



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS



Geologia Ambiental e Recursos Naturais
Geoconservação

Modelagem Espacial dos Locais de Ocorrência de Paleotocas na Serra do Gandarela e do Curral, com Vistas à Prospecção de Locais Favoráveis a Existência e Outras Descobertas no Quadrilátero Ferrífero - MG

Por

Driele Antunes de Assis

Orientador: Paulo de Tarso Amorim Castro

DISSERTAÇÃO nº 444

Ouro Preto

2021

**MODELAGEM ESPACIAL DOS LOCAIS DE OCORRÊNCIA
DE PALEOTOCAS NA SERRA DO GANDARELA E DO
CURRAL, COM VISTAS À PROSPECÇÃO DE LOCAIS
FAVORÁVEIS A EXISTÊNCIA E OUTRAS DESCOBERTAS
NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO - MG**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Pós-Graduação

Prof. Dr.^a. Renata Guerra de Sá Cota

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. MSc. Edison Tazava



EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

CONTRIBUIÇÕES ÀS CIÊNCIAS DA TERRA – VOL. 82

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 444

**MODELAGEM ESPACIAL DOS LOCAIS DE OCORRÊNCIA DE
PALEOTOCAS NA SERRA DO GANDARELA E DO CURRAL, COM
VISTAS À PROSPECÇÃO DE LOCAIS FAVORÁVEIS A EXISTÊNCIA
E OUTRAS DESCOBERTAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO - MG**

Drielle Antunes de Assis

Orientador

Paulo de Tarso Amorim Castro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ciências Naturais, Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais.

OURO PRETO

2021

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606 e-mail: pgrad@degeo.ufop.br

Os direitos de tradução e reprodução reservados.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN 85-230-0108-6

Depósito Legal na Biblioteca Nacional

Edição 1ª

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A848m Assis, Driele Antunes de.

Modelagem espacial dos locais de ocorrência de paleotocas na Serra do Gandarela e do Curral, com vistas à prospecção de locais favoráveis a existência e outras descobertas no Quadrilátero Ferrífero - MG.
[manuscrito] / Driele Antunes de Assis. - 2021.

126 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro.

Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais.

Área de Concentração: Geologia Ambiental e Conservação de Recursos Naturais - Garn.

1. Geoconservação. 2. Paleontologia - Icnofósseis - Paleotocas. 3. Geoprocessamento. 4. Delphi. I. Castro, Paulo de Tarso Amorim. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 528.8:56.02

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
COORDENACAO DO PROGRAMA DE POS-GRADUACAO
EM EVOLUCAO CRUSTAL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Driele Antunes de Assis

Modelagem espacial dos locais de ocorrência de paleotocas na Serra do Gandarela e do Curral, com vistas à prospecção de locais favoráveis à existência e outras descobertas no Quadrilátero Ferrífero - MG.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais XX da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Naturais.

Aprovada em 14 de junho de 2021.

Membros da banca

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro - Presidente- Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Carmelia Kerolly Ramos de Oliveira - Instituto Federal de Minas Gerais
Profa. Dra. Marjorie Cseko Nolasco - Universidade Estadual de Feira de Santana
Profa. Dra. Ursula Ruchkys de Azevedo -Universidade Federal de Minas Gerais

O Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 26 de abril de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Henrique Coelho de Melo, VICE-COORDENADOR(A) DE CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS**, em 27/04/2023, às 17:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0516015** e o código CRC **6565134C**.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota no oceano. Mas sem ela o oceano seria menor”.

(Madre Teresa de Calcutá)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades e por guiar meus passos a cada dia.

Aos meus pais César e Graça e a minha irmã Ariele, por incentivarem desde o princípio a dar continuidade aos meus estudos, dando todo o apoio necessário ao longo da minha trajetória acadêmica.

Ao meu companheiro Gustavo, que teve muita paciência em me tranquilizar perante as tensões da pesquisa, por me dar apoio incondicional nas decisões, e me ajudar em tudo desde que começamos a dividir o mesmo lar.

À orientação do professor Paulo de Tarso, pela sua sabedoria e tranquilidade, que foram imprescindíveis para que eu tomasse as rédeas desta pesquisa, percorresse o melhor caminho e me encantasse pelas paleotocas.

A todos os professores do DEGEO/UFOP, NUGEO/UFOP e IGC/UFMG, com os quais tive a oportunidade de dialogar e adquirir aprendizado ao longo das disciplinas e que contribuíram para meu amadurecimento acadêmico e intelectual.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Instituto Prístino, na figura do Flávio do Carmo, e ao Luciano Faria, pela concessão dos dados que foram indispensáveis a pesquisa.

Aos amigos Camila F., Fabrício L., Renato D. e Angélica que me acompanharam na realização das atividades e/ou disciplinas cursadas. A Carmélia O., Eric P. e Stéphanie L. que me auxiliaram imensamente, sanando dúvidas e ajudando nas decisões finais do trabalho.

E a todos aqueles que não estão presentes aqui, mas que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

Sumário

AGRADECIMENTOS	ix
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xxi
RESUMO	xxiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	3
1.3 JUSTIFICATIVA	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
2 CONTEXTO GEOLÓGICO E ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS	7
2.1 GEOLOGIA	7
2.2 CLIMA	10
2.3 VEGETAÇÃO.....	10
2.4 GEOMORFOLOGIA	10
3 EMBASAMENTO TEÓRICO.....	15
3.1 CONCEITOS DE PALEOTOCAS E CARACTERÍSTICAS GERAIS	15
3.2 PALEOTOCAS NO EXTERIOR	23
3.3 PALEOTOCAS NO BRASIL	24
3.4 PALEOTOCAS EM GEOSISTEMAS FERRUGINOSOS	25
3.4.1 A Paleotoca da Serra do Gandarela.....	28
3.4.2 A Paleotoca da Serra do Curral (Parque das Mangabeiras)	31
3.5 CONSERVAÇÃO E PROTEÇÃO DE ICNOFÓSSEIS	33
3.6 TÉCNICA DELPHI	36
4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	39
4.1 INTRODUÇÃO.....	39
4.2 LEVANTAMENTOS DE PARÂMETROS ATRAVÉS DA TÉCNICA DELPHI.....	41
4.3 CONSTRUÇÃO DE MAPAS REFERENTES AOS PARÂMETROS	44
4.3.1 Mapa de Altitude (Hipsométrico)	45
4.3.2 Mapa de Declividade da Encosta	47
4.3.3 Mapa de Orientação das Encostas	47
4.3.4 Mapa de Rugosidade	47

4.3.5 Mapa de Litologia.....	49
4.3.6 Mapa de Solos.....	49
4.4 RECLASSIFICAÇÃO E ÁLGEBRA DE MAPAS.....	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.1 LEVANTAMENTO E PONDERAÇÃO DE PARÂMETROS	53
5.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS A PARTIR DOS MAPAS TEMÁTICOS.....	57
5.2.1 Altitude	57
5.2.2 Declividade	59
5.2.3 Orientação das Encostas	61
5.2.4 Rugosidade	63
5.2.5 Litologia.....	65
5.2.6 Solo.....	69
5.2.7 Distância da Drenagem.....	70
5.3 RECLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS E ELABORAÇÃO DO MAPA DE POTENCIAL DE OCORRÊNCIAS	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
Referências Bibliográficas.....	85
Apêndices	93

Lista de Ilustrações

Figura 1.1- Mapa de localização e vias de acessos para as paleotocas da Serra do Curral e Serra do Gandarela	3
Figura 2.1 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero mostrando as ocorrências das unidades estratigráficas na região.....	7
Figura 2.2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero com algumas idades.....	8
Figura 2.3 - Mapa geológico simplificado das regiões da Serra do Curral e Gandarela, nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Compilado do Mapa Geológico de Minas Gerais.....	9
Figura 2.4 - Mapa hipsométrico da Serra do Gandarela	13
Figura 2.5 - - Relevo da Serra do Gandarela sustentado por coberturas de canga, evidentes na porção direita da foto.	13
Figura 2.6 - Mapa hipsométrico da Serra do Curral na região do Parque das Mangabeiras - Belo Horizonte, mostrando orientação SW-NE.....	14
Figura 2.7 - Visada para SE da Serra do Curral, mostrando a crista ravinada, sustentada por canga..	14
Figura 3.1 - Diferença entre paleotoca e crotoquina	17
Figura 3.2 - Marcas de garras encontradas nas galerias.....	18
Figura 3.3 - Possíveis escavadores de paleotocas: esqueleto de <i>Nothrotherium</i> (preguiça-gigante) e <i>Pampatherium</i> (tatu-gigante)	19
Figura 3.4 - Seções côncavas, elípticas e polidas encontradas em paleotocas.....	20
Figura 3.5: Comparação entre os diâmetros das paleotocas e os organismos que poderiam tê-las escavado.	21
Figura 3.6: Umidade atual nas paleotocas.....	22
Figura 3.7: Exemplos de morcegos e insetos que podem ser encontrados em paleotocas	22
Figura 3.8 - Paleotocas encontradas no Brasil nas regiões sul e sudeste; a elipse destaca o entorno de Porto Alegre como a área com maior densidade de tocas descritas.....	26
Figura 3.9 - Efeito da erosão nos túneis.....	27
Figura 3.10 - Paleotocas no Vale do Rio Peixe Bravo, MG.....	28
Figura 3.11 - Paleotoca na Serra do Gandarela.....	29
Figura 3.12 - Marcas de garras nas paredes e nos tetos que sugerem atividade de um animal escavador da megafauna de mamíferos extinta.....	30
Figura 3.13 - Croqui da Paleotoca da Serra do Gandarela, mostrando sua morfologia complexa de salões e condutos.....	31
Figura 3.14 - Paleotoca do Parque das Mangabeiras, na Serra do Curral	32
Figura 3.15 - A e B: Marcas de garras nas paredes e no teto das galerias da paleotoca, escala de 10cm	32
Figura 3.16 - Mapa BCRA 4C da paleotoca do Parque das Mangabeiras (BH)	33
Figura 3.17 - Classificação de paleotocas de acordo com o grau de acessibilidade e estado de preservação dos túneis.....	35

Figura 3.18 - Grafismos rupestres na Toca do Tatu, município de Timbé do Sul, SC.....	36
Figura 3.19 - Sequência de execução de uma pesquisa Delphi.	38
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia que se seguiu.....	40
Figura 4.2 - Etapas para obtenção do ICR Global e Local, usados na confecção dos Mapas de Rugosidade	48
Figura 5.1 - Mapa hipsométrico do Quadrilátero ferrífero obtido através de MDE - ALOS/PALSAR. Indicada a localização das paleotocas existentes.....	59
Figura 5.2 - Mapa de declividade do Quadrilátero Ferrífero obtido através de MDE- ALOS/PALSAR. Indicada a localização das paleotocas existentes.....	61
Figura 5.3 - Mapa de orientação de encostas do Quadrilátero Ferrífero obtido através de MDE - ALOS/PASMAR. Indicada a localização das paleotocas existentes.....	63
Figura 5.4 - Mapa de Rugosidade Local do QF obtido a partir de MDE - ALOS PALSAR e proposta de Sampaio & Augustin (2014). Indicada a localização das paleotocas existentes.....	65
Figura 5.5 - Mapa de Rugosidade Global do QF obtido através de MDE - ALOS PALSAR e proposta de Sampaio & Augustin (2014). Indicada a localização das paleotocas existentes.....	66
Figura 5.6 - Mapa de Litologia do Quadrilátero Ferrífero.	68
Figura 5.7 - Mapa de Solos do Quadrilátero Ferrífero	71
Figura 5.8 - Mapa de Distância em Relação às Drenagens, obtido pelo cálculo da distância Euclidiana. Indicada a localização das paleotocas existentes.....	73
Figura 5.9 - Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Paleotocas no QF. Indicada a localização das paleotocas existentes.	76
Figura 5.10 - Mapa de Áreas Prioritárias à Prospecção de Paleotocas no QF. Indicada a localização das paleotocas existentes.	79

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Diferentes tipos de substratos aos quais as paleotocas foram escavados.	16
Tabela 4.1 - Formação superior dos especialistas.	42
Tabela 4.2 - Dados das paleotocas registradas no Vale do Peixe Bravo que foram utilizadas no estudo dos parâmetros.	46
Tabela 4.3 - Limite dos intervalos e definição das classes para o ICR Global, usado nos Mapas de Rugosidade.	49
Tabela 5.1 - Resultados da 1ª fase para os parâmetros pré-selecionados.	53
Tabela 5.2: Resultado da 2ª fase do Painel Delphi dos parâmetros pré-selecionados e os sugeridos pelos especialistas.	56
Tabela 5.3 - Intervalos de altitudes em que se encontram os icnofósseis para o VPB e QF a partir dos mapas hipsométricos.	58
Tabela 5.4: Classes de intervalos de declives aos quais as paleotocas do VPB e QF se encontram. ...	60
Tabela 5.5 - Direção de exposição das vertentes demonstradas nos mapas do VPB e QF para as paleotocas estudadas.	62
Tabela 5.6: Concentração da rugosidade a partir da representação na forma de mapas para o VPB e QF.	64
Tabela 5.7: Litologias em que ocorrem as paleotocas do VPB e do QF segundo os mapas elaborados.	67
Tabela 5.8 - Tipos de solos onde verificam-se os icnofósseis do VPB e QF.	69
Tabela 5.9 - Intervalo de distância da drenagem em relação as paleotocas no VPB e QF.	72
Tabela 5.10 - Valores atribuídos às classes dos parâmetros para o Quadrilátero Ferrífero comparado ao Vale Rio do Peixe Bravo.	74
Tabela 5.11: Ponderação dos parâmetros segundo as médias de pesos atingidas na técnica <i>Delphi</i>	75
Tabela 5.12 - Número de cavidades potenciais por localidade e unidade estratigráfica em que está inserida.	77

Resumo

A região do Quadrilátero Ferrífero representa um dos mais expressivos geossistemas ferruginosos de Minas Gerais. Estes geossistemas constantemente envolvem cenários de disputa entre a exploração mineral e a conservação das suas singulares riquezas. Estudos recentes em cavernas que ocorrem espalhadas ao longo de toda região, atestaram que duas destas cavidades tratam-se, na verdade, de paleotocas. Paleotocas são registros indiretos (i.e. icnofósseis) da megafauna de mamíferos que viveram no Plioceno e Pleistoceno. Ocorrem na forma de salões e condutos com grandes dimensões. Comumente exibem marcas de garras nas paredes e nos tetos, potencialmente atribuídas a tatus e preguiças-gigantes. Na Argentina, no Uruguai e na região sul do Brasil, há várias destas galerias descritas, em substratos variados. Em litologia ferruginosa, foram descritos inicialmente na região ao norte de Minas Gerais, conhecida como Vale do Rio Peixe Bravo. As estruturas encontradas no Quadrilátero Ferrífero estão situadas na Serra do Gandarela e na Serra do Curral. Foram escavadas no contato canga/saprolito e são os únicos registros conhecidos até o momento. Especialmente a inserida na Serra do Gandarela, está ameaçada pela atividade minerária. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os registros descritos no QF, definir as características geomorfológicas e geológicas destes icnofósseis em outros geossistemas ferruginosos, e discriminar áreas-alvo potenciais de novas ocorrências segundo os parâmetros observados. Os procedimentos metodológicos envolveram a consulta de opinião *Delphi* e o uso de geoprocessamento para a construção de mapas temáticos e a elaboração de um mapa final de potencialidade de ocorrências de paleotocas. Os resultados mostraram elevada potencialidade em áreas ao centro, norte e nordeste e forte influência da litologia. Também foram observadas semelhanças e diferenças entre as formas de ocorrência e como os parâmetros estão relacionados. A análise permitiu identificar que as duas paleotocas possuem relevante interesse para a conservação e a necessidade de um estudo detalhado das cavidades naturais.

Palavras chave: Paleotocas; Icnofósseis; Geoconservação; Geoprocessamento; Delphi.

Abstract

The Quadrilátero Ferrífero region represents one of the most expressive ferruginous geosystems in Minas Gerais. These geosystems constantly involve scenarios of dispute between mineral exploration and the conservation of its unique wealth. Recent studies in caves that occur scattered throughout the region, have confirmed that two of these cavities are, in fact, palaeoburrows. Palaeoburrows are indirect records (i.e. ichnofossils) of the megafauna of mammals that lived in the Pliocene and Pleistocene. They occur in the form of salons and conduits with large dimensions. They commonly exhibit claw marks on walls and ceilings, potentially attributed to armadillos and giant sloths. In Argentina, Uruguay and the southern region of Brazil, there are several of these galleries described, on different substrates. In ferruginous lithology, they were initially described in the region north of Minas Gerais, known as Vale do Rio Peixe Bravo. The structures found in the Quadrilátero Ferrífero are located in Serra do Gandarela and Serra do Curral. They were dug in the canga/saprolite contact and are the only records known to date. Especially the one inserted in the Serra do Gandarela, is threatened by mining activity. The objective of this work was to characterize the records described in the QF, to define the geomorphological and geological characteristics of these ichnofossils in other ferruginous geosystems, and to discriminate potential target areas of new occurrences according to the observed parameters. The methodological procedures involved the consultation of Delphi opinion and the use of geoprocessing for the construction of thematic maps and the elaboration of a final map of the potentiality of occurrences of palaeoburrows. The results showed high potential in areas in the center, north and northeast and a strong influence of lithology. Similarities and differences were also observed between the forms of occurrence and how the parameters are related. The analysis allowed to identify that the two palaeoburrows have relevant interest for the conservation and the necessity of a detailed study of the natural cavities.

Key words: Palaeoburrows; Ichnofossils; Geoconservation; Geoprocessing; Delphi.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Os geossistemas ferruginosos constituem importantes registros geológicos da história da evolução da Terra. Estas complexas unidades espaciais constituídas de rochas ferruginosas apresentam diferentes valores patrimoniais da geodiversidade (Ruchkys *et al.* 2018). No Brasil, a maioria desses geossistemas ocorre em Minas Gerais, mais expressivamente em três áreas: na região metropolitana de Belo Horizonte (Quadrilátero Ferrífero), no centro-leste próximo às cidades de Serro e Conceição do Mato Dentro e no norte do estado, na região conhecida como Vale do Rio Peixe Bravo.

O Quadrilátero Ferrífero é mundialmente reconhecido por sua vocação mineral, principalmente ferro e ouro. Ruchkys (2007) propôs a criação de um geoparque nacional destacando essa riqueza singular ligada à história geológica da Terra e à história da mineração em Minas Gerais e no Brasil, podendo impulsionar o desenvolvimento da região do ponto de vista econômico, ambiental, social e cultural.

Na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero está localizada a Serra do Gandarela, um dos territórios mais ambientalmente preservados e inabitados de toda região juntamente com a Serra do Caraça (Silva & Salgado 2009). As características físicas, biológicas e paisagísticas da área foram determinantes para a criação do Parque Nacional da Serra do Gandarela (PNSG). Uma das mais relevantes descobertas científicas na região foi a descoberta de uma paleotoca, a denominada paleotoca da Serra do Gandarela, que, infelizmente, está situada fora do PNSG, em região de potencial mineração de ferro.

As paleotocas são registros indiretos (i.e. icnofósseis) da megafauna de mamíferos extinta, potencialmente atribuídas às preguiças-gigantes e tatus-gigantes, que viveram no Plioceno e Pleistoceno (Buchmann *et al.* 2009). Ocorrem na forma de galerias com dimensões impressionantes, normalmente acima de um metro de altura e dois metros de largura com profundidade ou comprimento da ordem metros a dezenas de metros. Quando estão obstruídas por material sedimentar recebem o nome de crotovinas (Bergqvist & Maciel, 1994). Estas estruturas teriam sido escavadas por esses animais para sua habitação, refúgio de predadores e dormência (Ruchkys *et al.* 2014). Normalmente no interior destas cavidades não há restos fósseis do animal escavador, mas é frequente a ocorrência de marcas de arrasto de carapaça e sulcos nas paredes e nos tetos, provenientes das garras desses tetrápodes (Buchmann *et al.* 2016).

A literatura especializada mostra a ocorrência de várias paleotocas na região sul do Brasil, na Argentina e no Uruguai. Em sua maioria estão escavados em mantos de alteração de rochas ígneas, com

granitoides e gnaisses e basaltos (Buchmann *et al.* 2003, 2009). Mais recentemente foram descobertas paleotocas em sistemas ferruginosos, constando de formações ferríferas bandadas como a mencionada cavidade localizada na Serra do Gandarela e nos diamictitos ferruginosos, nas formações ferríferas bandadas e em cangas no Vale do Rio Peixe Bravo, na região de Rio Pardo de Minas, MG (Carmo *et al.* 2011a, b; Castro 2008). Nas paleotocas do Vale do Rio Peixe Bravo, há indícios de que a megafauna se aproveitava de cavidades pré-existentes para reafeiçoá-las ao seu uso (Carmo & Kamino 2017).

A paleotoca da Serra do Gandarela é associada a sistemas ferruginosos e possui 340m de comprimento (Ruchkys *et al.* 2014, 2015), sendo considerada uma das maiores do Brasil. Como se tratam de animais com comportamento gregário (Buchmann *et al.* 2016), acredita-se que possam existir outros registros de paleotocas na região. Por constituir um relevante registro da existência da megafauna extinta, Ruchkys *et al.* (2014) avaliaram valores científicos, pedagógicos e educacionais para inserir a ocorrência da estrutura como um relevante geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero. Recentemente, Faria *et al.* (2017) descreveram indícios de outra paleotoca no Quadrilátero Ferrífero, no sopé da Serra do Curral, no Parque das Mangabeiras, em Belo Horizonte, possivelmente escavada ou ampliada em rochas ferruginosas por indivíduos da megafauna.

Por outro lado, fora dos limites do Parque Nacional da Serra do Gandarela, há atividades de grandes mineradoras e entre as áreas está a pretendida pela Vale para implementação da Mina Apolo, um dos seus maiores empreendimentos. Considerando que restos e vestígios fósseis são propriedades da nação (*Decreto-Lei 4.146 de 1942*) e a intervenção ou extração depende de autorização e fiscalização, a mineração pode ser uma atividade que oferece risco à integridade do patrimônio paleontológico/geológico. O uso de maquinário pesado, retirada da vegetação e movimentação de solo podem levar ao abatimento das paleotocas.

Neste cenário que envolve disputa entre necessidade de conservação por um lado e avanço tecnológico por outro, deve-se encontrar formas de conciliar a atividade das minas e a proteção deste importante registro icnofóssil. Para análise da geodiversidade brasileira e do patrimônio paleontológico, uma ferramenta atualmente utilizada é o geoprocessamento.

Diante disto, este trabalho tem como finalidade identificar as características das paleotocas reconhecidas no Quadrilátero Ferrífero, em termos geomorfológicos e geológicos que podem servir de guias para a modelagem de potenciais terrenos propícios para a descoberta de novas ocorrências no Quadrilátero Ferrífero. A modelagem computacional é o instrumento a ser utilizado para a definição dos terrenos potenciais de ocorrência de paleotocas. O método utiliza uma série de procedimentos para se chegar a um produto final, um diagnóstico, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas.

1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

As paleotocas estudadas neste trabalho se localizam nas serras do Curral e Gandarela, ambas situadas na região central do estado de Minas Gerais, Brasil. Estão geograficamente situadas próximas a capital mineira, Belo Horizonte, a sul e sudeste respectivamente. Ambas as serras estão enquadradas na região nordeste do Quadrilátero Ferrífero. A paleotoca da Serra do Curral localiza-se na região sul da capital mineira (Figura 1.1), dentro dos limites do Parque Municipal das Mangabeiras, a uma distância de seis quilômetros da Praça Sete de Setembro, no Centro. A maneira mais prática de se chegar a entrada da paleotoca é, saindo do centro da capital mineira, pegar a Avenida dos Andradas sentido leste e convergir a direita na Rua Juramento, sentido sul até a Estrada da Baleia. Chegando ao Hospital da Baleia, ir por acesso de trilhas até as coordenadas da entrada da cavidade.

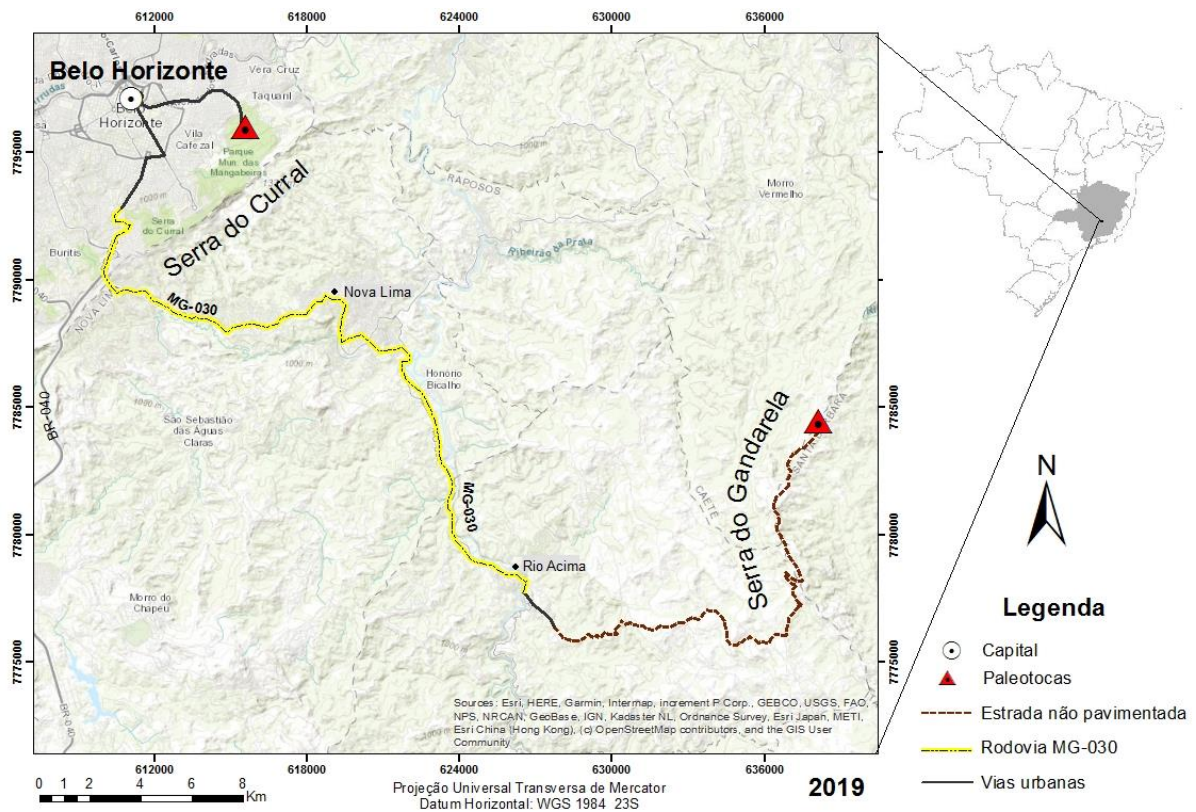


Figura 1.1- Mapa de localização e vias de acessos para as paleotocas da Serra do Curral e Serra do Gandarela.

Já a paleotoca da Serra do Gandarela localiza-se na divisa entre os municípios de Santa Bárbara e Caeté (Figura 1.1), próximo aos limites norte do Parque Nacional da Serra do Gandarela. Se distancia a 64 km da capital Belo Horizonte, com acesso por rodovias e estradas não pavimentadas, exigindo a utilização de carros de tração 4x4 para o acesso ao local. Saindo da capital mineira, sentido Rio de Janeiro, convergir a esquerda na rodovia estadual MG-030. Seguir a MG-030, sentido sudeste até o

município de Rio Acima, passando por Nova Lima. Chegando em Rio Acima, convergir a esquerda na Avenida Israel Pinheiro da Silva, sentido sudeste, até o acesso para a Serra do Gandarela, também a esquerda, em via não pavimentada. Continuar na estrada não pavimentada, sentido leste, até o Mirante da Serra (sentido Fazenda do Gandarela). Após o mirante, seguir na estrada não pavimentada, sentido norte, até as proximidades das coordenadas da cavidade, sendo acessada posteriormente por trilhas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos a conservação ambiental no Brasil tem enfrentado uma grande dificuldade: resguardar áreas de cangas que ainda não sofreram grandes mudanças na paisagem, já que em quase todas essas áreas existem projetos de mineração em fases de licenciamento ou implantação. A maioria desses geossistemas ocorre em Minas Gerais e uma dessas principais áreas está localizada no Quadrilátero Ferrífero, na região metropolitana da capital Belo Horizonte.

Estes geossítios registram a evolução da vida e representam relevantes registros da megafauna plio-pleistocênica neotropical, enfatizadas neste trabalho pelas paleotocas encontradas nas Serras do Gandarela e do Curral. O estudo das paleotocas de tetrápodes associadas aos substratos ferruginosos escavados, propiciam recursos importantes para uma interpretação paleoambiental e paleoecológica, por exemplo, fornecendo dados sobre o modo de vida desses animais extintos.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo principal refere-se à identificação e caracterização da ocorrência de paleotocas descobertas na Serra do Gandarela (tornada pública por Carmo *et al.* 2011 e Ruchkys *et al.* 2014) e no Parque das Mangabeiras (Faria *et al.* 2017), na Serra do Curral em termos geomorfológicos (disposição da abertura da paleotoca, altitude, declividade do terreno, posicionamento em relação ao platô) e geológicos (litologia da rocha escavada, espessura da cobertura de solo/canga, posicionamento estratigráfico, resistência à escavação) com vistas a modelar com o uso de sistema de informação geográfica, os terrenos do Quadrilátero Ferrífero com potencial de ocorrências de paleotocas, sobretudo em sistemas ferruginosos.

Os objetivos específicos são:

- Descrição das paleotocas da Serra do Gandarela e do Parque das Mangabeiras, suas características de extensão, altura e largura e a sua relação com a rocha escavada e com as coberturas litológicas ou lateríticas existentes;

- Reconhecimento de padrões geomorfológicos, pedológicos e litológicos de paleotocas em outros sistemas ferruginosos que possam ser utilizados como guias na prospecção de paleotocas no Quadrilátero Ferrífero;
- Discriminar potenciais áreas-alvos de prospecção de paleotocas no Quadrilátero Ferrífero no intuito de reduzir as pressões sobre as únicas paleotocas reconhecidas no Quadrilátero Ferrífero;
- Gerar um mapa das áreas de maior potencial de ocorrência de paleotocas no Quadrilátero Ferrífero, baseado nos padrões observados em outras paleotocas.

CONTEXTO GEOLÓGICO E ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

2.1 GEOLOGIA

A localização das paleotocas estudadas, geograficamente, são conhecidas como Serra do Gandarela e Serra do Curral. Estas serras, em termos geológicos, são estudadas como duas grandes estruturas tectônicas conhecidas como Sinclinal Gandarela e Homoclinal Curral. As duas estruturas estão localizadas na porção nordeste e norte do Quadrilátero Ferrífero (QF), província mineral de grande importância econômica para o Brasil, de onde são explorados principalmente minério de ferro e ouro. O Quadrilátero Ferrífero (Figura 2.1), localizado na província geotectônica São Francisco, possui área aproximada de 7000km² sendo mapeado por Dorr II *et al.* (1957), descrevendo sua estratigrafia e propondo modelos de evolução para a área. Foram determinadas quatro grandes unidades formadoras: os Complexos Metamórficos, o Supergrupo Rio das Velhas, o Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi, que ao longo do tempo foram sendo detalhados e modificados por trabalhos posteriores.

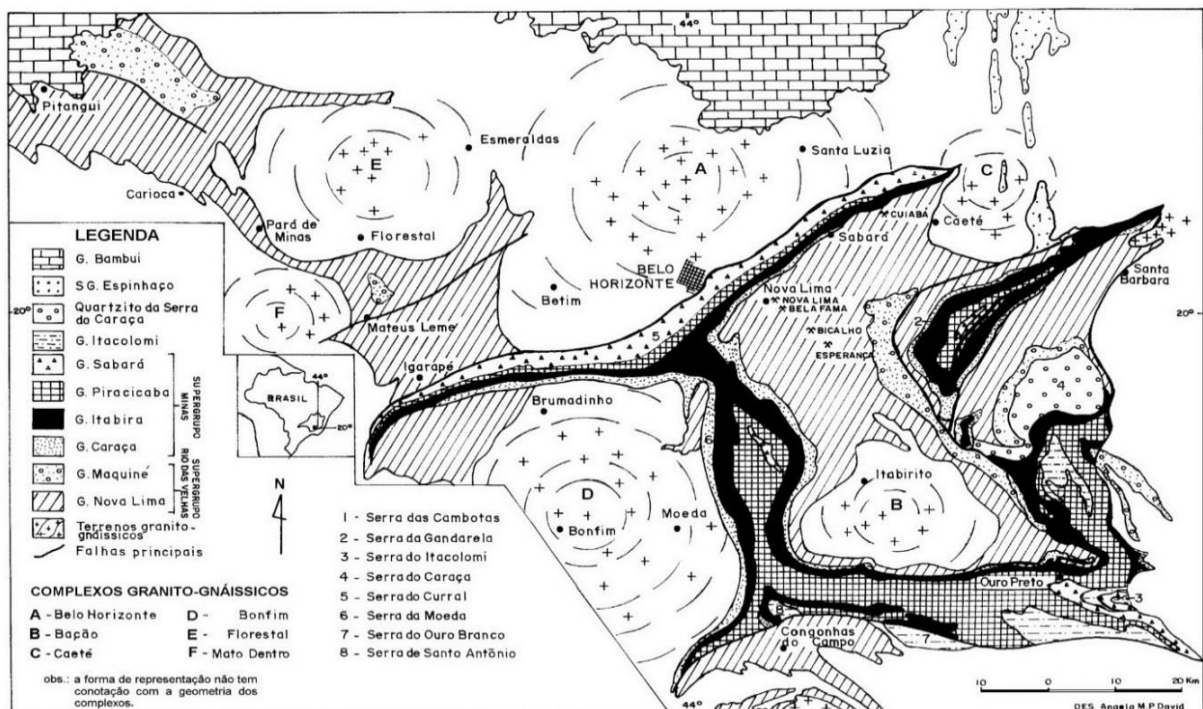


Figura 2.1 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero mostrando as ocorrências das unidades estratigráficas na região. (Retirado de Renger *et al.* 1994).

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero pode ser conferida na coluna estratigráfica (Figura 2.2) de Dopico *et al.* (2017), onde os autores compilaram trabalhos anteriores (Dorr II. 1969; Alkimin & Marshak 1998; Alkimin & Martins-Neto 2012) para chegarem um uma coluna mais recente, com dados

cronoestratigráficos mais completos. A estratigrafia é basicamente formada por rochas ígneas do tipo granito-gnáissico-migmatíticos do tipo TTG no embasamento (Noce *et al.* 1998), rochas metavulcano-sedimentares do *greenstone* Rio das Velhas (Loczy & Ladeira 1976), rochas metassedimentares típicas de margem passiva do Supergrupo Minas (Alkimin & Marshak 1998) e por rochas metassedimentares do Grupo Itacolomi (Dorr II 1969) no topo da estratigrafia.

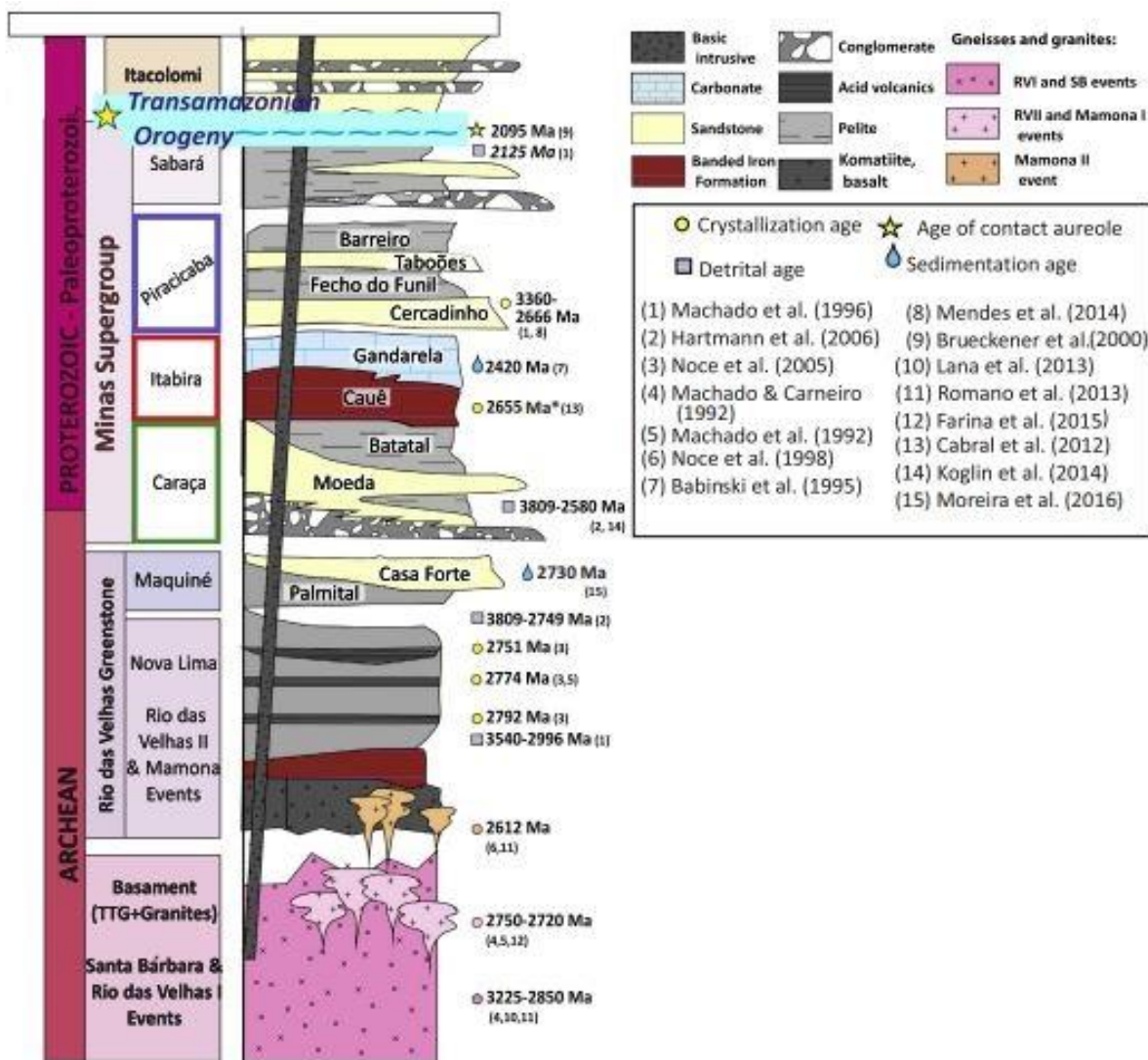


Figura 2.2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero com algumas idades. Retirado de Dopico *et al.* (2017).

O Sinclinal Gandarela e o homoclinal Curral são estruturas formadas segundo Marshak *et al.* (1997) por domos e quilhas, onde as quilhas seriam as estruturas sinclinais desenvolvidas nas rochas do Supergrupo Minas, cercadas pelos terrenos de *greenstones* Rio das Velhas e pelos domos dos complexos metamórficos (mais especificamente o complexo Belo Horizonte e Caeté), como mostrado na Figura 2.3. Da base para o topo, o Supergrupo Minas é formado pelos Grupos Caraca, Itabira, Piracicaba e

Sabará (Dorr II *et al.* 1957). O Grupo Carapa, é representado por rochas de sedimentação clástica, sendo a Formação Moeda, composta por conglomerados e metarenitos grossos a finos (Wallace 1958) na base e a Formação Batatal, composta por filitos de coloração fortemente cinza (Maxwell & Simmons 1958) no topo. Na sequência, o Grupo Itabira é representado por rochas de sedimentação química, sendo a Formação Cauê, composta por formações ferríferas bandadas metamorizadas (itabiritos) na base e pela Formação Gandarela, composta predominantemente por mármore dolomíticos no topo.

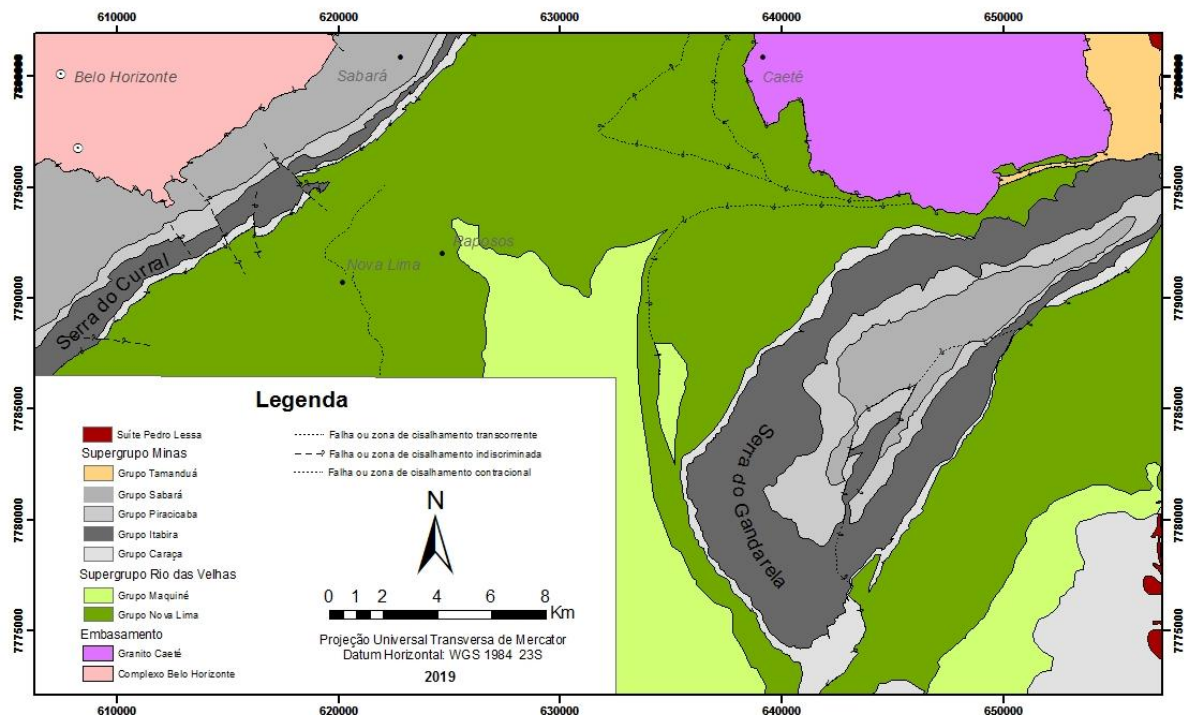


Figura 2.3 - Mapa geológico simplificado das regiões da Serra do Curral e Gandarela, nordeste do Quadrilátero Ferrífero. Compilado do Mapa Geológico de Minas Gerais (CPRM & CODEMIG 2014).

