

FOTOGRAMETRIA DE UMA PALEOTOCA ESCAVADA POR PREGUIÇAS-GIGANTES (*MEGAICHNUS MAJOR*)

CAROLINE AUDI

SÃO VICENTE - SP

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"Júlio de Mesquita Filho"

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA

**FOTOGRAMETRIA DE UMA PALEOTOCA DA
ICNOESPÉCIE *MEGAICHNUS MAJOR***

CAROLINE AUDI

ORIENTADOR: PROF. DR. FRANCISCO SEKIGUCHI BUCHMANN

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus do Litoral Paulista, UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros.

SÃO VICENTE - SP

2022

Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista
Praça Infante D. Henrique s/nº - CEP 11330-900 - São Vicente (SP) - Brasil
Tel. (13) 3569-7100 - Fax (13) 3569-7146 - diretor.clp@unesp.br

A911f

Audi, Caroline

FOTOGRAMETRIA DE UMA PALEOTOCA ESCAVADA POR
PREGUIÇAS-GIGANTES (*MEGAICHNUS MAJOR*) / Caroline

Audi. -- São Vicente, 2022

55 p. : fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Biociências, São Vicente

1. Modelo Digital Tridimensional. 2. Megafauna. 3. Quaternário. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Francisco Sekiguchi Buchmann pela oportunidade de trabalhar no laboratório, por saídas de campo que jamais esquecerei e todo o aprendizado durante o curso de mestrado.

Agradeço aos meus colegas de laboratório Natalie, Marcelo e Thayara pelas dicas, pela troca de experiências e aprendizados. Agradeço aos meus amigos Jéssica e Kleber pela construção do artigo que submetemos juntos, vocês foram essenciais nesse processo, aprendi muito com vocês.

Agradeço aos meus pais, Meire e Eduardo, por apoiarem meus sonhos, me incentivarem a continuar e por acreditar em mim, sempre. Não poderia deixar de citar as minhas irmãs Chrysthie, Cynthia, Cathia e Camilla e meus sobrinhos Murillo e Fernando, que comemoram cada vitória minha comigo.

Agradeço ao Maurício que esteve ao meu lado nos melhores e piores momentos desde que iniciei a pós-graduação. Obrigada por todo o suporte emocional que você tem me dado nesse tempo, pelo apoio incondicional e por me incentivar mesmo nos meus dias mais difíceis.

Agradeço a todos os professores que já tive em minha vida, vocês são peças fundamentais na minha formação acadêmica e, também, na formação da profissional que sou hoje. Amo trabalhar com educação e tenho um pouquinho de cada professor comigo.

Agradeço a todos os meus alunos. Vocês me incentivam, todos os dias, a buscar ser alguém melhor e dar o meu melhor naquilo que escolhi como profissão. Me divirto com vocês, aprendo com vocês e boa parte dos meus dias eu estou com vocês, não teria como não agradecê-los.

Dedico este trabalho a todas as famílias vítimas da pandemia do Coronavírus, em especial a minha avó Alzerina que aos 85 anos lutou contra o coronavírus, mas infelizmente veio a falecer em decorrência da doença e não pôde comemorar esta minha conquista comigo.

RESUMO

Durante o Plioceno e Pleistoceno, mamíferos gigantes que viveram na América do Sul tinham o comportamento escavador que, em busca de abrigo e refúgio, construíram grandes icnofósseis denominados *Megaichnus* (paleotocas). *Megaichnus* são estruturas biogênicas na forma de túneis e salões escavados por Folívora (*Megaichnus major*) e Cingulata (*Megaichnus minor*). No teto e nas paredes dessas paleotocas é possível observar traços de escavação desses animais. Foi realizada a fotogrametria digital através do imageamento de *M. major* para gerar um Modelo Digital Tridimensional (M3D). A paleotoca estudada está localizada na cidade de Doutor Pedrinho, Santa Catarina, sul do Brasil, sendo esta escavada no arenito da Formação Taciba (Permiano). As fotografias foram registradas com uma câmera *GoPro 4* e uma *Nikon D7000*, processadas para geração de dois M3D. Os M3D estão disponíveis para visualização no site *Sketchfab* por meio dos links (*GoPro 4*; <https://skfb.ly/6RYyn> (*GoPro 4*) e <https://skfb.ly/ooprJ> (*Nikon D7000*). O modelo gerado com as fotografias *GoPro* foi transformado em realidade virtual através do programa *Unity*, o qual gerou um aplicativo para smartphones que necessita de óculos 3D para imersão na paleotoca, disponível online. O M3D permite o acesso virtual ao interior dos icnofósseis, tornando possível seu estudo remoto de qualquer lugar do mundo. A construção de M3Ds das paleotocas, por meio da fotogrametria de alta resolução, permite ampla divulgação do conhecimento sobre estas estruturas.

Palavras-chave: Modelo Digital Tridimensional, Quaternário, Megafauna.

ABSTRACT

During the Pliocene and Pleistocene, the extinct giant mammals that inhabited South America excavated large burrows in search of shelter and refuge. These ichnofossils called *Megaichnus* (paleoburrows) are biogenic structures in the form of tunnels and halls excavated by Folivora (*Megaichnus major*) and Cingulata (*Megaichnus minor*). On the roof and walls of the paleoburrows, it is possible to observe characteristic traces of excavation. Digital photogrammetry was performed using *M. major* photos to generate the Three-Dimensional Digital Model (M3D). The studied paleoburrow is located in the city of Doutor Pedrinho, Santa Catarina state, southern Brazil. The paleoburrow of Doutor Pedrinho was excavated in the sandstone of the Taciba Formation (Permian). The photographs were taken with a *GoPro 4* camera and a *Nikon D7000*, and then processed for the generation of two M3D. The generated M3Ds are available for viewing on the *Sketchfab* website via the links <https://skfb.ly/6RYyn> (*GoPro 4*) and <https://skfb.ly/ooprJ> (*Nikon D7000*). The GoPro model was also transformed into virtual reality through the *Unity* program, which generated an application for smartphones that requires 3D glasses for immersion in the paleoburrow. 3DM allows easy access to the ichnofossils, making it possible to study them remotely from anywhere in the world. The construction of M3Ds of the paleoburrows, through high-resolution photogrammetry, is an innovative proposal and also allows wide dissemination of knowledge about these structures.

Key-words: Three-Dimensional Digital Model, Quaternary, Megafauna.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. Paleotocas	1
1.2. Megafauna	7
1.3. Paleotoca de Doutor Pedrinho (<i>Megaichnus major</i>)	8
1.4. Mapeamento de cavernas	9
1.5. Fotogrametria digital	10
1.6. Divulgação científica	11
1.8. Objetivo	13
1.9. Referências	14
2. CAPÍTULO 2 - Artigo aceito pela Revista Brasileira de Paleontologia	21
2.1. Introdução	21
Área de estudo	23
2.2. Material e métodos	23
2.3. Resultados e discussão	25
Modelo Digital Tridimensional (M3D)	29
2.4. Conclusão	31
2.5. Agradecimentos	32
2.6. Referências	32
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1: A) Crotoquina do município de Cristal (RS) (Buchmann *et al.*, 2009). B) Paleotoca de Doutor Pedrinho (SC). 2

Figura 1.2: Organismos escavadores das paleotocas. A) *Nothrotherium*; B) e E) *Pampatherium humboldti*; C) *Glossotherium robustum*; D) *Catonyx cuvieri*; F) *Propraopus grandis*. (Buchmann *et al.*, 2016). 3

Figura 1.3: Distribuição de paleotocas na América do Sul (Buchmann *et al.*, 2016). 4

Figura 1.4: Formato das galerias e seus organismos escavadores (Frank *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2017). 5

Figura 1.5: A) Salões atribuídos a preguiças-gigantes. B) Traços duplos de preguiças-gigantes. C) Superfície polida no local de repouso. D) Túneis atribuídos a tatus-gigantes. E) Traços triplos de tatus-gigantes. F) Traços de deslocamento, com traços de osteodermos (Buchmann *et al.*, 2009; 2016). 6

Figura 1.6: A) Limites do município de Doutor Pedrinho; B) Localização da paleotoca. 8

CAPÍTULO 2

Figura 2.1: A) Localização do *M. major* no município de Doutor Pedrinho, Estado de Santa Catarina, Brasil. (Fonte: SIGSC, IBGE). B) Litologia e estratigrafia do município de Doutor Pedrinho (Modificado de CPRM). 23

Figura 2.2: A) Planta baixa da paleotoca do município de Doutor Pedrinho. B) Túnel F com as menores dimensões de largura. C) Túnel E com os alvos codificados (tamanho do alvo 20 cm x 20 cm). 26

Figura 2.3: A) Controle estrutural (falhas) na orientação dos túneis. B) Blocos transportados nas bifurcações da paleotoca. 28

Figura 2.4: Traços duplos atribuídos à preguiça gigante da Família Mylodontidae. 29

Figura 2.5: A) Nuvem de pontos (GoPro 4). B) Polígonos (GoPro 4). C) Modelo texturizado (GoPro 4). D) Nuvem de pontos (Nikon D7000). E) Polígonos (Nikon D7000). F) Modelo texturizado (Nikon D7000). 31

Lista de Tabelas

Tabela 1: Medidas da paleotoca de Doutor Pedrinho (SC) (Anexo).	40
Tabela 2: Relatório de processamento - D7000 (Anexo).	43
Tabela 3: Relatório de processamento - GoPro (Anexo).	46

Lista de Abreviações

GIBA: Grande Intercâmbio Biótico Americano

SEE: Sociedade Excursionista e Espeleológica

TLS: Laser Scanner Terrestre

3D: Tridimensional

M3D: Modelos Digitais Tridimensionais

LEP: Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia

UNESP: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

RV: Realidade Virtual

1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o contexto geral do tema dessa dissertação. Aborda-se informações sobre as paleotocas, suas classificações, seus organismos escavadores, as características para a identificação de cada icnoespécie; a localização da paleotoca estudada e seu contexto geológico, bem como informações pertinentes ao mapeamento de cavernas, fotogrametria digital e divulgação científica. O capítulo é finalizado com a apresentação da justificativa, seguida pelos objetivos da pesquisa.

1.1. Paleotocas

O comportamento escavador é comum entre diferentes organismos, desde invertebrados até mamíferos e aves. Vertebrados terrestres que registram comportamento escavador podem ser classificados como fossorial, os quais passam a vida toda no subsolo, e semifossorial, aqueles que eventualmente precisam sair de suas tocas em busca de alimento (White, 2005).

Uma vez que são consideradas estruturas de moradia temporária ou permanente, podem ser incluídas na classe etológica Domichnia (Seilacher, 1953; Frey, 1975; Bromley, 1990). A produção de tocas em diferentes substratos é classificada como vestígios de bioerosão (Buchmann *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2017).

Os fósseis de mamíferos escavadores são abundantes na literatura, entretanto, os registros fósseis das tocas desses organismos são escassos (Voorhies, 1975). Icnofósseis são registros que oferecem evidências do modo de vida de animais extintos, outros exemplos incluem traços de pegadas e rastros (Buchmann *et al.*, 2009). Atividades como locomoção, reprodução, abrigo e alimentação podem produzir estas icnoestruturas (Carvalho, 2010).

No que se referem à Megafauna, mamíferos gigantes extintos, os registros das paleotocas apresentam-se na forma de galerias e túneis com diâmetros de aproximadamente 1,5 metros (Ameghino, 1908; Bergqvist & Maciel, 1994; Vizcaino *et al.*, 2001; Buchmann *et al.*, 2009). As paleotocas são classificadas em (i) paleotocas, galerias desobstruídas e com possível acesso ao seu interior, e (ii) crotovinas, galerias que foram posteriormente preenchidas por sedimentos (Figura 1.1) (Buchmann *et al.*, 2009; Frank *et al.*, 2011a).

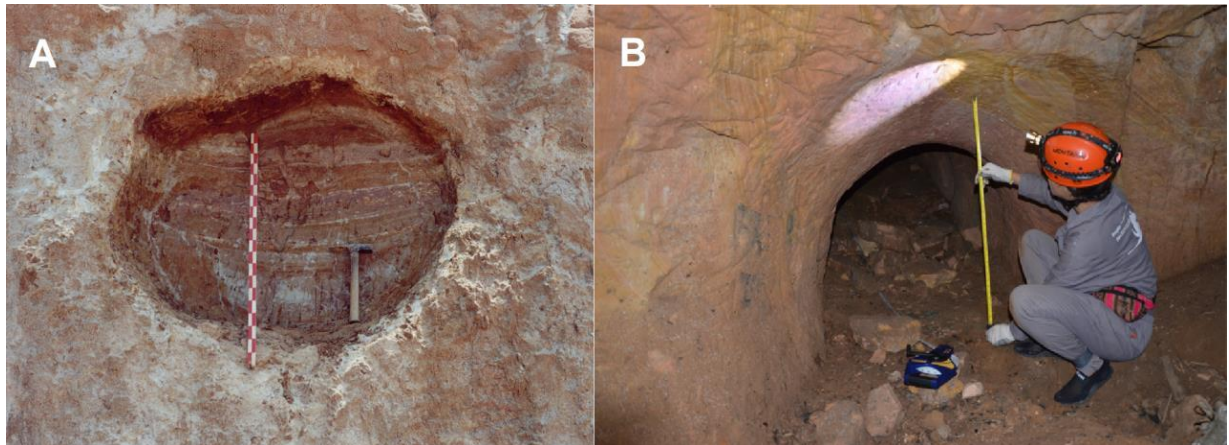


Figura 1.1. A) Crotovina do município de Cristal (RS) (Buchmann *et al.*, 2009). B) Paleotoca de Doutor Pedrinho (SC).

A Megafauna foi extinta durante a transição do Pleistoceno para o Holoceno, seus fósseis e icnofósseis podem ser encontrados em diferentes fácies sedimentares da América do Sul, porém a maior concentração de paleotocas é encontrada nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Brasil) (Figura 1.2 e 1.3). Ainda que existam muitas paleotocas no sul do Brasil, não foram encontrados fósseis dentro das tocas, dificultando uma identificação mais precisa do organismo escavador (Buchmann *et al.*, 2016). Apenas na Argentina, foram encontrados fósseis de mamíferos no interior das paleotocas (Ameghino, 1908; Vizcaino *et al.*, 2001).

