, 1962.
25. PAULA COUTO, C. Fossil Pleistocene to sub-recent mammals from northeastern Brazil. I-Edentata Megalonychidae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 52, n. 1, p. 144-151, 1980.
26. ROTTI, A.; VEZZOSI, R. I.; MOTHÉ, D.; AVILLA, L. Rising from the ashes: The biggest South American deers (*Cetartiodactyla: Cervidae*) once roamed Northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 108, 103154, 2021.
27. SANTOS, F. L.; NASCIMENTO, F. R.; HACKSPACHER, P. C.; RIBEIRO, M. C. S.; SILVA, B. V.; GODOY, D. F. Termocronologia aplicada à evolução geomorfológica do nordeste setentrional do Brasil: uma breve revisão. In: CARVALHO JUNIOR, O.A.; GOMES, M.C.V.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T. (Ed.). **Revisões de Literatura Geomorfológica Brasileira.** União de Geomorfologia Brasileira, 2022. p. 681-704.
28. TWIDALE, C. R.; VIDAL-ROMANÍ, J. R. **Landforms and geology of granitic terrains.** Leiden: Balkema, 2005. 351p.
29. VIDAL-ROMANÍ, J. R. Geomorfología granítica en Galicia (NW España). **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 13, p. 89-163, 1989.
30. VIDAL-ROMANÍ, J. R. Forms and structural fabric in granite rocks. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 33, p. 175-198, 2008.
31. VIDAL ROMANÍ, J. R.; TWIDALE, C. R. Sheet fractures, other stress forms and some engineering implications. **Geomorphology**, v. 31, n. 1-4, p. 13-27, 1999.
32. VIDAL ROMANÍ, J. R.; TWIDALE, C. R.; CAMPBELL, E. M.; CENTENO, J. D. D. 1995. Pruebas morfológicas y estructurales sobre el origen de las fracturas de descamación. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, n. 20, p. 307-346, 1995.
33. WALDHERR, F. R. **Os tanques naturais de Itapipoca - uma contribuição aos estudos sobre as formas menores do relevo granítico no semiárido cearense.** Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2023. 413p.

34. WALDHERR, F. R.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; RODRIGUES, S. W. O. Origem e morfologia dos tanques naturais do Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 3, p. 467-488, 2017.
35. WALDHERR, F. R.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; RODRIGUES, S. W. O.; XIMENES, C. L. La importancia de los tanques naturales (mega gnammas) en la preservación de fósiles de la Megafauna cuaternaria en el Noreste de Brasil. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, v. 31, p. 99-122, 2019.
36. WALDHERR, F. R.; SILVA, T. M.; XIMENES, C. L.; ARAÚJO-JÚNIOR, H. I.; RODRIGUES, S. W. O. Geomorphological aspects of the Jirau 01 fossiliferous natural tank, municipality of Itapipoca, Ceará state, Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 2, p. 1317-1333, 2022.
37. WALDHERR, F. R.; SILVA, T. M.; XIMENES, C. L.; SAMPAIO, H.; MACHADO, R. M. Considerações sobre a dinâmica paleoambiental a partir da análise de depósitos de tanque no Sítio Paleontológico Jirau, município de Itapipoca (CE). **Geo UERJ**, v. 42, p. 1-15, 2023.
38. XIMENES, C. L. **Proposta metodológica para um programa de micro-reservatórios alternativos de água nos sertões semi-áridos brasileiros, associado ao resgate de fósseis**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2003. 146p.
39. XIMENES, C. L. Tanques fossilíferos de Itapipoca, CE: Bebedouros e cemitérios de megafauna pré-histórica. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; SOUZA, C. R. G.; FERNANDES, A. C. S.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E. T.; CAMPOS, D. A. (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: SIGEP - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos, 2009. p. 465-478.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.