O Grupo Piracicaba (Dorr II *et al.* 1957), sotoposto ao Grupo Itabira em discordância erosiva, é representado por rochas metassedimentares como conglomerados, metarenitos e filitos, com grande presença de ferro em sua composição. É dividido da base para o topo em Formação Cercadinho, Fecho do Funil, Tabões e Barreiro. O Grupo Sabará aparece no topo do Supergrupo Minas, e é composto por rochas de origem metavulcano-sedimentares, predominantemente pelitos e grauvas, ocorrendo também conglomerados, metarenitos, filitos e rochas vulcânicas básicas e ácidas (Renger *et al.* 1994). É interpretado por Alkimin & Marshak (1998) como preenchimento de uma bacia de *foreland* do Paleoproterozóico.

As paleotocas descritas no Quadrilátero Ferrífero, como a do Gandarela, são associadas a sistemas ferruginosos (Ruchkys *et al.* 2014, 2015), ligados principalmente a lateritização de rochas do

Supergrupo Minas, mais especificamente as formações ferríferas bandadas da Formação Cauê, presente nas duas serras.

2.2 CLIMA

O Quadrilátero Ferrífero, segundo o IBGE (2002), possui em sua maior abrangência o clima tropical semi-úmido. Especificamente as regiões estudadas, podem ser consideradas também o clima tropical de altitude, com estações bem marcadas de inverno seco e verão chuvoso (Campos 1985). Já, segundo a classificação de Köppen, as regiões mais elevadas possuem características do tipo Cwb (Clima subtropical de altitude) e as mais baixas, do tipo Cwa (Clima subtropical úmido) (Brandalise 1999). A temperatura média anual situa-se em torno de 20° C e a precipitação média varia entre 1300 mm, na porção leste, a 2100 mm, na porção sul, em Ouro Preto (Herz 1978).

2.3 VEGETAÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero, segundo o IBGE, possui partes do bioma cerrado e partes do bioma mata-atlântica. O bioma mata-atlântica nos tempos atuais se resume a pequenos resquícios de matas, cerca de 6,45% das florestas estacionais semi-decíduais presentes em Minas Gerais (INPE 2009), visto a grande depredação ocorrida nos últimos séculos. Já o bioma cerrado, segundo Ruchkys *et al.* (2012) apresenta-se como um mosaico de fitofisionomias, representados por áreas florestais de matas ciliares e de galeria e por áreas abertas de campo limpo, sujo e cerrado, além de áreas intermediárias de cerradão e cerrado *stricto sensu*.

Na área de estudo, a presença de campo rupestre é significativa, por ser um tipo de vegetação de altitude, podendo estar sobre rochas quartzíticas e ferruginosas, associados ao Grupo Caraça e Itabira, mais resistentes ao intemperismo (Lamounier *et al.* 2010). De uma maneira geral, a vegetação do QF está associada ao tipo de solo e relevo local. Na área de ocorrência dos litossolos (mais elevadas) predominam os campos rupestres. Nas áreas de cambissolos (mais inclinadas) aparecem o cerrado e/ou floresta semi-decidual. Já nas porções mais baixas, onde predominam os latossolos, também temos cerrado e/ou florestas semi-decíduais (Behling & Lichte 1997, Salgado 2006).

2.4 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia do Quadrilátero Ferrífero possui características importantes para a compreensão de diversos fatores multidisciplinares, como o entendimento sobre climatologia, biologia, pedologia e geologia quaternária das áreas compreendidas entre as serras ferríferas.

A configuração dos domínios geomorfológicos do QF tem sido objeto de investigações geológicas desde a primeira metade do século XIX. O pioneiro das pesquisas foi Wilhelm Ludwig von Eschwege, designado por D. João VI, que tinha como intuito estimular a mineração de ouro no Brasil.

No início do século XX, vários autores se dedicaram ao estudo da geomorfologia do Quadrilátero Ferrífero, em especial à questão das superfícies de erosão e sua correlação com as superfícies de aplainamento da região sudeste do Brasil (Varajão 1991). Foram individualizados 3 grupos litológicos de acordo com sua erodibilidade: quartzitos e itabiritos, baixa; xistos e filitos, intermediários, e metagranitoides, alta.

King (1956) identificou quatro superfícies de erosão: Gondwana (1500-1600 m de altitude), Pós-Gondwana (1200-1300 m), Sul-Americana (900 m) e Velhas (650 m). Dorr (1969) revisou o trabalho de King, identificou mais 4 níveis de erosão e optou por seguir a nomenclatura e o esquema principal que havia sido estabelecida. O autor atribuiu os aspectos fisiográficos e a topografia da região, a um conjunto de elementos litoestruturais (como a complexidade composicional, a granulometria, o grau de cisalhamento, o fraturamento e o isotropismo das rochas) associados a uma sucessão de soerguimentos epirogenéticos.

Posteriormente ao trabalho de Dorr, os trabalhos no QF são agrupados em superfícies de aplainamento, erosão diferencial de longo-termo, evolução de encostas e evolução de vales fluviais.

Foram identificadas, descritas e datadas superfícies erosivas em regiões próximas a Serra do Caraça (Maxwell 1972, Lichte 1979). Barbosa (1980) julgou como questionáveis as idades das superfícies, dado a ausência de material paleontológico para datações das feições e uma cronocorrelação realizada por diferentes autores. Da mesma forma, Varajão (1991) concluiu que a qualidade da diferenciação de patamares erosivos é devido a escala dos mapas, e, deste modo, a datação deve ser um método comedido.

Valadão (1998) conclui que uma individualização das superfícies de aplainamento seria inviável; visto que a erosão diferencial na estruturação das superfícies produziria um mesmo patamar em cotas diferentes.

Segundo Varajão *et al.* (2009) o Quadrilátero Ferrífero apresenta raízes de estruturas metassedimentares proterozóicas, com feições de um relevo jovem, em destaque sobre um mar de colinas de rochas cristalinas do Arqueano. Os dobramentos na região são característicos, no qual os anticlinais foram denudados e os sinclinais, com abas mais resistentes por questões litológicas, permaneceram suspensas, mostrando uma nítida inversão de relevo. Para Hader & Chamberlin (1915 *in* Varajão *et al.* 2009), a erosão diferencial é ocasionada pela presença de quartzitos e itabiritos nas terras altas, xistos-filitos nas terras medianas e granito-gnaisses nas terras baixas.

Outros trabalhos mais recentes com a finalidade de modelar a formação de relevo do Quadrilátero Ferrífero, tem, em comum consenso, a erosão diferencial como gênese da paisagem local (Varajão *et al* 2009).

Vários trabalhos se dedicaram a calcular as taxas de denudação geoquímica em águas fluviais. Outras publicações buscaram compreender as taxas de erosão de longo-termo em rochas, solos e veios de quartzo acrescidas às taxas de denudação em sedimentos fluviais. Percebeu-se que, nas rochas carbonáticas a denudação alta; sendo média em granitos, gnaisses, xistos e filitos, e baixa em quartzitos e itabiritos (Salgado *et al.* 2004). Os resultados das taxas de denudação comparados as taxas de erosão de longo-termo, foram concordantes e reforçaram a importância da erosão diferencial na evolução do relevo (Salgado *et al.* 2006, 2007; Varajão *et al.* 2009).

Outro fator a ser considerado é a formação de coberturas de canga sobre as superfícies superiores, como papel importante na proteção destas zonas mais elevadas, após constante e intenso processo erosivo durante o Eoceno (Varajão *et al* 2009).

A paisagem na região, especialmente no embasamento cristalino, é repleta de feições resultantes do processo de erosão, denominadas voçorocas. Para entender a evolução das encostas, foram realizados trabalhos buscando a compreensão dos controles das formas erosivas. A exposição do saprolito, que é mais erodível que o horizonte B, potencializa o voçorocamento dos solos (Parzaneze 1991). A evolução das formas está relacionada à queda ou escorregamento de material das paredes e solapamento e colapso de taludes (Sobreira 1998). Além disso, o autor sugere que há uma estabilidade ou evolução lenta das feições. Dados coletados em uma voçoroca em Itabirito, demonstraram pouca relação com erosão hídrica subsuperficial. Ao passo que, parecem ser determinantes processos de queda de blocos, erosão hídrica superficial, rastejo e escorregamentos rotacionais e planares (Drummond & Bacellar 2006). As taxas de avanço da voçoroca sugeriram uma estabilização e confirmaram a hipótese de Sobreira (1998).

No que diz respeito a evolução de vales fluviais, os estudos buscaram interpretações sobre a dinâmica climática e/ou neotectônica da área. Várias publicações caracterizaram a tipologia de níveis deposicionais e analisaram e dataram as fácies dos pacotes sedimentares associados (terraços aluviais). Os estudos se concentraram nas bacias do alto Rio das Velhas, médio Rio Paraopeba e alto Rio Doce (Magalhães Jr. & Saadi 1994, Santos *et al.* 2009, Lana 2010, Magalhães Jr. *et al.* 2012, Barros & Magalhães Jr. 2018, 2019).

Na área de estudo, a geomorfologia do Quadrilátero Ferrífero descrita anteriormente se faz presente, sendo as duas serras consideradas províncias geomorfológicas do QF, mostrando todos os aspectos dos terrenos altos, médios e baixos, com cristas exuberantes e formação de coberturas de cangas em seus cumes. A serra do Gandarela possui orientação SW- NE, mais aberta na porção SW e fechada na porção NE (Figura 2.4). A maior altimetria da serra se localiza na porção SW e atinge cota

aproximada de 1600 metros. A menor altimetria se localiza no interior do Sinclinal, com cota de 770 metros, próximo ao rio São João (Fonseca 2014). A proteção de canga está bem preservada (Figura 2.5), possuindo cerca de 40% das áreas restantes de canga no QF (Carmo 2010).

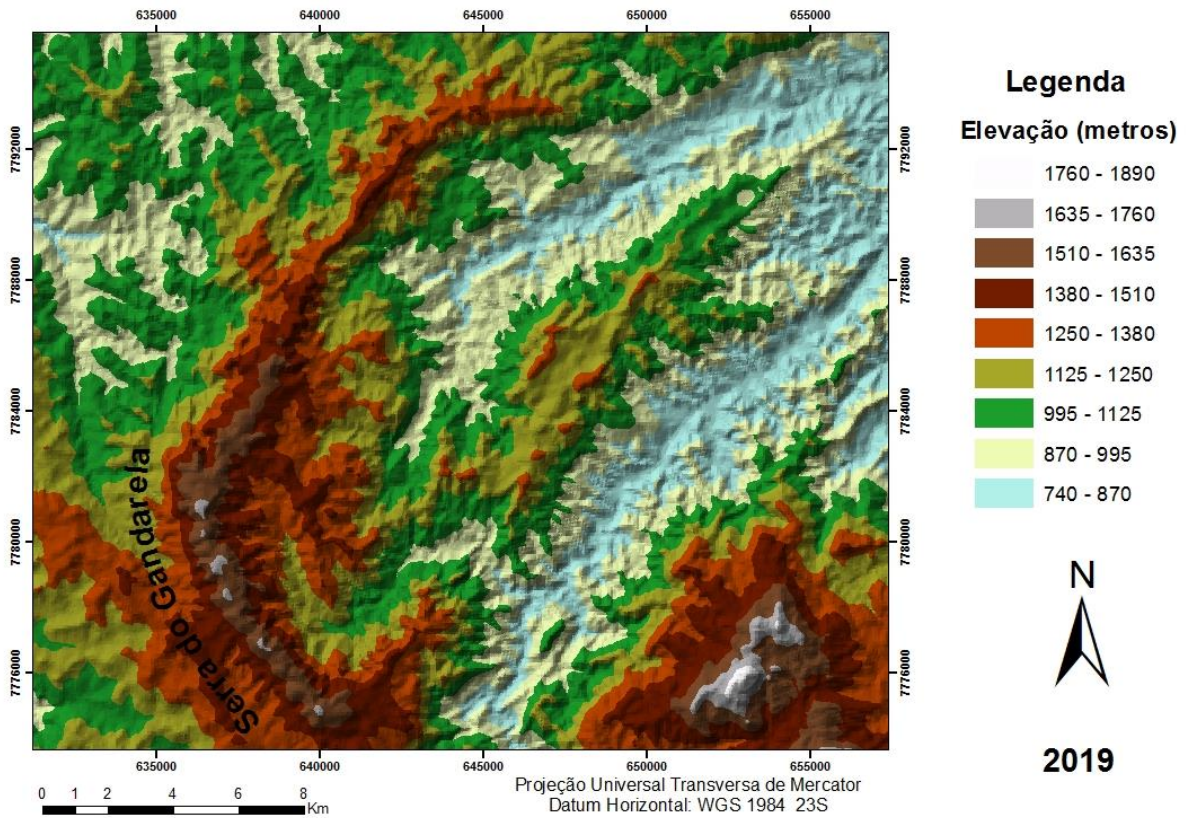


Figura 2.4 - Mapa hipsométrico da Serra do Gandarela, mostrando nítida geometria SW-NE.



Figura 2.5 - - Relevo da Serra do Gandarela sustentado por coberturas de canga, evidentes na porção direita da foto. Retirado de <http://www.minasgerais.com.br/pt/atracoes/santa-barbara/parque-nacional-da-serra-do-gandarela>.

A Serra do Curral, é considerada a divisa entre o QF e a capital mineira Belo Horizonte, sendo a última serra ferrífera a norte. Possui orientação SW-NE (Figura 2.6), e morfologia delgada. A serra, formada pelas rochas do Supergrupo Minas, apresenta cristas com vertentes ravinadas (Figura 2.7), protegidas por cobertura de cangas e vales encaixados, com eventuais superfícies aplainadas (Brandalise 1999). A linha de crista é retilínea e alongada, variando entre 1.150 a 1500 metros de altitude. As cotas diminuem em sentido ao complexo Belo Horizonte, onde as altitudes chegam a 840 m, com relevo de morros e colinas (Duarte & Paraguassu 2012) e a 700 m em sentido ao vale do Rio das Velhas, próximo ao município de Raposos.

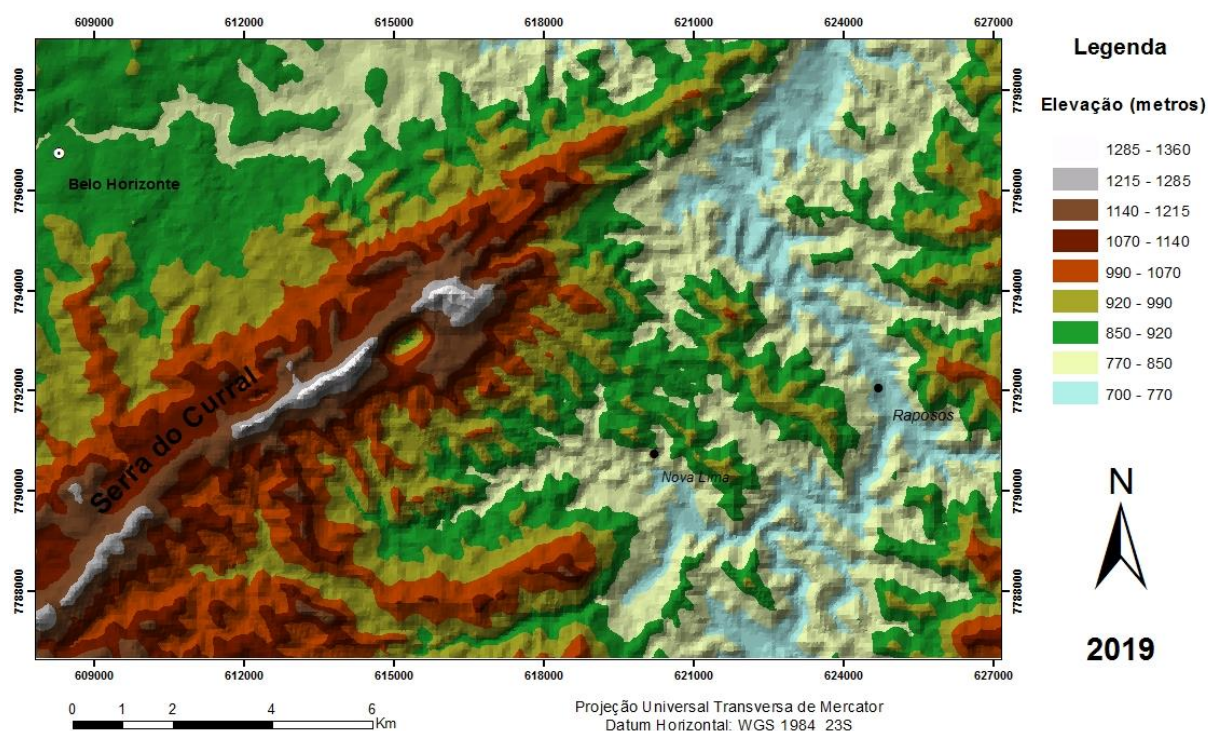


Figura 2.6 - Mapa hipsométrico da Serra do Curral na região do Parque das Mangabeiras - Belo Horizonte, mostrando orientação SW-NE.

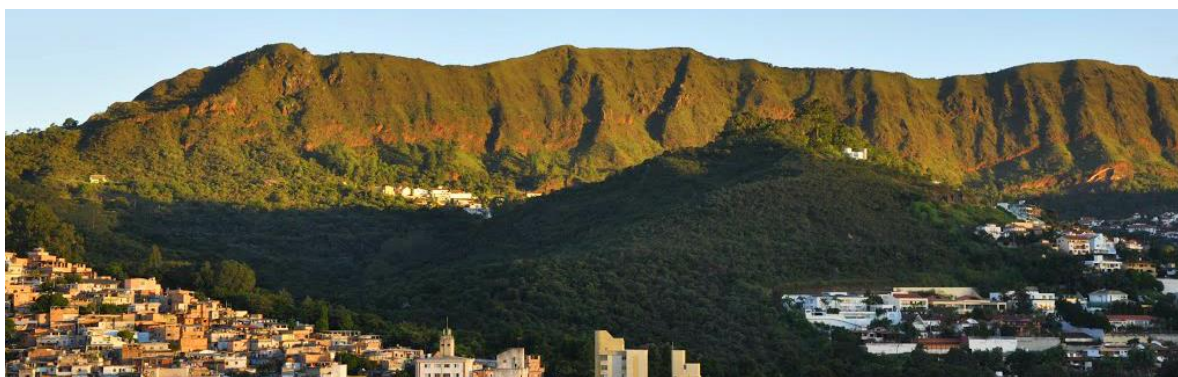


Figura 2.7 - Visada para SE da Serra do Curral, mostrando a crista ravinada, sustentada por canga. Retirado de <http://patrimoniocultural.blog.br/serra-do-curral/>.

CAPÍTULO 3

EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 CONCEITOS DE PALEOTOCAS E CARACTERÍSTICAS GERAIS

Comumente encontramos na literatura estudos relacionados à escavação de tocas; de vários tamanhos e atribuídas a diferentes organismos marinhos e terrestres, desde pequenos invertebrados até aves, répteis e grandes mamíferos. O estudo desses vestígios provenientes das atividades de animais em rochas e sedimentos é incumbido à Icnologia e divide-se em dois grupos: paleoicnologia e neoicnologia. A neoicnologia trata-se do estudo dos icnitos recentes, enquanto a paleoicnologia ocupa-se dos icnitos de organismos que viveram no passado, os icnofósseis (Bromley 1996 *apud* Fernandes *et al.* 2007). Nos últimos anos, especificamente na América do Sul, pesquisadores têm difundido descobertas de tocas com dimensões tão grandes que não podem ser atribuídas a qualquer espécie viva, sendo, portanto, classificadas como icnofósseis. Essas estruturas, às quais trataremos nesse trabalho, são denominadas paleotocas.

Os substratos onde as paleotocas foram escavadas são bastante variados (Tabela 3.1), desde friáveis até muito resistentes, sendo descritas em matrizes sedimentares, basálticas, granito-gnáissicas e cangas originadas de depósitos ferríferos (Buchmann *et al.* 2003, 2009; Carmo *et al.* 2011a, b; Ruchkys *et al.* 2014). Portanto, para Bergqvist & Maciel (1994), uma paleotoca seria um resultado do processo de bioerosão, similar a um túnel feita por vertebrados (Figura 3.1 A, B). Se essa estrutura foi preenchida por material terrígeno, sendo possível observar cor e textura distintas do material ao entorno, denomina-se crotovina (Buchmann *et al.* 2003, 2005; Lopes & Buchmann 2008) (Figura 3.1 C,D). Ambas as estruturas têm função de moradia, permanente ou de refúgio, podendo relacioná-las segundo critério etológico aos icnofósseis *Domichnia* (Buchmann *et al.* 2003, 2009). Conforme Carvalho (2010) as principais atividades associadas a produção de icnoestruturas são deslocamento, habitação, alimentação e reprodução.

Muito raramente encontra-se restos fossilizados de um animal no interior da paleotoca e, quando encontrado, é provável que não seja o animal que a escavou (Voorhies 1975). Muitos animais coabitam ou residem temporariamente tocas escavadas por outros (Genise 1989; Groenewald *et al.* 2001; Varrichio *et al.* 2007). Desta forma, a inexistência de restos fósseis do organismo escavador dificulta a distinção do mesmo, mas é comum que as galerias exponham marcas de arrasto da carapaça e/ ou marcas de garras nas paredes e nos tetos (Figura 3.2). Bittencourt *et al.* (2015) explicam que a paleotoca seria composta então, por dois icnofósseis: as marcas de garras nas paredes e o conjunto total de túneis.

Tabela 3.1 - Diferentes tipos de substratos aos quais as paleotocas foram escavados.

ESTADO	ICNOFÓSSIL	SUBSTRATO	REFERÊNCIAS
Rio Grande do Sul	Paleotoca e Crotoquina	Basalto Alterado	Frank <i>et al.</i> (2008a,b); Lazzari <i>et al.</i> (2017)
Rio Grande do Sul	Paleotoca e Crotoquina	Sedimento Aluvial	Buchmann <i>et al.</i> (2009)
Rio Grande do Sul	Paleotoca	Arenito Eólico	Frank <i>et al.</i> (2010); Buchmann <i>et al.</i> (2012)
Rio Grande do Sul	Paleotoca	Rocha Ígnea Alterada/Sedimento Aluvial	Schneider <i>et al.</i> (2014)
Santa Catarina	Paleotoca	Siltito Permiano	Buchmann <i>et al.</i> (2008)
Santa Catarina	Paleotoca	Arenito Jurássico	Buchmann <i>et al.</i> (2008); Frank <i>et al.</i> (2012)
São Paulo	Crotoquina	Sedimento Aluvial	Buchmann <i>et al.</i> (2005, 2009)
São Paulo	Crotoquina	Metacalcário Alterado	Buchmann <i>et al.</i> (2009)
Minas Gerais	Paleotoca	Formação Ferrífera Bandada	Carmo <i>et al.</i> (2011a,b)
Minas Gerais	Paleotoca	Canga/Saprolito	Carmo <i>et al.</i> (2011a,b); Ruchkys <i>et al.</i> (2014); Faria <i>et al.</i> (2017)
Minas Gerais	Paleotoca	Metadiamicrito Hematítico	Carmo <i>et al.</i> (2011a,b); Buchmann <i>et al.</i> (2016)
Rondônia	Paleotoca	Sedimento Laterizado	Adamy (2016)



Figura 3.1 - Diferença entre paleotoca e crotoquina: A) Entrada da paleotoca Arroio da Bica, no Rio Grande do Sul e B) Primeiro segmento da mesma caverna, visto de dentro para fora; C) Estrutura preenchida, podendo perceber cor e textura desigual ao entorno e D) Crotovinas na cidade de Ivoti, RS. (Imagens de: Frank *et al.* (2010), Lopes *et al.* (2017), Ogando *et al.* (2010)).

A quantidade de marcas nas paredes pode chegar a 700 marcas de garra por metro quadrado e os túneis interligados podem cobrir áreas de vários hectares, com comprimentos superiores a 300 metros (Frank *et al.* 2011). A presença dessas marcas é remetida potencialmente à dois mamíferos xenartros: i) dasipodídeos (tatus-gigantes) nas galerias com diâmetro entre 0,7 e 1,4 m; e ii) milodontídeos (preguiças-gigantes) nas galerias com diâmetro de mais de 4 m (Buchmann *et al.* 2016). Estes autores citam as espécies conhecidas desses mamíferos, sendo quatro espécies de tatus-gigantes de duas famílias diferentes: *Pamphatherium* sp. e *Holmesina* sp. (Pamphatheriinae), *Eutatus* sp. e *Propaopus* sp. (Dasypodidae); e entre as preguiças-gigantes cavadoras, duas espécies da família Mylodontidae: *Valgipes* sp. (*Nothrotherium*) e *Scelidotherium* sp. que habitavam o cerrado brasileiro e o pampa argentino, respectivamente (Zárate & Fasano 1989; Quintana 1992; Zárate *et al.* 1998; Vizcaíno *et al.* 2001; Cartelle *et al.* 2009; Lopes & Pereira 2010).

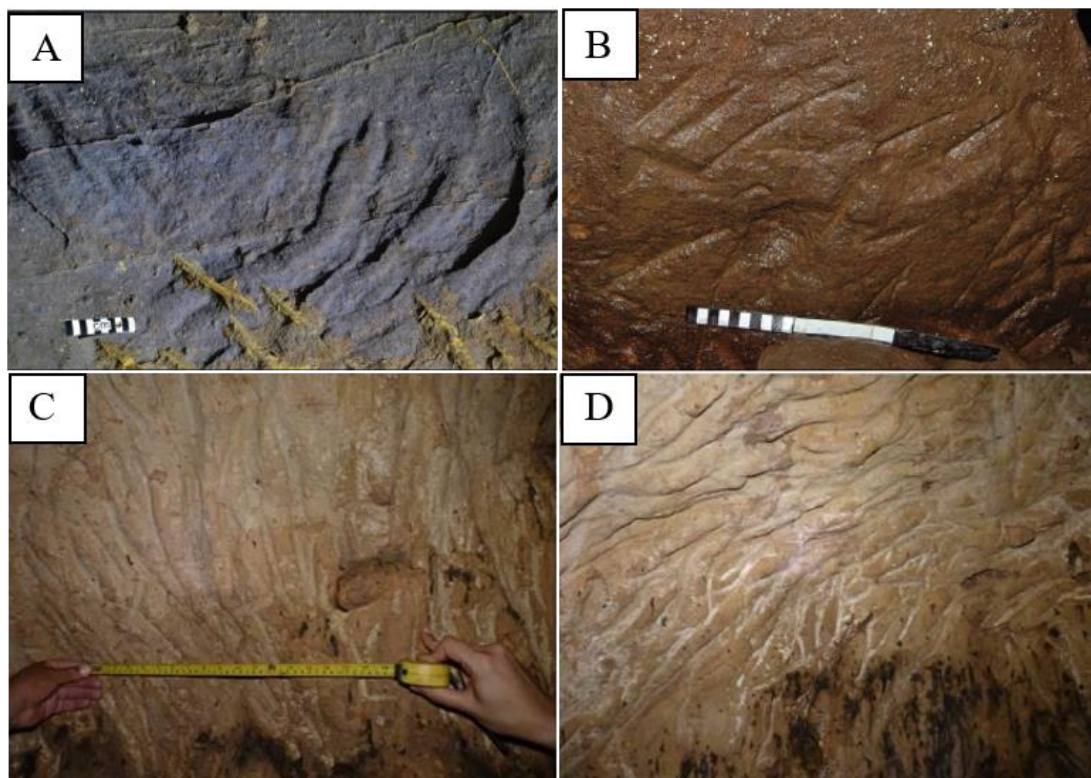


Figura 3.2 - Marcas de garras encontradas nas galerias: A e B) Conjunto de arranhões de grande porte; C e D) Marcas nas paredes e nos tetos, respectivamente, da Caverna Teto de Coral em Minas Gerais. (Imagens de: Frank *et al.* (2013), Carmo *et al.* (2011)).

Ambas as espécies (Figura 3.3) representam a megafauna de mamíferos de grande porte extinta que viveu no Plioceno e Pleistoceno (Buchmann *et al.* 2009, 2016). Estes animais apresentavam uma articulação acessória além das articulações comuns, a xenartria. Buchmann *et al.* 2016 explicam que esta adaptação pode representar uma especialização do esqueleto pós-craniano para a prática da escavação. Sendo assim, é compreensível o fato de os tatus conseguirem suportar sua carapaça, e as preguiças terrícolas suportarem seu peso e permanecerem de pé. Bargo *et al.* 2000 cita a importância da postura bípede para que os membros anteriores escavem a rocha, e Fariña & Vizcaíno (1997) e Vizcaíno *et al.* (1999, 2003) afirmam que, aos membros anteriores compete o hábito de cavar e aos membros posteriores, a sustentação do peso.

No que se refere à morfologia e ao método usado por esses animais para escavar as paleotocas, Frank *et al.* (2012) observaram sucessivas câmaras maiores interconectadas por passagens ligeiramente estreitas. Isto poderia indicar que a produção dos túneis demorou longos períodos e essas interrupções seriam para alimentação, sono, reprodução e/ou estivação; ou ainda, que as tocas foram reocupadas e estendidas em diferentes estágios (Frank *et al.* 2012, Lopes *et al.* 2017).

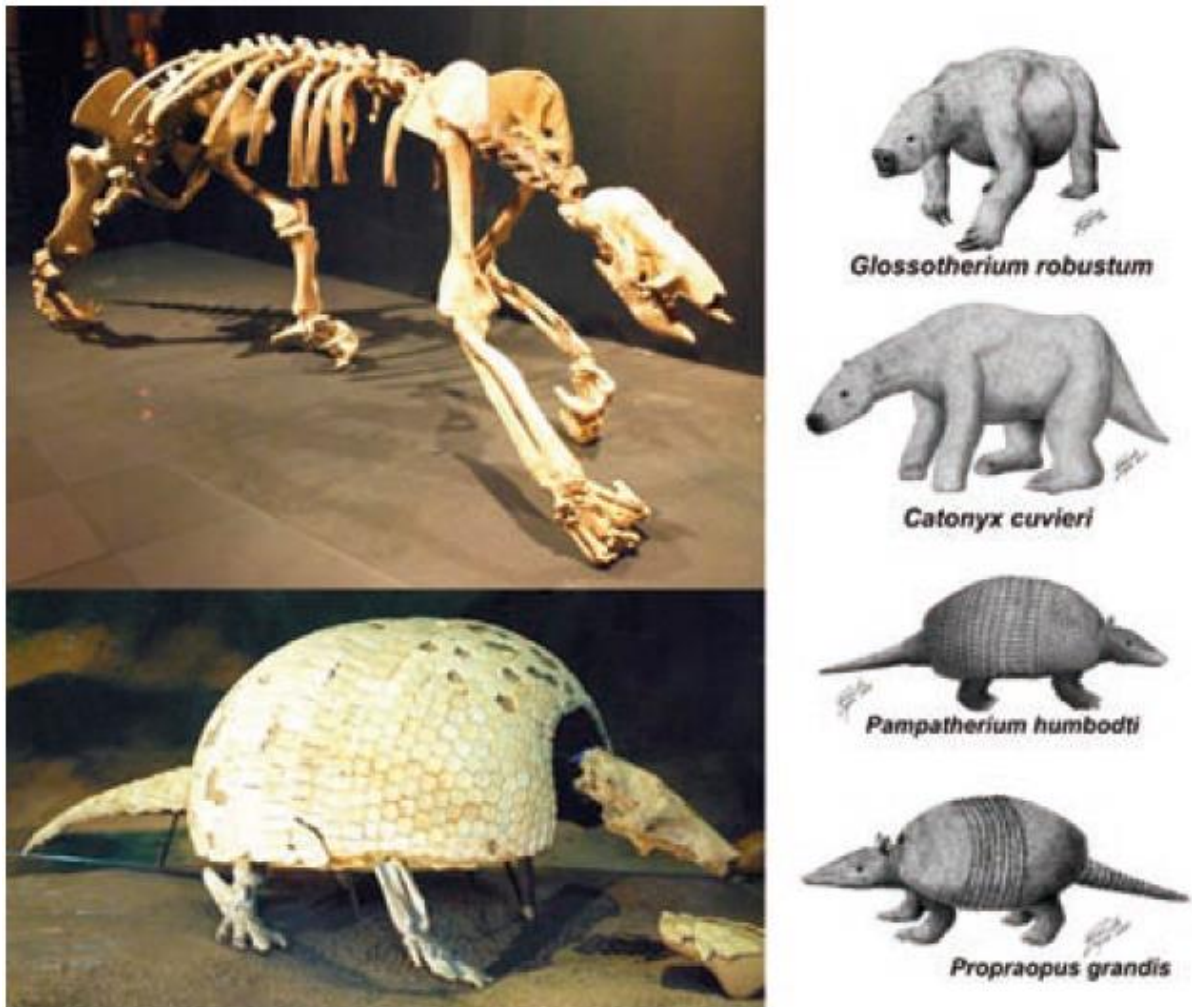


Figura 3.3 - Possíveis escavadores de paleotocas: esqueleto de *Nothrotherium* (preguiça-gigante) e *Pampatherium* (tatu-gigante). Fotos por Francisco Buchmann e desenhos de Renato Lopes. (Extraído de Carmo & Kamino (2015)).

Tanto as paleotocas quanto as crotovinas consistem de estruturas de bioerosão endógenas formadas em rochas intemperizadas ou não, apresentando seções elípticas ou circulares (Buchmann *et al.* 2011) (Figura 3.4 A,B,C). Frank *et al.* (2013) descreveram superfícies polidas nas paleotocas no Rio Grande do Sul (Figura 3.4 D) e concluíram que não poderiam ser o resultado da erosão de águas pluviais, pois estas teriam apagado as marcas de garras presentes na porção inferior das paredes. Para eles, estas superfícies seriam o efeito do desgaste da rocha pelo atrito dos pêlos das preguiças-gigantes. Buchmann *et al.* (2016) identificaram uma distribuição agrupada de paleotocas no norte de Minas Gerais, além de 1 a 3 superfícies polidas elípticas em uma mesma paleotoca. Estas evidências mostram um hábito gregário e um local de repouso bem definido pelos organismos, podendo inclusive dormir juntos. Outra possibilidade é que o alisamento tenha sido intencional, produzido pelos animais se esfregando nas paredes propositalmente, para remover parasitas ou se coçar (Lopes *et al.* 2017).

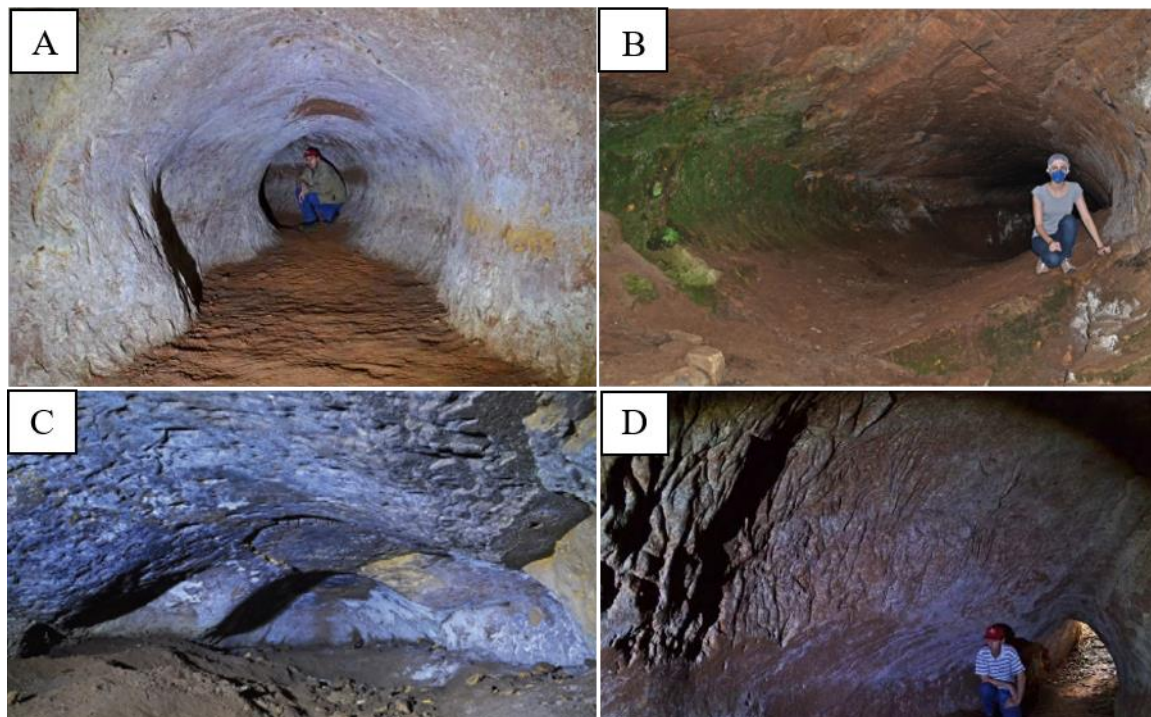


Figura 3.4 - Seções côncavas, elípticas e polidas encontradas em paleotocas. A e B) Formatos côncavos e elípticos, respectivamente; C) Sucessivas superfícies côncavas na Caverna de Boqueirão do Leão (RS); D) Parede lisa na parte inferior e irregular na parte superior. (Imagens de: Frank *et al.* (2012, 2013)).

Uma proposta de classificação formal para as paleotocas e crotovinas, baseada nas diferenças de dimensões e na observação da estrutura física, é apresentada por Lopes *et al.* (2017). Os autores sugerem o agrupamento de duas espécies (*Megaichnus minor* e *Megaichnus major*) em um único gênero (*Megaichnus*). Assim, *Megaichnus minor* englobaria tocas subcirculares a subelípticas, horizontais a inclinadas, com dimensões variando de 0,6 a 1,5 metros de largura; 0,5 a 0,9 metros de altura e comprimento total de até 30 metros no mínimo. *Megaichnus major* englobaria megatocas subelípticas, sub-horizontais, com cerca de 2 metros de altura e até 4 metros de largura, que podem ultrapassar os 50 metros de comprimento (Figura 3.5).

Frank *et al.* (2018) definiram como paleotocas de grande porte, aquelas estruturas que apresentam entre 1,5 e 4 metros de largura, 1 e 2 metros de altura e dezenas de metros de comprimento, chegando até uma extensão total de mais de cem metros, somados os túneis interligados.

Várias hipóteses defendem que muitos grupos de tetrápodes teriam escapado das grandes extinções no Permiano (incluindo a ocorrida no limite P-T) graças a habilidade de escavar. Em campo, Buchmann *et al.* (2003) observaram um padrão de ocorrência das tocas, com preferência para lugares altos com visão panorâmica e uma fonte de água próxima. Afirmaram ainda que, a cautela quanto a

inundações levaria à escolha por esses desníveis topográficos. De fato, o local e a forma, como esses animais construíram suas tocas, sugerem uma estratégia para escapar de situações de clima extremas, esconderijo de predadores, melhor e mais seguro acesso à água e à comida (Dentzien-Dias *et al.* 2012). Do ponto de vista de Frank *et al.* (2011) as paleotocas estão presentes em áreas que não são nem planas nem com relevo por demais acidentado.

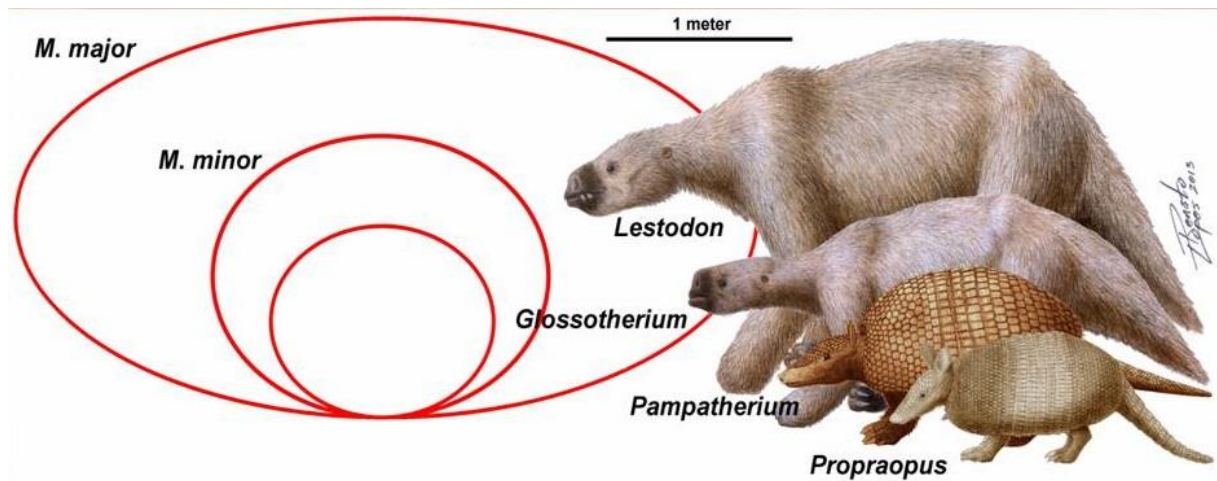


Figura 3.5: Comparação entre os diâmetros das paleotocas e os organismos que poderiam tê-las escavado. (Extraído de Lopes *et al.* (2017)).