Os túneis localizados em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul apresentam-se, em sua maioria, preenchidos por sedimentos (crotovinas). As paleotocas podem ser compostas tanto por túneis únicos, bem como por um complexo de túneis na forma de câmaras elipsoidais conectadas, tipicamente escavadas por preguiças-gigantes (Frank *et al.*, 2012, 2015). As galerias possuem uma grande diversidade de tamanhos, podendo alcançar até 340 m de comprimento (Ruchkys *et al.*, 2014).

A identificação dos organismos escavadores é possível através da observação de características como as dimensões e formatos das galerias, que podem ser elípticas ou circulares (Figura 1.4), presença de traços de garras, de osteodermos ou de polimento nas paredes dos túneis (Buchmann *et al.*, 2009, 2016; Frank *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2017).

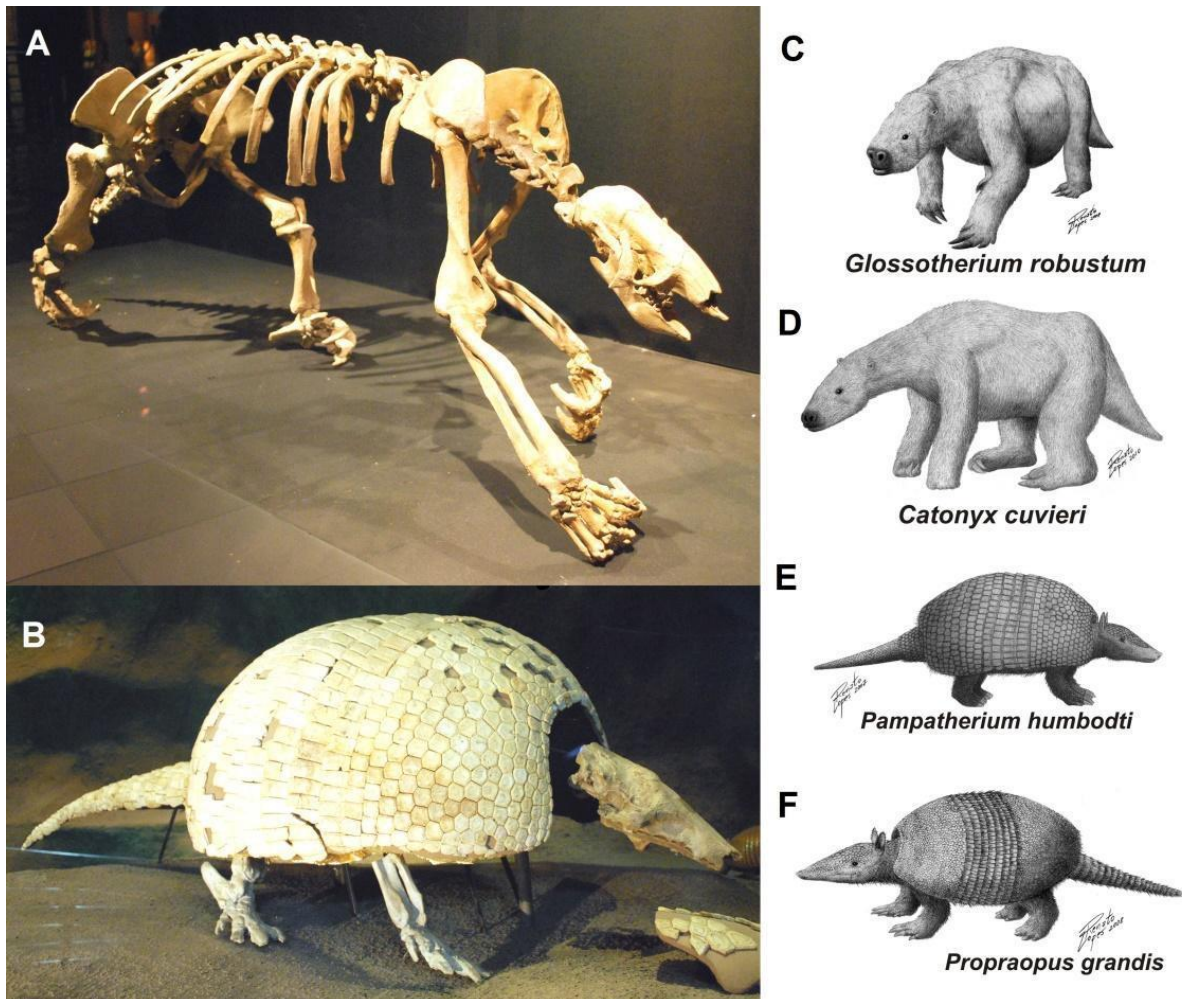


Figura 1.2. Organismos escavadores das paleotocas. A) *Nothrotherium*; B) e E) *Pampatherium humboldti*; C) *Glossotherium robustum*; D) *Catonyx cuvieri*; F) *Propaopus grandis*. (Buchmann *et al.*, 2016).

As evidências sugerem que dois animais escavadores, pertencentes à Superordem Xenarthra, foram responsáveis por escavar as paleotocas denominadas *Megaichnus minor* e *Megaichnus major*: os tatus-gigantes (Cingulata) e as preguiças-gigantes (Folivora), respectivamente (Figura 1.2) (Frank *et al.*, 2015; Buchmann *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2017).



Figura 1.3. Distribuição de paleotocas na América do Sul (Buchmann *et al.*, 2016).

Lopes *et al.* (2017) classificam as paleotocas de acordo com o seu organismo escavador. Paleotocas atribuídas a tatus-gigantes (*Megaichnus minor*) têm formato semicircular ou subelíptico e suas dimensões variam entre 0,6 e 1,5 m de largura, e altura entre 0,5 e 0,9 m, possuem em suas paredes traços da carapaça (osteodermos) e traços de escavação, como é possível encontrar na Paleotoca do Município de Cristal (RS), descrita por Buchmann *et al.* (2009).

As paleotocas escavadas por preguiças-gigantes (*Megaichnus major*), conhecidas também por “megatúneis”, possuem formato subelíptico e dimensões de até 4 m largura e 2 m de altura, no interior das paleotocas é possível encontrar traços de arranhões produzidos pelos animais durante o processo de escavação, e paredes com superfície lisa de formato elíptico, que foram polidas, considerados locais de repouso de preguiças gigantes, como descrito por Buchmann *et al.* (2016) (Figura 1.5).

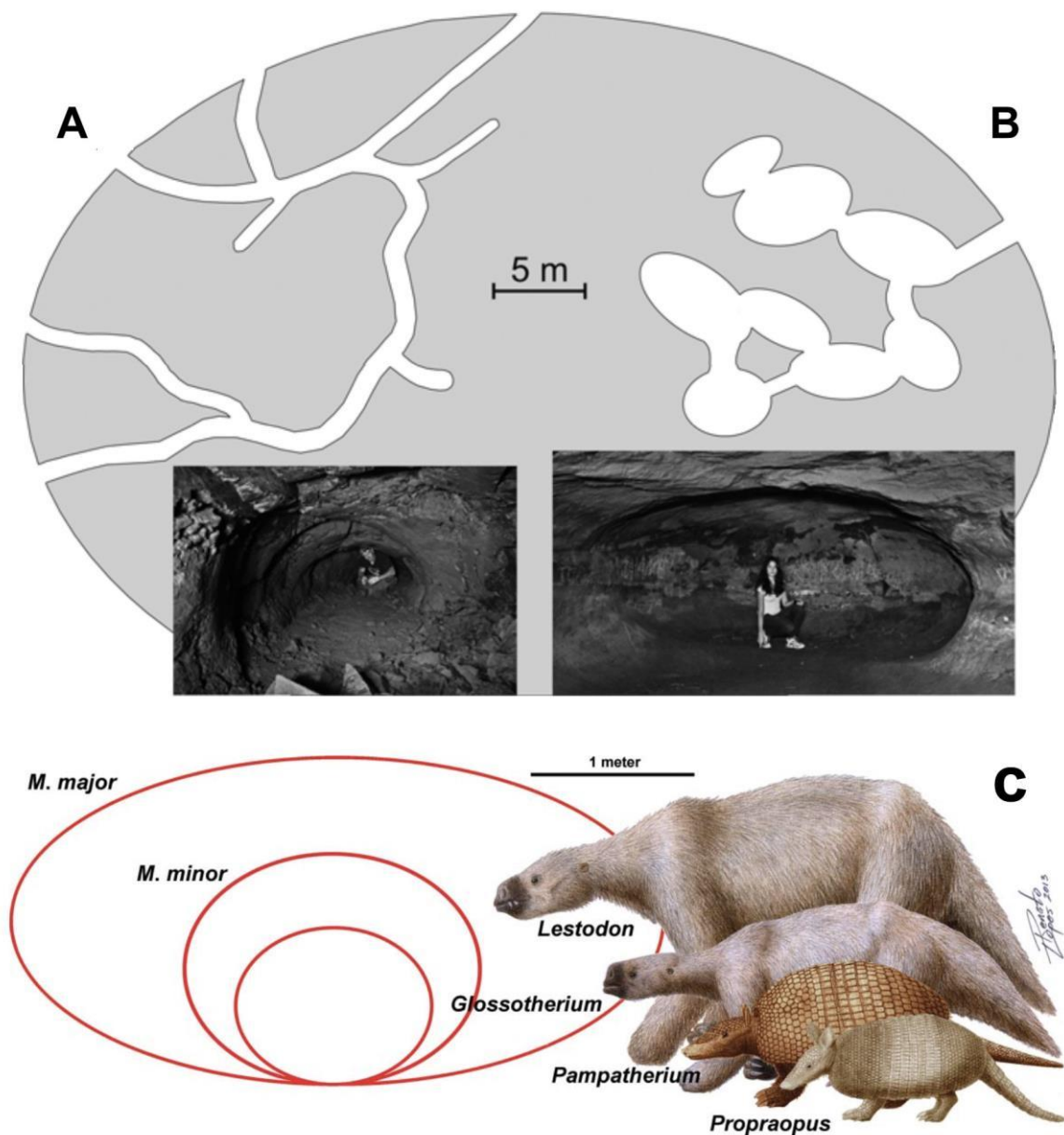


Figura 1.4. Formato das galerias e seus organismos escavadores (Frank *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2017).

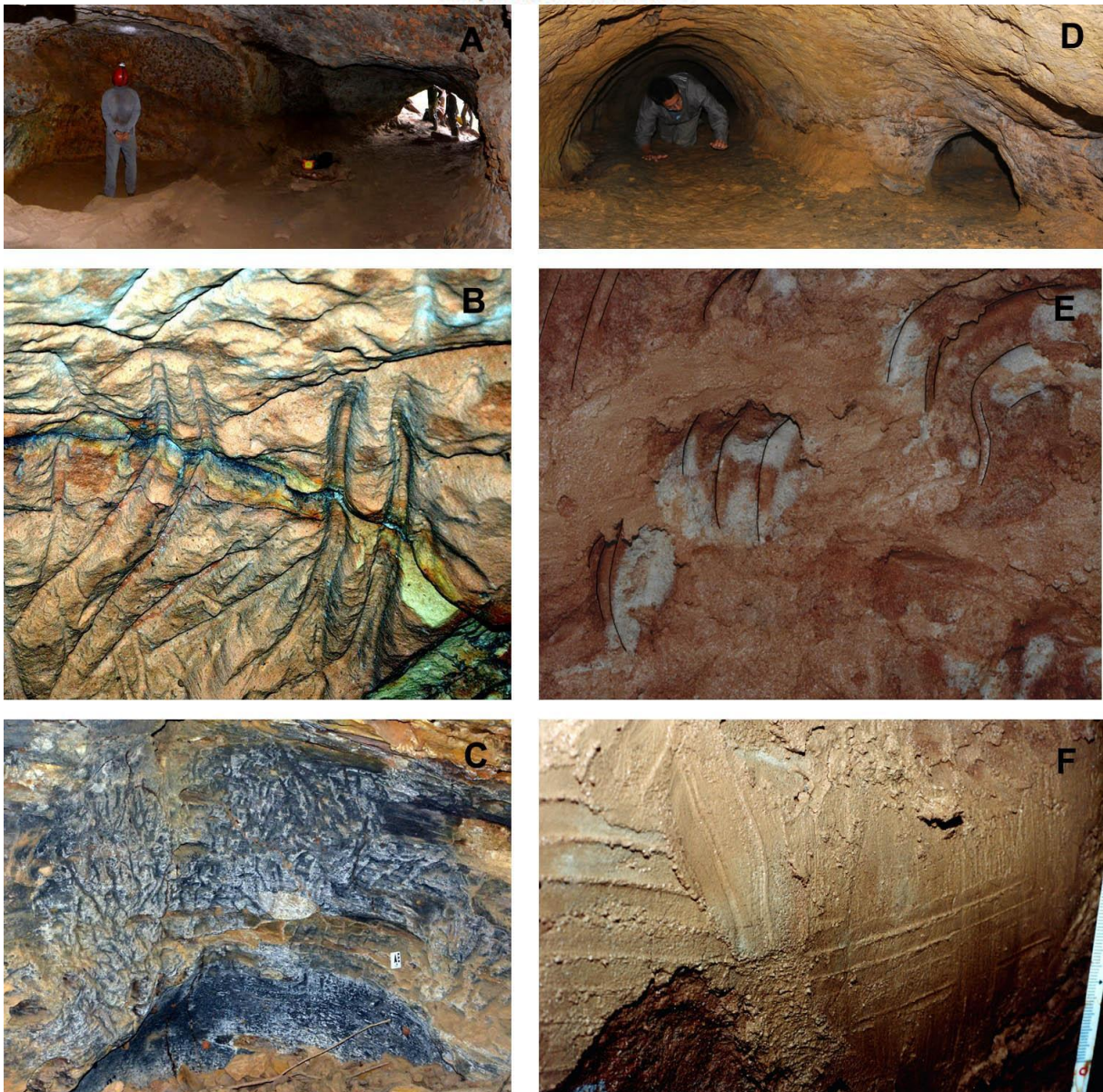


Figura 1.5. A) Salões atribuídos a preguiças-gigantes. B) Traços duplos de preguiças-gigantes. C) Superfície polida no local de repouso. D) Túneis atribuídos a tatus-gigantes. E) Traços triplos de tatus-gigantes. F) Traços de deslocamento, com traços de osteodermos (Buchmann *et al.*, 2009; 2016).