Há um consenso entre os pesquisadores da região sul do Brasil a respeito das condições climáticas em que as paleotocas foram escavadas. Apesar dessa definição em relação ao clima carecer de investigações paleoclimáticas, acredita-se que seria um clima bem mais seco que o atual e que, atualmente, a elevada umidade em quase todos os túneis tornaria impossível a habitação dos mesmos, ou de qualquer humano ou animal (Frank *et al.* 2011).

De fato, a umidade presente nas paleotocas pode ser intensa dependendo da litologia na qual foram escavadas, do grau de abertura para a superfície e do clima na região (Figura 3.6 A). Foram descritas por Frank *et al.* (2011) grandes infestações de fungos nas paredes e nos tetos de algumas paleotocas (Figura 3.6 B). Resultados de uma análise realizada por Landell *et al.* (2010) em espécies de fungos nas paleotocas demonstraram que, uma das espécies pode ser perigosa para humanos com baixa auto-imunidade, ocasionando risco de infecção pulmonar.

Atualmente, também vivem muitas espécies de animais dentro das paleotocas, que utilizam o espaço como abrigo e/ou alimentação (Figura 3.7). Como dito, a reocupação de tocas por outras espécies é bastante comum. Frank *et al.* 2011 citam grilos, opiliões, borboletas marrons e aranhas grandes de várias espécies; mais raramente, rãs, pererecas e pequenos caranguejos-de-água-doce nas porções

inundadas; e extremamente raros, as lacraias. Nas paleotocas em rochas plutônicas e vulcânicas alteradas, frequentemente ocorrem morcegos, mas não naquelas escavadas em arenitos. Ao passo que, os autores nunca encontraram animais como serpentes, felinos e outros, associados comumente a cavidades subterrâneas.

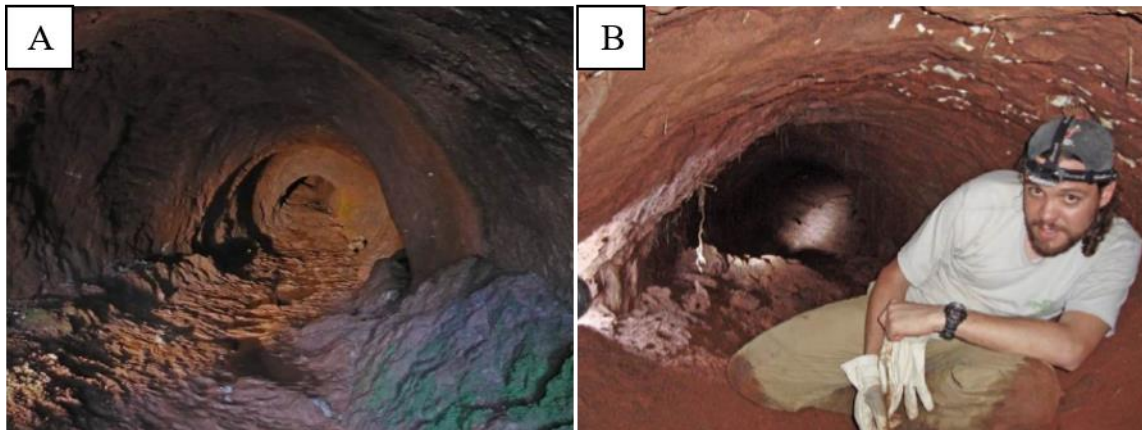


Figura 3.6: Umidade atual nas paleotocas. A) Paleotoca em Novo Hamburgo (RS) onde a água adentra no túnel por uma fresta na parede e corre continuamente pelo piso. B) Colônia de fungos no teto de uma paleotoca em Estância Velha (RS). Imagens de Heinrich Frank e Felipe Cairon.



Figura 3.7: Exemplos de morcegos e insetos que podem ser encontrados em paleotocas. (Fotos de: Francisco Buchmann)

Determinar a idade das galerias é um dos grandes desafios para os pesquisadores de paleotocas. Estima-se que as galerias possuam idades entre 3 milhões de anos (Quintana 1992) e 400 mil anos (Buchmann *et al.* 2009); mas, devido a ocorrência em depósitos pleistocênicos, não se descarta a possibilidade de idades próximas a 10 mil anos (Buchmann *et al.* 2011). Uma das opções para datação dos túneis é sugerida por Frank *et al.* (2011); e refere-se a um método aplicado na reconstrução paleoambiental de sedimentos recentes. O procedimento consistiria na pesquisa de pólenes e esporos fósseis encontrados na porção final de paleotocas longas, total ou parcialmente entulhadas com sedimentos e que se conservaram secas ou, pelo menos, não alagadas.

3.2 PALEOTOCAS NO EXTERIOR

Não se tem conhecimento acerca de paleotocas com dimensões consideráveis na Europa, na África ou na América do Norte. Muito provavelmente, nos terrenos europeus e norte-americanos, a ausência se daria em decorrência dos eventos de glaciação que ocorreram ao longo de 0,6 Ma e desmantelaram a paisagem, apagando qualquer vestígio que pudesse existir (www.ufrgs.br/paleotocas).

Por outro lado, na América do Sul, estes registros são mais comuns. As primeiras publicações mencionam paleotocas e crotovinas no litoral argentino entre as cidades de Mar del Plata e Miramar (Província de Buenos Aires), em sedimentos areno-lamosos, de idade Plio-Pleistoceno (Ameghino 1908, Frenguelli 1921, 1928, Kraglievich 1952 *apud* Buchmann *et al.* 2016). Nestes afloramentos os túneis com diâmetro entre 0,7 e 1,5 metros foram atribuídos a tatus-gigantes (Zárate & Fasano 1989 *apud* Buchmann *et al.* 2009, Quintana 1992, Zárate *et al.* 1998, Vizcaíno *et al.* 2001). Outros estudos, descrevem túneis maiores com até 15 metros de comprimento, alguns deles associados a restos fósseis de preguiças-gigantes (Isla & Dondas 2001, Dondas *et al.* 2009). Para estes autores, a grande quantidade de cavidades nesta região estaria relacionada à topografia acidentada, terrenos estáveis (não-inundáveis) e próximos a antigos corpos d'água.

Na Patagônia, também há registros fósseis de preguiças-gigantes dentro de tocas. No sul do Chile, em Última Esperanza, uma delas ficou muito conhecida - a Cueva del Mylodon, onde foram encontrados restos mumificados, incluindo pedaços de couro com pêlos grossos (Borrero *et al.* 1991, Bargo *et al.* 2006).

No Uruguai, as paleotocas foram registradas em formações geológicas análogas às descritas no sul do Brasil. Ogando *et al.* (2010) encontraram um grande número de paleotocas muito bem preservadas em arenitos eólicos do Jurássico. Algumas delas, eram reconhecidas como cavernas e visitadas há mais de um século. Nas grandes áreas de rochas graníticas alteradas que se estendem até o Rio Grande do Sul, a existência de túneis de paleovertebrados pode ser associada a uma série de características cársticas como dolinas, sumidouros e grandes crateras (Ogando *et al.* 2011).

Há entre os pesquisadores, uma discussão acerca dos termos que se referem à paleotocas em outros idiomas. Não há uma palavra específica no idioma alemão. Em inglês, a palavra “*palaeoburrow*”, é comumente utilizada para túneis escavados por paleovertebrados, mas sobretudo, à tubos de invertebrados como minhocas e vermes. Embora haja registros antigos na América do Sul, o termo em espanhol “*paleocueva*”, foi introduzido pelos pesquisadores para túneis escavados por paleovertebrados recentemente (Quintana 1992, Zárate *et al.* 1998, Vizcaíno *et al.* 2001). Ogando *et al.* (2010) fazem uma analogia considerando as diferentes funções do túnel, como o caráter funcional de esconderijo, mas também de local para parir, coexistindo mãe e filhotes na toca. Sendo assim, sugerem os termos em espanhol “*paleomadrigueras*” ou “*paleoguaridas*”, como sendo mais próximos da palavra em português.

3.3 PALEOTOCAS NO BRASIL

No Brasil, o primeiro registro de tocas de grandes dimensões foi publicado na década de 1930 (Padberg-Drenkpol 1933 *apud* Lopes *et al.* 2017), embora não reconhecidas como produto de processo bioerosivo. Posteriormente, no sul do Brasil, Bergqvist & Maciel (1994) identificaram tocas preenchidas com sedimentos, com a forma e as dimensões semelhantes àquelas conhecidas na Argentina, reconhecendo-as assim, como produto de atividade biogênica e classificando-as como crotovinas.

Até o ano de 2011, haviam sido identificadas 100 paleotocas e 200 crotovinas no Brasil (Buchmann *et al.* 2011). Atualmente, são mais de 1500 descobertas no país (Lopes *et al.* 2017) em sua maioria na região sul, destacando-se a área no entorno da cidade de Porto Alegre (RS), com mais de 400 ocorrências (Figura 3.8). No Rio Grande do Sul, Santa Catarina e no Paraná (Buchmann *et al.* 2003, 2008, 2009; Frank *et al.* 2011, 2012, 2013; Corrêa *et al.* 2014; Schneider *et al.* 2014; Lazzari *et al.* 2017) foram descobertas centenas delas. Na região sudeste, foram encontradas em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Buchmann *et al.* 2005, 2008, 2016; Frank *et al.* 2011; Carmo *et al.* 2011a,b; Ruchkys *et al.* 2014). Na região norte, Adamy (2016) relata uma paleotoca com dimensões surpreendentes.

Na região Sul, há estimativas de que a densidade possa chegar a pelo menos um túnel ou conjunto de túneis a cada dois ou três quilômetros quadrados; podendo abranger uma área de vários hectares como a ocorrência descrita em Minas Gerais (Frank *et al.* 2011).

Cerca de 60-70% das ocorrências são crotovinas e a maioria das paleotocas possui um acúmulo de sedimentos até certo nível. Este fato, se deve aos processos geológicos que atuam erodindo ou obstruindo os túneis, e à entrada de águas meteóricas, que aumentam sua largura pela erosão do chão e abatimento dos tetos (Lima *et al.* 2011) (Figura 3.9).

Uma discrepância na distribuição de paleotocas de grande porte nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul é evidenciada por Frank *et al.* (2018). De acordo com os autores, como a geologia, relevo e paleoclima são similares, então a distribuição das espécies de animais escavadores seria desigual. Enquanto em Santa Catarina as ocorrências de grande porte são relativamente comuns, no Rio Grande do Sul, ocorrem mais de uma centena de paleotocas, mas apenas três delas são consideradas de grande porte (Agudo, Boqueirão do Leão e Nova Hartz).

Na Amazônia, em Rondônia, há um registro do que seria a maior paleotoca já encontrada. Suas extensões longitudinais ultrapassam 600m somadas todas as ramificações, as larguras entre 1,0 e 2,20m e altura média de 2m; sendo estimado um volume de aproximadamente 1800 m³ escavados em sedimentos laterizados, parcialmente ferruginosos (Adamy 2016). Ao que parece, o túnel originalmente escavado, foi ampliado por processos erosivos consequentes da infiltração de água, principalmente em períodos chuvosos. Segundo o autor, foram identificadas marcas de garras nas paredes e nos tetos e, corroborando a teoria de um potencial organismo escavador, nas proximidades é comum encontrar fragmentos fósseis de preguiças gigantes em paleoaluviões.

3.4 PALEOTOCAS EM GEOSISTEMAS FERRUGINOSOS

Os primeiros registros de icnofósseis em litotipo ferruginoso foram descritos por Carmo *et al.* (2011a,b) na região conhecida como Vale do Rio Peixe Bravo (MG). Situado na região norte de Minas Gerais, a localidade se destaca juntamente com outra próxima, conhecida como Vale dos Gigantes, onde foram registradas sete paleotocas (Buchmann *et al.* 2015). No Vale do Rio Peixe Bravo, inicialmente haviam sido identificadas por Carmo *et al.* (2011b) três paleotocas (Teto de Coral, Três Buracos e Mocororô - Figura 3.10), mas estudos posteriores identificaram outras, totalizando 09 paleotocas: 08 foram atribuídas a preguiças-gigantes de dois dedos e 01 atribuída a tatus-gigantes (Buchmann *et al.* 2015). Peculiaridades como abundantes marcas de garras duplas, algumas em altura de 3,1 metros e o excelente estado de preservação das galerias, foram cruciais na identificação do milodontídeo como organismo responsável pela escavação ou ampliação das cavidades.

O fato das paleotocas estarem diretamente sobre cangas demonstrou o grande potencial de escavação desses organismos para litotipos de extrema resistência mecânica. De acordo com Frank *et al.* (2010), muitas cavernas brasileiras teriam se originado a partir de paleotocas. Entretanto, mediante observação de cavernas muito amplas para sistemas ferruginosos no Vale do Rio Peixe Bravo, Carmo *et al.* (2011b) sugerem uma situação inédita, atribuindo a formação de alguns condutos a escavações em que o animal teria aproveitado a abertura de uma caverna existente para construir condutos novos.

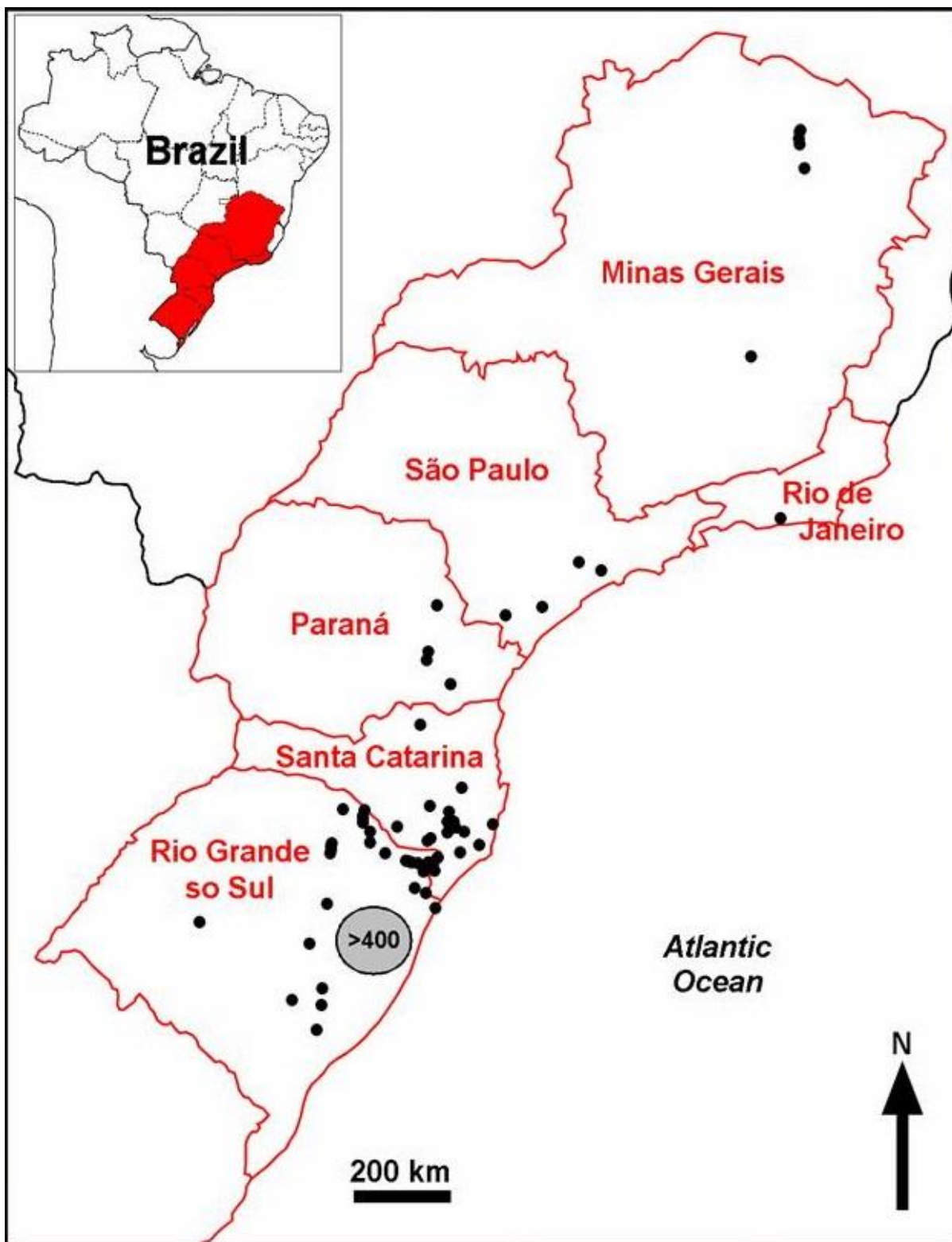


Figura 3.8 - Paleotocas encontradas no Brasil nas regiões sul e sudeste; a elipse destaca o entorno de Porto Alegre como a área com maior densidade de tocas descritas (Extraído de: Lopes *et al.* (2017))

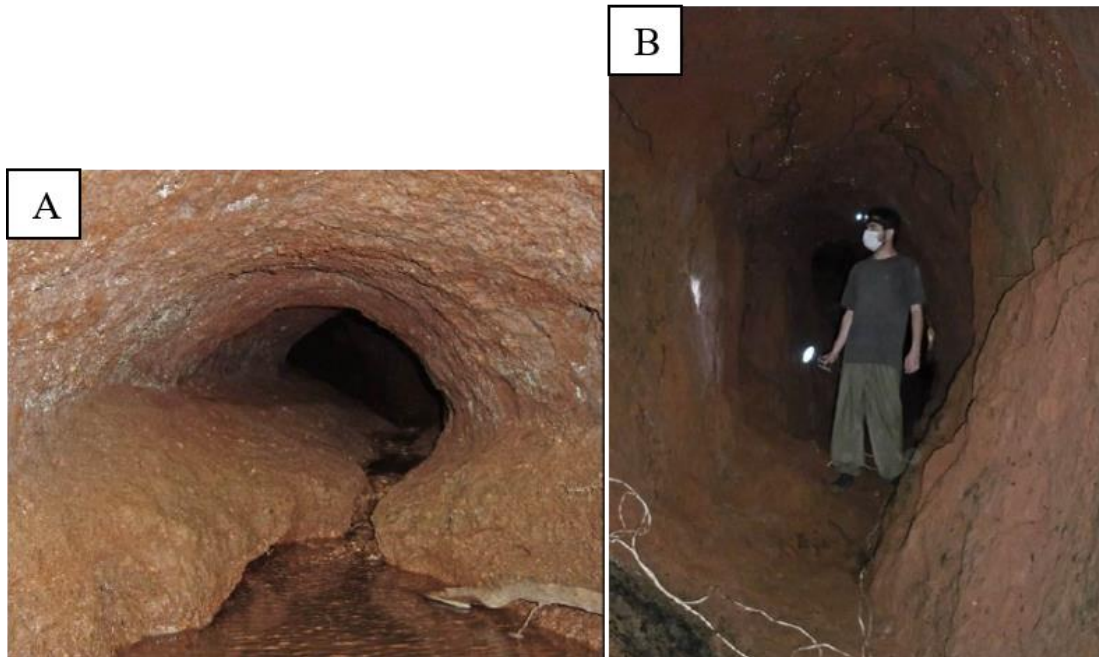


Figura 3.9 - Efeito da erosão nos túneis. A) Chão da paleotoca pouco corroído pela entrada de água; B) Modificação de túnel pela erosão do chão e desabamento das paredes e do teto. (Imagens de: Frank *et al.* (2011)).

Num contexto geral, apesar de muitas questões relacionadas a formação de cavidades em minério de ferro precisarem ser esclarecidas, entende-se que a maioria ocorre na canga e no contato canga/rocha e que a erosão por drenagem temporária subsuperficial é o processo prevalecente para geração das cavidades (Dutra 2013). A autora explica a evolução das cavidades por abatimentos após um alargamento inicial produzido por erosões diversas, e outros processos como a lixiviação, a dissolução e a biogênese, citando as escavações da megafauna do pleistoceno.

A maior parte das ocorrências de paleotocas em geossistemas ferruginosos ainda está em fase de caracterização, e justamente em razão da sua natureza por uma série de processos erosivos, dificilmente serão preservados restos fósseis no interior da cavidade.

No Quadrilátero Ferrífero (QF), a paleotoca da Serra do Gandarela (Frank *et al.* 2012; Bittencourt *et al.* 2015) constitui o primeiro registro da megafauna extinta de mamíferos na região e uma nova referência de túneis escavados em sistemas ferruginosos. Outro registro importante é a paleotoca do Parque das Mangabeiras, na Serra do Curral. Ambas, são objetos de estudo deste trabalho e serão detalhadas à frente.

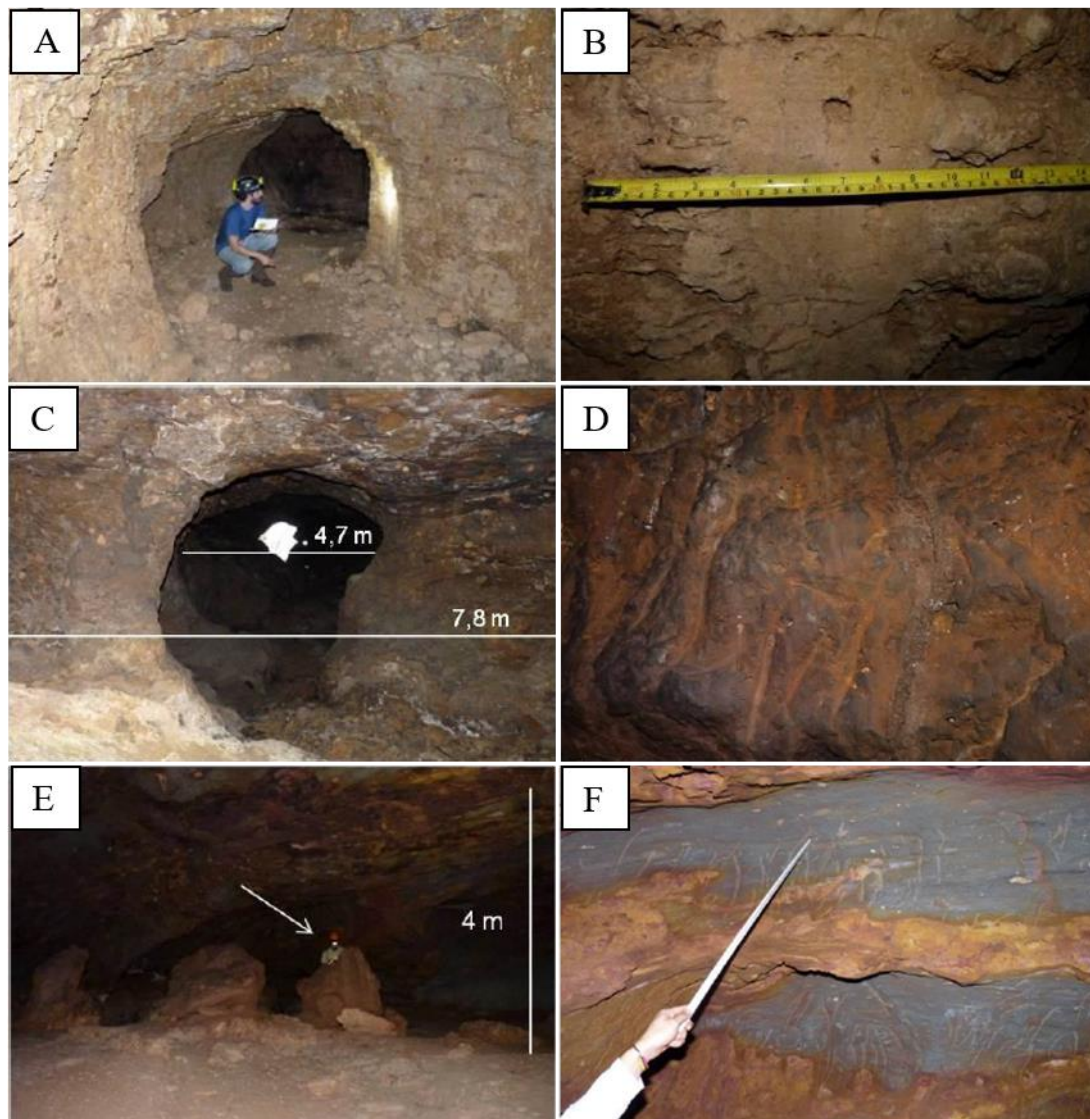


Figura 3.10 - Paleotocas no Vale do Rio Peixe Bravo, MG. A e B) Seção côncava e superfície lisa na Caverna Teto de Coral; C e D) único conduto e marcas de garras nas paredes da Caverna dos Três Buracos; E e F) Salão e marcas de garras na altura de 3,1m na Caverna Mocarorô. (Imagens de Carmo *et al.* (2011)).

3.4.1 A Paleotoca da Serra do Gandarela

A paleotoca da Serra do Gandarela (638139E, 7784544S, 23K) está localizada numa propriedade particular na divisa entre os municípios de Caeté e Santa Bárbara, porção nordeste do QF, no Sinclinal Gandarela. Tendo sido inserida como uma cavidade natural, foi registrada como AP-38 no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE/CECAV). A galeria foi escavada em rochas alteradas (saprólitos) associadas aos depósitos de canga que recobrem, no topo da Serra, a sequência de litotipos ferríferos associados à Formação Cauê (Figura 3.11). A entrada da cavidade está a 1500m acima do nível do mar e seu comprimento total é 345 m, sendo considerada uma das maiores paleotocas

registradas até o momento e dentre aquelas desenvolvidas em formações ferríferas, a que possui maior altitude (Bittencourt *et al.* 2015). Observaram-se um padrão angular espelhado de marcas de garras, com até 30 cm de comprimento por 5 cm de largura, e superfícies lisas no teto da estrutura, sugerindo que foram produzidas por algum animal para habitação, provavelmente uma preguiça-gigante de dois dedos (Figura 3.12). Os condutos têm de 1 a 3 metros de largura e 1 a 6 metros de altura.

A morfologia da paleotoca forma uma “rede interconectada” segundo Timo *et al.* (2019), onde as duas entradas levam a amplos salões que se ramificam em condutos, e entre os condutos também existem conexões. Um croqui da cavidade pode ser visto na Figura 3.13.

Um monitoramento hídrico da cavidade foi realizado entre os anos 2017 e 2018 e teve como objetivo avaliar a dinâmica das águas na cavidade e no seu entorno (Timo *et al.* 2019). Ao final do ano hidrológico, inferiu-se pelos dados coletados que, devido à característica porosa da matriz da rocha, pode haver uma infiltração de parte da água meteórica, que é dissipada e preenche os poros.

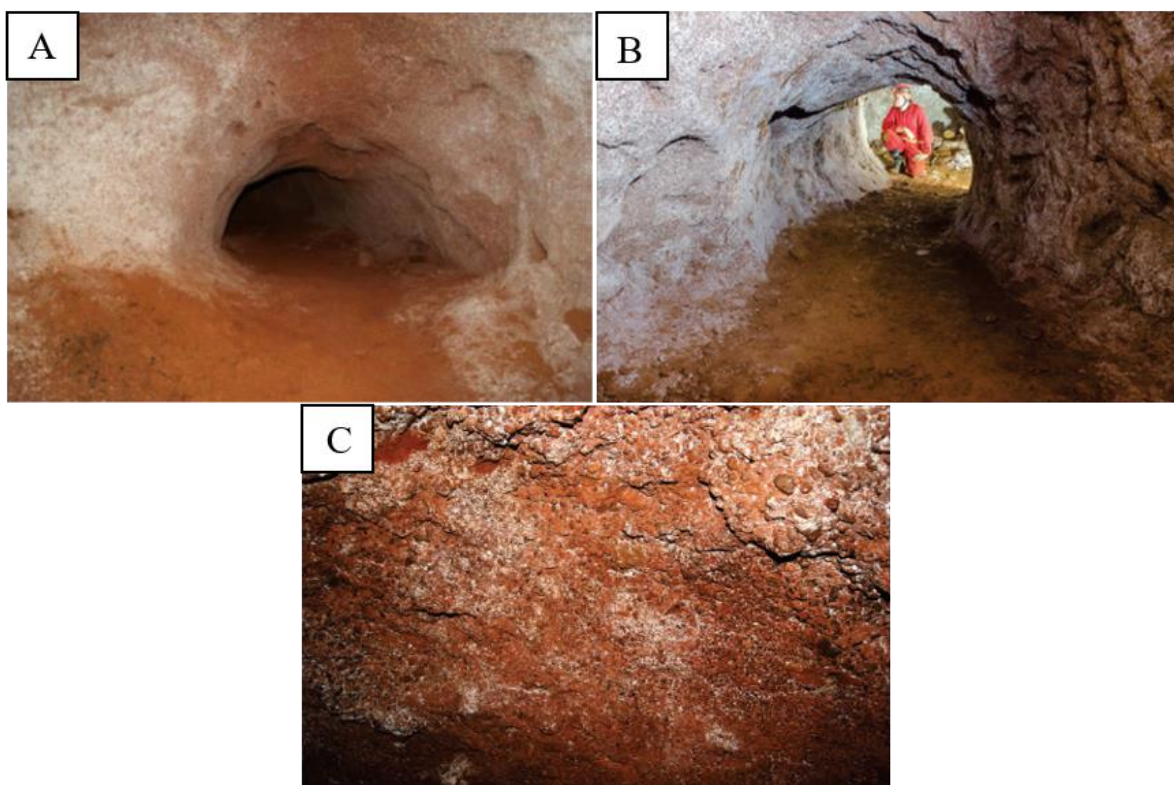


Figura 3.11 - Paleotoca na Serra do Gandarela. A) Entrada da cavidade, B) Exemplo de uma das galerias, C) Detalhe da canga nas paredes internas (Fotos de: Ruchkys *et al.* (2018), Alice Okawara e Jonathas Bittencourt).

Para assegurar a conservação e preservação do patrimônio biológico, espeleológico e hidrológico da região da Serra do Gandarela, em outubro de 2014, foi criado o Parque Nacional da Serra do Gandarela (PNSG), com uma área de 31.270 hectares. A paleotoca a que se refere este trabalho, está situada fora dos limites do parque, apesar de ser considerada um registro do patrimônio paleontológico

e espeleológico associado à geossistemas ferruginosos, com valores legitimamente científicos, pedagógicos e educacionais (Ruchkys *et al.* 2014).

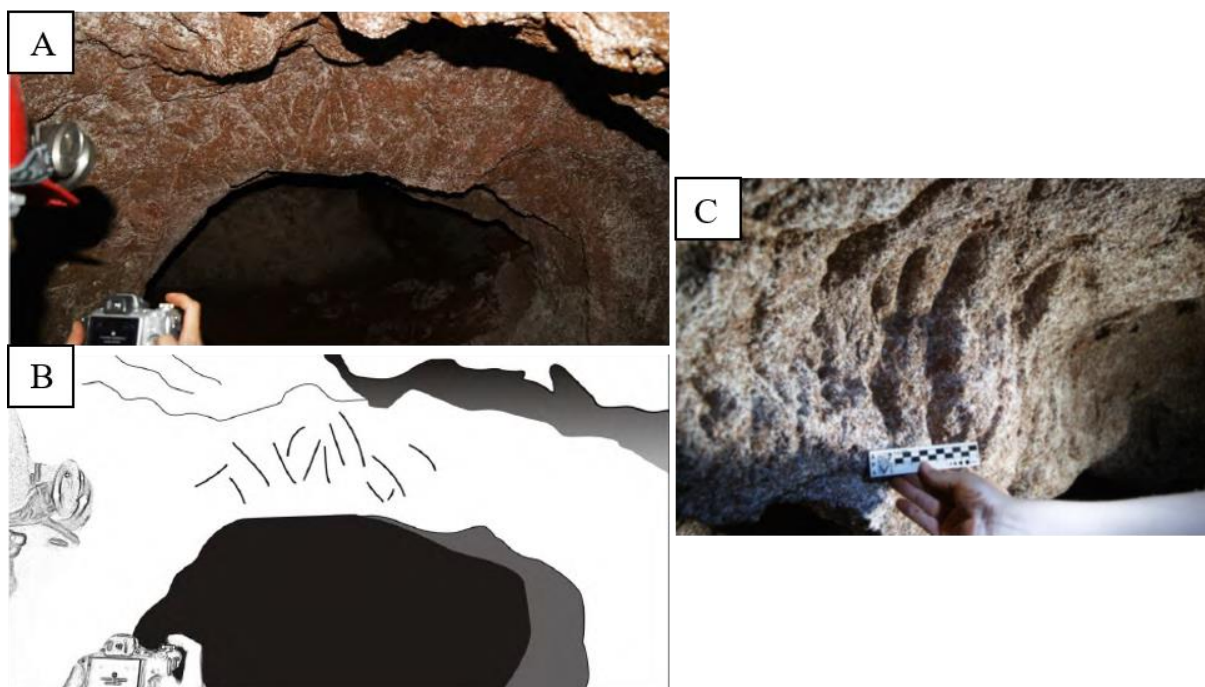


Figura 3.12 - Marcas de garras nas paredes e nos tetos que sugerem atividade de um animal escavador da megafauna de mamíferos extinta. A e B) Foto e desenho dos arranhões na parte superior, C) Detalhe das marcas em uma das galerias (Fotos de: Jonathas Bittencourt e Ruchkys *et al.* (2018)).

Uma vistoria à localidade em que se encontra o icnofóssil foi realizada em maio de 2017 e contou com a presença de uma equipe especializada, entre eles pesquisadores e representantes de institutos voltados à defesa de cavidades naturais, a Coordenadoria das Promotorias de Justiça de Defesa do Patrimônio Cultural e Turístico, e uma analista do Ministério Público. O intuito foi conhecer a paleotoca e compreender sua integração com o Parque Nacional e discutir possibilidades de salvaguarda e preservação *in situ*. Os especialistas verificaram que a cavidade se encontra adjacente à estrada e isto a torna demasiadamente exposta. No entanto, sua entrada é estreita e isto dificultaria o acesso ao seu interior.

Um grande embate relacionado à conservação da paleotoca da Serra do Gandarela é que a mesma está localizada na área proposta pela empresa Vale S.A. para a Mina de Apolo. Desta forma, como destacado por Ruchkys *et al.* (2014), a cavidade está sujeita a impactos relacionados às fases da exploração mineral (vibrações, ruídos, supressão da vegetação, movimentação de solo e rocha do entorno) que podem provocar danos irreversíveis como abatimento da toca.

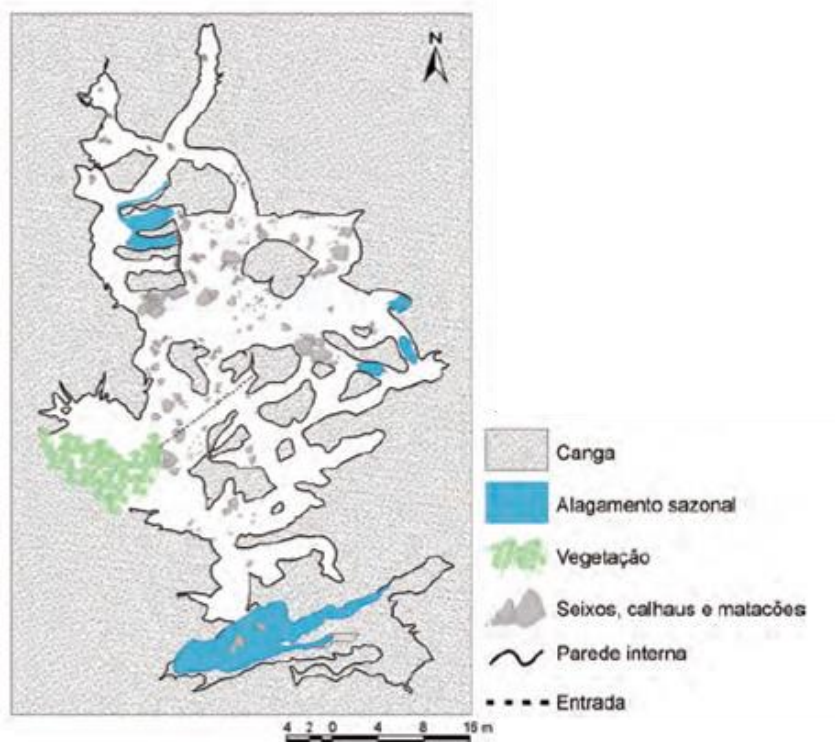


Figura 3.13 - Croqui da Paleotoca da Serra do Gandarela, mostrando sua morfologia complexa de salões e condutos. Modificado de Timo *et al.* (2019), Fonte: Luciano Emerich Faria.

Ruchkys *et al.* (2018) apresentaram o grande potencial dos geossistemas ferruginosos de Minas Gerais. Através de um levantamento de geossítios, os autores realizaram uma avaliação de cada um deles de acordo com características como conteúdo, valores, uso, estado de conservação, impactos etc. A paleotoca da Serra do Gandarela foi incluída como um geossítio de grande relevância para o geopatrimônio paleontológico da região. Além de constituir um importante registro da megafauna extinta, eles destacaram que, em conjunto com a grande quantidade de cavidades no QF, constituem um grande potencial de descobertas de novos fósseis.

3.4.2 A Paleotoca da Serra do Curral (Parque das Mangabeiras)

O Parque das Mangabeiras está inserido na Serra do Curral (porção norte do QF) e constitui uma das unidades de conservação da cidade de Belo Horizonte. Há algumas décadas têm sido observadas pequenas cavidades em cangas, sendo reconhecidas como registro espeleológico importante na região. A paleotoca do Parque das Mangabeiras (61406E, 7793452S, 23K), anteriormente Gruta Parque das Mangabeiras III, foi reconhecida como icnofóssil por Faria *et al.* (2017) (Figura 3.14).

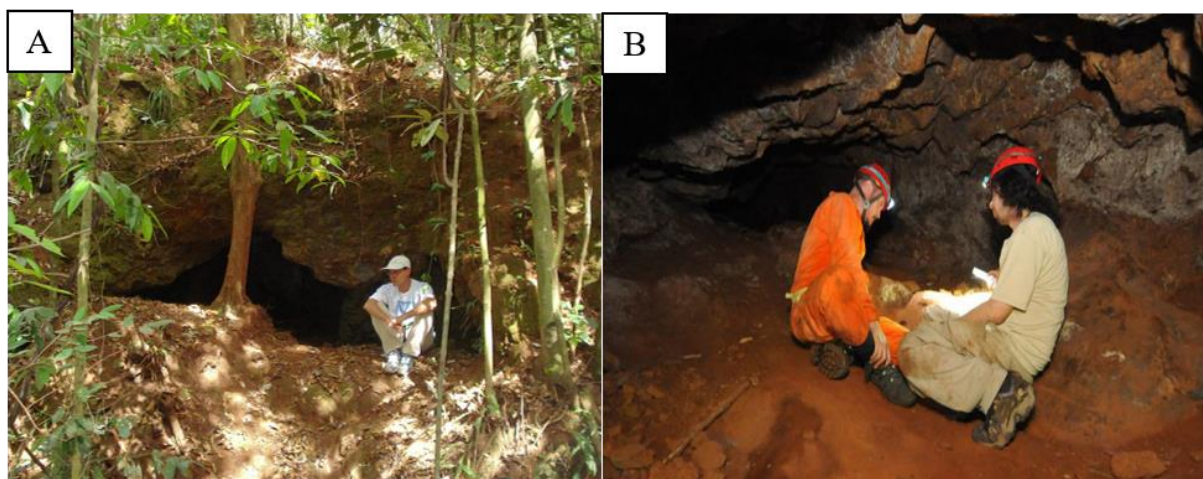


Figura 3.14 - Paleotoca do Parque das Mangabeiras, na Serra do Curral. A) Entrada da cavidade. B) Interior da galeria. (Fotos: Luciano Emerich Faria e Jair Amaral/EM/DA Press)

Os autores observaram que, ao contrário das duas grutas próximas que possuem perfil ascendente (Gruta Parque das Mangabeiras I e Gruta Parque das Mangabeiras II), a galeria é praticamente horizontalizada com um suave desnível ao seu final. A dimensão da cavidade é de 8,71m de comprimento, com destaque para as nítidas marcas de garras presentes (Faria *et al.* 2017, 2019) (Figura 3.15). Esta característica de sulcos em baixo relevo na galeria, que é pouco convencional a qualquer modelo espeleológico, foi encarada como um contraste ao processo de formação das duas cavernas que se encontram a norte da mesma (Faria *et al.* 2019). Dessa forma, as marcas sugeriram uma gênese da cavidade por ação bioerosiva, provavelmente formada ou ampliada por algum animal de hábito fossorial da megafauna extinta. A galeria foi escavada em material saprolítico e nas paredes e no teto há couraças ferruginosas (Faria *et al.* 2017, 2019).