As superfícies polidas encontradas ao longo dos túneis da icnoespécie *M. major* sugerem que o atrito dos pelos com as paredes dos túneis resultou no polimento da parede, apagando os traços de escavação, principalmente nas porções inferiores da parede dos túneis (Frank *et al.*, 2013). Buchmann *et al.* (2016) descreve superfícies polidas com formato elíptico, indicando que as preguiças-gigantes possuíam local de repouso bem definido. Foram identificados mais de um local de repouso em um mesmo túnel, sugerindo que as preguiças-

gigantes dormiam juntas no mesmo local, evidência de hábito de vida gregário destes organismos.

As paleotocas do gênero *Megaichnus* são os maiores icnofósseis conhecidos até o momento (Frank *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2017). O estudo sobre estes icnofósseis pode revelar dados paleobiológicos e paleoecológicos, além de evidências comportamentais de seus organismos escavadores (Buchmann *et al.*, 2016).

1.2. Megafauna

No final do Neógeno, e início do Quaternário, ocorreu o Grande Intercâmbio Biótico Americano (GIBA), um dos mais importantes eventos biogeográficos nas Américas, que alterou a composição faunística nas Américas devido à múltiplos eventos de migração entre a fauna continental dos dois continentes (Hoffmeister, 2016). Esse evento foi consequência da formação do Istmo do Panamá, que deu fim a separação das Américas do Norte e Sul, acelerando o processo de migração (Stuart, 2015; Hoffmeister, 2016).

A extinção da Megafauna, ao final do Pleistoceno (50.000 a 4.500 anos atrás), é considerada um grande evento de extinção (Filho, 2002). Há três hipóteses das possíveis causas da extinção da megafauna: (i) a hipótese da sobrematança (*overkill*), a qual associa a expansão do *Homo sapiens* nas Américas e a extinção da megafauna; (ii) as mudanças climáticas e seus efeitos nas condições dos habitats; e (iii) a associação dos dois fatores, deterioração de habitat e a caça pelo *H. sapiens* (Owen-Smith, 1987; Filho, 2002). Entretanto, essas hipóteses ainda são controversas e seguem em discussão na comunidade científica (Owen-Smith, 1987; Stuart, 2015).

Nas Américas a extinção da megafauna foi mais severa, representando perda de três quartos dos gêneros existentes, enquanto na Europa e Austrália a perda foi de 40% dos gêneros e na África 14% dos gêneros foram extintos durante o Pleistoceno Tardio (Owen-Smith, 1987).

A América do Sul, durante o Pleistoceno, possuía uma fauna abundante e diversa (Stuart, 2015). Os tatus e preguiças gigantes não foram identificados em nenhuma outra região do mundo além das Américas e o comportamento escavador desses animais ainda não foi identificado na América do Norte (Simpson, 1950).

1.3. Paleotoca de Doutor Pedrinho (*Megaichnus major*)

O presente trabalho teve como objeto de estudo uma paleotoca localizada no município de Doutor Pedrinho, no Estado de Santa Catarina. A paleotoca está localizada numa propriedade privada, próxima aos limites com o município de Benedito Novo (SC) (Figura 1.6). Na cidade de Doutor Pedrinho são encontradas três formações geológicas: Formação Campo Mourão e Formação Taciba, do Grupo Itararé e Formação Rio Bonito do Grupo Guatá (CPRM, 2014). A paleotoca encontra-se na Formação Taciba, Grupo Itararé (Permiano), reconhecida como arenitos com estratificação cruzada, plano-paralela e maciça (Wildner *et al.*, 2014). O Grupo Itararé, pacote diretamente ligado à fase de degelo da calota gondwânica, é constituído de elementos tanto glacioterrestres, quanto glaciomarinhas (Milani & Ramos, 1998). As sequências fluviais e marinhas, com influências glaciais, são representadas predominantemente por arenitos de coloração esbranquiçada, amarela e vermelha, com tamanho de grão variando entre fino e grosso, e secundariamente diamictitos de matriz arenosa e argilosa, conglomerados, ritmitos, argilitos e argilitos várvidos (Schreibe, 1986).

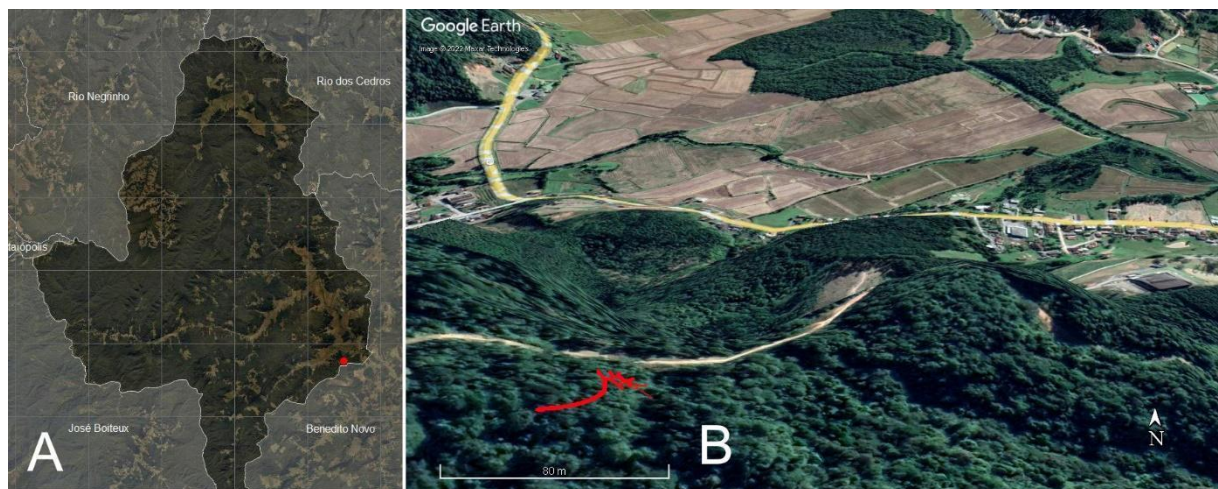


Figura 1.6. A) Limites do município de Doutor Pedrinho (SC); B) Localização da paleotoca.

O município de Doutor Pedrinho está localizado no bioma Mata Atlântica e possui clima mesotérmico úmido, sem estação seca bem definida, com verões quentes e temperatura média anual de 19,7°C (Figueredo *et al.*, 2007; Mariano *et al.*, 2021). A Região Fitogeográfica da Floresta Ombrófila Densa é predominante no município, porém a Floresta Ombrófila Mista exerce influência. O município encontra-se a 530 m acima do nível do mar e seu relevo é composto por serras e montanhas. Nas porções mais altas o relevo se eleva a aproximadamente 1.200 m e nas porções mais baixas o relevo encontra-se entre 400 e 800 m.

O município é dividido em Macrozona I, destinada a atividades agrícolas e ambientais, e Macrozona II, classificada como zona urbana (CPRM, 2014; AMMVI, 2019).

1.4. Mapeamento de cavernas

Na espeleologia é comum o mapeamento de uma caverna por meio de técnicas topográficas e cartográficas. A topografia realiza a coleta das medidas da caverna e a criação do croqui, enquanto a cartografia realiza o processamento das informações coletadas em campo, digitalizando-as e diagramando os mapas (Lott, 2014). O mapeamento de uma cavidade natural permite compreender a gênese de uma caverna, a sua fauna, determinar a posição e o contexto paleontológico ou arqueológico (Auler & Zogbi, 2005).

Assunção & Bragante-Filho (2015) descrevem a atual metodologia de mapeamento de cavernas utilizada pela Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE), dividida em duas etapas: trabalho de campo e trabalho de escritório.

O trabalho de campo é setorizado em: i) prospecção e exploração: a qual traz as coordenadas geográficas da cavidade encontrada bem como o contexto geológico da área; ii) equipamentos: materiais essenciais para a coleta de dados, como GPS, equipamentos de segurança, trena, bússola e a pasta de topografia; iii) topografia: responsável pelo levantamento de informações de medidas da caverna, sua angulação, azimuth e elaboração do croqui; iv) precisão: determina a fidedignidade dos dados coletados em campo (Assunção & Bragante-Filho, 2015).

O trabalho de escritório faz a confecção do mapa espeleológico com base nos dados coletados em campo. O mapa espeleológico é criado a partir dos croquis elaborados em campo, que devem ser vetorizados em programas como o *AutoCAD*. São utilizados programas como o *ArcGis* ou *QGis* para compreender o contexto geológico da cavidade natural (Assunção & Bragante-Filho, 2015).

A fotogrametria é uma técnica que permite extrair informações espaciais de qualquer tipo de imagem e pode ser aplicada em lugares abertos e, também, em locais de difícil acesso. As técnicas de captura para geração de modelos tridimensionais de cavernas podem ser feitas a partir da fotogrametria digital e por meio do Laser Scanner Terrestre (TLS) (Núñez *et al.*, 2013).

A fotogrametria digital é baseada na localização da câmera no momento em que a fotografia é tirada, ou seja, pela distância da câmera ao objeto pesquisado. Essa técnica utiliza

como padrão as câmeras digitais, e tem a vantagem de ser econômica, equipamento de fácil transporte e, facilidade na execução (Núñez *et al.*, 2013).

O TLS permite a aquisição de dados tridimensionais em um curto período, no qual a nuvem de pontos está relacionada a um sistema de coordenadas locais que é registrado juntamente com outras informações (Núñez *et al.*, 2013). Os pulsos dos lasers são capazes de medir distâncias em três dimensões e, a cada disparo, voltam informações de coordenadas tridimensionais, que geram a nuvem de pontos (Marques *et al.*, 2019).

1.5. Fotogrametria digital

Na fotogrametria digital a orientação interior é um parâmetro que determina a posição da fotografia em relação a câmera, permitindo reconstruir a percepção da pessoa que fotografou. A orientação exterior determina a posição e altitude de cada fotografia registrada. A triangulação estabelece as coordenadas de pontos do espaço objeto, medidos na fotografia, por meio de um sistema de coordenadas coletadas em solo (Schenk, 2005; Baseggio & Filho, 2020).

O alinhamento e a estimação das posições das câmeras são fundamentais para o mapeamento tridimensional. No processo de alinhamento o programa procura por pontos correspondentes nas fotografias, encontra a posição estimada da câmera em cada uma das imagens e refina os parâmetros de orientação interna e externa (Agisoft, 2022). O resultado desse procedimento é a geração de uma nuvem de pontos.

O programa permite criar uma nuvem de pontos densa. Os pares das imagens sobrepostas consideram os parâmetros da orientação interna e externa estimados com ajuste de feixe para criar mapas de profundidade. Esses mapas de profundidade são combinados e transformados em nuvem de pontos densa. A nuvem de pontos densa tem como base os mapas de profundidade calculados com o uso da correspondência estéreo densa (Agisoft, 2022). O melhor dado científico da fotogrametria é a nuvem de pontos densa, pois pode ser editada, classificada no próprio programa e usada nas etapas seguintes. Também é possível exportar a nuvem de pontos densa para utilizar em um outro programa de interesse do usuário (Agisoft, 2022).

A malha tridimensional representa a superfície do objeto de estudo e pode ser gerada a partir da nuvem de pontos densa e pelos mapas de profundidade. A interpolação é um parâmetro para a construção da malha que permite fechar furos na malha. Quando habilitada, o programa faz a interpolação de áreas dentro de um círculo ao redor de cada ponto da nuvem

densa, isso resulta no fechamento de furos. Quando a opção está desabilitada, a malha será uma reconstrução precisa e o preenchimento dos furos deve acontecer na etapa de pós-processamento (Agisoft, 2022).

O programa *Agisoft Metashape* possui o recurso textura, que permite criar diferentes texturas para o modelo. Nessa etapa é possível uniformizar a iluminação da textura na opção de calibração, porém, dependendo da quantidade de dados, pode ser um processo demorado (Agisoft, 2022).

Os alvos codificados são marcadores que auxiliam na reconstrução bem-sucedida de um determinado modelo 3D. Estes alvos são colocados na cena para melhorar a correspondência entre as imagens e podem ser utilizados para georreferenciamento e definição de escala do modelo. O programa faz a detecção automática de alvos e para que isso ocorra é necessário que o alvo ocupe um número significativo de pixels nas fotografias originais (Agisoft, 2022).

A rede de coordenadas locais pode ser feita através da coleta em solo e/ou das coordenadas da câmera. O uso dos dados de georreferenciamento da câmera é mais rápido, pois a adição manual do marcador não é necessária. Entretanto, as coordenadas em solo costumam ser mais precisas do que as adquiridas por telemetria, gerando um georreferenciamento mais preciso (Agisoft, 2022).

Durante o processo de geração de nuvem de pontos densa dos modelos o programa relatou erros de memória insuficiente. A resolução das imagens das duas câmeras utilizadas é diferente (Anexo) e, devido aos limites da capacidade de processamento do computador utilizado, foi necessário adaptar alguns parâmetros do programa. O programa *Agisoft Metashape* recomenda memória RAM de 32GB para processar os modelos, porém apesar de o computador utilizado atender às demais recomendações, a memória RAM de 16GB limitou o processamento de uma nuvem de pontos densa do modelo Nikon em qualidade alta. Destaca-se a importância de haver, nos institutos de pesquisa, computadores com alta capacidade de processamento de dados para estudos fotogramétricos e geração de modelos tridimensionais de alta qualidade.

1.6. Divulgação científica

O acesso ao conhecimento para o público geral tem grande importância na construção de novos comportamentos sociais, na evolução dos mercados e no aprimoramento da ciência e tecnologia (Valerio & Pinheiro, 2008). A internet, no cenário atual, tem sido protagonista no

que se refere ao acesso da informação, sendo parte do cotidiano das pessoas, fazendo-se importante investir na divulgação científica através dela (Tuffani, 2004; Valerio & Pinheiro, 2008; Correia & Martins, 2022).

A divulgação científica pode ser definida como a transposição de uma linguagem especializada para uma leiga, com o objetivo de alcançar um público geral (Albagli, 1996). A divulgação científica pode ser desenvolvida em diferentes canais, como livros, revistas, recursos audiovisuais, museus, e pode ser aplicada para objetivos educacionais, cívicos e de mobilização popular (Albagli, 1996; Correia & Martins, 2022).

Albagli (1996) diferencia divulgação, difusão e comunicação científica de acordo com o público-alvo. A primeira tem como objetivo alcançar pessoas não cientistas, a segunda visa atingir tanto os especialistas como os leigos, e a terceira estabelece uma comunicação entre cientistas apenas. A disponibilização de periódicos científicos na internet amplia o acesso dessas informações para os demais públicos, alcançando também o público da divulgação científica, fazendo a intersecção com pessoas não especialistas (Valerio & Pinheiro, 2008).

O compartilhamento de M3D em plataformas de divulgação *online* fornece informações fotorrealísticas que preservam a precisão espacial, dimensões e relações geométricas de um objeto de estudo, informações estas que podem ser perdidas quando renderizadas em formato bidimensional (Nesbit *et al.*, 2020). As plataformas de visualização de objetos 3D apresentam potencial para a divulgação e preservação destes dados, além de promoverem a comunicação científica com o usuário (Guedes, 2018; Nesbit *et al.*, 2020). Entretanto, as plataformas ainda apresentam espaço limitado de *upload*, especialmente aquelas em que o usuário pode ser privado (Gil, 2019; Nesbit *et al.*, 2020).

Os levantamentos fotogramétricos podem ser amplamente divulgados em plataformas *online*, tornando-se uma ferramenta que contribui com as problemáticas de preservação, conservação e divulgação de conhecimentos (Guedes, 2018). Diversos projetos têm utilizado essa ferramenta, como a reconstrução digital do sítio arqueológico de Palmira; virtualização de museus, promovendo interação entre o conhecimento que se têm em museus e seus públicos; museus inteiramente virtuais (Guedes & Vialou, 2017; Guedes, 2018).

1.7. Justificativa

Auler & Piló (2019) descrevem as paleotocas como cavernas de gênese única ou rara, pois sua formação está associada à atividade de escavação de um mamífero gigante extinto. Na última década foram encontradas mais de 1.500 *Megaichnus* no Brasil, esses icnofósseis

são considerados pela comunidade científica um patrimônio paleontológico, geoambiental e biológico (Carmo *et al.*, 2011). Segundo o Decreto 6.640 (BRASIL, 2008), as cavernas de gênese única ou rara possuem relevância máxima e, portanto, não devem sofrer nenhum tipo de perturbação ou interferências. Entretanto, em janeiro de 2022, foi publicado o Decreto 10.935 (BRASIL, 2022) que flexibiliza os mecanismos de proteção de cavidades naturais subterrâneas de grau máximo, expondo as paleotocas a possíveis impactos irreversíveis.

Frank *et al.* (2011b) considera os *Megaichnus* de grande valor científico, pois abriga informações de diversas áreas do conhecimento (Icnologia, Paleontologia de Vertebrados, Palinologia, Biotecnologia, Arqueologia, Espeleologia, Biologia, Paleoclimatologia, História e Turismo), sugerindo abordagens interdisciplinares nos estudos destas estruturas para que seja possível trabalhar o potencial científico de maneira integrada.

A criação de um Modelo Digital Tridimensional (M3D) é uma proposta inovadora que preserva os *Megaichnus* digitalmente, contribui com a divulgação sobre os conhecimentos destes icnofósseis - uma vez que possuem importância paleoambiental e histórico-cultural significativas - e permite que uma pessoa com óculos de realidade virtual possa visitar uma paleotoca, facilmente, de qualquer lugar do mundo (Frank *et al.*, 2011b; Yamafune *et al.*, 2017).

Disponibilizar os M3Ds de uma paleotoca ajuda a preservação, e auxilia, também, na divulgação científica, pesquisa e fins educativos. Os estudos fotogramétricos em cavernas são contribuições significativas para a preservação dessas estruturas, uma vez que estão sujeitas a erosões e a possíveis impactos naturais e antropológicos que podem alterar suas formações originais. Portanto, novos estudos fotogramétricos de paleotocas são importantes para que se preserve o patrimônio paleontológico brasileiro e, também, para que as informações sobre essas estruturas sejam divulgadas não só para a comunidade científica, mas também para o público em geral.

1.8. Objetivo

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver o mapeamento e a criação de M3Ds de paleotocas do icnogênero *Megaichnus major* em Doutor Pedrinho (SC) por meio da fotogrametria digital. Esse estudo visou contribuir com a preservação do patrimônio paleontológico e, ao mesmo tempo, permitir o acesso à informação e a divulgação de conhecimento sobre os icnofósseis de mamíferos gigantes extintos da América do Sul.

1.9. Referências

Agisoft. 2022. *Agisoft Metashape User Manual - Professional Edition, Version 1.8*. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf. Acesso em: 18 de Julho de 2022.

Albagli, S. 1996. Divulgação científica: Informação científica para cidadania. *Ciência da Informação*, **25**(3): 396 - 404. doi: <https://doi.org/10.18225/ci.inf.v25i3.639>

Ameghino, F. 1908. Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. *Museo de Historia Natural de Buenos Aires*, **7**(3):343-428.

AMMVI (Associação dos Municípios do Médio Vale do Itajaí). 2019. Estudo Técnico Socioambiental: Município de Doutor Pedrinho. 173 p.

Assunção, P. H. S.; Bragante-Filho, M. A. 2015. Atual metodologia de mapeamento de cavernas realizada pela Sociedade Excursionista e Espeleológica – SEE. In: Rasteiro, M. A.; Sallun Filho, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. Anais. SBE, 2015. p.275-280.

Auler, A. S. & Zogbi, L. Espeleologia: Noções Básicas. *RedeSpéleo Brasil*, 2005.

Auler, A. S. & Piló, L. B. 2019. Geologia de Cavernas e sua Interpretação à Luz da Legislação Ambiental Espeleológica. In: Jocy Brandão Cruz; Luís B. Piló. (Org.). *Espeleologia e Licenciamento Ambiental*. Brasília: ICMBIO, **1**(1): 39-76.

Baseggio, A. A. & Filho, G. A. S. 2020. *Mapeamento fotogramétrico planialtimétrico da Barragem do Arroio Duro-Camaquã-RS*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 214 p.

Bergqvist, L.P. & Maciel, L. 1994. Icnofósseis de mamíferos (crotovinas) na planície costeira do Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **66**(2): 189-197.

BRASIL, Decreto nº 6.640 de 7 de novembro de 2008. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Diário Oficial da União, de 10/11/2008. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6640.htm>. Acesso em: 07 de março de 2022.

BRASIL, Decreto nº10.935 de 12 de Janeiro de 2022. Dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional. Diário Oficial da União, de 12/01/2022. Disponível em < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.935-de-12-de-janeiro-de-2022-373591582>>. Acesso em: 07 de março de 2022.

Bromley, R. G. 1990. *Trace fossils: biology and taphonomy*. London, Unwin Hyman, 280p.

Buchmann, F. S. C.; Lopes, R. P & Caron, F. 2009. Icnofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídas à mamíferos gigantes extintos no sudeste e sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 12: 247-256. doi:10.4072/rbp.2009.3.07

Buchmann, F. S. C.; Frank, H. T.; Ferreira, V. M. S. & Cruz, E. A. 2016. Evidência de vida gregária em paleotocas atribuídas a Mylodontidae (Preguiças-gigantes). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 19: 259-270. doi: 10.4072/rbp.2016.2.09

Carmo, F. F.; Carmo, F. F.; Buchmann, F. S.; Frank, H. T. & Jacobi, C. M. 2011. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 31, 2011. *Resumos*, Ponta Grossa, SBE, p. 531-540.

Carvalho, B. T. A. 2009. *Utilizando fotografias digitais de alta qualidade na geração de textura para modelos 3D: uma abordagem prática na preservação digital de acervos culturais e naturais*. Programa de Pós Graduação em Informática, Universidade Federal do Paraná, Dissertação de mestrado, 101 p.

Correia, M. & Martins, M. C. 2022. O papel das atividades de divulgação científica na promoção da literacia científica. *Revista Saber & Educar*, 1(31): 1-9.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil 2014. Mapa geológico do Estado de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM. Escala 1:500.000. Disponível em:
<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17996>

Figueredo, A. G.; Sevegnani, L. & Aumond, J. J. 2007. Recuperação de área degradada por mineração de argila, com o uso de *Mimosa scabrella* Benth. (Fabaceae), Doutor Pedrinho, SC. *Revista Brasileira de Biociências*, **5**(1): 741-743.

Filho, J. A. F. D. 2002. Modelos ecológicos e extinção da megafauna no Pleistoceno. *Canindé. Revista do Museu de Arqueologia de Xingó*. Universidade Federal de Sergipe, 2: 53-81.

Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C.; Lima, L. G.; Caron, F.; Lopes, R. P. & Fornari, M. 2011a. Karstic features generated from large palaeovertebrate tunnels in southern Brazil. *Espeleo-Tema*, 22: 139-143.

Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C.; Lima, L. G.; Caron, F.; Lopes, R. P. & Fornari, M. 2011b. Interdisciplinaridade aplicada a paleotocas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, 2011. *Resumos*, Ponta Grossa, SBE, p. 541-548.

Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C.; Lima, L. G.; Fornari, M.; Caron, F. & Lopes, R. P. 2012. Cenozoic vertebrate tunnels in Southern Brazil. In: Netto, R. G., Carmona, N. B. & Tognoli, F. M. W. (eds.). *Ichnology of Latin America – selected papers*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 141 – 157 (Monografias 2).

Frank H. T.; Althaus C. E.; Dario E. M.; Tramontina F. R.; Adriano R. M. & Almeida M.L. 2015. Underground chamber systems excavated by Cenozoic ground sloths in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 18: 273-284. doi: 10.4072/rbp.2015.2.08

Frank, H. T., Lima, L. G., Gerhard, N. P., Caron, F., Buchmann, F. S. C., Fornari, M., Lopes, R.P. 2013. Description and interpretation of Cenozoic vertebrate ichnofossils in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 16: 83-96.

Frey, R. 1975. The study of traces fossil. Berlim, Springer-Verlag, 562 p.

Grohmann, C. H., Zacharias, G., Garcia, G. P., Barale, F., de Almeida, F. V., & Arnone, I. S. 2019. Mapeamento e modelagem 3D do setor turístico da Caverna do Diabo (SP) com laser scanner: resultados preliminares. In: Zampaulo, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. Anais. Campinas: SBE, p.201-206.

Guedes, C. & Vialou, D. 2017. Símbolos na arte rupestre sob o olhar da Arqueologia Cognitiva: considerações analíticas sobre o conjunto da falha, Mato Grosso, Brasil. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. *Ciências Humanas*, **12**(1): 101-123.

Guedes, C. 2018. As mídias sociais na divulgação do patrimônio arqueológico: O exemplo da área rupestre da Cidade de Pedra – Rondonópolis / MT e um estudo de caso do sítio Mano Aroe. *Museologia e Patrimônio*, **11**(2): 96 - 114.

Hoffmeister, M. F. C. 2016. El origen de la fauna Sudamericana moderna: de Gondwana al Gran Intercambio Americano. In: PINO, M. *El Sitio Pilauco Osorno, Patagonia Noroccidental de Chile*. Universidad Austral de Chile, p. 47-74.

Lopes, R. P.; Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C. & Caron, F. 2016. *Megaichnus* igen. nov.: giant paleoburrows attributed to extinct Cenozoic mammals from South America. *Ichnos*, 24: 133-145. doi: 10.1080/10420940.2016.1223654

Lott, C. F. S. 2014. Cartografia espeleológica: dos mais primitivos às experiências atuais em mapeamento de caverna. *Pedagogia em Ação* (PUC-MG), 5: 82-101.

Mariano, E.; Gomes, T. F.; Lins, S. R.; Abdalla-Filho, A. L.; Soltangheisi, A.; Araújo, M. G.; Araújo, M. G. S.; Almeida, R. F.; Augusto, F. G.; Canisares, L. P.; Chaves, S. S. F.; Costa, C. F. G.; Diniz-Reis, T. R.; Galera, L. A.; Martinez, M. G.; Moraes, M. C.; Perez, E. B.; Reis, L. C.; Simon, C. P.; Mardegan, S. F.; Domingues, T. F.; Miatto, R. C.; Oliveira, R. S. Reis, C. R. G.; Nardoto, G. B.; Kattge, J. & Martinelli, L. A. 2021. LT-Brazil: A database of leaf traits

across biomes and vegetation types in Brazil. *Global Ecology and Biogeography*, **30**(11) 2136-2146.

Marques, L. M.; Parizoto, D. G. V. & De Abreu, H. F. 2019. Utilização do laser scanner terrestre como técnica de mapeamento - estudo de caso: SC-019. In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. *Anais. SBE*, p.179-184.

Milani, E. J. & Ramos, V. A. 1998. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**: 473-484. doi: 10.25249/0375-7536.1998473484

Nesbit, P. R.; Boulding, A. D.; Hugenholtz, C. H.; Durkin, P. R., & Hubbard, S. M. 2020. Visualization and sharing of 3D digital outcrop models to promote open science. *GSA Today*, **30**(6): 4-10.