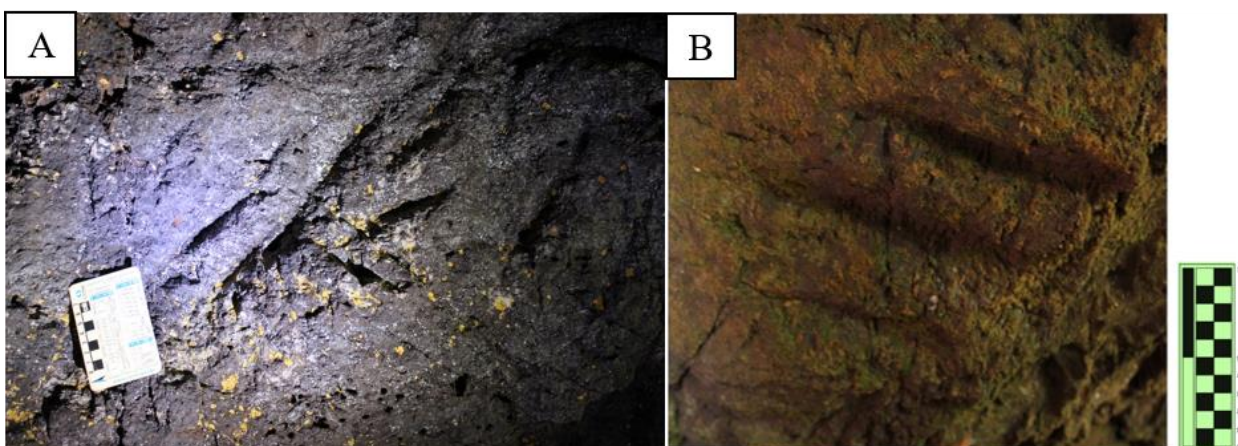


Figura 3.15 - A e B: Marcas de garras nas paredes e no teto das galerias da paleotoca, escala de 10cm (Fotos: Luciano Emerich Faria)

Uma nova topografia da cavidade com uso de equipamentos básicos de topografia e a produção de um mapa BCRA 4C (Figura 3.16) foram realizados por Faria *et al.* (2019). No estudo, uma observação detalhada dos sulcos nas paredes por um paleontólogo, mostrou marcas de duas e três garras. Isto evidenciou uma atribuição a *Mylodontidae* (preguiças-gigantes).

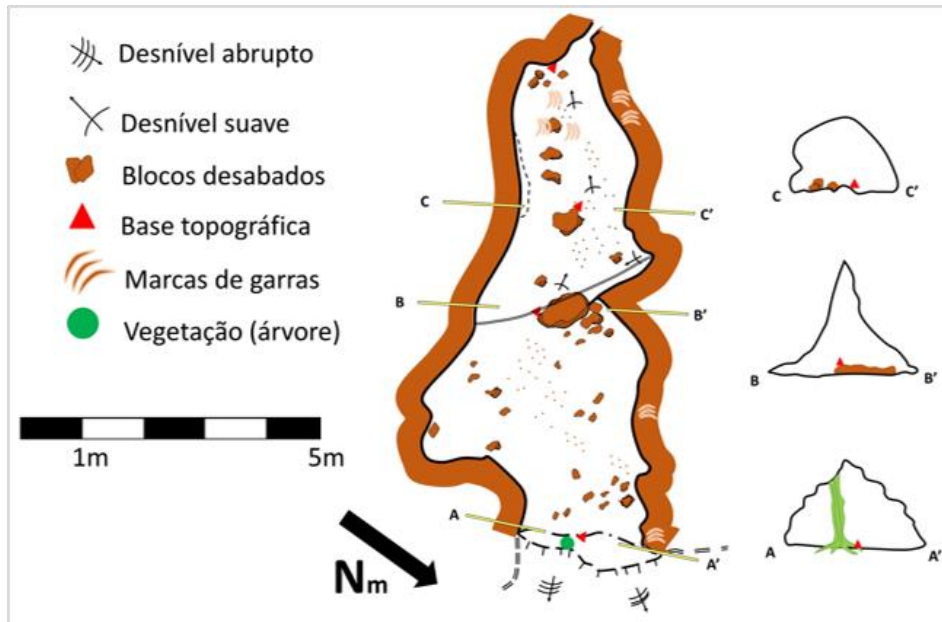


Figura 3.16 - Mapa BCRA 4C da paleotoca do Parque das Mangabeiras (BH). Modificado de Faria *et al.* (2019), Fonte: Luciano Emerich Faria.

3.5 CONSERVAÇÃO E PROTEÇÃO DE ICNOFÓSSEIS

Tratando das paleotocas como importante registro fóssil da megafauna (icnofósseis), estas se encaixam nas leis de proteção existentes na constituição federal. A Constituição do Brasil de 1988 em seus artigos 20,23 e 24 (Constituição 1988), considera os fósseis e seus registros como bens da União, sendo de responsabilidade de todas as esferas governamentais da federação sua proteção. Os sítios arqueológicos e paleontológicos brasileiros também são considerados bens patrimoniais da União pelo Artigo 126 (Constituição 1988), obtendo todos os cuidados e proteção governamental.

Já considerando as paleotocas como cavidades, também temos leis federais de proteção e conservação específicas. O Decreto Federal 99.556/1990, alterado pelo DF 6640/2008, em seu Art. 1º diz que “as cavidades naturais subterrâneas existentes no território nacional deverão ser protegidas, de modo a permitir estudos e pesquisas de ordem técnico-científica, bem como atividades de cunho espeleológico, étnico-cultural, turístico, recreativo e educativo”. Este decreto, regulamentado pela Instrução Normativa de MMA nº02/2009, se torna um grande instrumento de proteção ao patrimônio espeleológico brasileiro.

A Instrução Normativa nº02/2009, indica os conceitos e a metodologia para determinação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas entre máximo, alto, médio ou baixo sob enfoques locais e regionais através da presença ou ausência de atributos ecológicos, biológicos, geológicos, hidrológicos, paleontológicos, cênicos, histórico-culturais, socioeconômicos e espeleométricos. No Art. 22º da Instrução Normativa nº02/2009, estabelece que o ICMBio e CECAV devem atuar no monitoramento dos instrumentos relacionados ao controle e uso das cavidades naturais subterrâneas, por meio da criação de um comitê técnico consultivo que tem por finalidade acompanhar e avaliar a aplicação de seu conteúdo nos processos de licenciamento ambiental, com o intuito de propor ao Ministério do Meio Ambiente o aprimoramento das regras técnicas previstas, sempre que julgar necessário.

Em 30 de agosto de 2017, entrou em vigor a Instrução Normativa nº 02/2017, com revisões da Instrução Normativa nº 02/2009. Nessa atualização, foi mantida a classificação das cavidades naturais subterrâneas de acordo com seu grau de relevância. Entretanto, foram considerados os enfoques local e regional, os atributos e grupos de atributos, através do peso e contribuição de cada um.

Outro instrumento que deve ser utilizado em termos de proteção, estudos e manutenções de cavidades é a resolução CONAMA 347/2004, que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. O Decreto Federal 99.556/1990 também legisla sobre proteção de cavidades, mas sobre o ponto de vista biológico e cultural das mesmas.

Devido ao seu enquadramento na classificação de cavidades, as paleotocas necessitam ser preservadas como patrimônio espeleológico. Nesse sentido, Frank *et al.* (2010) destaca que o registro das mesmas no Cadastro Nacional de Cavernas Brasileiras é fundamental para o reconhecimento e a preservação destes túneis. Entretanto, isto depende do grau de acessibilidade e do estado de preservação das galerias, sendo passíveis de registro aquelas que são acessíveis e não estão sofrendo processos de desmantelamento.

Como contribuição ao processo de identificação de quais paleotocas seriam passíveis de registro, Frank *et al.* (2010) classificaram as paleotocas de acordo com seu grau de preservação em quatro grupos: (A) paleotocas integralmente preservadas, sem preenchimento e cuja seção é elíptica ou circular, sem apresentar feições de colapso de teto, nem de erosão do piso (Figura 3.17-A); (B) paleotocas que sofreram a erosão por águas correntes (Figura 3.17-B); (C) paleotocas parcialmente preenchidas por sedimentos (Figura 3.17 - C); (D) paleotocas integralmente preenchidas por sedimentos, denominadas de crotovinas (Figura 3.17 - D). Cada caso deve ser considerado em particular, mas em geral, devem ser registradas aquelas que são acessíveis por estudiosos e não estejam sofrendo processos naturais de destruição.

Além da motivação atrelada ao patrimônio espeleológico, Frank *et al.* (2011) consideram as paleotocas como potenciais sítios arqueológicos, graças a sinais de ocupação indígena em alguns túneis. Em regiões de elevada altitude e no decorrer de estações mais frias, essas galerias serviriam de abrigo para indígenas que habitam no entorno.

Um exemplo disto é a caverna conhecida como “Toca do Tatu”, no município Timbé do Sul/SC, comprovada por Frank *et al.* (2012) ser uma paleotoca escavada por uma das espécies de preguiças gigantes. Nela, há mais de 35 m² de grafismos rupestres de mais de sete geometrias distintas associadas ao Grupo pré-histórico Macro-Jê, descrito na região sul do Brasil (Cezaro *et al.* 2016).

Na região sul do Brasil, algumas proposições acerca da garantia de integridade das paleotocas num processo de geoconservação estão sendo realizadas no município de Cristal, no Rio Grande do Sul e no município de São Joaquim, em Santa Catarina (Frank *et al.* 2010). Mas para tal, conforme os autores, uma análise dos valores associados ao sítio e do grau de susceptibilidade precisam ser bem definidos.



Figura 3.17 - Classificação de paleotocas de acordo com o grau de acessibilidade e estado de preservação dos túneis. A) Paleotoca preservada do Aterro Municipal de Sapiranga (RS), B) Paleotoca com piso erodido pela ação da água em São José do Hortêncio (RS), C) Paleotoca preenchida por sedimentos carregados por águas pluviais em Porto Alegre (RS), D) Crotoquina em um loteamento na cidade de Ivoti (RS) (Fotos: Frank *et al.* (2010)).

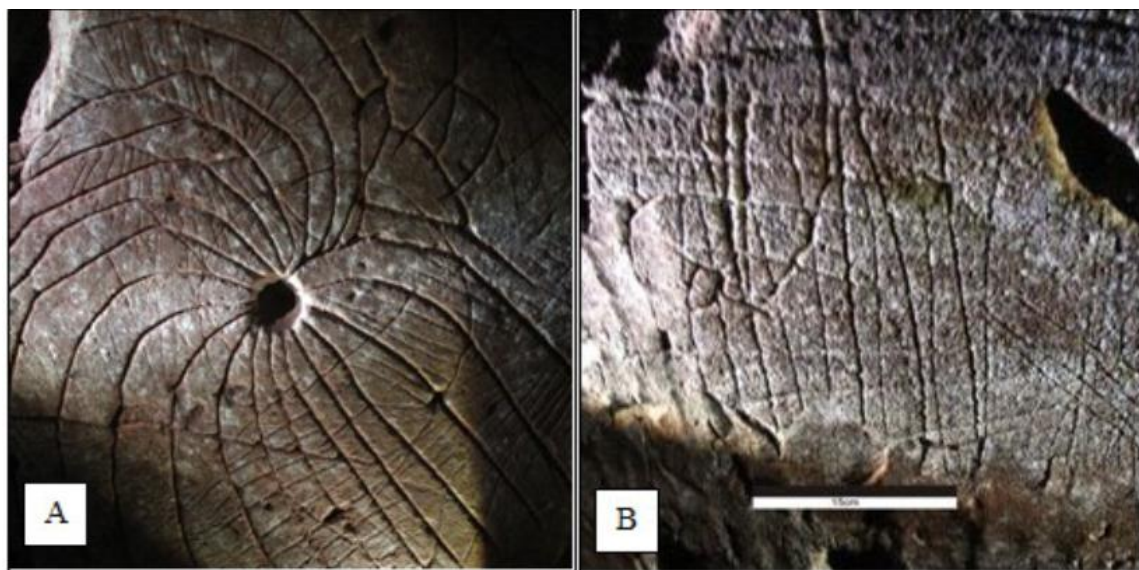


Figura 3.18 - Grafismos rupestres na Toca do Tatu, município de Timbé do Sul, SC. A) Imagem parcial da gravura. B) Gravura rupestre, com tradicional geometria atribuída aos Grupos macro-Jê. (Fotos: Cezaro *et al.* (2016)).

Especificamente no caso do Quadrilátero Ferrífero, Ruckys (2007) propôs a criação de um geoparque como forma de ajudar a garantir o uso sustentável do patrimônio paleontológico, geológico e espeleológico de uma forma multidisciplinar aliando educação, turismo e pesquisa científica. Os geossistemas ferruginosos, além de seu valor econômico pela concentração do ferro e de outros bens minerais, encerram um rico geopatrimônio. No caso do Quadrilátero Ferrífero o geopatrimônio está representado por um conjunto de geossítios da história da Terra, espeleológicos, geomorfológicos, paleontológicos e da história da mineração – que podem ser utilizados com fins educativos e geoturísticos (Ruckys *et al.* 2018).

3.6 TÉCNICA DELPHI

No começo dos anos 1950, a técnica *Delphi* passou a ser conhecida graças aos trabalhos desenvolvidos pelos cientistas Olaf Helmer e Norman Dalker, pesquisadores da empresa americana *Rand Corporation* (Estes & Kuespert 1976; Magalhães Jr. *et al.* 2003). Originalmente, pretendia-se desenvolver uma metodologia que melhorasse o uso da opinião de especialistas na previsão tecnológica.

Assim, a técnica *Delphi* foi criada como um método rápido e de baixo custo para obtenção de um consenso em um grupo de especialistas a respeito de eventos futuros (Giovinazzo & Fischmann 2001). Atualmente, é utilizada para solucionar problemas complexos e tornou-se o método “ad hoc” mais conhecido no mundo (Magalhães Jr. 2003; Martins 2012). O método é baseado no uso estruturado da experiência, do conhecimento e da criatividade de um painel de especialistas, partindo do pressuposto

de que o julgamento coletivo organizado, gera resultados melhores e mais confiáveis do que individualmente (Wright & Giovinazzo 2000).

Linstone & Turoff (1975) definiram o *Delphi* como “um método para estruturar um processo de comunicação grupal de maneira que o processo é efetivo em permitir a um grupo de indivíduos, como um todo, a lidar com um problema complexo”.

Recomenda-se o uso do método, especialmente quando não há dados quantitativos ou caso haja dados, estes não possam ser projetados para o futuro com segurança, havendo expectativas de mudanças estruturais nos fatores determinantes das tendências futuras (Giovinazzo & Fischmann 2001).

As características essenciais do método *Delphi*, segundo Linstone & Turoff (1975) são: o anonimato das respostas, e a possibilidade de revisão de visões individuais diante das respostas dos demais respondentes, com base em uma representação estatística da visão do grupo.

Wright & Giovinazzo (2000) explicam que o método é bastante simples e trata-se de um questionário interativo, que circula repetidas vezes por um grupo de peritos, preservando o anonimato das respostas individuais. Na primeira rodada, os especialistas respondem um questionário e são solicitados a responder individualmente, geralmente com respostas quantitativas baseadas em justificativas e informações qualitativas. As respostas das questões são tabuladas, tratadas estatisticamente definindo-se a mediana e os quartis, e os resultados devolvidos aos participantes na rodada seguinte. A cada nova rodada, as perguntas são repetidas e os especialistas devem reavaliar suas respostas à luz das respostas dos demais respondentes na rodada anterior. Se houver opiniões divergentes das respostas centrais do grupo, solicita-se novas previsões. Assim, o processo é repetido nas sucessivas rodadas do questionário, até que a divergência de opiniões entre especialistas se reduza a um nível satisfatório, e a resposta da última rodada seja considerada como a previsão do grupo. A sequência básica de atividades envolvidas na execução de um *Delphi* pode ser vista na Figura 3.19.

O *feedback* (retorno) no decorrer das rodadas possibilita troca de informações entre os respondentes e, em geral, conduz a uma convergência rumo a uma posição de consenso (Estes & Kuespert 1976). Através do tratamento estatístico pode-se mensurar a evolução em relação ao consenso pela relação entre a distância do 1º ao 3º quartil das respostas e o valor da mediana. O anonimato reduz a influência de fatores psicológicos, como a capacidade de persuasão, a relutância em abandonar posições assumidas e a dominância de grupos majoritários em relação a opiniões minoritárias (Wright & Giovinazzo 2000).

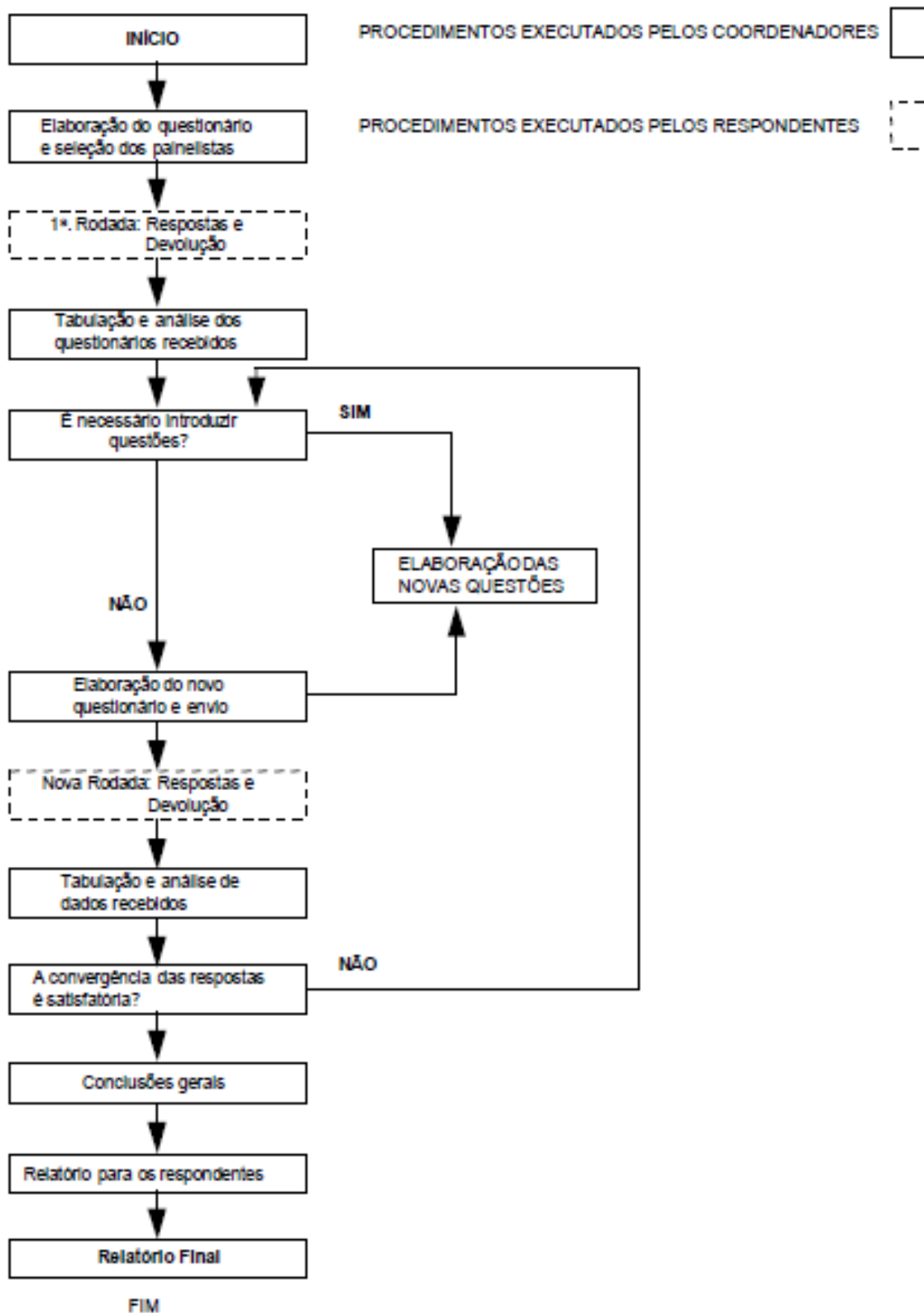


Figura 3.19 - Sequência de execução de uma pesquisa Delphi. Extraído de: Wright & Giovinazzo (2000)

MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 INTRODUÇÃO

Os procedimentos metodológicos do trabalho envolveriam uma etapa de campo. Em razão da pandemia de Covid-19, dada as restrições de isolamento social impostas, todas as atividades presenciais foram suspensas e os trabalhos de campo foram cancelados. Diante disto, a metodologia deste estudo foi modificada.

A etapa de campo, abordaria com detalhe as paleotocas, realizando georreferenciamento com auxílio de GPS da localização de sua entrada, caracterização geológica no local da cavidade e a descrição geomorfológica de seu entorno. O objetivo nesta etapa seria determinar parâmetros que auxiliassem no reconhecimento de padrões de ocorrência dessas estruturas, como aspectos geomorfológicos (relevo, cursos d'água) dos terrenos próximos, aspectos pedológicos e litológicos (alteração, textura, coloração das rochas e/ou sedimentos) no entorno das galerias, assim como características internas a elas (morfologia, orientação, ramificações, dimensões e marcas).

Como não foi possível que se realizasse o reconhecimento em campo, os procedimentos metodológicos que se seguiram para execução dos objetivos propostos estão representados em um fluxograma na Figura 4.1.

Na primeira etapa, a área de estudo foi previamente selecionada com o auxílio de imagens de satélite através do *Google Earth* e mapas geológicos da região da Serra do Gandarela e da Serra do Curral. Foi realizado levantamento bibliográfico dos estudos que abordam a ocorrência de paleotocas (no exterior, no Brasil, em geossistemas ferruginosos, nas Serras do Gandarela e do Curral e demais áreas do Quadrilátero Ferrífero) e a técnica *Delphi*.

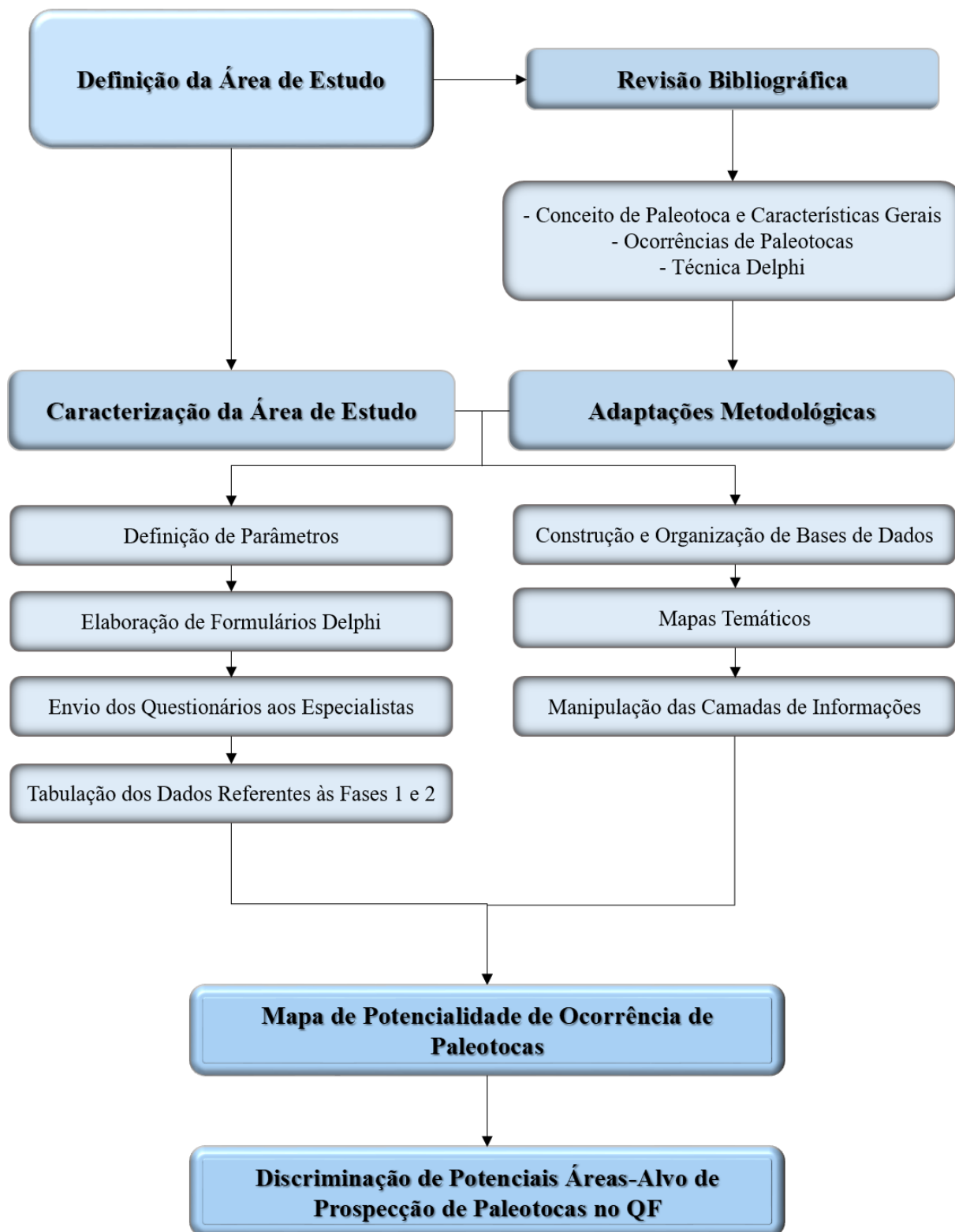


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia que se seguiu para desenvolvimento desta dissertação.

4.2 LEVANTAMENTOS DE PARÂMETROS ATRAVÉS DA TÉCNICA DELPHI

No presente trabalho, adaptamos a metodologia *Delphi* (Linstone & Turoff 1975) de auxílio a tomada de decisão através de consenso entre especialistas em determinada área do conhecimento. Dado às condições sanitárias de confinamento e restrição de circulação de material físico, preferiu-se pela aplicação do *Delphi* por meio de formulário eletrônico. Este formato conserva as premissas do formato tradicional, onde é mantido o anonimato dos especialistas, a representação estatística da distribuição dos resultados e a revisão das opiniões durante as rodadas de pesquisas para reavaliação frente às opiniões dos demais participantes.

O intuito de aplicação da técnica *Delphi* foi gerar um conjunto de parâmetros relacionados à ocorrência de paleotocas escavadas pela megafauna quaternária, ou mesmo a utilização de cavidades pré-existentes como abrigo em sistemas ferruginosos por esses organismos. O formulário foi composto por critérios geomorfológicos e geológicos (pedológicos e litológicos), a serem ordenados por ordem de relevância, como guias para prospecção de paleotocas no Quadrilátero Ferrífero e outras áreas em que ocorrem rochas ferruginosas.

Para seleção dos especialistas, realizou-se uma consulta através da Plataforma *Lattes* do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações). Nela, estão disponíveis os currículos, grupos de pesquisa, instituição, áreas de atuação, produção técnica e científica dos pesquisadores brasileiros e estrangeiros cadastrados. Alguns especialistas foram selecionados por possuírem artigos científicos relacionados ao tema e que serviram para o embasamento teórico deste trabalho. Os demais foram encontrados através da pesquisa de palavras-chave como: paleotoca, icnofósseis, paleontologia de vertebrados, geoconservação Quadrilátero Ferrífero, conservação de icnofósseis, *Mylodontidae*, *Dasypodidae*, preguiças-gigantes, tatus-gigantes etc. Pelos resultados da pesquisa, foram selecionados os especialistas com produções técnicas e acadêmicas relacionadas ao tema de interesse da pesquisa. Além da produção de trabalhos relacionados com a temática, priorizou-se profissionais com maior titulação. A decisão de aplicação do *Delphi* no formato eletrônico, possibilitou a participação de especialistas de diferentes universidades, instituições e que atuam em diferentes áreas do conhecimento.

Em seguida a definição dos especialistas, todos os selecionados foram convidados via e-mail, e puderam optar pela não participação, caso não se sentissem aptos a responder o questionário ou não tivessem disponibilidade em respondê-lo. O corpo do e-mail foi escrito na forma de uma carta convite (Apêndice 1) com uma breve explicação sobre a pesquisa de mestrado e no final havia um *link* de acesso ao primeiro formulário de questões (Apêndice 2). Assim, os participantes tiveram conhecimento acerca de como a pesquisa se daria e entenderam qual seria o propósito dela, tornando o processo dinâmico e claro.

Foram 44 especialistas convidados a responder o formulário na primeira rodada. Estipulou-se um prazo de 15 dias para resolução e envio dos questionários e foram enviados lembretes via e-mail aos especialistas que ainda não haviam respondido às questões. Do total de entrevistados, 25 responderam à pesquisa e os demais não se manifestaram, portanto, a taxa de retorno foi de 56,8%. Relacionando os participantes à sua área de atuação, e instituições onde estão vinculados, 60% estão vinculados a instituições de ensino superior como universidades e institutos federais. A participação de atuantes em órgãos públicos e privados relacionados ao meio ambiente e conservação de cavidades naturais foi relativamente muito menor, 24%. Em relação a formação acadêmica dos participantes, estes apresentaram perfis diversos, embora tenha ocorrido predomínio de geógrafos, geólogos e biólogos (Tabela 4.1) respondentes da pesquisa. Isto pode indicar uma maior atuação e abrangência dessas áreas na conservação e proteção ambiental, principalmente de registros fósseis, ou ainda, maior conhecimento e interesse acerca das ocorrências de paleotocas.

Ademais a formação acadêmica dos participantes, a qualificação dos especialistas teve destaque na pesquisa, sendo 16% mestres e 84% doutores. A alta taxa de qualificação é devida ao grande número de professores/pesquisadores que atuam em universidades que participaram da pesquisa. Destaca-se também, a qualificação de funcionários de órgãos públicos e privados relacionados a proteção de cavidades naturais e membros de sociedades/grupos espeleológicos, com um número considerável de mestres e doutores.

Tabela 4.1 - Formação superior dos especialistas.

Formação	Quantidade	Porcentagem (%)
Arqueologia	1	4
Biologia	6	24
Geografia	8	32
Geologia	5	20
Engenharia Civil	1	4
Oceanografia	1	4
Oceanologia	1	4
Psicologia	1	4
Química	1	4
Total	25	100

A elaboração do formulário referente a Fase 1 foi realizada pela seleção dos parâmetros geomorfológicos e geológicos (pedológicos e litológicos) relacionados à probabilidade de ocorrência de paleotocas escavadas ou ampliadas pela megafauna extinta em sistemas ferruginosos. O entendimento

acerca da escavação e/ou aproveitamento de cavidades pré-existentes por esses organismos é um tema relativamente novo e não existe consenso entre os autores sobre o modo exato de ocorrência das galerias. Como não existem trabalhos anteriores similares ou que se utilizaram da metodologia *Delphi* para estudo de paleotocas, não há parâmetros pré-estabelecidos. A escolha e o levantamento de alguns parâmetros basearam-se nas referências bibliográficas estudadas, ao qual todo este trabalho foi embasado. Procurou-se analisar as características observadas nas paleotocas que são frequentes na descrição dos autores, e, portanto, podem ser entendidas como potenciais padrões de ocorrências. Outra estratégia utilizada foi a associação de alguns fatores com um possível comportamento do animal, que instintivamente, pode ter escavado sua toca em locais mais convenientes à habitação, refúgio e estivação. Dessa forma, estes tetrápodes podem ter considerado de forma perspicaz algumas preferências, que estariam diretamente relacionadas a fatores que afetam, por exemplo, a temperatura e a incidência de luz solar no interior da galeria, facilidade/dificuldade de locomoção, tipo de rocha/solo para escavação ou aproveitamento de cavidade para ampliação. Assim, foram selecionados 08 parâmetros no total. São eles:

1. Altitude
2. Declividade da encosta
3. Orientação da encosta
4. Rugosidade do terreno
5. Litologia
6. Intemperismo
7. Espessura do regolito
8. Existência de solo ou material pouco consolidado

No formulário, os parâmetros geomorfológicos, pedológicos e litológicos foram apresentados com uma breve explicação sobre o que este consiste e sugestões de como ele pode influenciar na análise de probabilidade de ocorrência de paleotocas. Os especialistas tiveram três possibilidades de resposta: Incluir, Excluir ou Indeciso. Somente para aqueles parâmetros cujas respostas escolhidas fosse “Incluir”, os respondentes deveriam atribuir pesos de 1 (pouco relevante, menor peso) a 10 (muito relevante, maior peso). Ao final das respostas, o participante teve a oportunidade de sugerir a inclusão de novos parâmetros e adicionar comentários e sugestões que julgou necessário.

Após o retorno das respostas dos participantes ao questionário, realizou-se a tabulação dos dados e calculou-se as médias e as medianas dos pesos estabelecidos aos parâmetros avaliados pelo grupo. Ao final da compilação dos resultados obtidos nesta primeira fase, os mesmos foram reenviados aos

participantes, sendo explicitados em um novo formulário, referente à Fase 2. Dessa forma, o especialista pôde reavaliar ou não suas respostas, a partir do conhecimento da opinião dos demais integrantes da pesquisa.

Para o formulário da segunda fase (Apêndice 3 e 4), além dos parâmetros estabelecidos na fase 1, os participantes avaliaram os novos parâmetros sugeridos pelos demais integrantes do grupo. A forma de respostas e atribuição de pesos seguiu-se igualmente à fase 1. Ao final da segunda fase, tal como na primeira, os resultados foram tabulados, sendo calculadas as porcentagens de inclusão, médias e medianas dos pesos.

Tendo encerrado o processo de aplicação dos questionários e compilado os resultados, todos os especialistas que participaram das fases 1 e 2, receberam por e-mail, um relatório com as informações prestadas reunidas e que foram adquiridas nesta metodologia de aplicação da técnica *Delphi*.

4.3 CONSTRUÇÃO DE MAPAS REFERENTES AOS PARÂMETROS

Para o reconhecimento de padrões geomorfológicos, pedológicos e litológicos de paleotocas em outros sistemas ferruginosos que possam nortear a investigação no QF, foram gerados mapas referentes aos parâmetros para o Vale do Rio Peixe Bravo, MG. A região abrange cinco municípios ao norte de Minas Gerais por onde o Rio Peixe Bravo percorre: Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados, Fruta de Leite, Serranópolis de Minas e Grão Mogol. Carmo & Kamino (2017) destacaram que a paisagem exuberante e pouco alterada, em conjunto com as extensas coberturas de canga são características surpreendentes do local.

Como dito anteriormente, a área engloba as primeiras ocorrências de paleotocas em litotipos ferruginosos. Estes registros já eram estudados e reconhecidos como cavernas, antes de serem reconhecidos como icnofósseis. Portanto, há um número maior de ocorrências nesta área e estudos mais completos, apesar de, ainda carecer estudos de detalhe considerando o fato de serem cavidades ampliadas pela megafauna extinta.

As representações de dois dos parâmetros não foram possíveis de serem elaboradas na forma de mapas, são eles o intemperismo e a espessura do regolito. Ao que se refere a espessura do manto de alteração, não foram encontradas bases cartográficas relacionadas ao tema e não se tem conhecimento acerca de metodologias que possam representar este critério em mapa. Já o parâmetro intemperismo, não pode ser dimensionado, mas está associado a todos os demais. Não obstante, foi bastante recorrente a sua análise e influência.

No que se refere ao entendimento de padrões para a região de ocorrência das paleotocas no Vale do Rio Peixe Bravo (VPB) foram gerados 06 mapas referentes aos parâmetros altitude, declividade da

encosta, orientação da encosta, rugosidade, litologia e solo. Para o estudo dos parâmetros utilizou-se os dados de localização de 13 paleotocas (Tabela 4.2).

A confecção dos mapas temáticos para a área do Quadrilátero Ferrífero, seguiu-se de forma similar àquela estabelecida para o VPB, com a geração de 06 mapas, relacionados aos mesmos parâmetros.

Para obtenção dos mapas de altitude, declividade, orientação das encostas e rugosidade foram utilizadas imagens do satélite Advanced Land Observing Satellite (ALOS), lançado em janeiro de 2006 pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Este satélite é equipado com três instrumentos de Sensoriamento Remoto: o radiômetro Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM) capaz de adquirir imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre, o radiômetro multiespectral Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer type 2 (AVNIR-2) voltado aos mapeamentos de uso e ocupação, e o sensor de micro-ondas Phased Arrayed type L-Band SAR (PALSAR) capaz de obter imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade (JAXA, 2008). Sua resolução espacial é de 12,5m e as imagens são disponibilizadas gratuitamente pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Universidade do Alaska Fairbanks no endereço eletrônico: <<<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>>>. Na derivação dos mapas, foram necessárias quatro imagens ALOS/PALSAR para o Quadrilátero Ferrífero e uma imagem para o Vale do Peixe Bravo.

Posteriormente a obtenção das imagens de satélite e todas as demais bases de dados cartográficos necessárias, as mesmas foram trabalhadas e integradas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) com uso do software ArcGIS 10.5. Para utilização das imagens de satélite da região do QF, realizou-se a construção de um mosaico com as quatro imagens através da ferramenta *Mosaic To New Raster* (Data Management Tools -> Raster -> Raster Dataset -> Mosaic To New Raster).

Todas as bases utilizadas no trabalho foram padronizadas, aplicando o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum SIRGAS 2000, Zona 23 S.

4.3.1 Mapa de Altitude (Hipsométrico)

Para análise da altitude em que ocorrem as paleotocas, optou-se por criar um mapa hipsométrico. A hipsometria caracteriza o relevo através de curvas de nível, relativas ao nível médio do mar, com os intervalos de altitudes discriminados em diferentes cores.

Os mapas foram gerados a partir das imagens ALOS/PALSAR. Estas imagens constituem o Modelo Digital de Elevação (MDE) que representa as altitudes da superfície topográfica em conjunto com os elementos geográficos existentes sobre ela. A partir do MDE foram extraídas as curvas de nível

do terreno, com equidistância de 10 metros usando a ferramenta *Contour* (3D Analyst Tools-> Raster Surface-> Contour).

Em seguida aplicou-se o método de triangulação, mais conhecido como TIN (Triangular Irregular Network) através da ferramenta *Create TIN* (3D Analyst Tool -> Data Management -> TIN -> Create TIN). O TIN é uma estrutura de grade triangular do tipo vetorial, apresenta topologia do tipo nó-arco que possibilita a representação de uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Cada um dos três vértices da face triangular armazena informações sobre a localização (x, y) e sobre os valores de altitude/elevação correspondente ao eixo z (Coelho 2007).

Tabela 4.2 - Dados das paleotocas registradas no Vale do Peixe Bravo que foram utilizadas no estudo dos parâmetros.

Identificação	Zona	UTM	Altitude (m)	Projeção (m)
Teto de Coral¹	23K	743635E 8220276S	790	40,0
Três Buracos¹	23K	744517E 8224539S	770	37,0
Mocororô²	23K	745721E 8228605S	890	96,5
Lajedo Redondo³	23L	746175E 8234325S	953	23,0
Odila³	23L	746297E 8245426S	897	13,0
Barba³	23K	741571E 8229332S	750	40,0
072²	23K	742071E 8200970S	852	36,5
PX-03²	23K	743744E 8217159S	740	9,9
PX-05²	23K	743717E 8217285S	756	33,3
PX-08²	23K	743732E 8217240S	740	18,3
PX-09²	23K	743709E 8217204S	749	22,9
PX-10²	23K	743860E 8217133S	731	12,8
Vaca Morta³	23K	745103E 8227467S	895	9,0

¹Carmo *et al.* (2011b); ²Relatório Final de Estudo Paleontológico Complementar com Foco na Ocorrência de Paleotocas na Área de Estudo do Projeto Vale do Rio Pardo (<<https://docplayer.com.br/22147519-Estudo-paleontologico-complementar-com-foco-na-ocorrencia-de-paleotocas-na-area-de-estudo-do-projeto-vale-do-rio-pardo.html>>); ³Dados do Instituto Prístino (Fonte: Flávio do Carmo)

O conjunto de isolinhas representado pelas curvas de nível aos quais estão associados valores referentes à altitude serviu de base para a geração das hipsometrias.

Para a confecção do mapa hipsométrico (*elevation*), na opção *Symbology* (Properties->Symbology) estabeleceu-se as classes de altimetria que mais se adequavam às áreas e o intervalo entre elas. Optou-se por intervalos máximos de 100 metros e o número de classes estabelecido foi igual a 8 e 15, para o VPB e para o QF, respectivamente.

4.3.2 Mapa de Declividade da Encosta

O mapa de declividade (*slope*) demonstra as inclinações da área em relação a um eixo horizontal em classes de declives. Esta classificação pode ser representada em frequências de graus ou porcentagens.

Através do MDE obteve-se a declividade em graus, usando a ferramenta *Slope* (Spatial Analyst Tools-> Surface-> Slope). Definiu-se as classes em graus e em intervalos de 10° para as duas áreas estudadas.

4.3.3 Mapa de Orientação das Encostas

O Mapa de Orientação das Encostas é a direção da variação de declividade. A orientação das vertentes (que pode ser chamada exposição ou direção) é determinada pelo ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno e é expressa em graus.

A construção dos mapas que se referem ao parâmetro orientação das vertentes, foi elaborada a partir do MDE e utilizou-se a ferramenta *Aspect* (3D Analyst Tools-> Raster Surface-> Aspect). Dessa forma, a camada expressa as direções das inclinações das encostas representadas em valores de 0 a 360°, a partir do Norte. Distinguiu-se as classes de azimute da seguinte forma: NE (0-90°), SE (90-180°), SW (180-270°) e NW (270-360°).

4.3.4 Mapa de Rugosidade

Adotou-se para concepção dos mapas de rugosidade do VPB e QF, a proposta de Sampaio & Augustin (2014) para o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR). Os autores levaram em consideração as propostas de Horton (1945) e Hobson (1972), o uso dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), bem como a aplicação do estimador de densidade por Kernel. Nesta metodologia, sugere-se uma divisão em ICR Global e Local, empregando-os para identificação de unidades gerais e locais de

relevo (comparativas) com base na análise da distribuição e recorrência espacial da declividade. Uma representação esquemática das etapas que compõe essa metodologia é apresentada na Figura 4.2.