Núñez, M. A., Buill, F. & Edo, M. 2013. 3D model of the Can Sadurní cave. *Journal of Archaeological Science*, **40**(12): 4420-4428.

Owen-Smith, N. 1987. Pleistocene extinctions: the pivotal role of megaherbivores. *Paleobiology*, **13**(3): 351-362. doi:10.1017/s0094837300008927

Prefeitura de Doutor Pedrinho. 2011. Plano Municipal de Saneamento Básico de Doutor Pedrinho.

Ruchkys, U. A.; Bittencourt, J. S. & Buchmann, F. S. 2014. A paleotoca da Serra do Gandarela e seu potencial como geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, **24**: 249- 263. doi: 10.5752/P.2318-2962.2014v24n42p249

Scheibe, L. F. 1986. A geologia de Santa Catarina: Sinopse provisória. *Geosul*, **1**: 7-38.

Schenk, T. 2005. *Introduction to photogrammetry*. The Ohio State University, Columbus, v. 106.

Scillato-Yané, G. J.; Carlini, A. A.; Tonni, E. P. & Noriega, J. I. 2005. Paleobiogeography of the late Pleistocene pampatheres of South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 20: 131-138.

Seilacher, A. 1953. Studien zur paläontologie: 1. Über die methoden der palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 96: 421-452.

Simpson, G. G. 1950. History of the fauna of latin america. *American Scientist*, New Haven, 38: 361-389.

Stuart, A. J. 2015. Late Quaternary megafaunal extinctions on the continentes: a short review. *Geological Journal*, 50: 338-363. doi: 10.1002/gj.2633.

Trajano, E. 1986. Fauna cavernícola brasileira: composição e caracterização preliminar. *Revista Brasileira de Zoologia*, 3(8), 533–561. doi:10.1590/S0101-81751986000400004.

Tuffani, M. 2004. Divulgação científica e educação. In: Congresso Internacional de divulgação científica: Ética e divulgação científica – os desafios do novo século, n. 1. *Anais*, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 83-90.

Valerio, P. M. & Pinheiro, L. V. R. 2008. Da comunicação científica à divulgação. *Transinformação*, 20(2): 159-169.

Vizcaíno, S.F.; Zárate, M.A.; Bargo, M.S. & Dondas, A. 2001. Pleistocene burrows in the Mar del Plata area (Argentina) and their probable builders. *Acta Palaeontologica Polonica*, 46: 157-169.

Voorhies, M. R. 1975. Vertebrate burrows. In Frey, R.W. (ed.), The study of trace fossils. Springer-Verlag, New York, 325–350.

Yamafune, K.; Torres, R. & Castro, F. 2017. Multi-image photogrammetry to record and reconstruct underwater shipwreck sites. *Journal of Archaeological Method and Theory*, **24**(3): 703-725.

White, C. R. 2005. The allometry of burrow geometry. *Journal of the Zoological Society of London*, 265: 395–403. doi:10.1017/S0952836905006473.

Wildner, W.; Camozzato, E.; Toniolo, J. A.; Binotto, R. B.; Iglesias, C. M. F. & Laux, J. H. 2014. *Mapa geológico do Estado de Santa Catarina*. Porto Alegre: CPRM, 1.

2. CAPÍTULO 2 - Artigo aceito pela Revista Brasileira de Paleontologia

Audi, C.; Meyer, D.; Yeuw, T. T.; Barrionuevo, K. B.; Fey, J. D.; Spanghero, N. F.; Munhoz, M. S. & Buchmann, F. S.

FOTOGRAMETRIA (MODELO DIGITAL TRIDIMENSIONAL) DE *MEGAICHNUS MAJOR*.

Manuscrito nas normas da Revista Brasileira de Paleontologia.

2.1. Introdução

As paleotocas do icnogênero *Megaichnus* são estruturas de bioerosão na forma de túneis e salões escavados durante o Plioceno e Pleistoceno por mamíferos placentários gigantes extintos (Buchmann et al., 2009, 2016). Os organismos escavadores são pertencentes à Ordem Cingulata (gliptodontes, tatus gigantes e tatus atuais) e Subordem Folivora (preguiças terrestres e arborícolas), Superordem Xenarthra, um dos clados mais representativos de mamíferos placentários da América do Sul durante o Neógeno e o Quaternário (Scillato-Yané et al., 2005; Lopes et al., 2017). Estes túneis e salões foram escavados em rochas alteradas, ou seja, escavadas no saprólito que incluem granitos, basaltos, metadiamicritos, metacalcários, siltitos, arenitos, conglomerados e outras rochas sedimentares (Buchmann et al., 2009, 2016; Frank et al., 2011a,b, 2015).

A idade da rocha não é a mesma da escavação dos túneis, dificultando determinar a idade das paleotocas com precisão. Entretanto, na Argentina foram datados *Megaichnus* com idade pliocênica (aproximadamente 3 Ma) (Genise, 1989) e pleistocênica (Vizcaíno et al., 2001); no Brasil alguns *Megaichnus* foram datados com idade pleistocênica, cerca de 325 Ka (Buchmann et al., 2009, 2016).

No Brasil, embora haja extensa pesquisa em todo o território brasileiro, a maior parte dos *Megaichnus* estão situados na região Sul, nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, enquanto poucos foram identificados nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná e São Paulo (Carmo et al., 2011; Frank et al., 2011a; Bittencourt et al., 2015).

Os *Megaichnus* apresentam-se como um conjunto de túneis e salões interconectados, com entradas e saídas. O diâmetro dos túneis e salões pode variar entre 0,7 e 4,0 m, alcançar mais de 340 m de comprimento, e serviam de abrigo permanente ou temporário, sendo locais de refúgio ou estivação (Buchmann et al., 2009, 2015, 2016; Frank et al., 2012, 2015; Ruchkys et al., 2014).

As dimensões dos túneis e salões, assim como os traços de escavação e locais de repouso encontrados nos *Megaichnus*, permitem classificar em *Megaichnus major*, associado a escavação por preguiças-gigantes (Subordem Folivora, Família Mylodontidae), e *Megaichnus minor* associado a escavação por tatus-gigantes (Ordem Cingulata, Família Dasypodidae) (Frank et al., 2015; Buchmann et al., 2016; Lopes et al., 2017).

A construção de Modelos Digitais Tridimensionais (M3D) de objetos com valor cultural ou científico tem sido utilizada para fins de conservação e de restauração, uma vez que esses objetos podem sofrer deterioração, ou serem destruídos por desastres ou acidentes (Rossi et al., 2013; Carvalho, 2009). O M3D possibilita a visualização interativa e novas possibilidades de aprendizagem, pois essa ferramenta permite fácil acesso por meio da *internet* e diferentes maneiras de manuseio, como girar e ampliar detalhes (Rossi et al., 2013). A digitalização torna possível a preservação de objetos e estruturas para as gerações futuras e, quando disponibilizadas *online*, podem ser utilizadas para diversas finalidades como pesquisa, educação e acervo (Carvalho, 2009). Os M3D oferecem novas possibilidades de acessibilidade e inclusão social, uma vez que pessoas com necessidades específicas podem visitar um *Megaichnus* virtualmente, sem a necessidade de se deslocar por meios tradicionais (Pedrosa & Zappala-Guimarães, 2019). A fotogrametria é uma ferramenta de baixo custo e pode ser utilizada por diversas áreas da Paleontologia, e para diferentes objetos e ambientes (Dardon et al., 2010; Silva et al., 2019). Os M3Ds podem ser utilizados durante visitas às coleções de museus, projetos de pesquisa, educação, entretenimento, acervos digitais e, sobretudo, na divulgação e preservação da paleontologia e da geodiversidade (Grillo et al., 2011; Silva et al., 2019).

Os M3Ds são amplamente utilizados para estudo de naufrágios, afloramentos de rochas, do patrimônio histórico, além da fotogrametria aérea para produção cartográfica (Torres et al., 2017; Redweik, 2007; Gil, 2019, Yamafune et al., 2017), além de trabalhos de prospecção fotogramétrica de cavernas (Simões, 2019; Grussenmeyer et al., 2010). Entretanto, não foram encontrados M3Ds para *Megaichnus*.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver o mapeamento e a confecção de M3Ds de paleotocas da icnoespécie *Megaichnus major*. Este estudo visou contribuir com a preservação do patrimônio paleontológico e, ao mesmo tempo, permitir o acesso à informação e a divulgação de conhecimento sobre os icnofósseis de mamíferos gigantes extintos na América do Sul.

Área de estudo

O *Megaichnus major* analisado está localizado no município de Doutor Pedrinho, no Estado de Santa Catarina, escavado em rochas do Grupo Itararé da Bacia do Paraná (Figura 2.1). A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica, formada por sucessivos episódios de sedimentação e eventos tectônicos (Scheibe, 1986). Ela compreende aproximadamente 1.500.000 km² e inclui porções territoriais do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai (Milani, 2004). O Grupo Itararé, na região, é subdividido nas Formações Taciba, Campo Mourão e Lagoa Azul (D'Ávila, 2009; CPRM, 2014).

Ao redor do *M. major* predomina vegetação do tipo Floresta Ombrófila Mista, com médias de temperatura anual de 18°C e clima mesotérmico úmido (IBGE, 2004; Tortato et al., 2014).

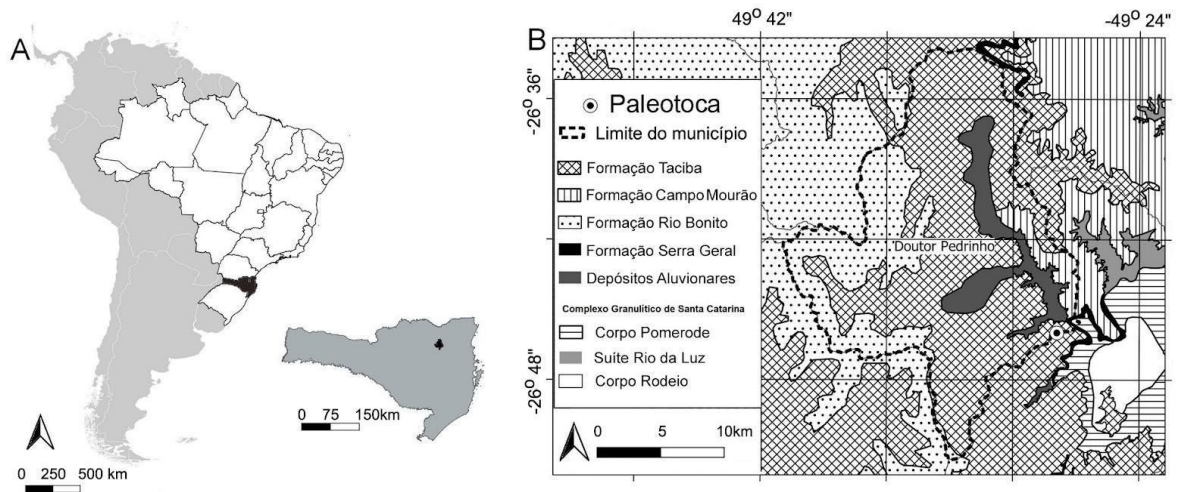


Figura 2.1 – A) Localização do *M. major* no município de Doutor Pedrinho, Estado de Santa Catarina, Brasil. (Fonte: SIGSC, IBGE). B) Litologia e estratigrafia do município de Doutor Pedrinho (Modificado de CPRM).

Figure 1 – A) Location of the *M. major*, in the city of Doutor Pedrinho, Santa Catarina State, Brazil. (Source: SIGSC, IBGE). B) Lithology and stratigraphy of Doutor Pedrinho (Modified by CPRM).

2.2. Material e métodos

O processamento dos dados foi realizado no Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia (LEP), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus do Litoral Paulista, São Vicente, SP. Foi criado um banco digital de dados para organizar e analisar as fotografias e as informações da morfologia interna do *M. major*, obtidas nas atividades de campo.

O mapeamento em campo foi realizado no dia 07 de setembro de 2018, com o georreferenciamento da entrada do *M. major* com GPS marca *Garmin* modelo *Etrex Legend H* (datum WGS84), que, posteriormente, permitiu correlacionar os afloramentos dentro do

contexto geológico regional (<https://rigeo.cprm.gov.br>). O mapa foi produzido com o programa livre *QGIS*. Para a base cartográfica do mapa utilizou-se os arquivos *shapefiles* disponíveis no Portal de Mapas do IBGE.

Os dados do mapeamento dos túneis e salões foram digitalizados no programa *Excel*, corrigindo-se o azimute de acordo com a declinação magnética local ($19,68^\circ \text{ W } \pm 0,39$). Utilizou-se o programa *AutoCAD* para construir um diagrama de rede, representando os eixos centrais de cada um dos túneis que formam o *M. major*, ligando cada segmento nos pontos de bifurcação. Para cada linha do diagrama, foram aplicados *offsets* proporcionais à largura dos túneis. A partir dos *offsets*, foi delimitada uma linha suavizada (*spline*), correspondendo aos contornos internos do *M. major*.

O mapeamento dos túneis e salões permitiu determinar as dimensões e a elaboração da planta baixa do *M. major*. Foram feitas medições de altura, largura e comprimento, metro a metro, do comprimento linear dos túneis e salões com trenas; e do azimute com bússola ao longo do eixo central de cada trecho, permitindo compreender as dimensões e a estrutura do *M. major* (Buchmann et al., 2009). Foi utilizada a calculadora de declinação magnética da NOAA (www.ngdc.noaa.gov) para realizar a correção da variação magnética anual.

Após a coleta das medidas, seguindo a terminologia adotada por Frank et al. (2011a, 2012); os túneis foram classificados em abertos ou fechados (crotovinas), e segundo o tamanho em: i) túneis pequenos: com larguras entre 60 e 90 cm e altura entre 50 e 70 cm; ii) túneis médios: com diâmetros entre 1,2 m e 1,5 m; iii) túneis grandes: com larguras entre 2,0 e 4,1 m e altura aproximada de 2,0 m.

O levantamento fotogramétrico foi padronizado para que as fotografias apresentem uma alta resolução (300 dpi e tamanho entre 4500 x 3000 pixels), com iluminação de led com 6000 Kelvin, de maneira que fosse possível observar tanto a dimensão do *M. major*, bem como os detalhes dos traços e marcas nas paredes. O levantamento fotográfico foi realizado com duas câmeras fotográficas diferentes, e foram gerados dois modelos do mesmo túnel (túnel E), a fim de comparar os resultados. Um modelo foi baseado nas fotografias feitas com uma câmera *GoPro 4* (12 megapixels) e abertura de 180 graus; e outro modelo foi baseado nas fotografias feitas com uma câmera *Nikon D7000* (16,2 megapixels) com lente *Sigma* grande angular 12-24 mm, e abertura de 122 graus. Os dois modelos foram comparados de acordo com o tamanho do arquivo final, possíveis distorções de imagem devido às lentes utilizadas e textura mais próxima da realidade.

Para orientar a construção do M3D foram utilizados alvos codificados com tamanho 20 cm x 20 cm, a modo de estabelecer sistemas de coordenadas locais, e servir como escala do modelo com pontos de referência em comum entre fotografias (PhotoScan, 2016; Yamafune et al., 2017). Os alvos foram distribuídos ao longo dos túneis e salões fotografados, de maneira que fossem incluídos em todas as fotografias, permitindo a sobreposição de 70 a 80% entre fotografias.

Para gerar o M3D, foi utilizado o método proposto por Simões (2019). Para o processamento de imagens e geração do produto em 3D foi utilizado o programa *Agisoft Metashape*. Foram realizadas as seguintes etapas na construção do M3D do *M. major*: (i) Alinhamento da câmera, etapa na qual o programa identifica os alvos e pontos em comum nas imagens e os combinam, gerando uma nuvem de pontos esparsa, a qual representa o alinhamento das fotos, e um conjunto de posições da câmera; (ii) Construção da nuvem de pontos densos baseada nas imagens e nas posições estimadas da câmera. Esta depois pode ser editada e classificada para geração da malha 3D; (iii) Obtenção do polígono, que representa a superfície do objeto. Este é baseado na nuvem de pontos densos e podendo ser feitas edições de acordo com o objetivo do próprio usuário, como remoção de componentes destacados, fechamentos de furos na malha, alisamento entre outros; (iv) Texturização do modelo e criação de uma fotografia ortomossômica, ou seja, uma imagem em 3D.

Para transformar o M3D da paleotoca em Realidade Virtual (RV), o arquivo criado no programa *Agisoft Metashape* foi exportado nos formatos .OBJ e .3DS. No programa *Unity 3D* os arquivos foram transformados em um aplicativo de Realidade Virtual (RV) para *smartphones*, em primeira pessoa. A transformação do M3D em RV tornou possível realizar o processo de renderização, trazendo uma customização e complexidade eficientes (Neto et al., 2015). O RV de um *Megaichnus* permite às pessoas realizar uma visita virtual imersiva a estas estruturas.

2.3. Resultados e discussão

O georreferenciamento da entrada do *M. major* nas coordenadas -26° 45' 59" e -49° 27' 55 e a identificação das rochas adjacentes permitiu correlacionar os afloramentos como localizados na Bacia do Paraná, e escavada em arenitos da Formação Taciba, Supersequência Gondwana I, Grupo Itararé, Permiano (Figura 1). A Formação Taciba apresenta arenitos com estratificação cruzada, plano-paralela e maciça (Wildner et al., 2014).

O mapeamento dos túneis e salões (Figuras 2.2 e 2.3) mostrou que o *M. major* possui luminosidade apenas nos primeiros metros próximos da entrada, o restante da estrutura está localizado na zona afótica (Figura 2.2). Na entrada do *M. major* há o salão principal, que apresenta blocos abatidos no centro. Não se preservaram traços de escavação nas paredes do salão principal. O *M. major* apresenta um sistema de túneis de formato elíptico interconectados, que convergem no salão principal. O salão dá acesso a seis túneis principais (túneis A, B, C, D, E e F), e três secundários (túneis X-E, D-E e E-F) que conectam os túneis principais. Os túneis A, B, C e D estão preenchidos por sedimentos, sendo classificados como crotovinas, conforme Frank et al. (2011a). O túnel E apresenta fundo cego. A Tabela 1 (anexo) apresenta as medidas de comprimento, altura e largura dos túneis, salão e entrada.

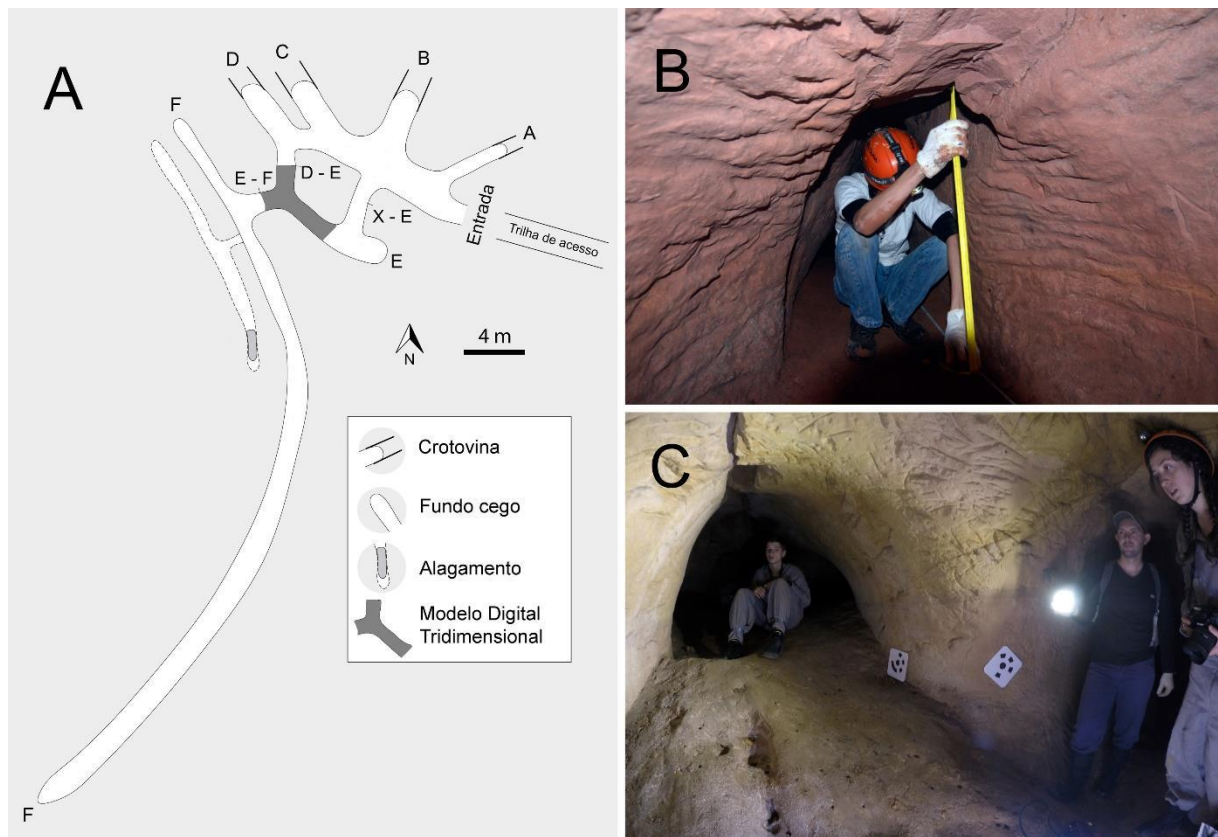


Figura 2.2 – A) Planta baixa da paleotoca do município de Doutor Pedrinho. B) Túnel F com as menores dimensões de largura. C) Túnel E com os alvos codificados (tamanho do alvo 20 cm x 20 cm).

Figure 2 - A) Floor plan of the paleoburrow in the city of Doutor Pedrinho. B) Smaller dimensions of width in tunnel F. C) Coded targets in Tunnel E (Target size 20 cm x 20 cm).

Dentre os túneis abertos, a maior altura encontrada foi 2,15 m (Túnel D-E) e a menor foi 0,40 m (Túnel F) (Figura 2.2). As medidas maiores estão de acordo com os registros atribuídos à icnoespécie *Megaichnus major* (Frank et al., 2011a, 2015; Carmo et al., 2011; Ruchkys et al., 2014; Buchmann et al., 2016; Lopes et al., 2017). O *M. major* possui seis ramificações (túneis A, B, C, D, E e F) que partem do salão principal. Os túneis E e F apresentam a direção concordante ao rumo das fraturas do arenito (Figuras 2.2 e 2.3). Buchmann et al. (2009, 2016) e Lopes et al. (2017) sugerem que o animal durante a escavação aproveita-se de falhas estruturais na rocha para produzir os túneis.

Os túneis podem ser classificados nas três categorias descritas por Frank et al. (2012), o túnel F termina pequeno, os túneis A, C, D são médios, e os túneis B, E e F são grandes. As medidas tendem a diminuir em torno de 30% em direção à porção final dos túneis, explicando os números encontrados para altura (0,34 m – Túnel B) e largura (0,56 m - Túnel F). A variação no tamanho dos túneis pode indicar que se trata de produtores de diferentes tamanhos (adultos e juvenis), coabitação com outros organismos, ou posterior reocupação.

O desenvolvimento total do *M. major* foi de 80,3 m, entretanto, os túneis A, B, C e D estão preenchidos por sedimentos (crotovinas), indicando que o desenvolvimento original foi muito maior. O túnel de menor extensão foi o E-F com 1,8 m de comprimento, sendo um túnel de conexão entre os túneis E e F. A maior extensão foi encontrada no túnel F (38,4 m). Túneis longos são comuns em tocas escavadas em arenitos, e estes são geralmente bem conservados devido a pouca infiltração ou colapso, e baixo intemperismo (Frank et al., 2012). No túnel F há uma entrada lateral para um túnel paralelo e semisubmerso (linha tracejada na figura 2.2), e com o teto parcialmente abatido, o que não possibilitou a entrada para observação.

Ao longo dos túneis, principalmente nas bifurcações, são observados “blocos transportados”. Não são blocos abatidos, pois o teto está polido. Provavelmente, no processo de escavação, estes blocos foram transportados de locais mais profundos durante a retirada do entulho (Figura 2.3) (Frank et al., 2015).

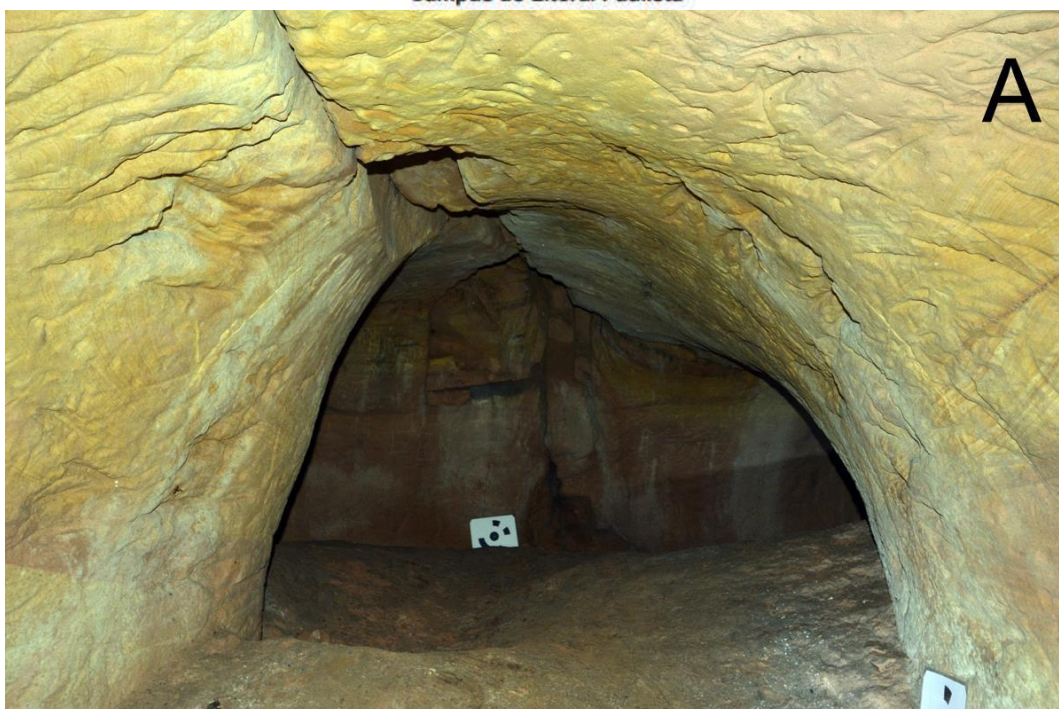


Figura 2.3 – A) Controle estrutural (falhas) na orientação dos túneis. B) Blocos transportados nas bifurcações da paleotoca.

Figure 2.3 – A) Structural control (faults) in the orientation of the tunnels. B) Transported boulders in the bifurcations of the paleoburrow.

Com exceção do salão, ao longo de todo o *M. major* foi possível observar, nas paredes e teto, traços de polimento (Figura 2.2 e 2.3) e traços de garras duplas paralelas (Figura 2.4), além de traços entrelaçados e com convergência em “Y”. Assim, é possível atribuir a

produção destas escavações à preguiças-gigantes da família Mylodontidae, devido ao tamanho e a morfologia das garras, conforme sugerido por Buchmann et al. (2016), Lopes et al. (2017). Foi gerado um modelo tridimensional de traços de escavação encontrados no túnel E, disponível no site da Sketchfab por meio do link (<https://skfb.ly/ouZNx>).