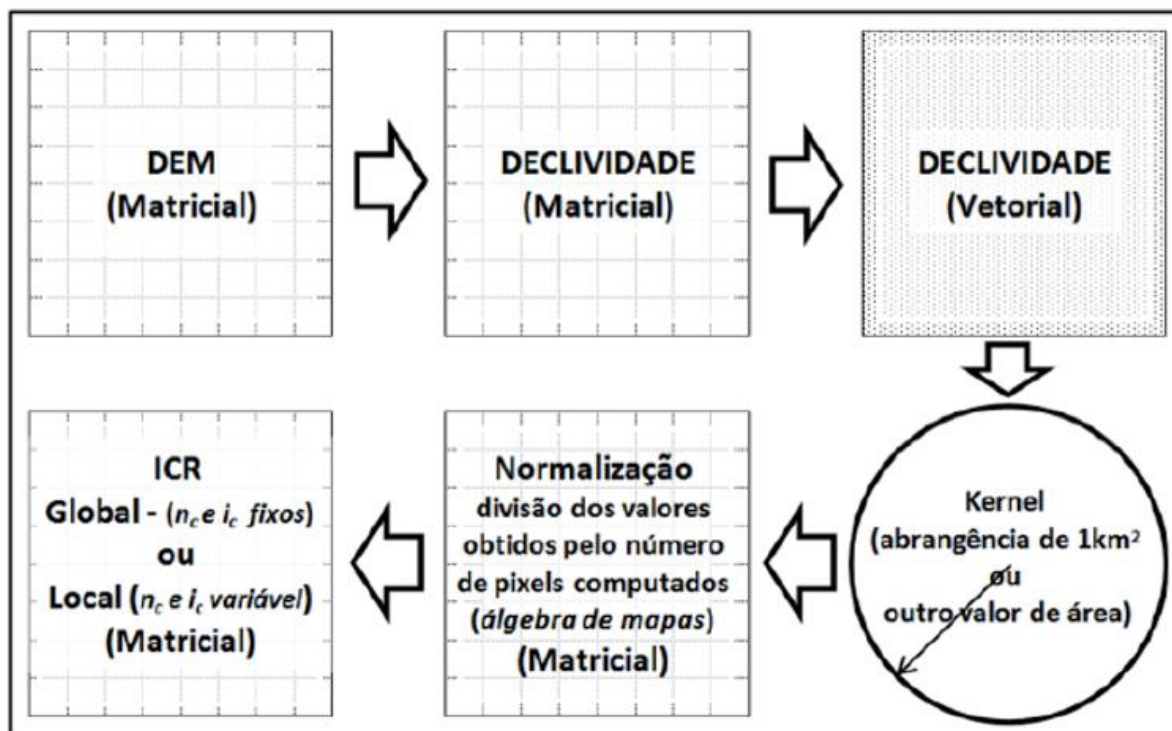


Figura 4.2 - Etapas para obtenção do ICR Global e Local, usados na confecção dos Mapas de Rugosidade. Extraído de Sampaio & Augustin (2014)

Inicialmente, através do MDE obteve-se a declividade em percentual, usando a ferramenta *Slope* (Spatial Analyst Tools-> Surface-> Slope). A etapa posterior foi transformar os dados matriciais em dados vetoriais criando um *shapefile* de pontos (Conversion Tools -> From raster -> Raster to Point). Adiante, calculou-se a densidade por Kernel usando a ferramenta *Kernel Density* (Spatial Analyst Tools -> Density -> Kernel Density) e os dados vetoriais obtidos. O raio de busca empregado no estimador de densidade por Kernel na geração do ICR local foi 564m e para o ICR global foi 1128m, como sugerido pelos autores na metodologia. Antes de seguir com a compartimentação das classes, os dados da densidade por Kernel (local e global) precisaram ser normalizados usando a ferramenta *Raster calculator* (Spatial Analyst Tools -> Map Algebra -> Raster Calculator) efetuando-se a divisão pelo número de *pixels* computados. Após normalização, aplicou-se a classificação dos intervalos. Para o ICR Local, fez-se uso de quartis na definição dos intervalos de classes e o agrupamento em cinco classes: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Já para o ICR Global foram considerados os intervalos de classes e agrupamento em seis unidades de relevo, como mostra a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Limite dos intervalos e definição das classes para o ICR Global, usado nos Mapas de Rugosidade.

Valor	Classificação
ICR < 2,5	Plano
2,5 < ICR < 6	Suavemente Ondulado
6 < ICR < 14	Ondulado
14 < ICR < 30	Fortemente Ondulado
30 < ICR < 45	Escarpado
ICR > 45	Fortemente Escarpado

4.3.5 Mapa de Litologia

Para a elaboração do Mapa de Litologia para o Vale do Peixe Bravo, as bases cartográficas que envolvem a geologia, em formato *shapefile*, foram obtidas do projeto “Criação de Banco de Dados Geográficos para os Mapas Geológicos do Projeto Espinhaço, Minas Gerais”, a partir da edição dos arquivos vetoriais disponibilizados pelo IBGE, produzidos a partir das cartas impressas publicadas em primeira edição pelo IBGE em 1978 (Folha Rio Pardo de Minas - SD.23-Z-D-V) e 1980 (Folha Padre Carvalho - SE.23-X-B-II), Escala: 1:100.000. A edição das bases geológicas foi realizada pela Companhia de Desenvolvendo Econômico de Minas Gerais - CODEMIG (2012).

A área de limite do geossistema ferruginoso do VPB e os limites municipais foram obtidas, em formato *shapefile*, através do Atlas Digital Geoambiental (<<https://institutopristino.org.br/atlas/>>), desenvolvido pelo Instituto Prístino, que resultam da compilação de dados oficiais disponibilizados por órgãos públicos, parcerias com Institutos de Pesquisa, publicações científicas, entre outros.

No caso do QF, as bases cartográficas geológicas foram obtidas do programa “Geologia do Brasil, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil - Projeto Mapas Geológicos Estaduais” e seguem articulação 1: 1.000.000. A compilação dos dados foi realizada pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais - CODEMIG (2014).

Na confecção do mapa litológico, a *shapefile* litologia foi recortada com a ferramenta *Clip* (Analysis Tools -> Extract -> Clip) de acordo com o tamanho da área de interesse e separada nas categorias litológicas descritas na opção *Symbolology*. Procurou-se manter as cores próximas àquelas usadas nos mapas originais.

4.3.6 Mapa de Solos

A base de informações cartográficas referente aos solos foi extraída da compilação do Mapa de Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, compatível com escala 1:1.000.000. O material é

disponibilizado no Banco de Dados, Informações e Produtos do Serviço Geológico do Brasil no endereço eletrônico < <http://geosgb.cprm.gov.br/> >. Este mapa foi gerado a partir dos SIGs do Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais (CPRM, 2003), escala 1:1.000.000, e do Mapa Geodiversidade do Brasil (CPRM, 2006), escala 1:2.500.000, e de informações agregadas obtidas por meio de trabalho de campo, consulta bibliográfica e dados de instituições públicas e de pesquisa. A construção do tema solos foi realizada pelo Departamento de Gestão Territorial - DEGET/CPRM 2009.

No processo de obtenção dos mapas de solos para as regiões do VPB e QF, foi realizado o recorte da *shapefile* solos pelos limites das áreas de interesse com uso da ferramenta *Clip*. Seguidamente, através das propriedades, na opção *Symbolology* separou-se em categorias segundo a descrição das classes, que configuram os tipos de solos que ocorrem em cada área.

4.4 RECLASSIFICAÇÃO E ÁLGEBRA DE MAPAS

A manipulação das camadas de informações que se referem aos parâmetros e que resultou no mapa final realizou-se por meio da ferramenta: *Raster Calculator* (Spatial Analyst Tools -> Map Algebra -> Raster Calculator). Para tal, as camadas em formato *shapefile* e TIN necessitaram ser transformadas para o formato *Raster*, ou seja, para dados matriciais. Estes dados são compostos por linhas (horizontais) e colunas (verticais) de pixels (também conhecidas como células). Cada pixel representa uma região geográfica, e o valor do pixel representa uma característica dessa região.

Na estrutura *Raster* as informações processadas geram um arquivo de igual tamanho aos arquivos originais. Em contrapartida, o arquivo obtido por estrutura vetorial sofre um acréscimo substancial, dependendo da quantidade de informação presente nas camadas. Além disso, a manipulação de camadas *Raster* tem se mostrado bem mais eficiente, dadas as características dos arquivos e da possibilidade maior de controle das ações (Câmara *et al.* 2005). Quando tratamos de um arquivo matricial, as operações são realizadas pixel a pixel, e tal condição é passível de verificação no decorrer dos cruzamentos realizados.

Diante desta condição, para conversão do mapa relativo à altitude, que se encontrava no formato TIN, utilizou-se a ferramenta *TIN to Raster* (3D Analyst Tools -> Conversion -> From TIN -> TIN to Raster). No caso das camadas de informações de litologia e solo, foram exportados os polígonos de interesse e agrupados usando a ferramenta *Merge* (Data Management Tools -> General -> Merge), em seguida, com uso da ferramenta *Polygon To Raster* (Conversion Tools -> To Raster -> Polygon to Raster) foi realizada a modificação para o formato *Raster*. Após a conversão, as camadas em formato matricial foram reclassificadas por meio da utilização da ferramenta *Reclassify* (3D Analyst Tools -> Raster Reclass -> Reclassify).

A reclassificação é utilizada para alterar os valores das células para valores alternativos e assim, realizar a manipulação das camadas. Para separar as classes de interesse daquelas que não seriam interessantes, foi necessário fazer uma distinção entre elas. Considerou-se então, uma escala de importância variando de 1 a 3, onde 3 representaria maior potencialidade e 1 representaria menor potencialidade. Assim, todas as classes que possuem ao menos uma ocorrência de paleotoca (no VPB e no QF) receberam valores iguais a 3, e as classes onde não se tem ocorrências conhecidas receberam valores iguais a 1.

Posteriormente, um produto foi gerado para interpretação: um mapa obtido através da superposição ponderada das camadas matriciais que contêm as informações referentes aos padrões estabelecidos. A ponderação de cada camada utilizada foi determinada através das médias de pesos alcançadas ao final da aplicação da técnica *Delphi*. As médias de pesos foram somadas e transformadas em porcentagens, considerando um total de 100%.

Através do produto final tornou-se possível a discriminação das potenciais áreas-alvo para prospecção de paleotocas em geossistemas ferruginosos, segundo os parâmetros determinados e os pesos atribuídos.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 LEVANTAMENTO E PONDERAÇÃO DE PARÂMETROS

Os resultados obtidos na primeira fase do formulário *Delphi* demonstraram que, dentre os 8 parâmetros apresentados aos especialistas, o único que obteve unanimidade foi litologia com 100% de inclusão e maior peso atribuído (9,08). Portanto, na opinião do grupo, o tipo litológico configura um indicador importante a ser considerado na probabilidade de ocorrência de paleotocas em sistema ferruginoso (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Resultados da 1ª fase para os parâmetros pré-selecionados.

Parâmetros	% de Inclusão	Média/ Pesos	Mediana/ Pesos
Litologia	100	9,08	10
Espessura do regolito	96	7,71	8
Intemperismo	92	8,48	9
Declividade da encosta	84	6,90	7
Existência de solo /material inconsolidado	80	8,35	9
Altitude	56	6,86	7
Rugosidade do terreno	56	6,57	7
Orientação da encosta	44	6,36	6

Outros dois critérios que se destacaram foram espessura do regolito e intemperismo, que apresentaram significativos percentuais de inclusão, iguais a 96% e 92%, respectivamente. Apesar de apresentar o segundo maior índice de inclusão, espessura do regolito obteve terceiro lugar com o maior peso (7,7), enquanto intemperismo apresentou média de peso igual a 8,48. Portanto, os processos que alteram física e quimicamente as rochas, tornando-as friáveis, e a dimensão do manto de alteração nas rochas que resulta desta atuação, se caracterizam como relevantes critérios que influenciam na facilidade de escavação ou ampliação de cavidades pelos tetrápodes.

Na sequência, com índices de inclusão de 84% e 80%, nesta ordem, foram declividade da encosta e existência de solo ou material pouco consolidado. Apesar de ter alcançado maior percentual, a média de pesos para declividade foi sensivelmente menor (6,9) comparada a recebida pelo parâmetro existência de solo ou material pouco consolidado (8,35). Mesmo com a diferença existente entre os índices de inclusão, a discrepância no valor dos pesos pode indicar que, do ponto de vista dos respondentes, a possibilidade de escavação pelo animal em solos (residuais ou coluvionares) constitui um critério bem mais relevante do que a inclinação do terreno. Assim sendo, a facilidade de escavação para o organismo seria um critério mais relevante do que as implicações da inclinação, como a infiltração de água e incidência de raios solares no interior da paleotoca.

Dois dos parâmetros atingiram mesmo percentual de inclusão, igual a 56%, que foram a rugosidade do terreno e a altitude. Embora a semelhança, o critério altitude atingiu maior peso (6,86) se relacionado a rugosidade do terreno (6,57). Entende-se pela altitude, a elevação vertical da abertura da paleotoca em relação ao nível do mar, que pode influenciar diretamente no clima do interior da galeria. Desta forma, este critério se apresenta como um indicador mais importante em relação a rugosidade do terreno, ou seja, as saliências e reentrâncias do relevo. Portanto, para o organismo, o clima no interior da paleotoca influenciaria mais do que a facilidade/dificuldade de locomoção.

O único critério que apresentou porcentagem inferior a 50% e a menor média de pesos foi a orientação da encosta. Este critério significa o azimute, ou seja, a expressão em graus da maior inclinação do terreno em relação ao norte. Sua influência pode estar ligada aos mesmos aspectos que relacionam à declividade, como a infiltração de água meteórica e a incidência de raios solares no interior da paleotoca. Este resultado indica que, para os especialistas participantes, este critério pode não ser de extrema relevância se contraposto aos demais parâmetros apresentados. Ao passo que, mesmo tendo sido incluído por apenas 11 dos 25 respondentes, entre aqueles que consideraram o critério relevante, a média de pesos atribuída foi igual a 6,36, ou seja, um valor considerável.

Ao final de cada questionário os participantes poderiam fazer comentários, sugestões e inclusão de novos parâmetros. O *feedback* em relação a importância e relevância da pesquisa foi muito positivo, posto que 40% dos respondentes participaram ativamente com comentários e sugestões. Além disto, foram sugeridos dois novos parâmetros para inclusão: proximidade de cursos d'água e feições estruturais. As porcentagens de inclusão para os novos parâmetros foram 16% e 4%, respectivamente. Nesta primeira fase não foram atribuídos pesos aos novos critérios, somente na fase posterior.

Em seguida a tabulação dos dados e estatísticas da primeira fase, os 25 respondentes da primeira etapa receberam o 2º formulário (Apêndice 4). Nesta segunda etapa, os especialistas analisaram suas respostas da 1ª fase e, caso julgassem necessário, revisaram suas opiniões tendo conhecimento das respostas dos demais respondentes do grupo a partir das médias e medianas apresentadas.

O prazo estipulado na carta convite para revisão e devolução do questionário foi de dez dias, pouco menor do que aquele estipulado na primeira etapa. Novamente, foram enviados lembretes via e-mail àqueles especialistas que não tinham respondido ao formulário referente a 2ª fase. Esta precaução demonstrou significativa importância, visto que o número de respostas teve um aumento considerável em seguida ao envio dos lembretes.

Dentre os 25 participantes solicitados, 20 devolveram o questionário respondido, 03 não se manifestaram e 02 disseram ter perdido o prazo de resposta. Ainda assim, a taxa de retorno foi bastante satisfatória (80%). A técnica *Delphi* permite aos participantes a revisão e alteração de suas respostas entre as rodadas e o intuito da mesma é que uma tendência seja seguida. Neste sentido, as alterações na inclusão e nos pesos atribuídos aos parâmetros na primeira rodada podem ser vistas na Tabela 5.2. Os dois critérios sugeridos na primeira fase também estão presentes. Observa-se que, dentre eles, somente o critério proximidade de cursos d'água alcançou percentual de inclusão acima de 50%.

Ao final da segunda rodada e tabulação final dos dados, comparações entre os dados da 1ª e 2ª fases foram realizadas. Nota-se que três dos critérios permaneceram no topo da lista, com 100% de inclusão e maiores pesos atribuídos, foram eles: litologia (9,25), intemperismo (9,05) e espessura do regolito (8,65). Na fase anterior, o critério intemperismo já havia obtido peso maior que o critério espessura do regolito, mas seu percentual de inclusão havia sido pouco menor.

Fato similar ocorreu com os parâmetros existência de solo/material pouco consolidado e declividade da encosta, que após revisão dos especialistas, trocaram de posição em relação as porcentagens de inclusão que foram iguais a 95% e 85%, respectivamente, mas a média de peso do parâmetro declividade permaneceu maior.

Entre os parâmetros que foram sugeridos pelos respondentes, a proximidade de cursos d'água alcançou índice de inclusão de 75% e média de peso igual a 8, sugerindo assim, que este critério é considerado bastante relevante pelo grupo de especialistas, no que diz respeito a possibilidade de ocorrência de icnofósseis em geossistemas ferruginosos.

A altitude adquiriu o mesmo percentual que a proximidade de cursos d'água, e isto significou um aumento considerável no índice de inclusão quando comparado ao da fase anterior, que era de 56%. Da mesma forma, o parâmetro rugosidade do terreno apresentou um aumento significativo de 56% para 70%. O critério rugosidade, quando contraposto à orientação da encosta, possui maior percentual de inclusão, mas menor peso, após revisão dos especialistas. Além do mais, rugosidade foi o único parâmetro que sofreu diminuição na média de pesos indo de 6,57 para 6,43.

Feições estruturais foi o critério com menor porcentagem de inclusão (45%) e menor média de pesos (6,56) entre os respondentes. Apresentado como sugestão de parâmetro ao final da primeira etapa,

caracterizou-se como único critério com índice de inclusão inferior a 50% no encerramento desta fase 2. Anteriormente, o lugar era ocupado pelo parâmetro orientação da encosta.

Portanto, nesta segunda etapa, pode-se perceber que, em geral, o índice de inclusão e pesos médios atribuídos aos parâmetros estabelecidos aumentaram significativamente em relação à Fase 1.

Tabela 5.2: Resultado da 2ª fase do Painel Delphi dos parâmetros pré-selecionados e os sugeridos pelos especialistas

Parâmetros	% de Inclusão	Média/ Pesos	Mediana /Pesos
Litologia	100	9,25	10
Intemperismo	100	9,05	9
Espessura do regolito	100	8,65	9
Existência de solo /material inconsolidado	95	8,5	8
Declividade da encosta	85	7,76	8
Proximidade de cursos d'água	75	8	8
Altitude	75	6,6	7
Rugosidade do terreno	70	6,43	6
Orientação da encosta	50	6,9	6,5
Feições estruturais	45	6,56	7

Tendo compilado todos os resultados referentes às fases 1 e 2 da pesquisa *Delphi*, constatou-se que, na opinião dos especialistas, todos os parâmetros estabelecidos devem ser incluídos na análise de probabilidade de ocorrências de paleotocas em sistemas ferruginosos, exceto o parâmetro feições estruturais.

O uso da metodologia *Delphi* foi uma alternativa importante para estabelecer uma direção à pesquisa. Esta ferramenta foi usada como auxílio à tomada de decisão; e optou-se, inicialmente, pela utilização dos parâmetros que alcançaram porcentagem de inclusão igual ou superior a 50% e média de pesos acima de 6,0.

Para seguir-se as análises as quais o trabalho se propôs, foram gerados mapas temáticos referentes a cada parâmetro. O critério proximidade de cursos d'água foi sugerido pelos especialistas e os resultados indicaram que deve ser considerado como relevante. Para tal, elaborou-se um mapa de distância da drenagem. A elaboração das representações dos parâmetros intemperismo e espessura do regolito não foram possíveis. Não se encontrou bases cartográficas disponíveis que estejam relacionadas aos temas e nem metodologias que possam representar estes critérios em mapa. Sendo assim, foram gerados os mapas para os parâmetros altitude, declividade das encostas, orientação das encostas, rugosidade, litologia, solos e distância da drenagem.

5.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS A PARTIR DOS MAPAS TEMÁTICOS

Os resultados obtidos pelos critérios representados na forma de mapas estão relacionados a seguir, assim como a interpretação desses resultados que se seguiu antes da reclassificação das camadas de informações para a composição do mapa final a partir dos parâmetros estabelecidos.

5.2.1 Altitude

O parâmetro altitude pode ser entendido como a elevação vertical da abertura da paleotoca em relação ao nível do mar e sua influência pode estar relacionada, por exemplo, à temperatura e pressão do ambiente no interior da galeria.

O mapa de altitude para o VPB (Apêndice 5), representado pela elevação do terreno através de variação de cores, mostrou que oito das paleotocas registradas ocorrem em altitudes entre 700 e 800 metros (Tabela 5.3). Percebe-se que há duas ocorrências inseridas no intervalo de altitude de 800 a 900 metros e três no intervalo de 900 a 1000 metros. No QF, a paleotoca registrada na Serra do Curral, coincidentemente, está localizada no intervalo compreendido entre 900 e 1000 metros (Figura 5.1). A paleotoca AP-38 ocorre em elevação consideravelmente alta se comparada às demais paleotocas em rochas ferruginosas e este fato foi destacado por Bittencourt *et al.* (2015). Os autores afirmaram que dentre os icnofósseis desenvolvidos em litotipo ferruginoso, o registro na Serra do Gandarela constitui, até o momento, aquele com maior altitude.

De fato, comparando-se os intervalos de amplitude da altitude que ocorrem nas duas áreas, percebe-se que, enquanto no VPB o maior intervalo é da ordem de 1330 m, no QF as altitudes chegam a 2070 metros. No norte de MG, os icnofósseis estão situados em altitudes que não ultrapassam 1000m, em sua maioria em um intervalo que varia de 700 a 800m. É provável que o mesmo não ocorra para a região do QF, considerando o registro da Serra do Gandarela. A menos que, esta ocorrência configure uma exceção em termos de altitude e estes icnofósseis comprovadamente não ocorram em altos

topográficos acima de 1000m. Mas, considerando o fato de que estes organismos se aproveitavam de uma cavidade pré-existente para ampliá-la, mesmo que esta se localizasse em nível pouco mais elevado, seria mais conveniente seu aproveitamento do que escavar outra. Na região do QF, observou-se que a grande maioria das cavidades naturais registradas pelo CANIE/CECAV encontram-se em altitudes acima de 1000 m e, portanto, existe a possibilidade de se encontrar outros registros em regiões topográficas tão altas quanto a cavidade AP-38. De qualquer maneira, com as informações aqui reunidas, não há meios de saber qual das duas hipóteses seria a mais correta.

Em ambas as regiões, as diferenças entre as elevações do terreno são marcantes e estão associadas ao contexto geológico e aspectos fisiográficos em que ocorrem. Isto proporcionou a inúmeras feições no relevo e influencia diretamente em outros parâmetros aqui relacionados, como declividade, orientação das encostas e rugosidade. No QF especificamente, os acentuados contrastes na topografia são influenciados pela grande variabilidade litológica associada ao longo período de evolução geomorfológica (Carvalho Filho *et al.* 2010).

Tabela 5.3 - Intervalos de altitudes em que se encontram os icnofósseis para o VPB e QF a partir dos mapas hipsométricos.

Área	Paleotoca	Intervalo de Altitude (m)
Vale do Rio Peixe Bravo	Teto de Coral	700-800
	Três Buracos	700-800
	Mocororô	900-1000
	Lajedo Redondo	900-1000
	Odila	900-1000
	Barba	700-800
	072	800-900
	PX-03	700-800
	PX-05	700-800
	PX-08	700-800
	PX-09	700-800
	PX-10	700-800
	Vaca Morta	800-900
QF	Mangabeiras	900-1000
	Gandarela	1500-1600

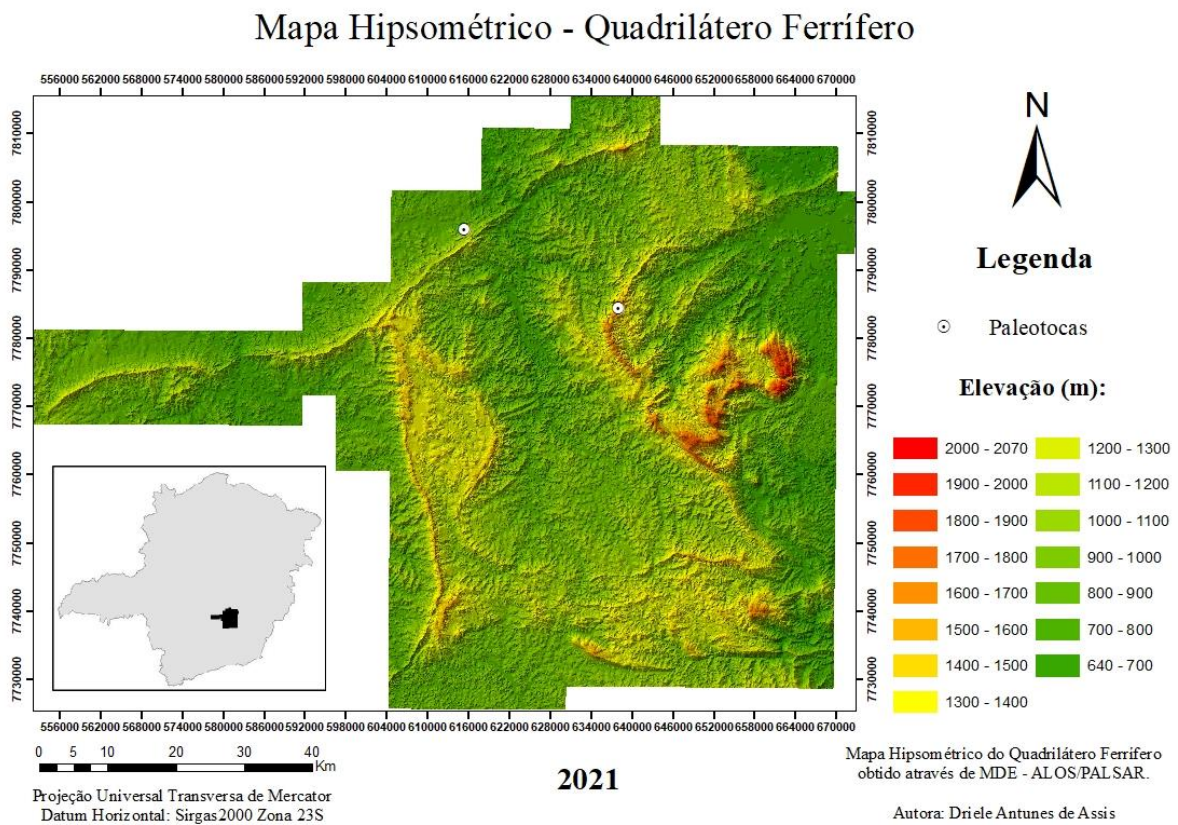


Figura 5.1 - Mapa hipsométrico do Quadrilátero ferrífero obtido através de MDE - ALOS/PALSAR. Indicada a localização das paleotocas existentes.

5.2.2 Declividade

A representação na forma de mapas para as declividades na região do VPB (Apêndice 6) mostrou que os icnofósseis podem ser encontrados em declives variados, desde mais suaves até inclinações num intervalo de 31° a 40° , como observado na Tabela 5.4. Nota-se que mesmo paleotocas que se encontram próximas umas das outras, como PX-03, PX-05, PX-8, PX-09 e PX-10, podem ter uma diferença na declividade. O mapa representando as inclinações para as ocorrências no QF (Figura 5.2) mostraram que a paleotoca da Serra do Gandarela encontra-se em um espaço de declive mais suave ($0-10^\circ$) enquanto a descrita na capital mineira está em um intervalo de inclinação maior, de 31° a 40° .

Entende-se pela declividade da encosta, a inclinação da superfície do terreno. Pela perspectiva de como este parâmetro poderia influenciar no comportamento do animal, no que se refere à preferência de escavação ou ampliação de cavidades existentes, considerou-se a hipótese de que o critério estaria ligado de modo direto à infiltração de água meteórica e incidência de raios solares no interior da paleotoca. Buchmann *et al.* (2015) compararam as paleotocas do VPB e observaram um gradiente, onde as paleotocas 072, PX-10 e PX-3 representam o início da escavação, com pequeno volume, parcialmente

iluminado e sem local de repouso bem definido; e as paleotocas PX-8, PX-9 e PX-5 representam a conclusão da escavação, com grande volume, zona afótica e local de repouso bem definido. Fazendo-se uma análise em termos de declividade para estas paleotocas citadas, utilizando-se os dados obtidos nos mapas e comparando com a literatura, não é possível que se estabeleça uma relação direta entre este parâmetro isolado e a incidência de luz solar no interior da paleotoca. Não existe uma coincidência entre os intervalos de declividade observados e a iluminação no interior do túnel. Podemos afirmar, apenas, que estes registros ocorrem em intervalos de no máximo 20°.

Tabela 5.4: Classes de intervalos de declives aos quais as paleotocas do VPB e QF se encontram.

Área	Paleotoca	Intervalo de Declividade (°)
Vale do Rio Peixe Bravo	Teto de Coral	21-30
	Três Buracos	11-20
	Mocororô	31-40
	Lajedo Redondo	0-10
	Odila	0-10
	Barba	21-30
	072	11-20
	PX-03	0-10
	PX-05	0-10
	PX-08	11-20
	PX-09	11-20
	PX-10	11-20
	Vaca Morta	31-40
QF	Mangabeiras	31-40
	Gandarela	0-10

Uma tentativa de diminuição dos intervalos de classes de declividade, para 5° ao invés de 10°, foi realizada, mas esta modificação acabou não surtindo diferença considerando a reclassificação que se seguiria para composição do mapa final.

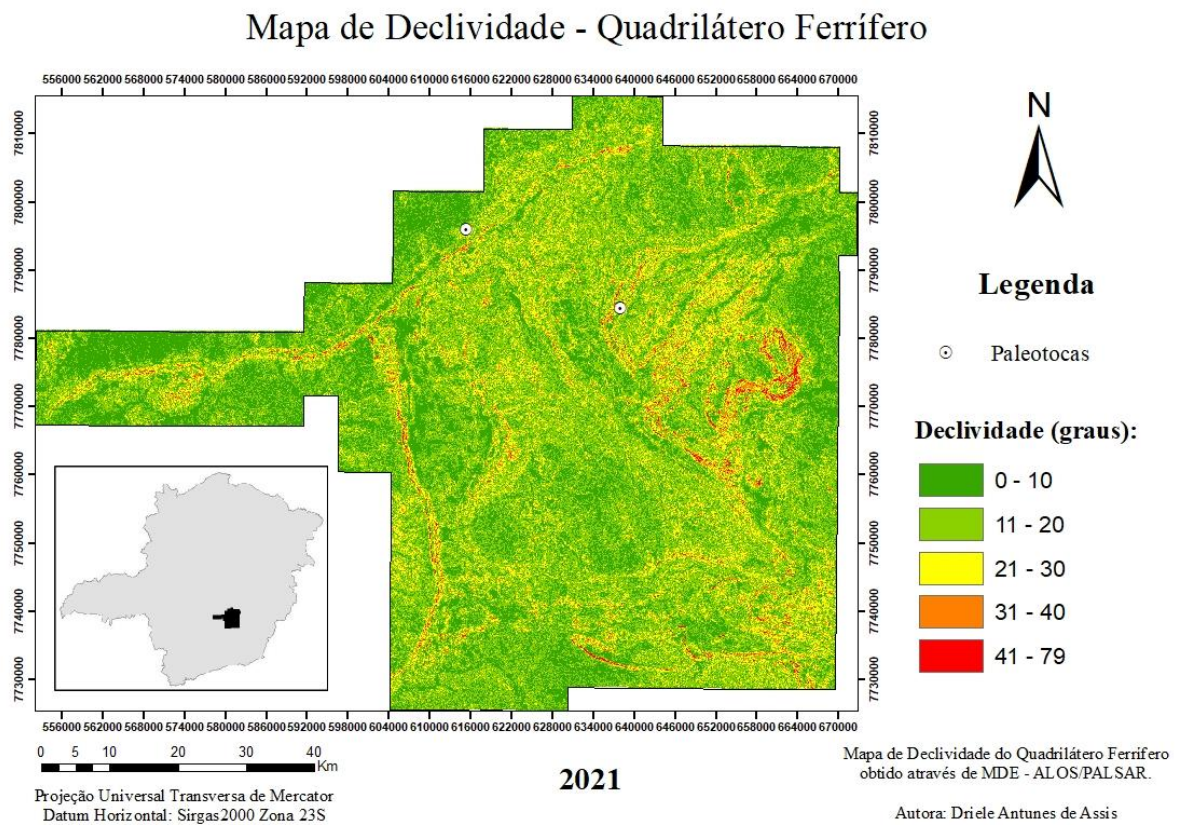


Figura 5.2 - Mapa de declividade do Quadrilátero Ferrífero obtido através de MDE- ALOS/PALSAR. Indicada a localização das paleotocas existentes.

5.2.3 Orientação das Encostas

O Mapa de Orientação das Encostas da área estudada no VPB (Apêndice 7) expôs que se tem icnofósseis em todos os intervalos de inclinação: NE, SE, SW e NW. Entretanto, seis cavidades encontram-se no intervalo representado pela direção NE, como apresentado na Tabela 5.5. Igualmente ao que ficou demonstrado para a região do norte de Minas Gerais, observou-se que, na representação das orientações das encostas para o QF (Figura 5.3), ambos registros estão situados onde a direção de maior inclinação da vertente é a nordeste.

A orientação das encostas representada nos mapas elaborados é a expressão da direção da maior inclinação do terreno estabelecida a partir do Norte. Ao que refere a influência deste critério na ocorrência de paleotocas, considerou-se que ele pode estar relacionado a aspectos similares nos quais o critério declividade intervém, como por exemplo, o escoamento de água da chuva e entrada de raios solares dentro da paleotoca. No caso dos mapas para declividade, esta relação de influência foi inconclusiva ao que se refere a incidência de raios solares no interior do túnel. Entretanto, as representações mostraram uma preferência de exposição na direção nordeste. Nesse caso, considerando o posicionamento da abertura da paleotoca em relação ao nascer e pôr do sol, a entrada de luz seria

maior na parte da manhã e menos incidente durante a tarde, resultando em um ambiente mais fresco durante a noite. Do contrário, devido a maior longevidade da tarde e intensidade dos raios solares, se a abertura da galeria estivesse localizada nas direções SW e NW, o ambiente seria mais quente e aconchegante ao anoitecer. O pressuposto indicaria uma predileção por ambientes menos quentes e somado a isto, tem-se que as seções normalmente atribuídas como local de repouso, são zonas afóticas e encontram-se na parte final do túnel. De toda forma, o exposto pode não ser uma afirmação absoluta tendo em conta a existência de icnofósseis em outras direções. Outra questão a ser esclarecida seria até que ponto a entrada de luz realmente influenciaria no clima dentro dos túneis, levando-se em consideração o volume e a extensão destes.

Tabela 5.5 - Direção de exposição das vertentes demonstradas nos mapas do VPB e QF para as paleotocas estudadas.

	Área	Paleotoca	Orientação da Encosta
Vale do Rio Peixe Bravo		Teto de Coral	NE
		Três Buracos	NW
		Mocororô	SW
		Lajedo Redondo	SE
		Odila	NE
		Barba	SW
		072	NW
		PX-03	NE
		PX-05	SE
		PX-08	NE
		PX-09	NE
		PX-10	NE
		Vaca Morta	SW
QF		Mangabeiras	NE
		Gandarela	NE

Mapa de Orientação de Encostas - Quadrilátero Ferrífero

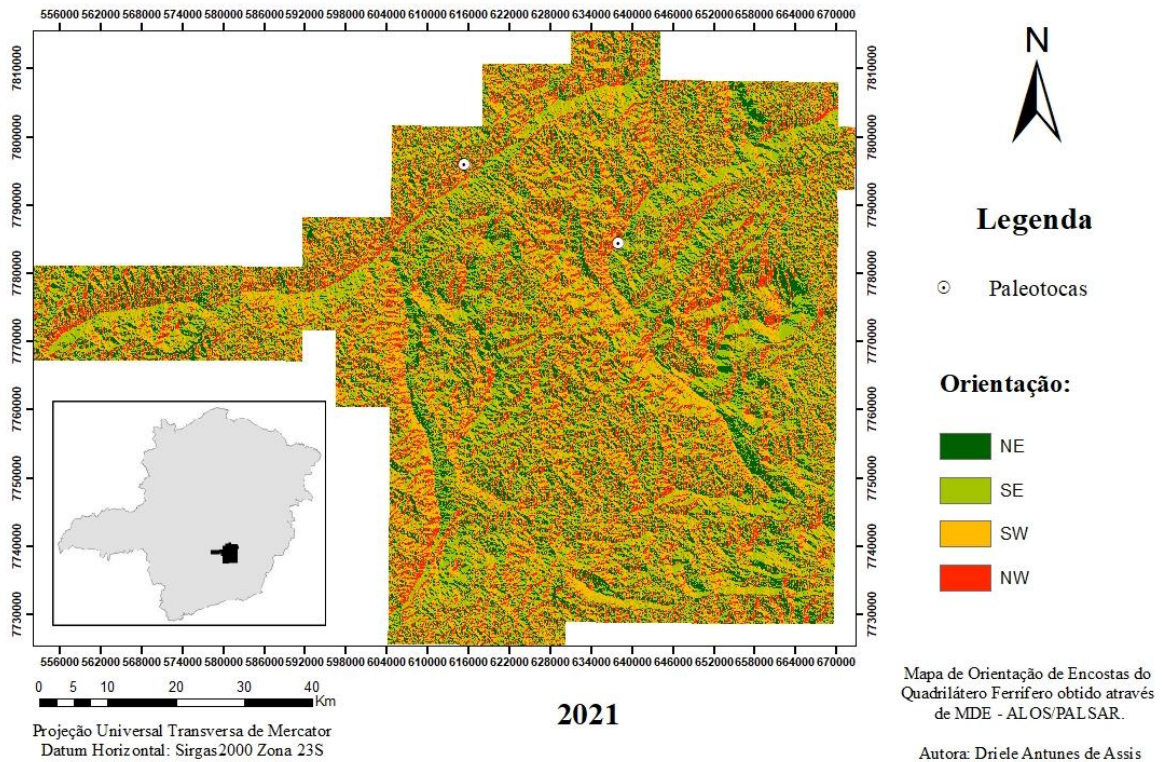


Figura 5.3 - Mapa de orientação de encostas do Quadrilátero Ferrífero obtido através de MDE - ALOS/PASMAR. Indicada a localização das paleotocas existentes.

5.2.4 Rugosidade

Para representação da rugosidade em mapa, utilizou-se a metodologia sugerida por Sampaio & Augustin (2014) que definiram o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), dividindo-o em global e local.

Na região do VPB, o mapa de ICR Local (Apêndice 8), mostrou que 07 das paleotocas ocorrem em locais onde a rugosidade é alta e 05 estão localizadas onde a rugosidade é muito alta (Tabela 5.6). Entretanto, quando comparamos os resultados de concentração da rugosidade no QF (Figura 5.4), as duas ocorrências estão inseridas em locais com baixa e muito baixa concentração de rugosidade.

Contudo, a análise do ICR Global para o VPB (Apêndice 9) apresentou 08 paleotocas em locais escarpados e 05 paleotocas em intervalo caracterizado como fortemente escarpado. Da mesma forma, na área abrangida pelo QF (Figura 5.5), os registros de icnofósseis estão enquadrados em relevo escarpado.

Tabela 5.6: Concentração da rugosidade a partir da representação na forma de mapas para o VPB e QF.

Área	Paleotoca	ICR Local	ICR Global
Vale do Rio Peixe Bravo	Teto de Coral	Muito alto	Escarpado
	Três Buracos	Muito alto	Fortemente Escarpado
	Mocororô	Muito alto	Escarpado
	Lajedo Redondo	Médio	Escarpado
	Odila	Alto	Fortemente Escarpado
	Barba	Muito alto	Fortemente Escarpado
	072	Alto	Escarpado
	PX-03	Alto	Escarpado
	PX-05	Alto	Escarpado
	PX-08	Alto	Escarpado
	PX-09	Alto	Escarpado
	PX-10	Alto	Fortemente Escarpado
	Vaca Morta	Muito alto	Fortemente Escarpado
QF	Mangabeiras	Baixo	Escarpado
	Gandarela	Muito Baixo	Escarpado

Sendo assim, optou-se por utilizar a camada de informações que representa a concentração da rugosidade de forma global, considerando o fato de que, não foi plausível uma relação direta entre os intervalos de rugosidade locais para as ocorrências registradas no VPB e no QF. Sampaio & Augustin (2014) ressaltam que o ICR Global se destina à identificação de unidades de relevo que configuram padrões regionais e podem não delimitar a presença de feições morfológicas locais. O ICR Global e o ICR Local não possuem restrição quanto a escala, mas devem ser adequados tendo em vista a finalidade do estudo.

A forma como este parâmetro pode estar relacionado à possibilidade de escavação ou aproveitamento de cavidades naturais é pertinente a duas hipóteses. A primeira, diz respeito a locomobilidade do organismo. As reentrâncias e saliências presentes no relevo, poderiam estar diretamente relacionadas à escolha do local de implementação da paleotoca, tendo em vista, por exemplo, uma facilidade ou dificuldade de movimentação e acesso pelo animal. A segunda, relaciona-se ao aproveitamento de cavidades e é explicada por um dos processos genéticos de formação delas em rochas ferruginosas. A existência de relevo escarpado associado a locais onde ocorre a quebra da canga, possibilita o aumento do potencial hidráulico favorável aos processos erosivos atuantes na formação destas cavidades (Dutra 2013). Desta forma, esses icnofósseis estariam inseridos em relevos escarpados e fortemente escarpados pois seriam os locais mais propícios a ocorrência de cavidades naturais.