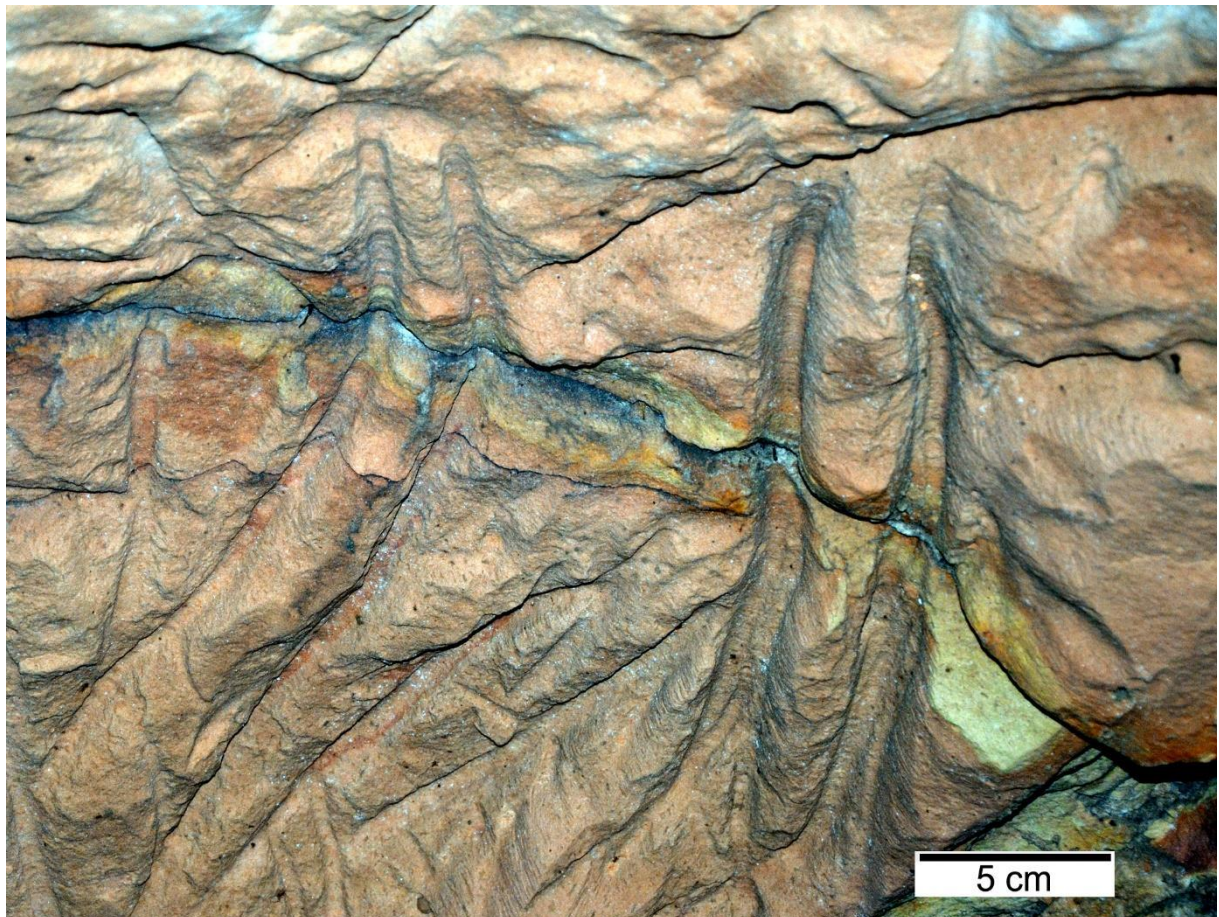


Figura 2.4 - Traços duplos de escavação atribuídos à preguiça gigante da Família Mylodontidae.

Figure 2.4 - Double excavation traces attributed to the giant sloth of the Mylodontidae Family.

Modelo Digital Tridimensional (M3D)

Para comparar o resultado dos modelos no mesmo túnel (túnel E) foram gerados um modelo baseado nas fotos feitas com a câmera *GoPro 4*, e um modelo com as fotos feitas com a câmera *Nikon D7000* com lente *Sigma* grande angular 12-24 mm.

O modelo do túnel E gerado com a *GoPro 4* selecionou e alinhou 60 fotos, gerando 83.556 pontos, 29.103 faces e 14.612 vértices (Figura 2.5). O arquivo final salvo em .pdf possui 2,1 MB.

O modelo do túnel E gerado com a Nikon D7000 alinhou 60 fotos, gerando 68.555 pontos, 353.449 faces e 178.049 vértices. O arquivo final, salvo em .pdf, possui 14,4 MB (Figura 2.5).

Apesar da mesma iluminação, o modelo gerado com a Nikon D7000 obteve melhor resultado em comparação ao modelo gerado com a GoPro 4. Além da iluminação, o flash da Nikon D7000 permitiu maior foco nas fotografias obtidas, e a lente (com abertura 122 graus) causou menor distorção nas imagens. É possível observar que as fotos da GoPro 4 estão mais escuras, e a lente (com abertura 180 graus) apresenta maior distorção das imagens, devido à lente do tipo olho-de-peixe (*FishEye*).

Os M3Ds permitem que o observador explore o local virtualmente, podendo escolher o ângulo de visão, se aproximar ou afastar utilizando apenas o mouse. Os dois modelos da paleotoca estão disponíveis para visualização em acervo digital online no site Sketchfab por meio dos links: Túnel E (GoPro 4; <https://skfb.ly/6RYyn>) e Túnel E (Nikon D7000; <https://skfb.ly/ooprJ>).

Para obter a experiência de imersão à paleotoca de Doutor Pedrinho com o aplicativo, é necessário um celular do tipo *Smartphone Android* com giroscópio e óculos de Realidade Virtual. O aplicativo de RV possui a imagem duplicada no display, visão binocular, a qual garante profundidade ao túnel no aplicativo. O aplicativo está disponível para *download* no *link*: <https://archive.org/details/paleotoca-doutor-pedrinho-go-pro>.

A utilização desta tecnologia permite ao usuário visualizar os traços de escavação das preguiças-gigantes nas paredes e ter noção das dimensões da paleotoca. O uso da Realidade Virtual pode aproximar pesquisadores, estudantes e demais públicos ao conhecimento (Legoinha et al., 2006). Paleotocas são ambientes frágeis para receber visitação, entretanto visitas virtuais podem ser amplamente utilizadas como estratégia pedagógica (Ruchkys et al., 2014).

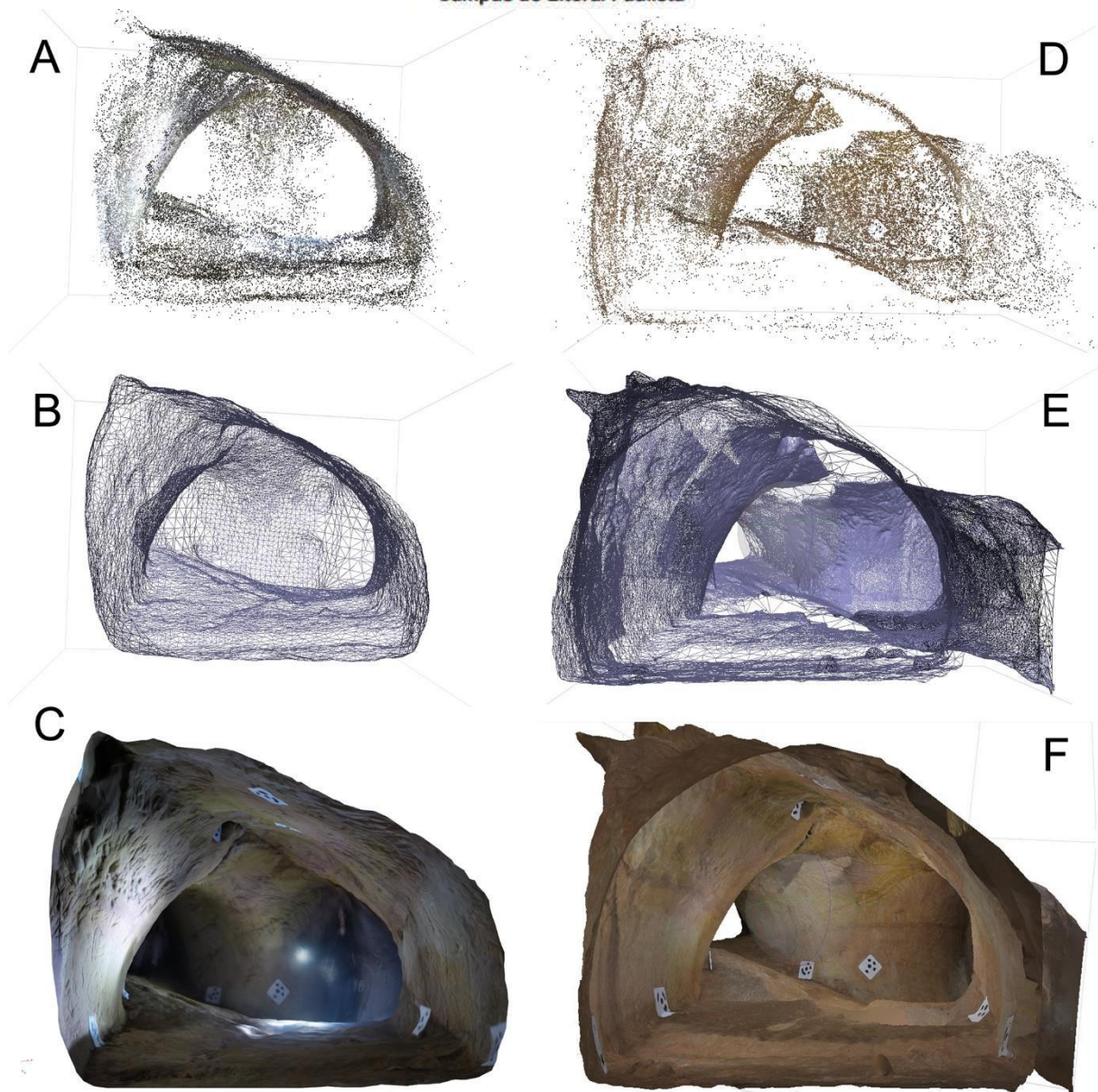


Figura 2.5 - A) Nuvem de pontos (GoPro 4). B) Polígonos (GoPro 4). C) Modelo texturizado (GoPro 4). D) Nuvem de pontos (Nikon D7000). E) Polígonos (Nikon D7000). F) Modelo texturizado (Nikon D7000).

Figure 2.5 - A) Point cloud (GoPro 4). B) Polygons (GoPro 4). C) Textured model (GoPro 4). D) Point cloud (Nikon D7000). E) Polygons (Nikon D7000). F) Textured model (Nikon D7000).

2.4. Conclusão

A paleotoca localizada no município de Doutor Pedrinho (SC) apresenta traços de polimento, traços de garras duplas, e suas dimensões sugerem que ao menos um animal escavador foi uma preguiça gigante da Família Mylodontidae e, portanto, classificada como *Megaichnus major* (icnoespécie). *M. major* foi escavado em arenitos da Formação Taciba, pertencente ao Grupo Itararé, reconhecida como arenitos com estratificação cruzada, plano-paralela e maciça. A paleotoca apresenta túneis de formato elíptico abertos, e túneis

preenchidos por sedimentos (crotovinas), além da presença de galerias transversais; e a presença de blocos transportados. A variação no diâmetro dos túneis sugere reocupação por diferentes organismos.

Os dois M3Ds gerados apresentaram resultados satisfatórios quanto ao formato do túnel, identificação dos traços de escavação, de polimento na parede e textura final. Entretanto, o modelo gerado com as fotografias da *Nikon D7000* apresentou uma textura mais próxima da realidade, com menos distorção de imagens do que o modelo gerado pela *GoPro 4*.

O M3D é uma proposta que possibilita a preservação digital e a disseminação do conhecimento sobre este icnofóssil, permitindo a imersão do indivíduo com óculos 3D na paleoteca através da RV em qualquer lugar do mundo; auxiliando na preservação, divulgação científica, pesquisa e fins educativos.

2.5. Agradecimentos

Agradecemos ao programador Ronaldo Passareti pela transformação do Modelo Digital Tridimensional em Realidade Virtual. A Erick Antal Cruz pela revisão do Abstract. Ao programa de Pós Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros (UNESP) pelo apoio, e a equipe do Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia pela logística durante a pesquisa.

2.6. Referências

Bittencourt, J. S.; Vasconcelos, A.G.; Carmo, F. F. & Buchmann, F. S. 2015. Registro paleontológico em caverna desenvolvida em formações ferríferas na Serra do Gandarela. *Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas*. Sociedade Brasileira de Espeleologia, Campinas, 191-209.

Buchmann, F. S. C.; Lopes, R. P & Caron, F. 2009. Icnofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídas a mamíferos gigantes extintos no sudeste e sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **12**: 247-256. doi:10.4072/rbp.2009.3.07.

Buchmann, F. S.; Carmo, F. F.; Carmo, F. F.; Jacobi, C. M.; Ferreira, V. M. S. & Frank, H. T. 2015. Paleotocas desenvolvidas em rochas ferruginosas: importante registro da megafauna no norte de Minas Gerais. In: F. F. Carmo & L. H. Y. Kamino (eds.) *Geossistemas Ferruginosos*

do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais, 3i Editora, p. 149-167.

Buchmann, F. S. C.; Frank, H. T.; Ferreira, V. M. S. & Cruz, E. A. 2016. Evidência de vida gregária em paleotocas atribuídas a Mylodontidae (Preguiças-gigantes). *Revista Brasileira de Paleontologia*, **19**: 259-270. doi: 10.4072/rbp.2016.2.09.

Carmo, F. F.; Carmo, F. F.; Buchmann, F. S.; Frank, H. T. & Jacobi, C. M. 2011. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 31, 2011. *Resumos*, Ponta Grossa, SBE, p. 531-540.

Carvalho, B. T. A. 2009. *Utilizando fotografias digitais de alta qualidade na geração de textura para modelos 3D: uma abordagem prática na preservação digital de acervos culturais e naturais*. Programa de Pós Graduação em Informática, Universidade Federal do Paraná, Dissertação de mestrado, 101 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2014. *Mapa geológico do Estado de Santa Catarina*. Porto Alegre: CPRM. Escala 1:500.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17996>

Dardon, U.; Souza, R. S.; Abranches, C. T. S. & Bergqvist, L. P. 2010. Modelagem 3D e suas aplicações na pesquisa paleontológica. *Journal of Geoscience*, **6**: 76-89. doi: 10.4013/gaea.2010.62.04.