Mapa de Rugosidade Local - Quadrilátero Ferrífero

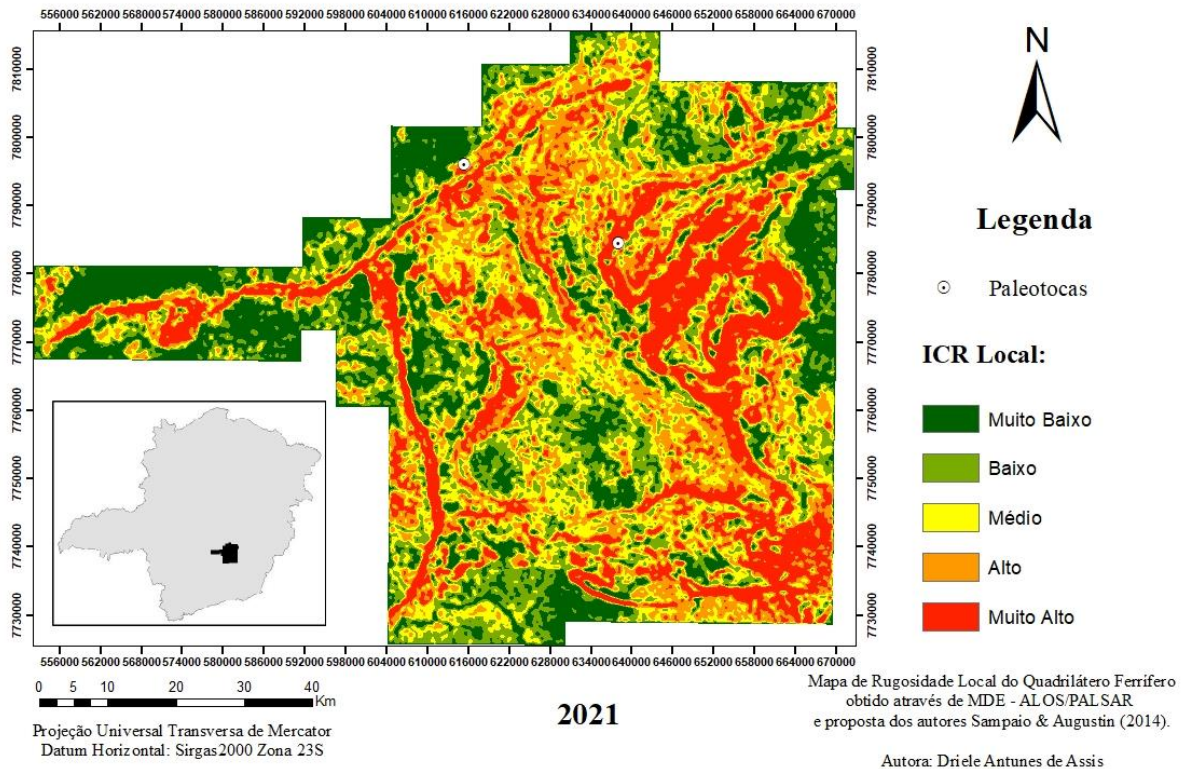


Figura 5.4 - Mapa de Rugosidade Local do QF obtido a partir de MDE - ALOS PALSAR e proposta de Sampaio & Augustin (2014). Indicada a localização das paleotocas existentes.

5.2.5 Litologia

De uma forma geral, o contexto geológico em que estão inseridos o VPB e o QF são muito distintos. Na região do VPB, predominam rochas de idade neoproterozoica do Grupo Macaúbas (Supergrupo São Francisco), constituído predominantemente por diamictitos, quartzitos e filitos. O Grupo é relacionado ao preenchimento do rifte desenvolvido nos limites da faixa de dobramentos Araçuaí e é composto por duas unidades litoestratigráficas: a basal denominada Formação Rio Peixe Bravo e a superior denominada Formação Nova Aurora (Noce *et al.* 1997, Uhlein *et al.* 2007). A Formação Nova Aurora é caracterizada pelo enriquecimento em hematita e morfologicamente apresenta extensas chapadas dissecadas por um ciclo de denudação (Noce *et al.* 1997, Vilela 1986).

Localmente, os geossistemas ferruginosos são constituídos por rochas do Membro Riacho Poções (Formação Nova Aurora, Grupo Macaúbas) representados por diamictitos hematíticos, quartzitos hematíticos, xistos hematíticos e formações ferríferas bandadas (itabiritos) que apresentam bandamento e são formados por camadas de quartzo contendo cristais de hematita e camadas de hematita associada à sericita e clorita (Vilela *et al.* 1978; Vilela 1986; Souza & Carmo 2015).

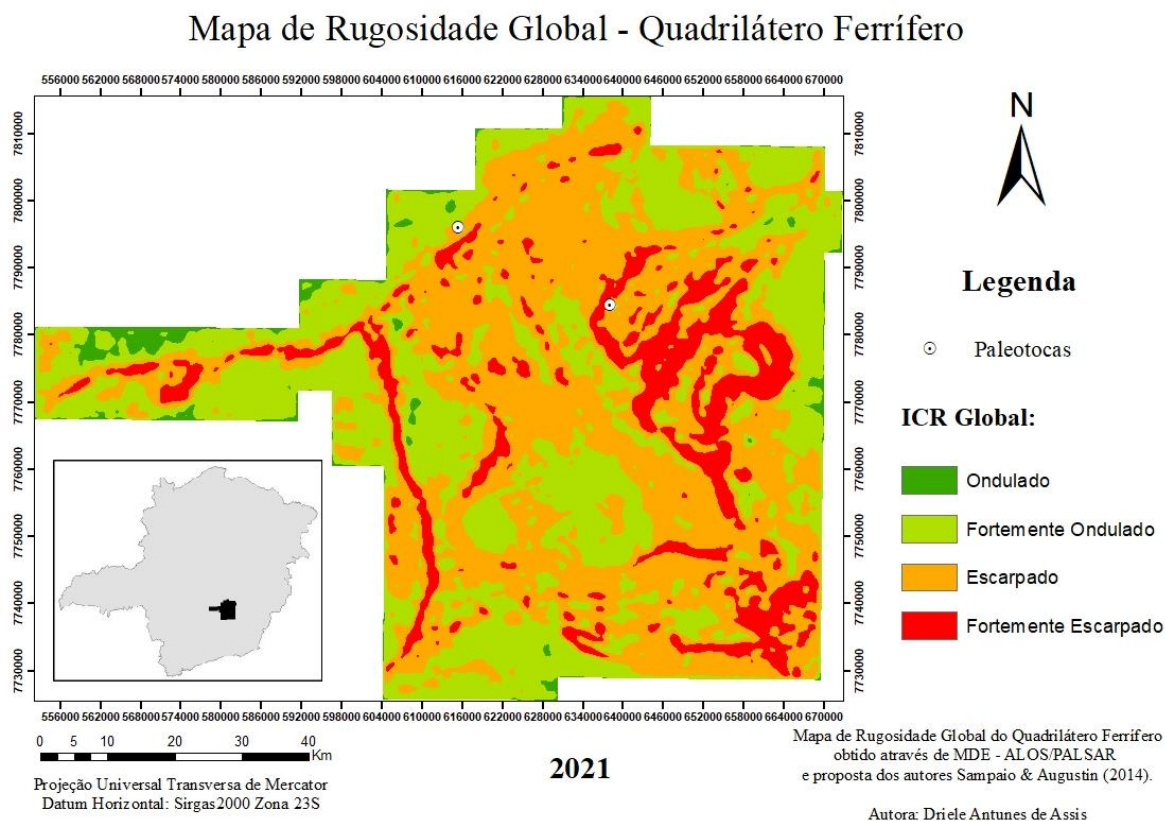


Figura 5.5 - Mapa de Rugosidade Global do QF obtido através de MDE - ALOS PALSAR e proposta de Sampaio & Augustin (2014). Indicada a localização das paleotocas existentes.

O membro Riacho Poções pode atingir cerca de 600 m de espessura (Vilela 1986). As extensas coberturas de canga recobrem os geossistemas ferruginosos e na região recebem o nome de “mocororô” (Carmo & Kamino 2017). As cangas são compostas por matriz de granulometria fina e o arcabouço é formado por hematita, goethita, itabirito e quartzo (Souza & Carmo, 2015).

O mapa de litologia gerado para a região do VPB (Apêndice 10), mostrou que as paleotocas encontraram-se nas cangas, nas coberturas detrítico-coluvionares e nos metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzito e filito, que podem ter níveis de formação ferrífera (Tabela 5.7).

No QF, o mapa de litologia (Figura 5.6) representa as unidades estratigráficas representadas pelos grupos. Por se tratar de uma área extensa e de litologias muito variadas, a representação em formações tornaria a análise muito restrita. Caso a análise se desse por esta perspectiva, para a reclassificação utilizada na composição do mapa, apenas as litologias que se referem às formações as quais ocorrem as paleotocas registradas seriam consideradas. Optou-se então, pela hierarquia em grupos, que considera uma área pouco mais extensa, e pela abrangência de litologias correlacionadas.

A paleotoca registrada como AP-38 está inserida no Grupo Itabira (Supergrupo Minas), composto por itabirito, itabirito dolomítico, filito dolomítico e dolomito ferruginoso e filito. Por outro lado, a paleotoca do Parque das Mangabeiras está inserida no Grupo Sabará (Supergrupo Minas) onde predominam xistos e metagrauvas. Dentre os demais litotipos que ocorrem na região, o Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas) também é composto por xistos e podem ser considerados como um litotipo similar ao que ocorre no Grupo Sabará. Além dos xistos, a unidade litoestratigráfica abrange formações ferríferas, rochas mataultramáficas e metamáficas tholeíticas, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica e formações químico-exalativas.

Tabela 5.7: Litologias em que ocorrem as paleotocas do VPB e do QF segundo os mapas elaborados.

Área	Paleotoca	Litologia
Vale do Rio Peixe Bravo	Teto de Coral	Canga
	Três Buracos	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos
	Mocororô	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos e com níveis de formação ferrífera
	Lajedo Redondo	Coberturas detrito-coluvionares em superfícies de aplainamento
	Odila	Metadiamicritos de matriz quartzo-micácea contendo intercalações de quartzitos impuros
	Barba	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos e com níveis de formação ferrífera
	072	Coberturas detrito-coluvionares em superfícies de aplainamento
	PX-03	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos
	PX-05	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos
	PX-08	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos
	PX-09	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos
	PX-10	Canga
	Vaca Morta	Metadiamicritos de matriz hematítica com intercalações de quartzitos e filitos hematíticos e com níveis de formação ferrífera
QF	Mangabeiras	Xisto, metagrauva
	Gandarela	Itabirito, dolomito

É provável que a rocha ou saprolito fosse friável e relativamente ‘mole’ para que a megafauna plio-pleistocênica pudesse escavar. Existem estimativas de volumes de material escavado para alguns túneis, e estas são da ordem de centenas de toneladas. As dimensões e as morfologias dos túneis mostram a escavação em etapas, alternando entre escavação da rocha e remoção do material (Frank *et al.* 2012). Os autores destacaram sobre o gasto energético que estes animais teriam e que o tempo para produzir os túneis seria da ordem de meses ou anos até sua finalização. Neste sentido, as ocorrências em litotipo ferruginoso demonstram uma grande capacidade de escavação desses animais.

Ao mesmo tempo, o relevo observado para as áreas de estudo das paleotocas são escarpados e muito escarpados. Estas formas são frutos de processos de erosão diferencial, sobre uma litologia ferruginosa, especialmente onde ocorrem espessas coberturas de cangas. A associação do relevo à litologia, pode ter favorecido a ocorrência de muitas cavidades naturais. Isto reforça a teoria de que estes mamíferos também podem ter se aproveitado de cavidades pré-existentes. Tendo em vista uma maior dificuldade de escavar em litologias mais duras, a existência de cavidades naturais facilitaria o processo de escavação, sendo mais fácil ampliá-las e afeiçoá-las à sua maneira.

Mapa de Litologias - Quadrilátero Ferrífero

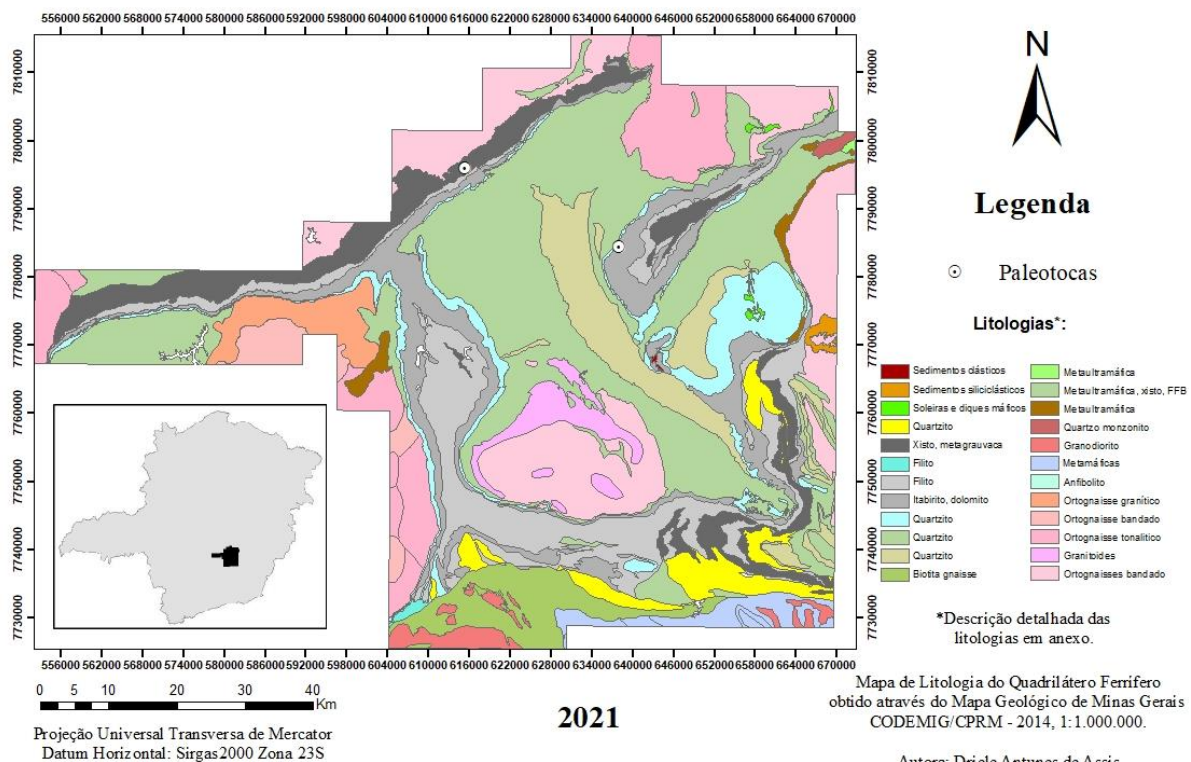


Figura 5.6 - Mapa de Litologia do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: CODEMIG/CPRM - 2014. Para legenda completa, ver Apêndice 18. Indicada a localização das paleotocas existentes.

5.2.6 Solo

O produto gerado na forma de mapa para a área do VPB (Apêndice 11) mostrou que todas as paleotocas, exceto uma, estão inseridas em áreas onde ocorrem neossolos litólicos (Tabela 5.8). Para o QF (Figura 5.7), no mapa elaborado também estão representadas as exposições de canga. A paleotoca situada na Serra do Gandarela também ocorre onde predominam neossolos litólicos, em contraponto ao icnofóssil na capital mineira, que está inserido em áreas com predominância de latossolos ferríferos.

Tabela 5.8 - Tipos de solos onde verificam-se os icnofósseis do VPB e QF.

Área	Paleotoca	Tipo de Solo
Vale do Rio Peixe Bravo	Teto de Coral	Neossolo Litólico
	Três Buracos	Neossolo Litólico
	Mocororô	Neossolo Litólico
	Lajedo Redondo	Neossolo Litólico
	Odila	Latossolo Vermelho-Amarelo
	Barba	Neossolo Litólico
	072	Neossolo Litólico
	PX-03	Neossolo Litólico
	PX-05	Neossolo Litólico
	PX-08	Neossolo Litólico
	PX-09	Neossolo Litólico
	PX-10	Neossolo Litólico
	Vaca Morta	Neossolo Litólico
QF	Mangabeiras	Latossolo Ferrífero
	Gandarela	Neossolo Litólico

O tipo de solo que ocorre na região está relacionado a vários fatores como a litologia, o relevo e o clima. Carvalho Filho *et al.* (2010) destacam que a influência do material de origem nas características dos solos é marcante, com destaque para os solos relacionados a rochas ferríferas, distinguidos de outros pelos altos teores de óxidos de ferro e intensa cor vermelha.

Sabe-se que os latossolos estão associados a uma topografia mais suave, o que contribui para a formação de solos mais profundos. Pela representação em mapa, a maioria dos icnofósseis ocorrem em áreas que predominam neossolos litólicos. Esses solos, em contrapartida, estão associados a áreas de vertentes mais íngremes, portanto pouco profundos e possuem baixa resistência ao intemperismo. Nos

topos das serras ocorrem concreções ferríferas e cangas, relacionadas às alternâncias entre períodos úmidos e secos, que lixiviam a maior parte dos minerais e oxidam o ferro.

Evidentemente, no mapa de solos, em algumas áreas, a cobertura de solo pode estar ausente ou podem apresentar afloramentos de rocha além do exposto, considerando a escala de pouco detalhe. Existem poucos estudos de detalhe relacionados aos solos no QF, o que não permitiu que se fizesse uma análise mais precisa nesse sentido.

Examinou-se então, a possibilidade de utilização do mapa para o parâmetro espessura do regolito, que representa o manto de alteração das rochas, e que também poderia ter influência na possibilidade de escavação ou aproveitamento de cavidades. Mas a profundidade que os solos ocorrem é muito variável e não se encontrou meios de relacionar, mesmo que de forma aproximada, o tipo de solo à espessura que ele ocorre em toda extensão da área. Na literatura, o dimensionamento do manto de alteração associado ao litotipo ferruginoso onde estão os icnofósseis, ainda não é uma característica bem explorada. Portanto, houve carência de informações a respeito deste parâmetro. Através dos mapas, somente pode-se afirmar que, as paleotocas predominam em áreas que ocorrem neossolos litólicos, que em geral são pouco profundos, mas existem ocorrências onde há tendência de apresentar maiores profundidades de solo.

Observa-se também que na região do Sinclinal Gandarela, a cobertura de canga ocupa uma área bastante significativa, inclusive onde está localizado o registro icnofóssil. Neste sentido, Dutra (2013) ressalta que a canga é bem mais recente que o material de origem e, portanto, o relevo sofreu vários milhões de anos de intemperismo antes de ser recoberto pela canga. Assim, pode ter-se formado um solo ou uma rocha decomposta a semidecomposta que posteriormente foi recoberta pela couraça. Sua própria formação já auxiliaria na modificação (intemperismo) do substrato. De fato, a paleotoca AP-38 foi escavada em saprolito e há couraças nas paredes e nos tetos (Bittencourt *et al.* 2015). Pela dimensão desta cavidade, é esperável que a espessura do saprolito seja aproximadamente a mesma altura dos condutos da cavidade, que podem chegar a 6 metros.

5.2.7 Distância da Drenagem

A base cartográfica de drenagem foi baixada, segundo orientações do site do IGAM (<<http://www.igam.mg.gov.br/mapas-e-bases-cartograficas>>), da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema). O Instituto de Gestão de Águas Mineiras - IGAM, através da equipe técnica da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), realizou a otocodificação da base com diversas correções topológicas, entre 2008 e 2010. A escala corresponde aquela das cartas topográficas disponíveis, e variam entre 1:50.000 e 1:100.000. O arquivo para a região

do Vale do Peixe Bravo compreende porções das bacias do São Francisco, Rio Pardo e Jequitinhonha. Para o Quadrilátero Ferrífero abrange as bacias dos rios São Francisco e Doce.

Mapa de Solos - Quadrilátero Ferrífero

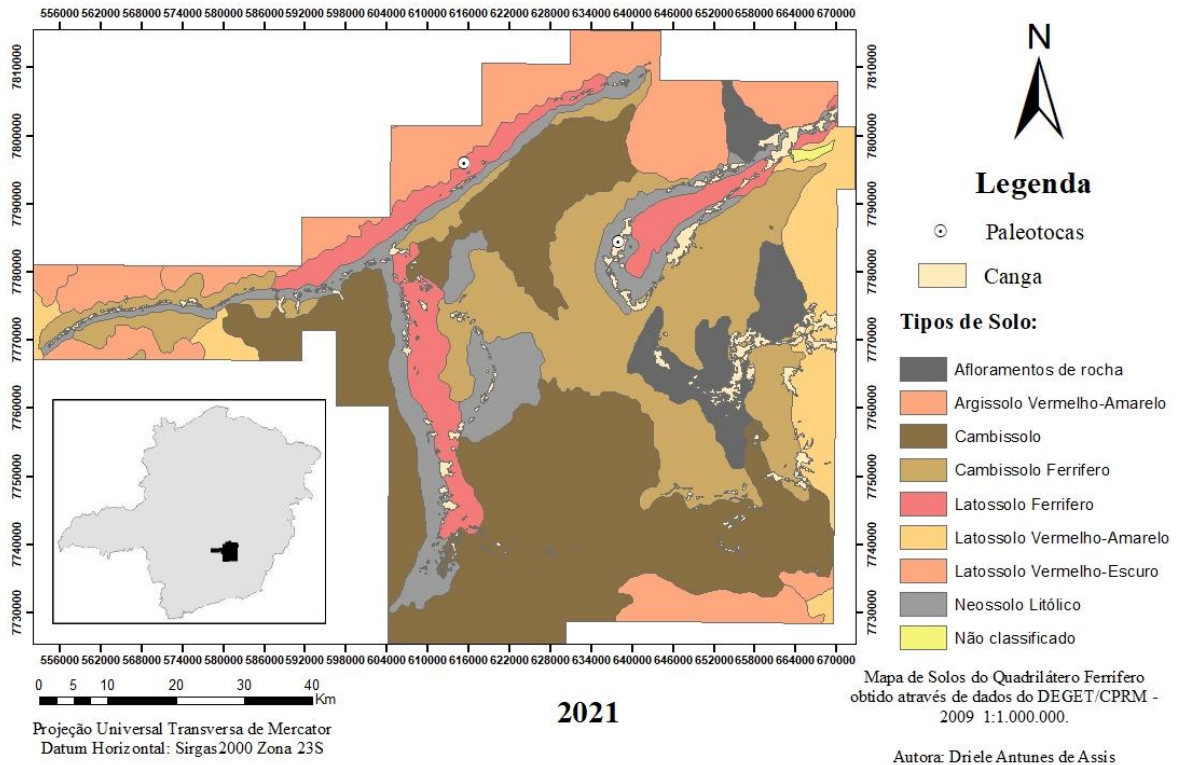


Figura 5.7 - Mapa de Solos do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: DEGET/CPRM - 2009. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Usando a ferramenta *Clip*, obteve-se um recorte das drenagens referentes às bacias para os limites das áreas de interesse. Para obtenção dos intervalos de distância em metros, com relação às drenagens, foi utilizada a ferramenta *Euclidean Distance* (Spatial Analyst Tools -> Distance -> Euclidean Distance). A distância euclidiana é aquela entre dois pontos e é atestada pela aplicação repetida da fórmula do Teorema de Pitágoras. Nos mapas gerados pelo *software*, é possível representar classes de intervalos de distância em diferentes cores.

O que se pôde observar para a região do VPB (Apêndice 12) é que mais da metade dos registros estão localizados em áreas muito próximas à cursos d’água, muitas delas no intervalo entre 0 e 100 metros (Tabela 5.9). Outras estão localizadas em distâncias maiores, chegando a ordem de quase 700 metros da drenagem mais próxima. Quando comparamos com a região central de MG (Figura 5.8), conforme o que acontece no vale, o icnofóssil do Parque das Mangabeiras está no intervalo de até 100

metros. A paleotoca conhecida com AP-38 está inserida no intervalo de distância um pouco maior (201-300 metros), mas ainda assim, relativamente adjacente à drenagem.

Tabela 5.9 - Intervalo de distância da drenagem em relação as paleotocas no VPB e QF.

Área	Paleotoca	Intervalo de Distância da Drenagem (m)
Vale do Rio Peixe Bravo	Teto de Coral	601-700
	Três Buracos	201-300
	Mocororô	201-300
	Lajedo Redondo	0-100
	Odila	0-100
	Barba	0-100
	072	301-400
	PX-03	0-100
	PX-05	0-100
	PX-08	0-100
	PX-09	0-100
	PX-10	0-100
	Vaca Morta	101-200
QF	Mangabeiras	0-100
	Gandarela	201-300

Vários autores identificaram uma proximidade dos icnofósseis em relação aos cursos d'água (Buchmann *et al.* 2003, 2009; Frank *et al.* 2012) e este fato pode estar relacionado a uma facilidade de acesso à bebida, por exemplo. Os resultados aqui descritos reforçam os fatores observados por Buchmann *et al.* (2009) para as ocorrências na região sul do Brasil. Segundo os autores, as paleotocas e crotovinas ocorreriam em “locais de terreno inclinado, e relativamente elevado, sugerindo uma preferência por lugares altos com visão panorâmica e fonte de água próxima”. Ademais, uma adjacência a cursos d'água associada a elevadas altitudes, reduziriam o risco de inundações (Buchmann *et al.* 2003).

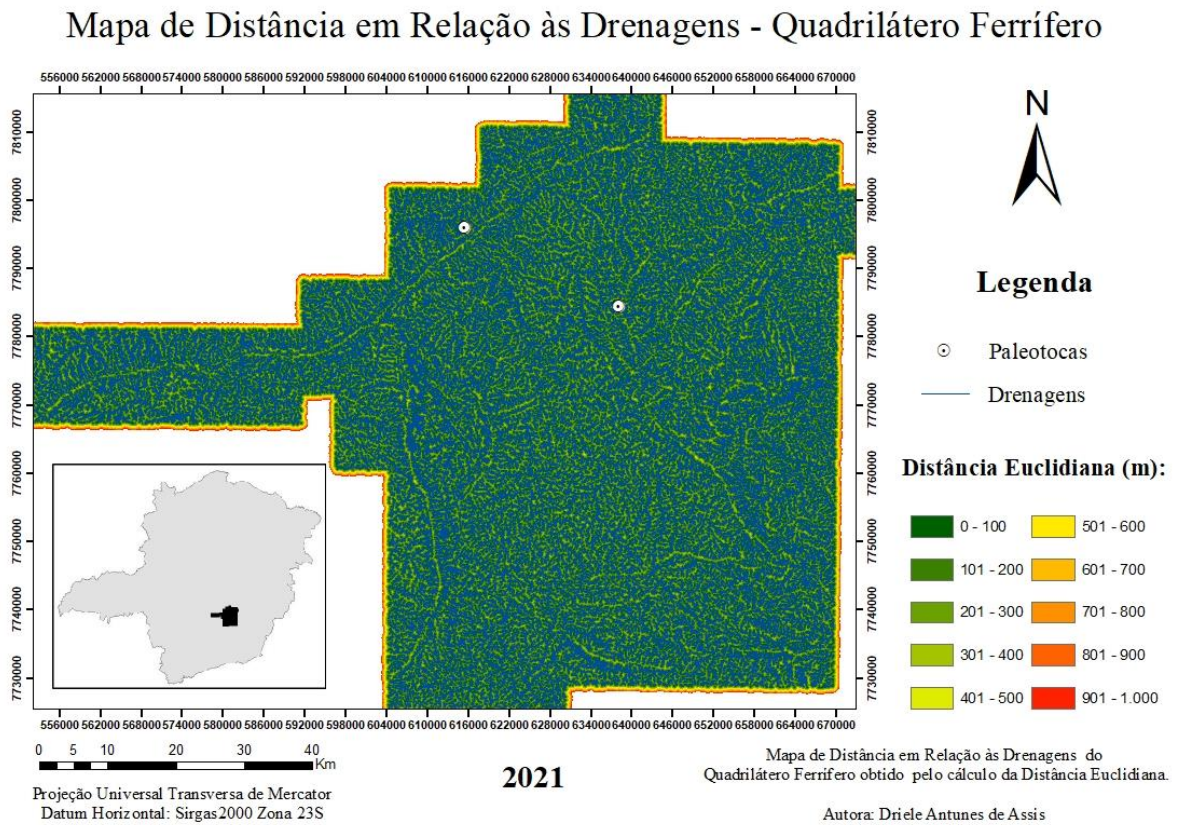


Figura 5.8 - Mapa de Distância em Relação às Drenagens, obtido pelo cálculo da distância Euclidiana. Indicada a localização das paleotocas existentes.

5.3 RECLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS E ELABORAÇÃO DO MAPA DE POTENCIAL DE OCORRÊNCIAS

Para a reclassificação que se seguiu, foram atribuídos novos valores alternativos às classes das camadas de informações do QF, referentes aos parâmetros estabelecidos. Para que se fizesse distinção, as classes que ocorrem ao menos uma paleotoca em comparação ao VPB receberam valores iguais a 3 e as demais receberam valores iguais a 1, como mostra a Tabela 5.10. Da mesma forma, as classes as quais existem registros no QF, mesmo que não ocorram no VPB, também foram contabilizadas. Portanto, considerou-se que todas as classes as quais se localizam no mínimo um registro icnofóssil, caracterizam-se como classes potenciais de encontrar novas ocorrências.

Tabela 5.10 - Valores atribuídos às classes dos parâmetros para o Quadrilátero Ferrífero comparado ao Vale Rio do Peixe Bravo.

Parâmetro	Classes	Valor atribuído
Altitude	640-700	1
	700-800	3
	800-900	3
	900-1000	3
	1000-1100	1
	1100-1200	1
	1200-1300	1
	1300-1400	1
	1400-1500	1
Declividade da encosta	0-10	3
	11-20	3
	21-30	3
	31-40	3
	41-79	1
Orientação da Encosta	NE	3
	SE	3
	SW	3
	NW	3
Rugosidade	Ondulado	1
	Fortemente Ondulado	1
	Escarpado	3
	Fortemente Escarpado	3
Litologia	Grupo Sabará	3
	Grupo Itabira	3
	Grupo Nova Lima	3
Solo	Latossolo Ferrífero	3
	Latossolo Vermelho-Amarelo	3
	Latossolo Vermelho-Escuro	3
	Neossolo Litólico	3
Distância da Drenagem	0-100	3
	101-200	3
	201-300	3
	301-400	3
	401-500	1
	501-600	1
	601-700	3
	701-800	1
	801-900	1
	901-1000	1

Após a reclassificação, as camadas foram convertidas ao formato *Raster*. Posteriormente, seguiu-se a manipulação segundo os pesos dos parâmetros, que foram obtidos através dos resultados da

consulta *Delphi*. A média de pesos recebida para cada parâmetro foi transformada em porcentagem como mostra a Tabela 5.11, e os valores foram arredondados para fins de cálculo e uso no *software*.

Tabela 5.11: Ponderação dos parâmetros segundo as médias de pesos atingidas na técnica *Delphi*.

Parâmetro	Média/Pesos	%
Litologia	9	17
Solo	8,5	16
Declividade da encosta	8	15
Distância da drenagem	8	15
Orientação da encosta	7	13
Altitude	6,5	12
Rugosidade	6,5	12
	53,5	100

Em seguida, a superposição ponderada das camadas foi realizada com auxílio da ferramenta *Raster Calculator* segundo a Equação:

$$M = (L*0.17) + (S*0.16) + (D*0.15) + (P*0.15) + (O*0.13) + (A*0.12) + (R*0.12)$$

Onde,

M = Mapa de Potencial de Ocorrência de Paleotocas;

L = Litologia;

S = Solo;

D = Declividade da encosta;

P = Proximidade de cursos d'água;

O = Orientação da encosta;

A = Altitude e

R = Rugosidade.

Após esta manipulação realizou-se a normalização da camada de informações final conforme os valores máximo e mínimo. Para melhor visualização das áreas do mapa final (Figura 5.9) optou-se por uma escala de cores variando do verde ao vermelho, onde as áreas com coloração avermelhada apresentam maior potencial.

Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Paleotocas - Quadrilátero Ferrífero

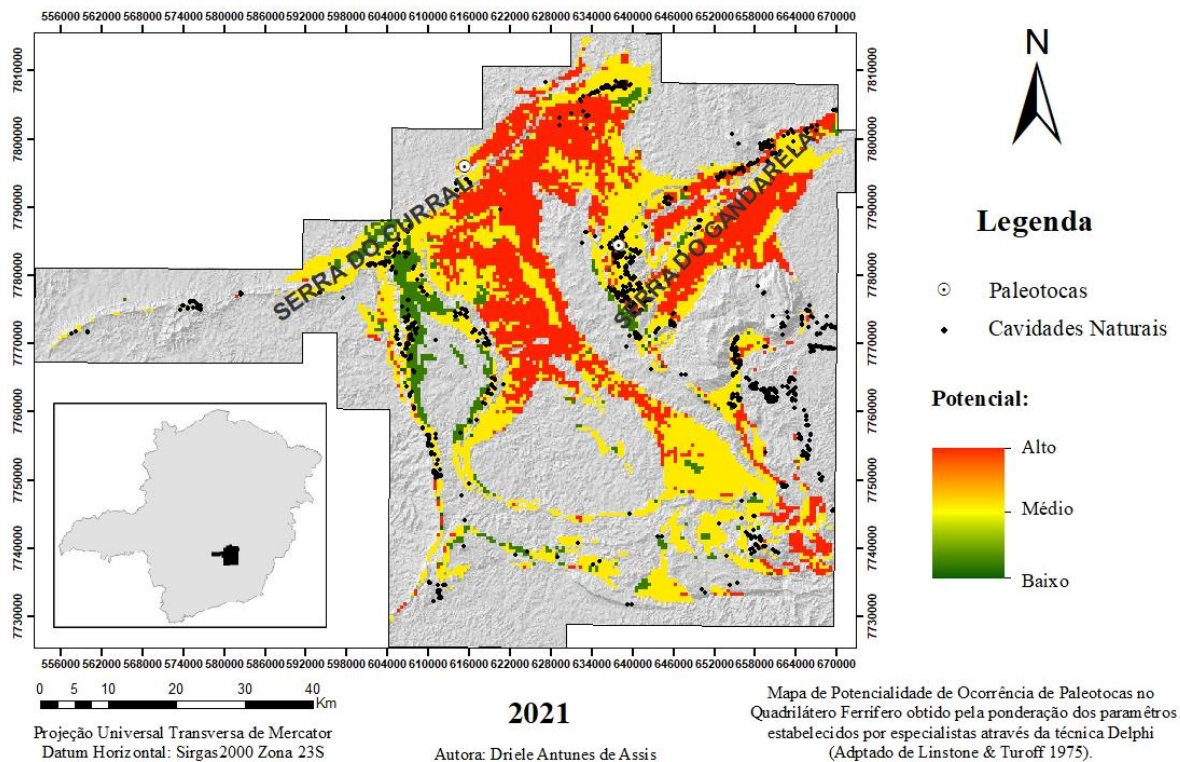


Figura 5.9 - Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Paleotocas no QF. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Com base no mapa de potencial de ocorrência de paleotocas, a partir dos parâmetros estabelecidos, foram identificadas algumas áreas com alta probabilidade de ocorrência. Realizou-se então, a sobreposição das cavidades naturais atualmente cadastradas. A base de dados em formato *shapefile* com as cavidades naturais subterrâneas brasileiras foram obtidas do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE). Os dados foram incorporados em dezembro de 2020, a partir da integração de levantamento de campo, estudos e pesquisas de responsabilidade do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV).

Muitas das cavernas registradas no cadastro nacional são coincidentes com as áreas do QF definidas como alto potencial de se encontrar um icnofóssil escavado pela megafauna extinta. Inicialmente, é possível perceber pelo mapa que, os locais onde as paleotocas registradas na Serra do Gandarela e na Serra do Curral estão inseridas, apontam elevada probabilidade.

Para melhor interpretação, procurou-se contabilizar as cavidades, separá-las por município e unidade estratigráfica em que estão inseridas (Tabela 5.12). Do total de 2020 cavidades naturais registradas, 314 foram contabilizadas em áreas caracterizadas como alta potencialidade.

Tabela 5.12 - Número de cavidades potenciais por localidade e unidade estratigráfica em que está inserida.

Localidade	Nº cavidades potenciais	Grupo Itabira	Grupo Nova Lima
Barão de Cocais	141	125	16
Santa Bárbara	39	37	2
Caeté	28	28	0
Sabará	28	17	11
Nova Lima	20	19	1
Moeda	14	14	0
Itabirito	13	13	0
Ouro Preto	9	9	0
São Gonçalo do Rio Abaixo	8	8	0
Belo Horizonte	6	6	0
Brumadinho	4	4	0
Rio Acima	3	3	0
Catas Altas	1	1	0
	314	284	30

Observou-se que, as cavernas em áreas com potencial elevado estão inseridas em sua maioria (90,5%) no Grupo Itabira (Supergrupo Minas), que abrange rochas como itabiritos e itabiritos dolomíticos. Somente 30 cavidades estão inseridas no Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas), composto, entre outros, por xistos e formações ferríferas. Nenhuma cavidade em área de alto potencial, além da paleotoca do Parque das Mangabeiras, está inserida no Grupo Sabará (Supergrupo Minas), onde predominam xistos e metagrauvas.

No mapa, as áreas ao centro, a norte e a nordeste do Quadrilátero Ferrífero são aquelas que apresentam maior potencialidade. Especialmente na Serra do Gandarela e seu entorno, mostram zonas que possuem alto potencial de ocorrência e coincidem com um número significativo de cavidades registradas. Os municípios de Barão de Cocais, Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo, somam 188 cavernas em zonas de alta probabilidade. Dentre as localidades, Barão de Cocais destaca-se pelo maior número de cavidades (141) dentre aquelas analisadas em áreas de elevado potencial; em sua grande maioria (125) inseridas em rochas do Grupo Itabira.

Na região central, apesar da análise de potencial ter se apresentado como elevado, não há registro de muitas cavidades. Em áreas próximas aos municípios de Rio Acima e Itabirito, são registradas 3 e 13 cavidades em zona de alta probabilidade, respectivamente.

Os territórios a norte mostram um grande número de cavernas que se dividem entre zonas de potenciais caracterizados como médio e majoritariamente alto. Nas localidades próximas às cidades de Belo Horizonte, Nova Lima, Caeté e Sabará são encontradas um total de 82 cavidades em zonas de potencial elevado.

As áreas à oeste expõem grande concentração de cavidades naturais, mas apesar disso, estão enquadradas em zonas que constituem potencialidade média e majoritariamente baixa. Nas proximidades de Brumadinho encontram-se 4 cavernas em áreas de alta probabilidade.

Áreas a sudoeste e a sul exibem as menores proporções com alta potencialidade, que podem ser observadas em algumas partes pontuais. Na localidade de Moeda, a sudoeste, 14 cavernas apresentam-se em zonas de elevada potencialidade.

A leste e a sudeste, os territórios apresentam pequenas porções de probabilidade elevada. Nestas zonas há alguns agrupamentos de cavernas e algumas encontram-se inseridas em área de alto potencial. Algumas cavidades verificam-se exatamente em locais que abrangem alta probabilidade e muitas outras estão localizadas próximas, não precisamente em elevada potencialidade. Nas proximidades de Catas Altas (leste) e Ouro Preto (sudeste) foram analisadas, respectivamente, 1 e 9 cavidades em zonas de elevado potencial.

Nota-se que os resultados da análise para a potencialidade de encontrar um icnofóssil foi fortemente balizada pelas litologias que ocorrem na região do QF. Isto se deu especialmente pelo fato do parâmetro litologia ter sido considerado como de extrema relevância e ter alcançado maior média de pesos entre os especialistas consultados no formulário *Delphi*.

Pôde-se observar, sobretudo, que a maioria das cavidades inseridas em zonas de alta potencialidade estão associadas a rochas do Grupo Itabira (itabiritos), que são de interesse da exploração de minério de ferro. Portanto, o posicionamento das cavidades sobre estas litologias de proveito mineral, as tornam demasiadamente ameaçadas.

Como forma de distinguir as regiões que possuem maior interesse econômico e, dessa forma, maior ameaça do ponto de vista da conservação, elaborou-se um novo mapa. Realizou-se novamente a superposição dos parâmetros estabelecidos com os pesos atribuídos, considerando somente as litologias que se referem ao Grupo Itabira. Foram feitas as mesmas manipulações usadas para o mapa de potencialidade, somente restringiu-se a litologia. Desta forma, as áreas representadas no mapa (Figura 5.10) tornam-se prioritárias à prospecção de paleotocas no Quadrilátero Ferrífero. Consequentemente, as cavidades naturais registradas nas zonas de maior prioridade, devem ser preferencialmente caracterizadas e investigadas como potenciais registros paleontológicos.

De fato, verifica-se pela representação das áreas-alvo de prospecção de paleotocas, que a paleotoca da Serra do Gandarela e áreas no seu entorno (nordeste do QF), estão inseridas em zonas de alta prioridade. Portanto, existe maior necessidade de estudos de detalhe para verificação de ocorrências de icnofósseis, especialmente nestes locais identificados.

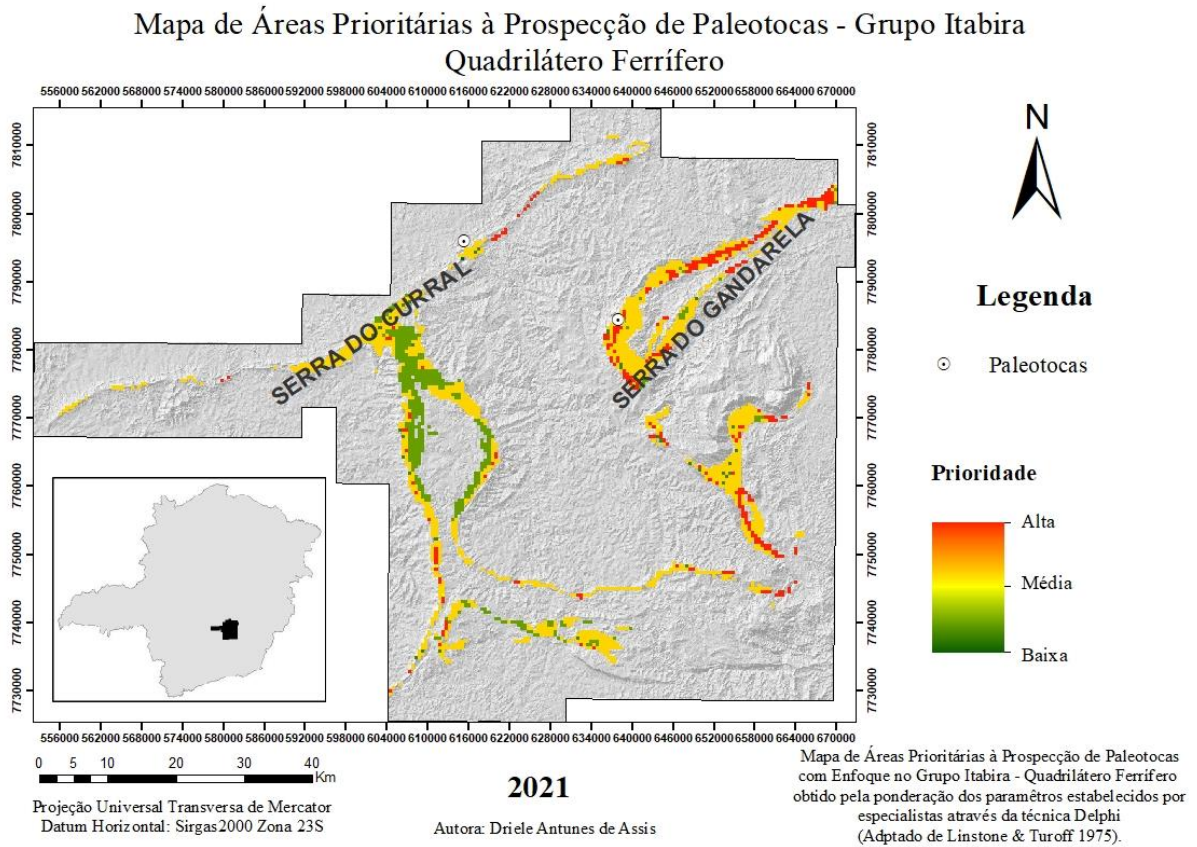


Figura 5.10 - Mapa de Áreas Prioritárias à Prospecção de Paleotocas no QF. Indicada a localização das paleotocas existentes.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas questões ainda precisam ser esclarecidas acerca de como os icnofósseis escavados pela megafauna plio-pleistocênica ocorrem. Há uma grande dificuldade em fazer analogias quanto ao comportamento desses animais extintos, principalmente pelo fato de não existirem animais atualmente que possam ser comparados aos tatus e preguiças-gigantes, em termos de fisiologia e hábitos.

Da mesma forma, existem semelhanças e diferenças quando comparamos os registros de icnofósseis em regiões distintas do Brasil. A maioria das ocorrências, principalmente na região sul, mostram que os organismos escavaram suas tocas em locais seguros, considerando fatores como altitude, incidência de luz solar, proximidade da água e ausência de inundação (Frank *et al.* 2010).

Quando fazemos uma comparação com as cavidades escavadas em geossistemas ferruginosos, percebemos que a maioria das galerias realmente ocorre em topografia elevada. No Quadrilátero Ferrífero existe a possibilidade de serem encontrados registros de icnofósseis em maiores altitudes, se comparados aos demais que se tem conhecimento até o momento. Isto é devido ao contexto geológico associado a evolução geomorfológica, que produziu características topográficas elevadas na área. A evidência de que este fato se confirme, pode ser associado principalmente à paleotoca da Serra do Gandarela, descrita como maior altitude em litotipo ferruginoso, mas também pela descrita na Serra do Curral.

A incidência de raios solares foi analisada considerando a declividade e orientação das encostas. Parece não existir um padrão exato de intervalo de declividade, mas todos os registros indicam inclinações menores que 40°. A orientação das encostas mostrou uma preferência para a direção nordeste, o que caracteriza maior entrada de luz solar no período da manhã e menos expressiva no entardecer. Dessa forma, o ambiente no interior da galeria permaneceria mais fresco durante a noite. Além da orientação preferencial, tem-se as elevadas altitudes, que da mesma forma, estariam ligadas a temperaturas mais frias.

No que diz respeito à distância da drenagem, os resultados mostraram uma predominância dos registros em locais adjacentes a fontes de água, em intervalos de até 100 metros relativos ao curso d'água mais próximo.

Os tipos de solos que ocorrem nas áreas onde estão localizadas as galerias, mostraram preferencialmente os locais que, em geral, se desenvolvem solos pouco profundos e com baixa resistência ao intemperismo. Isto acontece onde normalmente as vertentes são muito íngremes. Em contraponto, ocorrem algumas paleotocas em locais com solos mais evoluídos e, neste caso, os solos estão associados a um relevo suavizado. A espessura do manto de alteração pode ser bastante variável

de uma área para outra, e a escavação desses túneis pode ter sido realizada em solos residuais ou mesmo com características coluvionares. Uma análise de detalhe neste sentido e que englobasse a região do VPB e QF, não foi possível de se realizar, devido aos poucos estudos direcionados a solos disponíveis. Da mesma forma, não existem menções na literatura sobre o dimensionamento do regolito para os icnofósseis estudados.

O material em que os túneis foram escavados e/ou aproveitados apresenta-se como bastante diversificado, mesmo quando tratamos de geossistemas ferruginosos. Cada região está associada a um contexto geológico distinto e, portanto, ocorrem litologias diversas. De fato, não é possível dizer se esses icnofósseis podem estar inseridos em outras litologias encontradas em toda a extensão do QF, além das que foram verificadas. Entretanto, é esperado que a probabilidade de ocorrência seja maior nos litotipos aos quais tem-se registro e em litotipos compatíveis.

É importante salientar que apesar da análise isolada realizada para cada parâmetro, é a associação destes que irá influenciar na ocorrência de paleotocas. Portanto, deve-se estabelecer, sempre que possível, uma análise conjunta de todos esses elementos.

A análise aqui realizada permitiu identificar que os dois registros de paleotocas no QF são prioritários para a conservação. Especialmente o geossítio paleotoca na Serra do Gandarela, concentra uma área que possui relevante interesse para a geoconservação. Ainda assim, não foi inserida nos limites que abrangem o PNSG, o que poderia garantir a preservação, manutenção e uso sustentável desse patrimônio brasileiro. Suas características singulares, seu potencial ainda pouco revelado e extremamente ameaçado pela ação antrópica, revelam que este icnofóssil indiscutivelmente reúne todos os elementos necessários para se tornar uma área protegida.

Existe um grande potencial espeleológico associado às rochas ferruginosas no QF e ficou comprovado por esta análise de comparação com o VPB que, muitas das cavidades podem caracterizar um registro paleontológico da megafauna extinta. Dessa forma, podem existir dezenas de cavernas que ainda não foram devidamente reconhecidas como icnofóssil. Igualmente à área do Vale, onde ocorre um grande número desses icnofósseis em uma área relativamente menor, pode ser que também haja um volume expressivo de paleotocas na região central do estado.

Estes icnofósseis, representam aspectos do patrimônio geológico e cultural, de interesse paleontológico e potencialmente arqueológico, e vão muito além de simples cavernas. No VPB foram registrados grafismos rupestres pintados ou gravados, com formas simples e poucos traços nas paredes de uma das paleotocas (Carmo & Kamino 2017). Os dados científicos e grafismos ainda não foram publicados, somente mencionados em relatórios de licenciamento ambiental e artigos científicos direcionados à paleontologia. Entretanto, constitui grande relevância para a arqueologia mineira, visto que a arte rupestre em cavidades naturais ferruginosas é caracterizada como uma evidência bastante rara.

Praticamente toda área superficial desse geossistema está sobreposta a títulos de direito minerário. É evidente o conflito que existe no uso dos geossistemas ferruginosos relacionados a sua importância econômica e ambiental. De um lado, a extração do minério de ferro que degrada todas as características naturais do ambiente configuradas pelo relevo, os aquíferos e toda biodiversidade. Do outro, a preservação e conservação de patrimônios da humanidade, aqui representados por um tipo de registro que pode ser espeleológico, paleontológico e arqueológico, conjuntamente.

Visto todos os aspectos legais, as paleotocas, como importante registro fóssil, espeleológico e arqueológico, devem ser preservadas e suas zonas de amortecimento resguardadas. Devem ser incluídas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, resguardando através de incentivos e penalidades suas características geológicas, geomorfológicas e paleontológicas (SNUC - LEI 9.985/2000).

Faz-se necessário um trabalho de inventariamento dessas cavidades e de ações para dar visibilidade aos atributos destes importantes registros da megafauna pleistocênica. O uso de técnicas de geoprocessamento mostrou-se como um instrumento eficaz para auxiliar na descoberta de áreas potenciais de ocorrência, contextualizando o patrimônio paleontológico com as características geomorfológicas e geológicas em que ocorrem. Equitativamente, a técnica *Delphi* de consulta a especialistas em determinado assunto, mostrou-se uma ferramenta eficiente de auxílio a tomada de decisão. O formulário pode ser uma alternativa quando não há dados suficientes ou como uma forma de tornar os resultados menos subjetivos.

A divulgação e a realização de políticas de ação ambiental e envolvimento das comunidades locais nas questões ambientais e na preservação desses icnofósseis é imprescindível. Quanto maior o conhecimento acerca desses registros e sua importância, mais efetivas poderão ser as ações para resguardá-los. De fato, existe uma falta de engajamento da população e de eficácia dos órgãos públicos no desenvolvimento de ações de conservação no QF (Castro & Ruchkys 2017). Como foi ressaltado por estes autores, o processo de geoconservação deve partir da comunidade, apoiada no entendimento profissional e embasada em leis específicas.

Uma vez que, grande parte das ocorrências ainda não foram descritas e caracterizadas minuciosamente, são fundamentais estudos mais detalhados. Da mesma forma, a definição por ordem de relevância das classes dos parâmetros aqui determinados seria interessante. Possivelmente, um instrumento útil neste processo, seria o estabelecimento de um protocolo de avaliação para estes icnofósseis, que possa ser aplicado em campo e utilizado em futuras análises com o uso de geoprocessamento.

Seria valoroso que se realizassem visitas ao campo para que se testasse a metodologia desenvolvida neste trabalho e se confirmasse a importância e a ordem estabelecida para os parâmetros

aqui definidos. Dessa forma, um produto a ser desenvolvido seria um mapa mais acurado para o potencial de ocorrência de paleotocas em geossistemas ferruginosos.

Referências Bibliográficas

- Adamy, A. 2016. Descoberta a primeira paleotoca da Amazônia. Disponível em <http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/17604/1/descoberta_paleotoca_amazonia16.pdf>.
- Alkmim F. F. & Marshak S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, **90** (1/2):29-58.
- Alkmim, F.F. & Martins-Neto, M.A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco Craton, eastern Brazil. *Mar. Petrol. Geol.* **33**:127-139.
- 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.
- Barbosa G.V. 1980. Superfícies de Erosão no Quadrilátero Ferrífero. *Revista Brasileira de Geociências*. **10**(1):89-101.
- Bargo, M.S.; Vizcaíno, S.F.; Archuby, F.; Blanco, R.E. 2000. Limb bone proportions, strength and digging in some Lujanian (Late Pleistocene-Early Holocene) mylodontid ground sloths (Mammalia, Xenarthra). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **20**:601-610.
- Bargo, M. S., Zárate, M. A., Vizcaíno, S. F. 2006. Grandes cavadores y trogloditas pleistocenos. *Museo*, **3** (20): 29-34.
- Barros L.F.P., Magalhães Jr. A.P. 2018. Reconstituição de eventos geomorfológicos no Quadrilátero Ferrífero/MG a partir de registros deposicionais fluviais: a bacia do rio Paraopeba. *Quaternary and Environmental Geoscience*. **9**(2):36-48.
- Barros L.F.P., Magalhães Jr. A.P. 2019. O Papel da Bacia do Rio Doce na Configuração Geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero/MG. *Boletim de Geografia*. **37**(1): 145-167.
- Behling H. & Lichte M. 1997. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical Southeastern Brazil. *Quaternary Research*. **48**: 348-358.
- Bergqvist, L. P. & Maciel, L. (1994). *Ícnofósseis de mamíferos (crotovinas) na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, **66** (2): 189-197.
- Bittencourt, J. S.; Vasconcelos, A. G.; Carmo, F. F.; Buchmann, F. S.; Ruchkys, Ú. A.; Travassos, L. E. P.; ... & Faria, L. E. 2015. Registro paleontológico em caverna desenvolvida em formações ferríferas na Serra da Gandarela (MG). *Patrimônio Espeleológico em Rochas Ferruginosas*. Sociedade Brasileira de Espeleologia, Campinas, 191-209.
- Borrero, L. A., Lanata, J. L., Cárdenas, P. 1991. Reestudiando cuevas: nuevas excavaciones en Ultima Esperanza, Magallanes. *In: Anales del Instituto de la Patagonia*, **20**: 101-110.
- Brandalise L. A. 1999. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha Belo Horizonte (SE.23-Z-C-VI), escala 1:100.000, Estado de Minas Gerais. CPRM. 97p.
- Buchmann, F. S. C.; Caron, F.; Lopes, R. P.; Tomazelli, L. J. 2003. Traços fósseis (paleotocas e crotovinas) da megafauna extinta no Rio Grande do Sul, Brasil. *In: 9º Congresso da ABEQUA Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Recife- PE. CD-ROOM, sem paginação.
- Buchmann, F. S. C.; Caron, F., Lopes, R. P. 2005. *Novas paleotocas de tatus gigantes extintos identificadas no Estado de São Paulo: comparação com o Rio Grande do Sul e a Argentina*. Reunião Regional de Paleontologia-PALEO, Brasil. CD-ROOM.
- Buchmann, F. S. C.; Farias, D. S. E., Fornari, M. 2008. Ocupação das paleotocas de tatus gigantes extintos por índios do grupo Jê no sul de Santa Catarina, Brasil. *In: Encontro do Núcleo Regional Sul da SAB*, **6**: 35.
- Buchmann, F. S. C., Lopes, R. P., Caron, F. 2009. Ícnofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no Sudeste e Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Porto Alegre, **3**(12): 247-256.
- Buchmann, F. S. C., Frank H.T., Lima, L.G., Caron, F., Fornari, M., Lopes, R.P. 2011. 10 anos do Projeto Paleotocas: estado da arte. *In: 13º Congresso da ABEQUA Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Armação dos Búzios-RJ. CD-ROOM, sem paginação.
- Buchmann, F.S., Carmo, F. F., ..., & Frank, H.T. 2015. Paleotocas desenvolvidas em rochas ferríferas: importante registro da megafauna no norte de Minas Gerais. *In: Carmo, F.F.; Kamino, L.H.Y. Geossistemas Ferruginosos do*

Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 149-163.

- 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**(2):259-270
- Câmara, G., Davis, C., Monteiro, A. M.V. 2001. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.html>>. Acesso em: Out 2020.
- Campos, A. E. F. 1985. Contribuição à geologia da Porção Sul do Sinclinal Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *In*: Belo Horizonte: Departamento de Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. (monografia)
- Carmo, F.F. 2010. Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais (Dissertação). Belo Horizonte/MG: UFMG - ICB.
- Carmo, F. F., Carmo, F. F., Salgado, A. A. S., Jacobi, C. M. 2011. *Novo sítio espeleológico em sistemas ferruginosos, no vale do rio Peixe Bravo, norte de Minas Gerais, Brasil*. Espeleo-Tema, Campinas, **1**(22): 25-39
- Carmo, F. F., Carmo, F. F., Buchmann, F. S. C., Frank, H. T., Jacobi, C. M. 2011. Primeiros registros de paleotocas desenvolvidas em formações ferríferas, Minas Gerais, Brasil. *In*: 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ponta Grossa-PR. Sociedade Brasileira de Espeleologia, p. 531-540.
- Carmo, F.F.; Kamino, L.H.Y.(ed). 2015. Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora. 553p.
- Carmo, F.F. & Kamino, L.H.Y.(ed.). 2017. *O Vale do Rio Peixe Bravo*. Ilhas de Ferro no Sertão Mineiro. Instituto Prístino, Contagem. 207p.
- Cartelle, C., De Iuliis, G., Ferreira, L.R. 2009. Systematic revision of tropical brazilian Scelidotheriinae sloths (Xenarthra, Mylodontoidea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **29**:555- 566.
- Carvalho, I. S. 2010. Paleontologia: conceitos e métodos. Rio de Janeiro: Interciência, **1**:3.
- Carvalho Filho, A.; Curi, N.; Shinzato, E. 2010. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, **45**(8): 903-916.
- Castro, P. T. A. 2008. Cangas: a influência da geodiversidade na biodiversidade. *In*: Simpósio: Afloramentos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero: biodiversidade, conservação e perspectivas de sustentabilidade, Belo Horizonte. CD, 2008. p.30-51.
- Castro, P. T. A., & Ruchkys, Ú.A. 2017. Iniciativas sobre patrimônio geológico e temas correlatos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Caderno de Geografia*, **27** (Número Especial): 314-331.
- Cezaro, H.S.; Santos, M.C.P.; Campos, J.B. 2016. Possibilidades para uma interpretação de sítios com arte pré-histórica: o caso do Sítio Malacara I e Toca do Tatu. *Revista Memorare*, Tubarão, SC, **39**(1): 47-72.
- CODEMIG. 2012. Mapa geológico da Folha Padre Carvalho, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:100.000. Projeto Criação de Banco de Dados Geográficos para os Mapas Geológicos do Projeto Espinhaço, Minas Gerais. Disponível em <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acessado em Out 2020.
- CODEMIG. 2012. Mapa geológico da Folha Rio Pardo de Minas, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:100.000. Projeto Criação de Banco de Dados Geográficos para os Mapas Geológicos do Projeto Espinhaço, Minas Gerais. Disponível em <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acessado em Out 2020.
- Coelho, A. L. N. 2007. Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte. *In*: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, p. 2437-2445.
- CONAMA, 2004. Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004. Diário Oficial de União, Edição 176, de 13/09/2004 - Seção 1, p. 54-55.
- Constituição dos Estados Unidos do Brasil. Rio de Janeiro, 1988. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao37.htm>.

- Corrêa, R. C., Pinto, M., Santos, T., Schneider, B., Adamirodrigues, K. 2014. Novo Registro e Distribuição de *Propaopus* (Dasypodidae), Megafauna Pleistocênica, Pelotas-Rio Grande do Sul, Brasil. *In: Anais do XXXIII Congresso de Iniciação Científica de Pelotas, Pró-Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa*, 23.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. 2009. Mapa de Geodiversidade do Estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. Departamento de Gestão Territorial. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acessado em Out 2020.
- CPRM, CODEMIG. 2014. Mapa geológico do estado de Minas Gerais. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil. Belo Horizonte. Disponível em <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acessado em Mai 2019.
- Dentzien-Dias, P.C.; Figueiredo, A.E.Q.; Schultz, C.L. 2012. Sobre a gênese das tocas de tetrápodes do Paleozoico e Mesozoico. *Pesquisas em Geociências*, **39** (2): 99-107
- Dondas, A., Isla, F.I., Carballido, J.L. 2009. Paleocaves exhumed from Miramar Formation (Ensenadense Stage-age, Pleistocene), Mar del Plata, Argentina. *Quaternary International*, **210**:44-50.
- Dopico, C. I. M. Lana, C. C., Moreira, H. S., Cassino, L. F., Alkmin, F. F. 2017. U–Pb ages and Hf-isotope data of detrital zircons from the late Neoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. *Precambrian Research*, **291**:143-161
- Dorr II J.V.N. Gair J.E., Pomerene J.B., Rynearson G.A. 1957. *Revisão da estratigrafia Pré-Cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Brasil*. DFPM, DNPM 81. 31p.
- Dorr II J. V. N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. U.S. Geological Survey/DNPM. Professional Paper, 641-A. 110p.
- Drummond F.N, Bacellar L.A.P. 2006. *Caracterização hidrossedimentológica e dos processos evolutivos de voçoroca em área de rochas gnáissicas do alto rio das Velhas (MG)*. **7**(2):87-96.
- Duarte, M. & Paraguassu, L. 2012. Características geomorfológicas e zoneamento urbano nos domínios da serra do Curral em Belo Horizonte-MG. *In: Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Rio de Janeiro.
- Dutra, G. 2013. Síntese dos processos de gênese de cavidades em litologias de ferro. *In: Anais do 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Barreiras-BA, 415-426.
- Estes, G.M. & Kuespert, D. 1976. Delphi in industrial forecasting. *Chemical and Engineering News, EUA*, 40-47.
- Faria, L.E., Santos, L.V., Martins, E.A., Silva, N.V.M., Melo, B.S. 2017. Registro fossilífero em Belo Horizonte - MG: uma paleotoca no Parque das Mangabeiras. *In: III Simpósio Mineiro do Carste*, Belo Horizonte, p.89.
- Faria, L.E., Santos, L.V., Martins, E.A., Silva, N.V.M., Melo, B.S. 2019. A paleotoca no Parque das Mangabeiras: o primeiro registro de um fóssil em Belo Horizonte - MG. *In: Anais do 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia*. Bonito-MS, 872-877.
- Fariña, R.A & Vizcaíno, S.F. 1997. Allometry of the leg bones of some living and extinct armadillos (Dasypoda). *Zeitschrift für Säugetierkunde*, **62**:65-70.
- Fernandes, A. C. S., Carvalho, I. S., Agostinho, S. 2007. Icnofósseis: conceitos gerais. *Icnologia. Sociedade Brasileira de Geologia*, 8-23.
- Fonseca, C. O. 2014. *A dinâmica espacial da Serra do Gandarela e entorno a partir da formação de territórios: análise e representações coremáticas*. Instituto de Geociências UFMG.
- Frank, H.T., Buchmann, F.S.C., Ribeiro, A.M., Lopes, R.P., Caron, F., Lima, L.G. 2008a. New palaeoburrows (ichnofossils) in the State of Rio Grande do Sul, Brazil (Southeastern edge of the Paraná Basin, South America). *In: Reunião Regional de Paleontologia-PALEO 2008*. Resumos, Porto Alegre, UFRGS, p. 27.
- Frank, H.T.; Buchmann, F.S.C.; Ribeiro, A.M.; Lopes, R.P.; Caron, F. & Lima, L.G. 2008b. Crotovine (filled palaeoburrows) patterns on the southeast limit of the Paraná basin (Rio Grande do Sul, Brazil). *In: Reunião Regional de Paleontologia-PALEO 2008*. Resumos, Porto Alegre, UFRGS, p. 26.
- Frank, H. T., Caron, F., Lima, L. G., Lopes, R. P., Azevedo, L. W. 2010. Paleotocas e o cadastro nacional de cavernas brasileiras-uma discussão. *In: Anais II Simpósio Sul-Brasileiro de Espeleologia*.

- Frank, H.T., Buchmann, F.S.C., Lima, L.G., Lopes, R.P., Fornari, M., Caron, F. 2011. Interdisciplinaridade aplicada a paleotocas. In: 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ponta Grossa-PR. Sociedade Brasileira de Espeleologia, p. 541-548.
- Frank, H. T., Oliveira, L. D., Vicoski, F. N., Breier, R., Pasqualon, N. G., Araújo, T., ... & Caron, F. 2012. The complex history of a sandstonehosted cave in the state of Santa Catarina, Brazil. *Espeleo-Tema. Campinas*, **23**(2): 87-101.
- 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.
- Frenguelli, J. 1921. Los terrenos de la costa atlántica em los alrededores de Miramar (Prov. de Buenos Aires) y sus correlaciones. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*, **24**:325-485.
- Frenguelli, J. 1928. Observaciones geológicas em la region costanera sur de la Provincia de Buenos Aires. *Anales de la Facultad de Ciencias de la Educación*, **2**:1-694.
- Genise, J.E. 1989. Las cuevas de Actenomys (Rodentia, Octodontidae) de la Formación Chapadmalal (Plioceno superior) de Mar del Plata y Miramar (provincia de Buenos Aires) *Ameghiniana*, **26**: 33-42.
- Giovinazzo, R.A., & Fishmann, A.A. 2001. *Delphi* Eletrônico - Uma experiência de utilização da metodologia de pesquisa e seu potencial de abrangência regional. In: XIV Congresso Latinoamericano de Estrategia. Buenos Aires, Argentina.
- Groenewald, G.H., Welman, J., Maceachern, J.A. 2001. Vertebrate burrow complexes from the Early Triassic *Cynognathus* Zone (Dreikoppen Formation, Beaufort Group) of the Karoo Basin, South Africa. *Palaios*, **16**(2): 148-160.
- Herz, N. 1978. Metamorphic rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: *Geological Survey Professional Paper* 641-C: 1-81.
- IBGE. 2002. Mapa de clima do Brasil, escala 1:5. 000.000. Rio de Janeiro. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf>. Acessado em mai 2019
- IGAM - Instituto de Gestão de Águas Minerais. Bacias dos Rios São Francisco, Pardo, Jequitinhonha e Doce. Escalas entre 1:50.000 e 1:100.000. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/mapas-e-bases-cartograficas>>. Acessado em: Out 2020.
- INPE. Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2005-2008. Relatório Parcial. São Paulo, 2009.
- Isla, F. I., & Dondas, A. 2001. Facies fluviales del Pleistoceno de Mar del Plata, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, **56**(3): 259-267.
- Kraglievich, J. 1952. El perfil geológico de Chapadmalal y Miramar, Prov. de Buenos Aires. *Revista del Museo de Ciencias Naturales y Tradicionales de Mar del Plata*, **1**:8-37.
- King L. C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*. **18**(2):147-265.
- Lamounier, W. L. Salgado, A. A. R. Carvalho, V. L. M. & Marent, B. R. 2010. As Correlações entre Geologia e Distribuição da Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Serra do 84 Gandarela, Quadrilátero Ferrífero-MG. *Revista Geografias*. Belo Horizonte, **6**(1): 152-165
- Lana C.E. 2010. *Influência de Níveis de Base nas Características Morfossedimentares das Bacias dos Rios das Velhas e Jequitaiá (MG)*. Tese de doutorado. UFOP. 235 p.
- Landell, M.F., Broetto, L., Schrank, A., Frank, H.T., Lima, L.G., Caron, F., Lopes, R.P., Buchmann, F.C.S., Fornari, M. 2010. Fungi Identification in Palaeovertebrate Tunnels. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Paleontologia - PALEO 2010, Porto Alegre, RS, Brasil. Resumos, 1 CD-ROM.
- Lazzari, c., Machado, C.P., Frank, H.T. 2017. Levantamento e caracterização de paleotocas atribuídas à megafauna extinta na Formação Serra Geral, sul do Brasil. In: 2ª Semana Acadêmica do CENT, Bento Gonçalves, RS, p.69.
- Lichte M. 1979. *Morphologie Untersuchung in der Serra do Caraça und ihrem Vorland*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Göttingen. 139p.
- Linstone, H.A. & Turoff, M. 1975. *The Delphi Method - Techniques and applications*. Massachusetts: Adison-Wesley.

- Loczy, L. & Ladeira, E. A. 1976. *Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica*. São Paulo: Edgar Blücher.
- Lopes, R. P., & Buchmann, F. S. C. 2008. Fossils of titanosaurs (Dinosauria, Sauropoda) from a new outcrop in Triângulo Mineiro, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **11**(1): 69-72.
- Lopes, R.P. & Pereira, J.C. 2010. Fossils of Scelidotheriinae Ameghino, 1904 (Xenarthra, Pilosa) in the pleistocene deposits of Rio Grande do Sul, Brazil. *Gaea*, **6**:44-52.
- Lopes, R. P., Frank, H. T., Buchmann, F. S. D. C., & Caron, F. 2017. Megaichnus igen. nov.: giant paleoburrows attributed to extinct Cenozoic mammals from South America. *Ichnos*, **24**(2): 133-145.
- Magalhães Jr. A.P., Saadi A. 1994. Ritmos da Dinâmica Fluvial Neo-Cenozóica Controlados por Soerguimento Regional e Falhamento: O Vale do Rio das Velhas na Região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*. **2**(1):42-54.
- Magalhães Jr., A.P., Cordeiro Netto, O.M., Nascimento, N.O. 2003. Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil - resultados de um painel de especialistas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre*, **8**(4): 49-67.
- Magalhães Jr. A.P., Barros L.F.P., Raposo A.A., Cherem L.F.S. 2012. Dinâmica Fluvial Quaternária do Rio Maracujá, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Geomorfologia*. **13**(1):3-14.
- Manosso, F. C.; Ondicol, R. P. 2012. Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial, **35**(1): 90-100.
- Marshak, S., Tinkham, D., Alkmim, F. F., Brueckner, H., Bornhorst, T. 1997. Dome-and-keel provinces formed during Paleoproterozoic orogenic collapse — Diapir clusters, core complexes, or neither? Examples from the Quadrilátero Ferrífero (Brazil) and the Penokean Orogen (USA). *Geology*, **25**: 415-418.
- Martins, L.K.L.A. 2012. Contribuições para monitoramento de balneabilidade em águas doces no Brasil. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. 139f.
- Maxwell, C.H. & Simmons, G.C. 1958. *The Batatal Formation*. Boletim da Sociedade Brasileira De Geologia, São Paulo, **7**(2): 60-61
- Maxwell C. H. 1972. *Geology and ore deposits of the Alegria district, Minas Gerais, Brazil*. Washington/US, Geol. Survey Prof. Paper. 72p. 341J.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Grossi-Sas, J.H., Baars, F.J., Guimarães, M.V., Mourão, M.A.A., Oliveira, M.J.R., Roque, N.C. 1997. Nova Subdivisão Estratigráfica Regional do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí: O Registro de uma Bacia Neoproterozóica. *Boletim do Núcleo Minas Gerais-Sociedade Brasileira de Geologia*, **14**: 29-31.
- Noce, C. M., Machado, N., Teixeira, W. 1998. U–Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (southern São Francisco craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**(1): 95-102.
- Ogando, R., Frank, H.T., Lima, L.G., Caron, F., Buchmann, F.C.S., Fornari, M., Lopes, R.P. 2010. Paleocuevas en la región de la Formación Tacuarembó (Cuenca del Paraná), Uruguay. In: ENCUESTRO URUGUAYO DE ESPELEOLOGÍA, 2, 2010. *Anais*, Montevideo.
- Ogando, R., Frank, H.T., Buchmann, F.C.S., Fornari, M., Caron, F., Lima, L.G., Lopes, R.P. 2011. Características cársticas generadas en terrenos graníticos a partir de túneles de paleovertebrados de la Megafauna de América del Sur. In: ENCUESTRO URUGUAYO DE ESPELEOLOGÍA, 3, 2011. *Anais*, Montevideo
- Parzanese G.A.C. 1991. *Gênese e desenvolvimento de voçorocas em solos originados de rochas granitoides na região de Cachoeira do Campo, MG*. Dissertação de Mestrado. UFV. 117 p.
- Quintana, C.A. 1992. Estructura interna de una paleocueva, posiblemente de un Dasypodidae (Mammalia, Edentata) del Pleistoceno de Mar del Plata (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana*, **29**:87-91.
- Renger, F. E., Noce, C. M., Romano, A. W., Machado, N. 1994. Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, **2**(1):1-11.
- Ruchkys, U. A., Machado, M. M. M., Castro, P. T. A., Renger, F. E., Trevisol, A., Beato, D. A. C. 2012. Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG)- Proposta. In: Geoparques do Brasil: Propostas. CPRM, 748p.

- Ruchkys, U. 2007. *Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a criação de um Geopark da UNESCO*. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 209 f.
- Ruchkys, U.A., Bittencourt, J.S., Buchmann, F.S.C. 2014. A paleotoca da Serra do Gandarela e seu potencial como geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, **24**:249-263.
- Ruchkys, U.A., Travassos, L.E.P., Rasteiro, M.A., Faria, L.E. 2015. *Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 1ª ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Espeleologia, 354p.
- Ruchkys, U.A., Castro, P.T.A., Santos, D.J., Rodrigues, J.S.B. 2018. Patrimônio em Geossistemas Ferruginosos: Potencial de Uso para o Geoturismo. *Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade*, **04**(02): 902
- Salgado, A. A. R. 2006. *Estudo da evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG - Brasil, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais*. Tese (doutorado), Universidade Federal de Ouro Preto, Université Paul Cezanne - Aix-Marseille III, 125 p.
- Sampaio, T. V. M., & Augustin, C. H. R. R. 2014. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **15**(1).
- Santos G.B., Magalhães Jr. A.P., Cherem L.F.S. 2009. Níveis de terraços fluviais e depósitos sedimentares correlativos no alto vale do rio das velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. **10**(1):73-84.
- Santos, D.J.S., Ruchkys, U.A., Travassos, L.E.P., Pizani, F.M.C. 2018. Uso de técnicas de geoprocessamento para caracterização geoambiental das áreas de ocorrência do patrimônio espeleológico no Geossistema Ferruginoso do Parque Nacional da Serra do Gandarela, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, **28**(53): 362-384.
- Schmitz, P. I. & Novasco, R. V. 2011. Arqueologia no planalto: o uso do SIG na aplicação de análises espaciais dos sítios arqueológicos da localidade Boa Parada, Município de São José do Cerrito, SC. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, **21**: 167-183.
- Schneider, B. C. & Corrêa, R. C. 2014. Icnofósseis (paleotoca) atribuídos à fauna pleistocênica, região de Pelotas, Monte Bonito, RS, Brasil. In: Anais XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Sem paginação.
- Silva, J.R. & Salgado, A.A.R. 2009. Mapeamento das unidades de relevo da região da Serra do Gandarela-Quadrilátero Ferrífero/MG. *Book Geografias*, Belo Horizonte-MG, 107(2): 107-125
- Sobreira F.G. 1998 *Estudo das erosões do distrito de Cachoeira do Campo, Ouro Preto*. Relatório final de projeto. FAPEMIG. 120 p.
- Souza, F.C.R. & Carmo, F.F. 2015. Geossistemas Ferruginosos no Brasil. In: Carmo, F.F.; Kamino, L.H.Y. Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte: 3i Editora, 47-76.
- Timo, J.B., Timo, M.B., Dutra, G.M, Travassos, L.E.P.,..., Salvador, R.N. 2019. Monitoramento hídrico na cavidade AP_0038, sítio espeleológico Apolo, Santa Bárbara, Minas Gerais, Brasil. In: Anais 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia, Bonito, Brasil, 164-169. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_164-169.pdf>. Acesso em Mar 2021.
- Uhlein, A., Trompette, R.R., Egydio-Silva, M., Vauchez, A. 2007. A Glaciação Sturtiana (750 MA), a Estrutura do Rifte Macaúbas-Santo Onofre e a Estratigrafia do Grupo Macaúbas, Faixa Araçuaí. *Geonomos*, **15**(1): 45-60.
- Valadão C. R. 1998. *Evolução de longo termo do relevo do cráton do São Francisco (desnudação, paleosuperfícies e movimentos crustais)*. Tese de Doutorado. UFBA. 343p.
- Varajão, C. A. C. 1991. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo, *Revista Brasileira de Geociências*, **21**(2): 138-145.
- Varajão, C.A.C., Salgado, A.A., Varajão, A.F.D.C., Braucher, R., Colin, F., Nalini JR, H.A. 2009. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (¹⁰Be) e da pedogênese. *Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa (MG)*, **33**: 1409-1425

- Varricchio, D. J., Martin, A. J., Katsura, Y. 2007. First trace and body fossil evidence of a burrowing, denning dinosaur. *Proceedings of Royal Society Bulletin*, **274**:1361-1368.
- Vilela, O.V. 1986. As jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais. *In: Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S. Principais Depósitos Minerais do Brasil: Ferro e Metais da Indústria do Aço*, **2**: 111-120.
- Vilela, O.V., Pena, C.A., Barsotti, T.M., Jorge, A.S. 1978. Prospecção das jazidas de minério de ferro dos municípios de Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Grão-Mogol, norte de Minas Gerais. *In: 20º Congresso Brasileiro de Geologia. Recife. Anais... Recife:SBG, 1914-1921.*
- Vizcaíno, S.F., Fariña; R.A., Mazzeta, G. 1999. Ulnar dimensions and fossoriability in armadillos and other South American mammals. *Acta Theriologica*, **44**:309-320.
- Vizcaíno, S.F., Zárate, M., 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.
- Vizcaíno, S.F., Milne, N., Bargo, M.S. 2003. Limb reconstruction of *Eutatus seguini* (Mammalia: Xenarthra: Dasypodidae). Paleobiological implications. *Ameghiniana*, **40**:89-101.
- Voorhies, M. R. 1975. Vertebrate burrows. *In: Frey, R. W. (Ed.). The study of trace fossils. New York, Springer, p.325-350.*
- Wallace, H. M. 1958. The Moeda formation. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo*, **7** (2): 59-60.
- Wright, J.T.C., & Giovinazzo, R.A. 2000. Delphi - Uma ferramenta de apoio ao Planejamento Prospectivo. *Caderno de Pesquisas em Administração*, **1**(12): 54-65.
- Zárate, M.A. & Fasano, J.L. 1989. The Plio-Pleistocene record of the central eastern Pampas, Buenos Aires province, Argentina: the Chapadmalal case study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **72**:27-52.
- Zárate, M.A., Bargo, M.S., Vizcaíno, S.F., Dondas, A., Scaglia, O. 1998. Estructuras biogénicas en el Cenozoico tardío de Mar del Plata (Argentina) atribuibles a grandes mamíferos. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, **5**:95-103.

Apêndices

Apêndice 1 – Carta Convite enviada aos especialistas para Aplicação da Metodologia *Delphi*.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS

Consulta para Aplicação de Metodologia DELPHI

Driele Antunes de Assis

Mestranda em Geologia Ambiental e Recursos Naturais/UFOP

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro

Departamento de Geologia/UFOP

Prezado (a) pesquisador (a),

Esta pesquisa será utilizada em uma dissertação de mestrado que se encontra em andamento no Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. O intuito da mesma é gerar um conjunto de critérios relacionados à ocorrência de paleotocas escavadas pela megafauna quaternária, ou mesmo a utilização de cavidades pré-existentes como abrigo em sistemas ferruginosos. A consulta de opinião é composta por parâmetros geomorfológicos e geológicos (pedológicos e litológicos), a serem ordenados por ordem de relevância, como guias para prospecção de paleotocas no Quadrilátero Ferrífero e outras áreas em que ocorrem rochas ferruginosas.

Para tal, adaptamos a metodologia DELPHI (Linstone e Turof, 1975) como auxílio na tomada de decisão através da obtenção de consenso entre especialistas em uma área do conhecimento, com oportunidade de revisão de opiniões após conhecer os resultados dos demais pesquisados.

Gostaríamos de ressaltar que, somente recebeu este questionário um seleto grupo de profissionais de reconhecida qualificação profissional, após prévia avaliação de Currículo Lattes. Portanto, contamos com a participação de todos, e garantimos seu **anonimato**, no preenchimento do questionário disponibilizado no *link*.

A classificação de parâmetros na ocorrência de paleotocas, servirá como base para modelagem computacional e espacial, por cartografia digital, de potenciais áreas de ocorrências de paleotocas no Quadrilátero Ferrífero. A análise será através de um comparativo entre outros registros em sistemas ferruginosos e os dois únicos registros no Quadrilátero Ferrífero (Paleotoca da Serra do Gandarela e Paleotoca da Serra do Curral).

As paleotocas registram a evolução da vida e representam os últimos registros da megafauna pleistocênica neotropical. Mesmo sendo encaixadas em várias leis de proteção e conservação existentes na constituição federal, essas cavidades sofrem constantemente com ameaças e pressões, principalmente vindas da atividade de mineração. Assim, queremos ressaltar a importância da descoberta de novas ferramentas que nos auxiliem na descoberta de novos registros.

Realizaremos duas fases:

Fase 1: Identificar os parâmetros e atribuir pesos a eles, relacionando a relevância deste parâmetro na probabilidade de ocorrência de paleotocas em sistemas ferruginosos.

Fase 2: Tendo conhecimento dos resultados dos demais parâmetros pesquisados na rodada anterior, identificar mais parâmetros e atribuir pesos a eles, relacionando a relevância destes parâmetros na probabilidade de ocorrência de paleotocas em sistemas ferruginosos.

Em ambas as fases, os especialistas poderão revisar ou não suas respostas. Ao final, todos os pesquisados receberão um compilado dos resultados provenientes da pesquisa.

Solicitamos, por gentileza, que preencha o formulário da Fase 1 até o dia **15 de abril de 2021**. Se houver quaisquer dúvidas, entre em contato por este e-mail.

Caso não tenha disponibilidade em participar, por favor nos comunique através deste e-mail.

Link do formulário: <https://forms.gle/rLNR8GR55qmte56s7>

Desde já agradecemos,

Driele Antunes de Assis

Mestranda em Geologia Ambiental e Recursos Naturais

Universidade Federal de Ouro Preto

(32) 991051432 - (33) 999919942

Apêndice 2 – Formulário de Questões *Delphi* referente a primeira fase.

FORMULÁRIO FASE 1

Consulta para Aplicação de Metodologia DELPHI

Instruções para o preenchimento

A seguir, serão apresentados critérios geomorfológicos e geológicos (litológicos e pedológicos) que podem ter relevância na análise da probabilidade de ocorrência de paleotocas em sistemas ferruginosos. Entre parênteses está uma breve explicação do que consiste o parâmetro e sugestões de como ele poderia influenciar na análise.

- Para cada parâmetro, o especialista deverá escolher entre as opções INCLUIR, NÃO INCLUIR ou INDECISO, a saber:

INCLUIR: O parâmetro é importante na análise da probabilidade de ocorrência de paleotocas em sistemas ferruginosos.

NÃO INCLUIR: O parâmetro NÃO é importante na análise da probabilidade de ocorrência de paleotocas em sistemas ferruginosos e, portanto, NÃO deve ser incluído.