D'Avila, R. S. F. 2009. *Sequência Depositionais do Grupo Itararé (Carbonífero e Eopermiano), Bacia do Paraná, na Área de Dr. Pedrinho e cercanias, Brasil: Turbiditos, Pelitos e Depósitos Caóticos*. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio do Sinos, Tese de Doutorado, 267 p.

Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C.; Lima, L. G.; Caron, F.; Lopes, R. P. & Fornari, M. 2011a. Karstic features generated from large palaeovertebrate tunnels in southern Brazil. *Espeleo-Tema*, **22**: 139-143.

Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C.; Lima, L. G.; Caron, F.; Lopes, R. P. & Fornari, M. 2011b. Interdisciplinaridade aplicada a paleotocas. *In: Congresso Brasileiro de Espeleologia*, 31. *Resumos*, Ponta Grossa, SBE, p. 541-548.

Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C.; Lima, L. G.; Fornari, M.; Caron, F. & Lopes, R. P. 2012. Cenozoic vertebrate tunnels in Southern Brazil. *In: Netto, R. G., Carmona, N. B. & Tognoli, F. M. W. (eds.). Ichnology of Latin America – selected papers*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 141 – 157 (Monografias 2).

Frank H. T.; Althaus C. E.; Dario E. M.; Tramontina F. R.; Adriano R. M. & Almeida M.L. 2015. Underground chamber systems excavated by Cenozoic ground sloths in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **18**: 273-284. doi: 10.4072/rbp.2015.2.08.

Genise, J. F. 1989. Las cuevas con *Actenomys* (Rodentia, Octodontidae) de la Formación Chapadmalal (Plioceno superior) de Mar del Plata y Miramar (provincia de Buenos Aires). *Ameghiniana*, **26**(1-2): 33-42.

Gil, J. A. P. 2019. *Rochas virtuais de Lisboa. Contributo para a sua divulgação utilizando modelação 3D e fotogrametria*. Programa de Pós Graduação em Sistemas de Informação Geográfica – Tecnologias e Aplicações, Universidade de Lisboa, Dissertação de Mestrado, 99p.

Grillo, O. N.; Romano P. S. R. & Monnerat, M. C. 2011. Comments on the paper Modelagem 3D e suas aplicações na pesquisa paleontológica (3D Modeling and its application in paleontological research). *Journal of Geoscience*, **7**: 77-81. doi: 10.4013/gaea.2011.71.06.

Grussenmeyer, P.; Landes, T.; Alby, E. & Carozzab, L. 2010. High resolution 3d recording and modelling of the bronze age cave “Les Fraux” in perigord (France). *In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Newcastle Upon Tyne, UK, p. 262-267.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. Mapa de vegetação do Brasil. Brasília: IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao.html>>.

Legoinha, P.; Pais, J.; Santos, T. & Moya Palomares, M. E. 2006. Visita virtual (estratigráfica e paleontológica) à Arriba Fóssil da Costa de Caparica. *In: Livro de Resumos do VII Congresso Nacional de Geologia*, Vol. 3, pp. 837-840. Universidade de Évora, Évora, Portugal.

Lopes, R. P.; Frank, H. T.; Buchmann, F. S. C. & Caron, F. 2017. *Megaichnus* igen. nov.: giant paleoburrows attributed to extinct Cenozoic mammals from South America. *Ichnos*, **24**: 133-145. doi: 10.1080/10420940.2016.1223654.

Milani, E. J. & Ramos, V. A. 1998. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**: 473-484. doi: 10.25249/0375-7536.1998473484.

Milani, E. J. 2004. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C. D. R. & Brito-Neves, B. B. B. Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca Editora, São Paulo, p. 265-291.

Milani, E. J.; Melo, J.; Souza, P.; Fernandes, L. & França, A. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências - Petrobras*. **15**: 265-287.

Neto, M. P.; Agostinho, I.; Dias, D. R.; Rodello, I. & Brega, J. R. 2015. A realidade virtual e o motor de jogo Unity. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*, **5**: 9-23.

Photoscan. 2016. Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.2. Agisoft. Disponível em: <www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf>.

Pedrosa, S. M. P. D. A. & Zappala-Guimarães, M. A. 2019. Realidade virtual e realidade aumentada: refletindo sobre usos e benefícios na educação. *Revista Educação e Cultura Contemporânea*, **16**(43): 123-146.

Redweik, P. 2007. *Fotogrametria aérea*. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 36 p.

Rossi, W. S.; Da Silva, F. P. & Júnior, W. K. 2013. A utilização de modelos 3D para a preservação e divulgação de peças do patrimônio histórico e cultural: estudo de caso com escarradeira e urinol. *Arcos Design*, 7: 69-79. doi.org/10.12957/arcosdesign.2013.12182.

Ruchkys, U. A.; Bittencourt, J. S. & Buchmann, F. S. 2014. A paleotoca da Serra do Gandarela e seu potencial como geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, **24**: 249- 263. doi: 10.5752/P.2318-2962.2014v24n42p249.

Scheibe, L. F. 1986. A geologia de Santa Catarina: Sinopse provisória. *Geosul*, **1**: 7-38.

Scillato-Yané, G. J.; Carlini, A. A.; Tonni, E. P. & Noriega, J. I. 2005. Paleobiogeography of the late Pleistocene pampatheres of South America. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**: 131-138.

Silva, M. L. N.; Nascimento, M. A. L.; Mansur, K. L. & Medeiros, G. L. D. 2019. Uso de fotogrametria digital na elaboração de modelos tridimensionais com aplicação em Geoconservação e educação. *Terrae Didática*, **15**: 1-9. doi: 10.20396/td.v15i0.8655364.

Simões, P. R. 2019. Levantamento fotogramétrico e modelagem 3D aplicados à cartografia espeleológica e a espeleometria da Gruta dos Fugitivos, Parque Estadual do Ibitipoca, MG. In: Congresso Brasileiro de Espeleologia, 35, SBE, Bonito, MS. *Espeleologia Digital*, **2**: 58-66.

Torres, R.; Yamafune, K.; Castro, F. & Ferreira, S. 2017. Mapeando em profundidade: A integração de técnicas digitais para a pesquisa arqueológica de sítios de naufrágios históricos. *Vestígios - Revista Latino-Americana de Arqueologia Histórica*, **11**: 107-134. doi: <https://doi.org/10.31239/vtg.v11i1.10553>.

Tortato, F. R.; Testoni, A. F. & Althoff, S. L. 2014. Mastofauna terrestre da Reserva Biológica Estadual do Sassafrás, Doutor Pedrinho, Santa Catarina, Sul do Brasil. *Biotemas*, **27**(3): 123-129.

Vizcaíno, S. F.; Zárate, M. A.; Bargo, M. S. & Dondas, A. 2001. Pleistocene burrows in the Mar del Plata area (Argentina) and their probable builders. *Acta Palaeontologica Polonica*, **46**: 157-169.

Wildner, W.; Camozzato, E.; Toniolo, J. A.; Binotto, R. B.; Iglesias, C. M. F. & Laux, J. H. 2014. *Mapa geológico do Estado de Santa Catarina*. Porto Alegre: CPRM, 1.

Yamafune, K.; Torres, R. & Castro, F. 2017. Multi-Image photogrammetry to record and reconstruct underwater shipwreck sites. *Journal of Archaeological Method and Theory*, **24**: 703-725. doi.org/10.1007/s10816-016-9283-1

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação foram utilizadas técnicas convencionais de mapeamento de cavernas, além de mapeamento por fotogrametria. A associação de ambas as técnicas foi efetiva para prospecção da paleotoca e identificação do seu organismo escavador.

A paleotoca localizada no município de Doutor Pedrinho (SC) apresenta traços de polimento, traços de garras duplas, e as suas dimensões sugerem que o animal escavador foi uma preguiça-gigante (*Mylodontidae*) e, portanto, classificada como *Megaichnus major* (icnoespécie). A paleotoca foi escavada em arenitos da Formação Taciba, pertencente à Supersequência Gondwana I, Grupo Itararé, Permiano. A Formação Taciba apresenta arenitos com estratificação cruzada, plano-paralela e maciça. A paleotoca apresenta túneis de formato elíptico abertos e túneis preenchidos por sedimentos (crotovinas).

Os dois Modelos Digitais Tridimensionais (M3Ds) gerados apresentaram resultados satisfatórios quanto ao formato do túnel, identificação dos traços de escavação, traços de polimento na parede e textura final. O modelo gerado com as fotografias da *Nikon D7000* apresentou uma textura mais próxima da realidade, com menos distorção de imagens e um arquivo final mais pesado do que o modelo gerado pela *GoPro 4*.

Os modelos, gerados a partir do imageamento do Túnel E da paleotoca, estão disponíveis para visualização em acervo digital online no site *Sketchfab* através dos links <https://skfb.ly/6RYyn> (*GoPro 4*) e <https://skfb.ly/ooprJ> (*Nikon D7000*). O modelo gerado com a *GoPro* foi transformado em Realidade Virtual, e está disponível para download no link: <https://drive.google.com/file/d/1JdInriUAPo13GChxkRrtDzUZxHxzhcE/view?usp=sharing>.

ANEXOS

TABELA 1 – Medidas da paleotoca de Doutor Pedrinho (SC).

Túnel	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Largura (cm)
Entrada	0	189	154
	100	138	164
	200	145	275
A	0	58	81
	100	69	150
	200	96	169
	300	84	147
	400	77	124
	500	93	168
B	0	34	134
	100	84	184
	200	124	219
	300	135	332
C	0	37	123
	100	81	174
	200	112	183
	300	134	187
D	0	48	100
	100	85	139
	200	117	137
	300	156	144

	400	169	166
	500	222	187
	600	146	173
	670	142	202
E	0	45	70
	100	99	123
	200	95	180
	300	116	177
	400	102	223
	500	117	205
	600	148	190
	700	174	215
	800	164	217
	900	173	235
	950	139	197
F	0	40	70
	100	59	100
	200	103	119
	300	70	126
	400	75	140
	500	82	138
	600	76	107
	700	83	170
	800	117	166

	900	92	127
	1000	70	74
	1100	70	76
	1200	78	70
	1300	46	56
	1400	40	65
	1500	97	60
	1600	50	56
	1700	117	70
	1800	90	100
	1900	105	108
	2000	98	100
	2100	92	100
	2200	93	105
	2300	80	106
	2400	84	115
	2500	75	117
	2600	100	122
	2700	117	86
	2800	80	110
	2900	80	118
	3000	105	120
	3100	94	119

	3200	82	118
	3300	117	90
	3400	80	120
	3500	70	124
	3600	115	176
	3700	95	128
	3800	85	115
	3900	70	123
	4000	90	123
X	490	215	940
D-E	0	170	183
	100	186	135
	200	215	111
	290	199	104
X-E	0	99	156
	100	124	145
	200	139	178
	260	148	189
E-F	0	117	160
	100	107	139
	180	115	174

TABELA 2 - Relatório de processamento - D7000.

Camera stations:	62
Tie points:	82,879
Projections:	213,841
Reprojection error:	0.613 pix
Distância focal	24 mm
Resolução	4928 x 3264 23 mm
Tamanho do pixel	4.95 x 4.95 μ m
Processing Parameters	
General	
Cameras	62
Aligned cameras	62
Coordinate system	(m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	82,879 of 92,192
RMS reprojection error	0.114955 (0.612896 pix)
Max reprojection error	0.346377 (21.2704 pix)
Mean key point size	5.09196 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	2.62751
Alignment parameters	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Key point limit	30,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	1 minutes 41 seconds
Alignment time	24 seconds
Software version	1.5.2.7838
File size	5.87 MB
Depth Maps	
Count	62
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Processing time	11 minutes 35 seconds
Software version	1.5.2.7838
File size	81.51 MB

Dense Point Cloud

Points	14,006,782
Point colors	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Processing time	9 minutes 54 seconds

Dense cloud generation parameters

Max neighbors	All
Processing time	1 minutes 38 seconds
Software version	1.5.2.7838
File size	183.48 MB

Model

Faces	448,146
Vertices	225,201
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Processing time	11 minutes 35 seconds

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	4 hours 36 minutes.

Texturing parameters

Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	22 seconds
Blending time	1 minutes 56 seconds
Software version	1.5.2.7838
File size	37.98 MB

System

Nome do programa	Agisoft Metashape Professional
Versão do programa	1.7.2 build 11965
OS Windows	64 bit
RAM	15.95 GB
CPU	AMD Ryzen 5 3600 6-Core Processor
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 2060

TABELA 3 - Relatório de processamento – GoPro.

Camera stations:	60
Tie points:	83,556
Projections:	210,908
Reprojection error:	1.34 pix
HERO4 Silver (3 mm)	
Resolução	4000 x 3000
Distância focal	3 mm
Tamanho do pixel	1.73 x 1.73 μ m
Processing Parameters	
General	
Cameras	60
Aligned câmeras	60
Coordinate system	(m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	83,556 of 149,930
Reprojection error	1.33704 (4.15197 max)
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	2.94841
Alignment parameters	
Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	25,000
Filter points by mask	No
Matching time	16 minutes 22 seconds
File size	12.46 MB
Dense Point Cloud	
Points	40,256,950
Point colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Mild
Dense cloud generation parameters	
Processing time	5 days 3 hours
File size	747.75 MB

Model

Faces	29,103
Vertices	14,612
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Sparse cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	7 seconds

Texturing parameters

Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096
Processing time	2 minutes 44 seconds
File size	17.74 MB

System

Nome do programa	Agisoft Metashape Professional
Versão do programa	1.7.2 build 11965
OS Windows	64 bit
RAM	15.95 GB
CPU	AMD Ryzen 5 3600 6-Core Processor
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 2060