INDECISO: Incerteza na decisão de inclusão ou exclusão do parâmetro.

- Somente para os parâmetros assinalados na categoria INCLUIR, o especialista deverá atribuir um peso de 1 a 10, relacionando a relevância desse parâmetro na análise da probabilidade de ocorrências de paleotocas em sistemas ferruginosos.

Parâmetros Geomorfológicos:

1. Altitude (Elevação vertical da abertura da paleotoca em relação ao nível do mar, podendo influenciar na temperatura e pressão do ambiente em seu interior)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

2. Declividade da encosta (Inclinação da superfície do terreno, podendo influenciar na infiltração da água e incidência de raios solares no interior da paleotoca)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

3. Orientação da encosta (Azimute; expressão em graus da maior inclinação do terreno, podendo influenciar nos mesmos aspectos que a declividade)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

4. Rugosidade do terreno (Saliências e reentrâncias do relevo, influenciando na facilidade ou dificuldade de locomoção do organismo)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

Parâmetros Geológicos (Pedológicos e Litológicos):

5. Litologia (Tipo de rocha, podendo influenciar na preferência do animal para escavação)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

6. Intemperismo (Conjunto de processos que alteram física e quimicamente as rochas, tornando-as friáveis e facilitando a escavação ou ampliação de cavidades pelo animal)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

7. Espessura do regolito (Dimensão do manto de alteração nas rochas, influenciando na escavação ou aproveitamento de cavidades pré-existent)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

8. Existência de solo ou material pouco consolidado (Possibilidade de escavação pelo animal tanto em solos residuais como em solos coluvionares)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

Inclusão de novos parâmetros, comentários e sugestões:

Apêndice 3 – Carta Convite da Fase 2 enviada aos especialistas respondentes da Aplicação *Delphi*.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EVOLUÇÃO CRUSTAL E RECURSOS NATURAIS**

Consulta para Aplicação de Metodologia DELPHI

Driele Antunes de Assis

Mestranda em Geologia Ambiental e Recursos Naturais/UFOP

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro

Departamento de Geologia/UFOP

Caro especialista,

Agradecemos pela disponibilidade em responder o questionário da fase anterior e esperamos contar novamente com sua contribuição.

Esta é a segunda e última fase desta consulta de opinião. Apresentaremos os resultados obtidos ao final da Fase 1, que permitirá que reavaliem suas respostas e conheçam as opiniões dos demais pesquisadores participantes.

Ao final de todo processo, todos receberão um compilado dos resultados finais obtidos nesta pesquisa de opinião.

Solicitamos, por gentileza, que preencham o questionário até o dia **25 de abril de 2021**. Se houver quaisquer dúvidas, entre em contato por este e-mail.

Caso não tenha disponibilidade em participar, por favor nos comunique através deste e-mail.

Link do formulário: <https://forms.gle/o8Spqp9qRoKtaV6EA>

Desde já agradecemos,

Driele Antunes de Assis

Mestranda em Geologia Ambiental e Recursos Naturais

Universidade Federal de Ouro Preto

(32) 991051432 - (33) 999919942

Apêndice 4 - Formulário de questões referente à fase 2 da consulta *Delphi*.

FORMULÁRIO FASE 2

Consulta para Aplicação de Metodologia DELPHI

Instruções para o preenchimento

A seguir, serão apresentados critérios geomorfológicos e geológicos (litológicos e pedológicos) que podem ter relevância na análise da probabilidade de ocorrência de paleotocas escavadas pela megafauna quaternária, ou mesmo a utilização de cavidades pré-existentes como abrigo em sistemas ferruginosos.

Seguiremos com a mesma dinâmica de preenchimento dos parâmetros usada na Fase 1, optando-se por INCLUIR, NÃO INCLUIR e INDECISO; e aqueles assinalados na opção INCLUIR receberão peso de 1 a 10.

Nesta Fase 2, serão apresentadas as porcentagens das respostas obtidas na fase anterior, assim como a média e a mediana dos pesos para cada parâmetro.

Ao final, estão relacionados novos parâmetros que foram sugeridos pelos participantes. Caso concorde com a sua inclusão, pedimos que atribua pesos a eles.

Parâmetros Geomorfológicos:

1. Altitude (Elevação vertical da abertura da paleotoca em relação ao nível do mar, podendo influenciar na temperatura e pressão do ambiente em seu interior)

Deve-se: Incluir (56%) Excluir (32%) Indeciso (12%)

Peso (Média 6,86 - Mediana 7): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

2. Declividade da encosta (Inclinação da superfície do terreno, podendo influenciar na infiltração da água e incidência de raios solares no interior da paleotoca)

Deve-se: Incluir (84%) Excluir (12%) Indeciso (4%)

Peso (Média 6,9 - Mediana 7): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

3. Orientação da encosta (Azimute; expressão em graus da maior inclinação do terreno, podendo influenciar nos mesmos aspectos que a declividade)

Deve-se: Incluir (44%) Excluir (28%) Indeciso (28%)

Peso (Média 6,36 - Mediana 6): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

4. Rugosidade do terreno (Saliências e reentrâncias do relevo, influenciando na facilidade ou dificuldade de locomoção do organismo)

Deve-se: Incluir (56%) Excluir (16%) Indeciso (28%)

Peso (Média 6,57 - Mediana 7): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

Parâmetros Geológicos (Pedológicos e Litológicos):

5. Litologia (Tipo de rocha, podendo influenciar na preferência do animal para escavação)

Deve-se: Incluir (100%) Excluir (0%) Indeciso (0%)

Peso (Média 9,08 - Mediana 10): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

6. Intemperismo (Conjunto de processos que alteram física e quimicamente as rochas, tornando-as friáveis e facilitando a escavação ou ampliação de cavidades pelo animal)

Deve-se: Incluir (92%) Excluir (8%) Indeciso (0%)

Peso (Média 8,48 - Mediana 9): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

7. Espessura do regolito (Dimensão do manto de alteração nas rochas, influenciando na escavação ou aproveitamento de cavidades pré-existent)

Deve-se: Incluir (96%) Excluir (0%) Indeciso (4%)

Peso (Média 7,7 - Mediana 8): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

8. Existência de solo ou material pouco consolidado (Possibilidade de escavação pelo animal tanto em solos residuais como em solos coluvionares)

Deve-se: Incluir (80%) Excluir (0%) Indeciso (20%)

Peso (Média 8,35 - Mediana 9): (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante)

Parâmetros Sugeridos:

9. Proximidade de cursos d'água (Rios ou lagos próximos à paleotoca, influenciando na facilidade de acesso à água e comida por esses animais)

Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

10. Feições estruturais

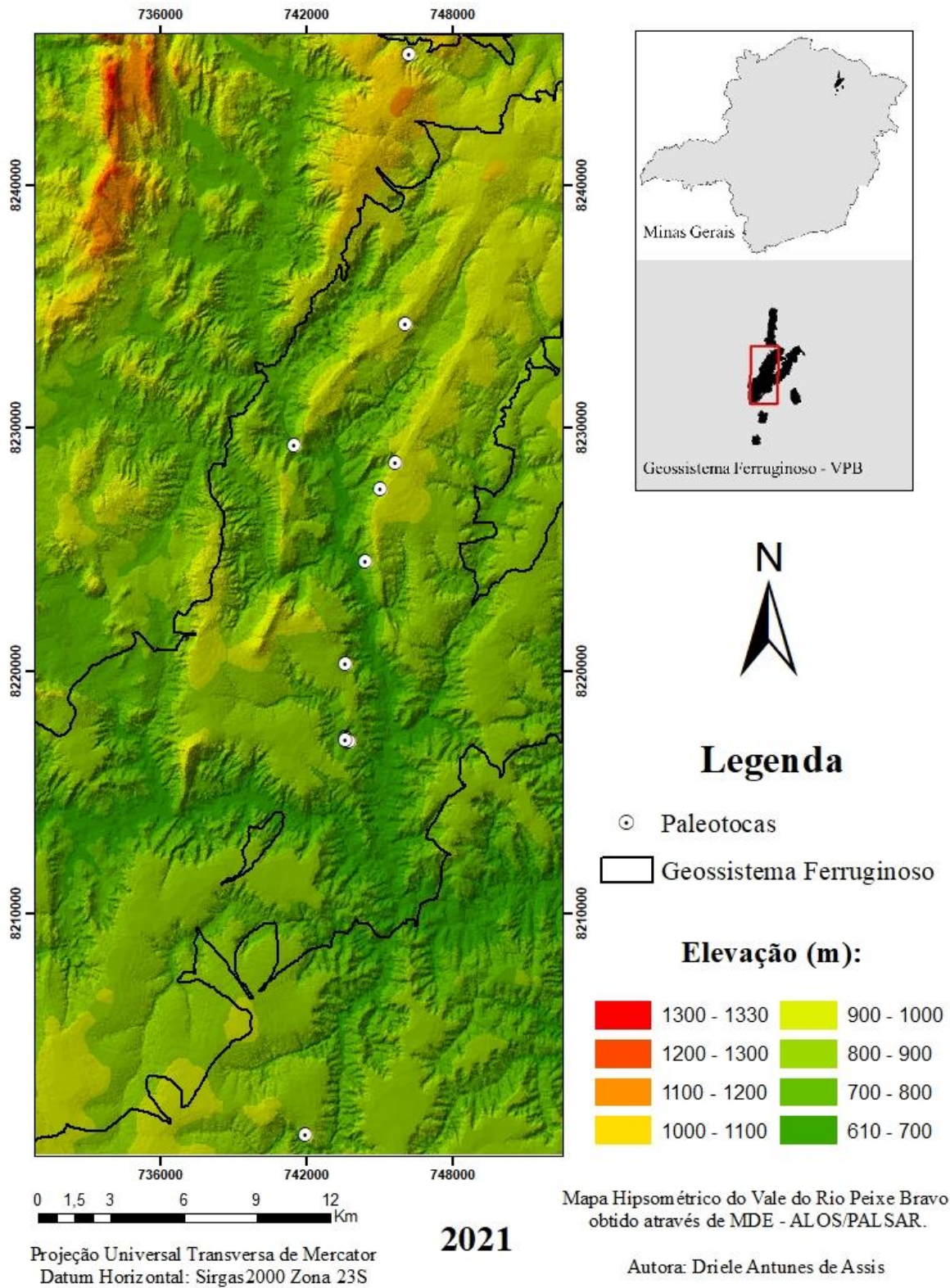
Deve-se: Incluir Excluir Indeciso

Peso (de 1 a 10, sendo 1 pouco relevante e 10 muito relevante):

Comentários e sugestões:

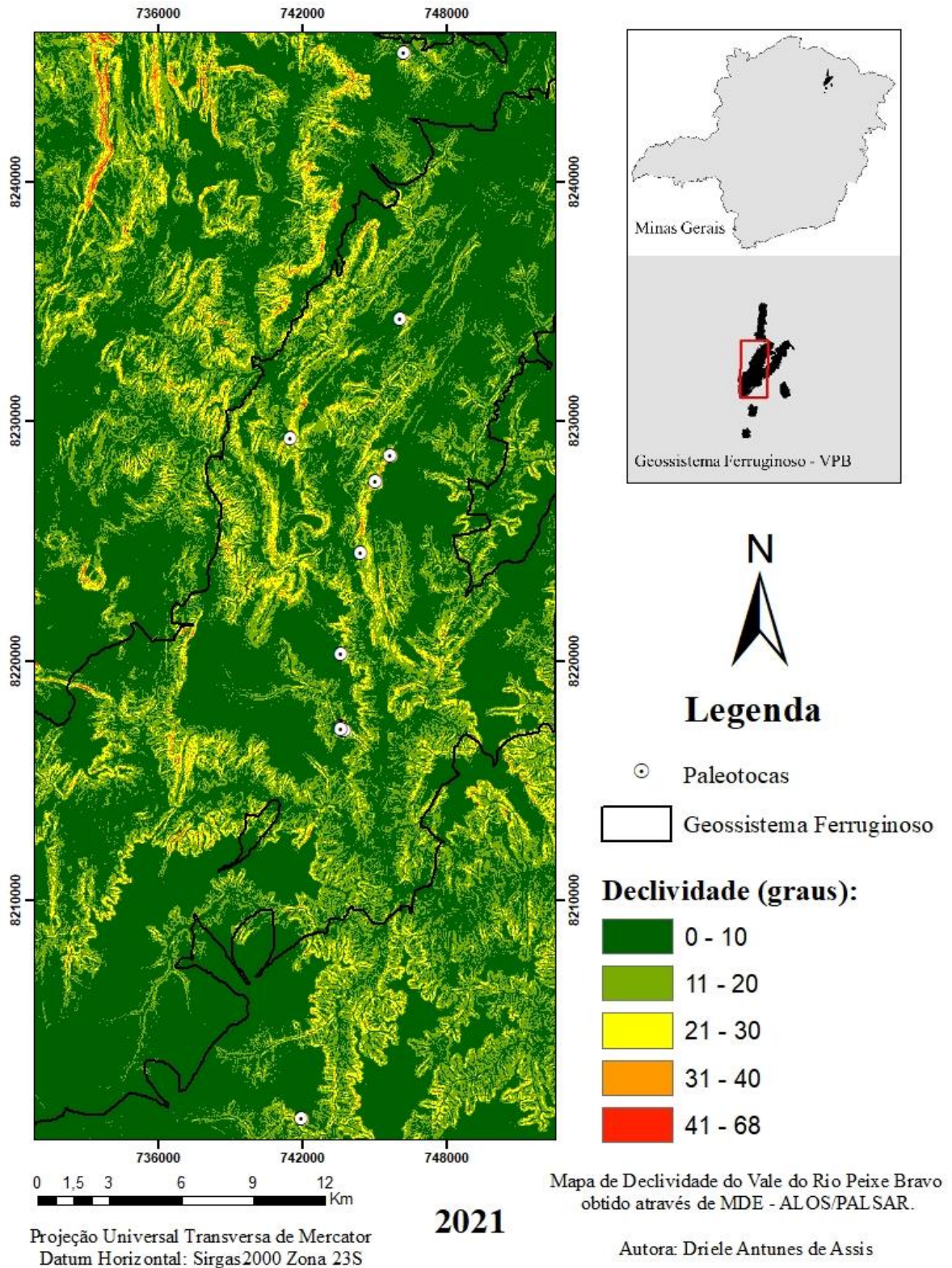
Apêndice 5 – Mapa de Altitude (Hipsométrico) para o Vale do Rio Peixe Bravo.

Mapa Hipsométrico - Vale do Rio Peixe Bravo

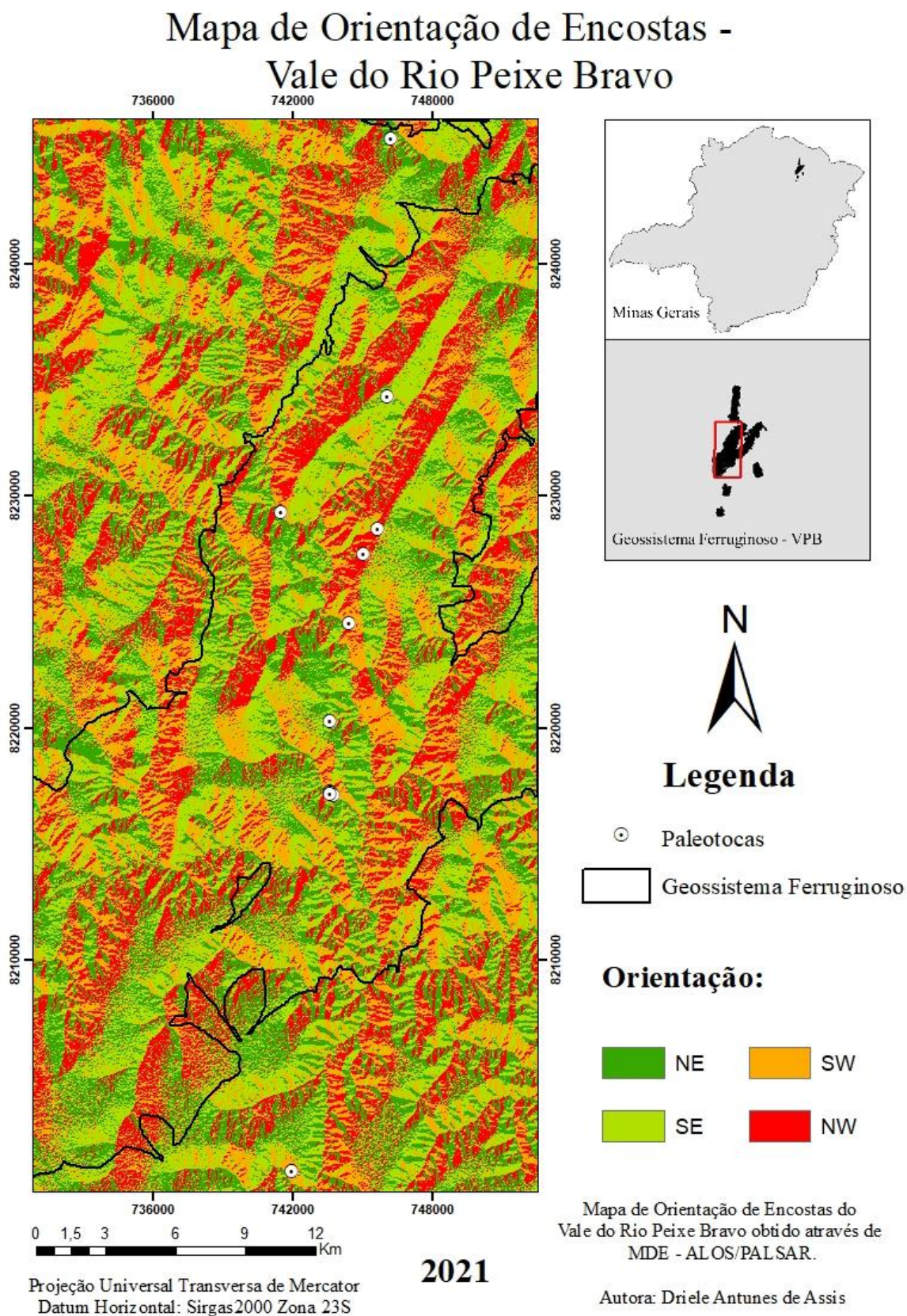


Apêndice 6 – Mapa de Declividades para o Vale do Rio Peixe Bravo. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Declividade - Vale do Rio Peixe Bravo

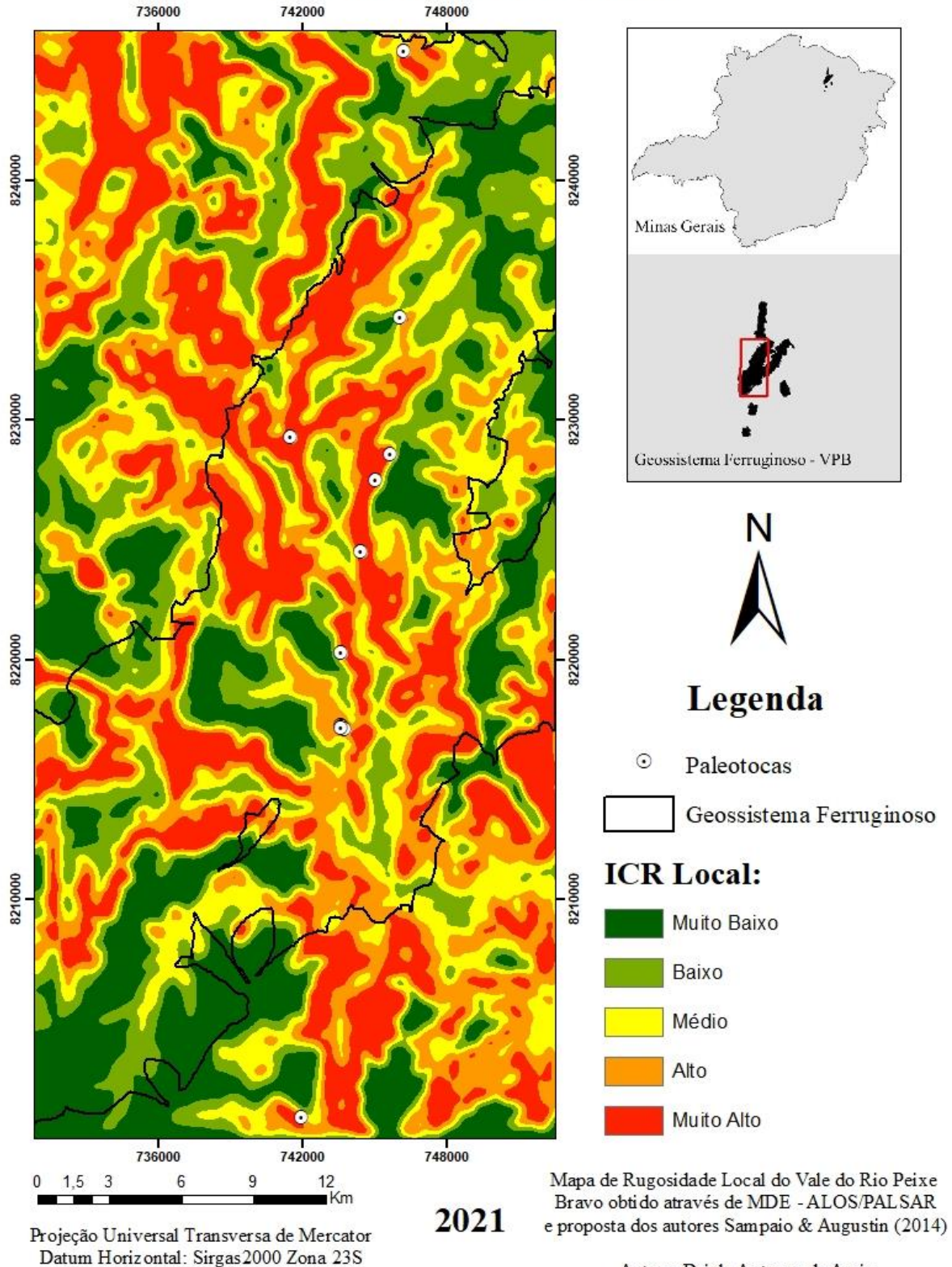


Apêndice 7 – Mapa de Orientação das Encostas para o Vale do Rio Peixe Bravo. Indicada a localização das paleotocas existentes.

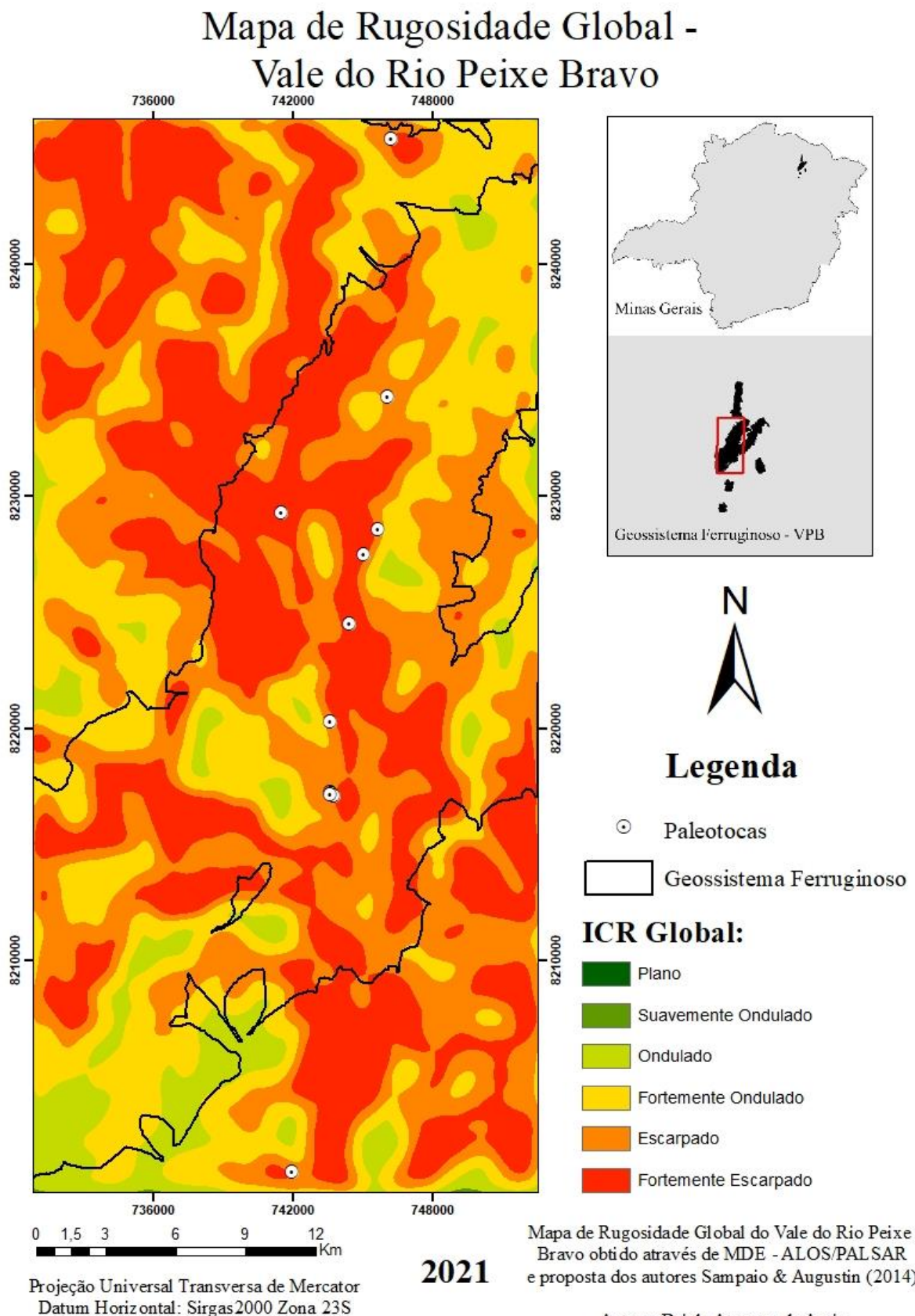


Apêndice 8 – Mapa de Rugosidade - ICR Local para o Vale do Rio Peixe Bravo. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Rugosidade Local - Vale do Rio Peixe Bravo

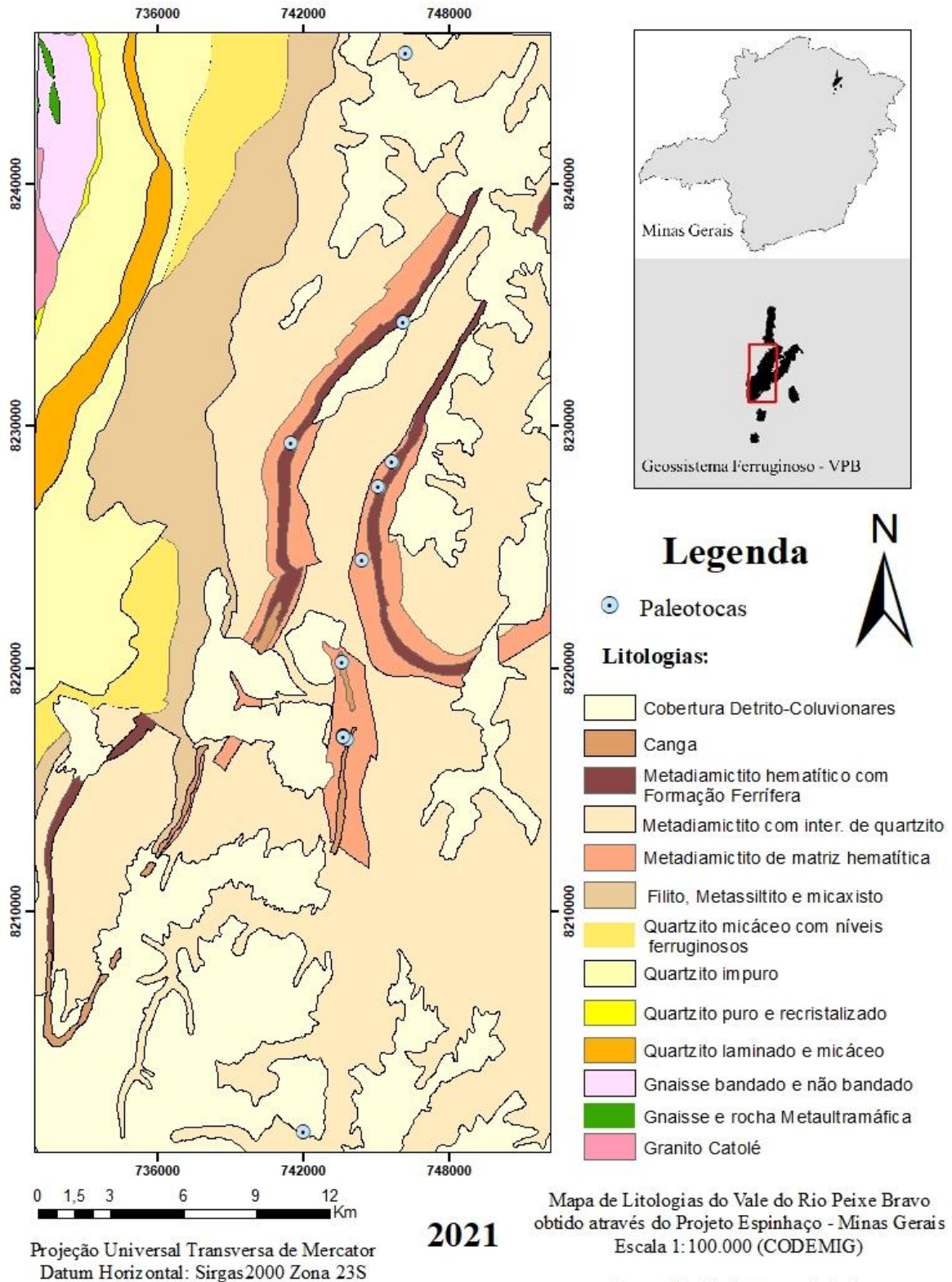


Apêndice 9 – Mapa de Rugosidade - ICR Global para o Vale do Rio Peixe Bravo. Indicada a localização das paleotocas existentes.

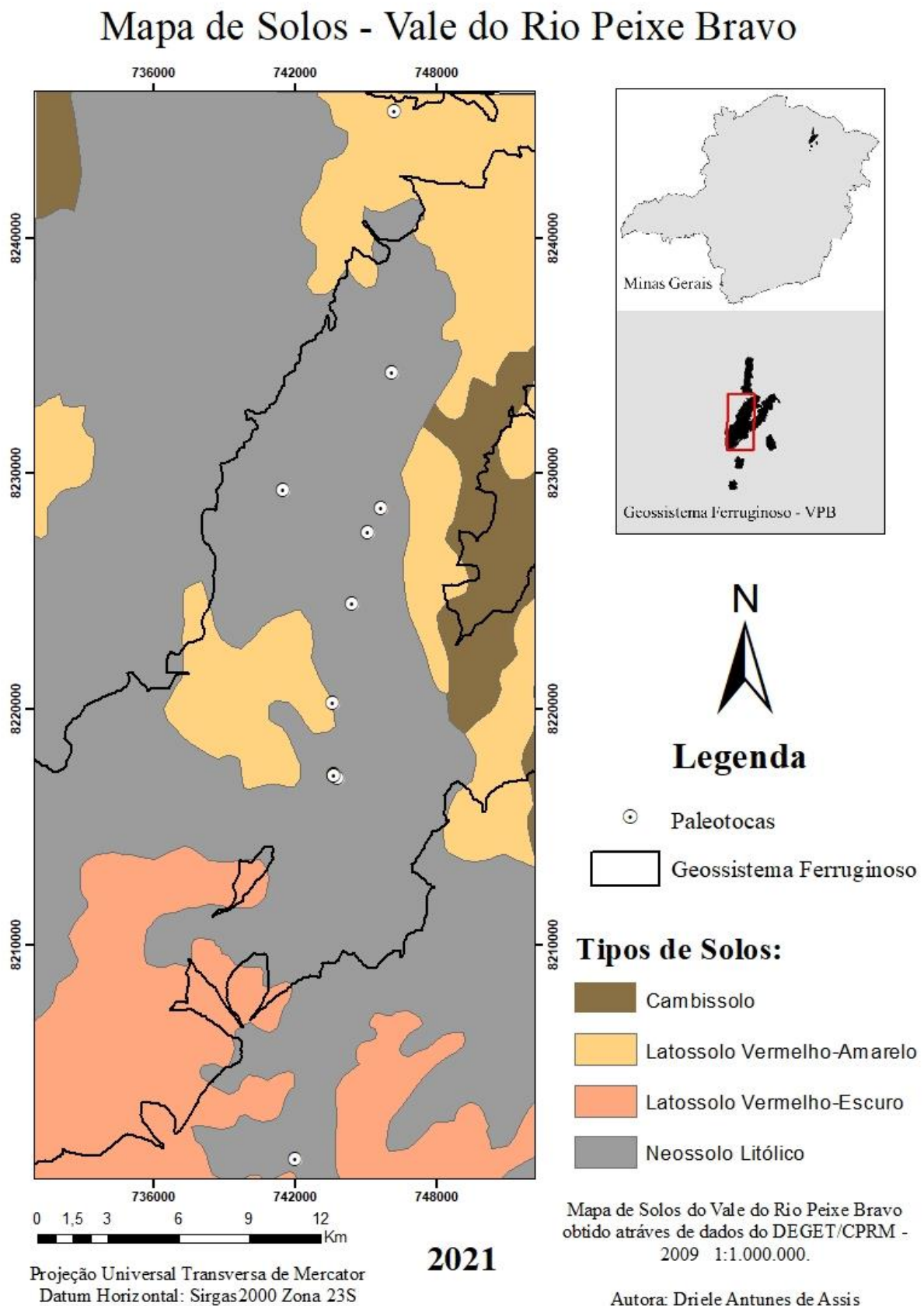


Apêndice 10 – Mapa de Litologias para o Vale do Rio Peixe Bravo. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Litologias - Vale do Rio Peixe Bravo

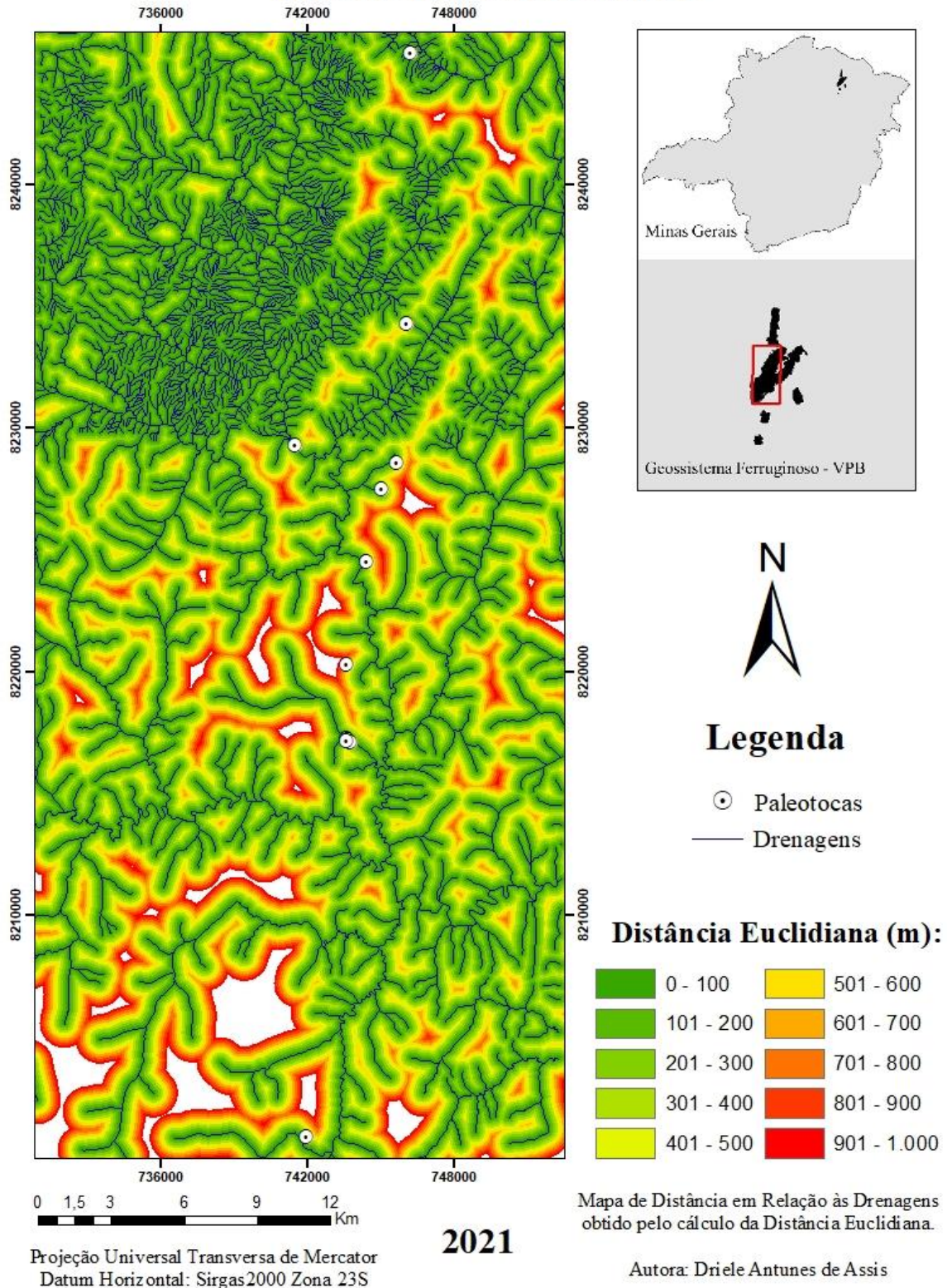


Apêndice 11 – Mapa de Solos para o Vale do Rio Peixe Bravo. Indicada a localização das paleotocas existentes.



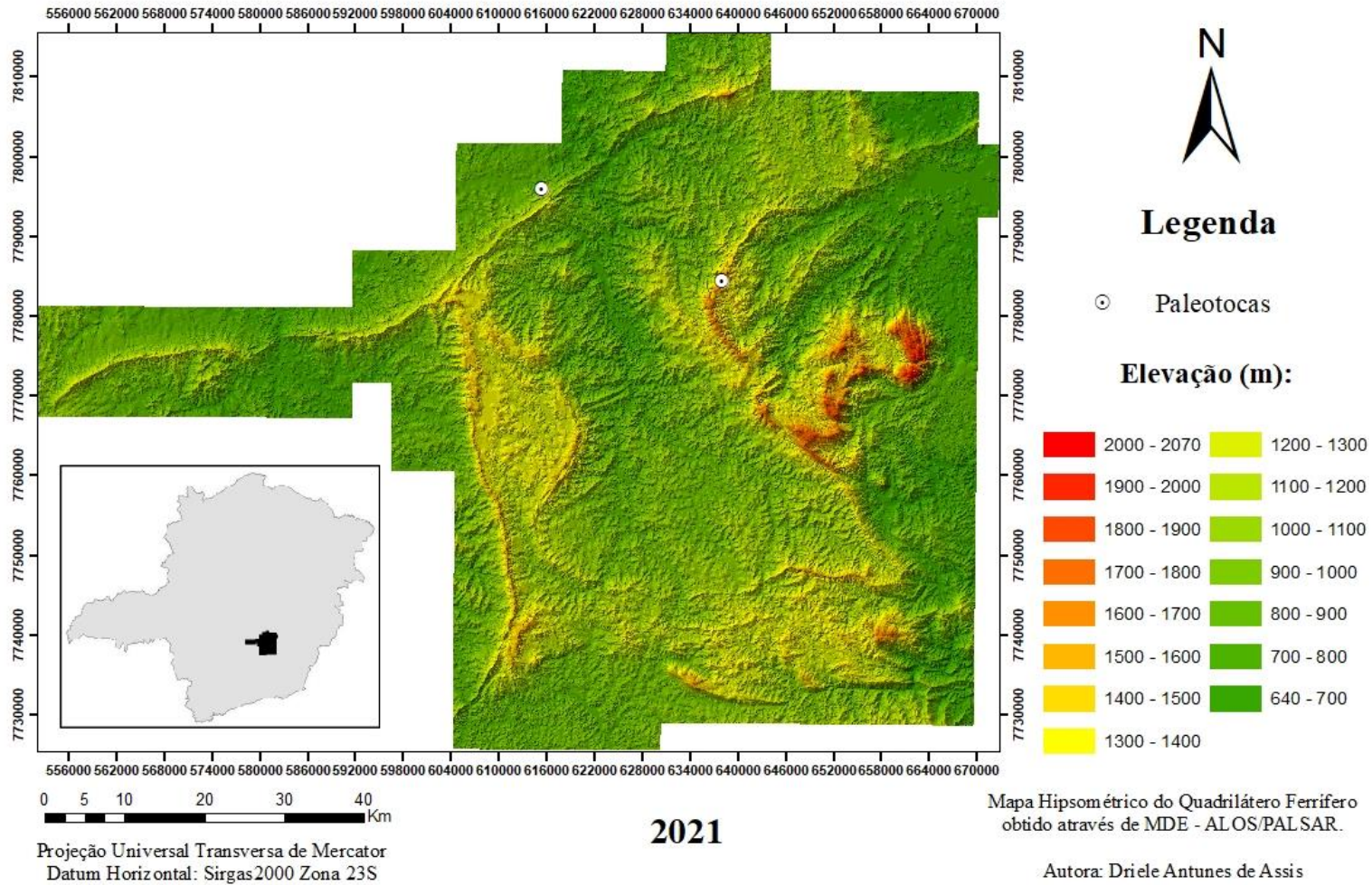
Apêndice 12 – Mapa de Distância da Drenagem para o Vale do Rio Peixe Bravo. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Distância em Relação às Drenagens Vale do Rio Peixe Bravo



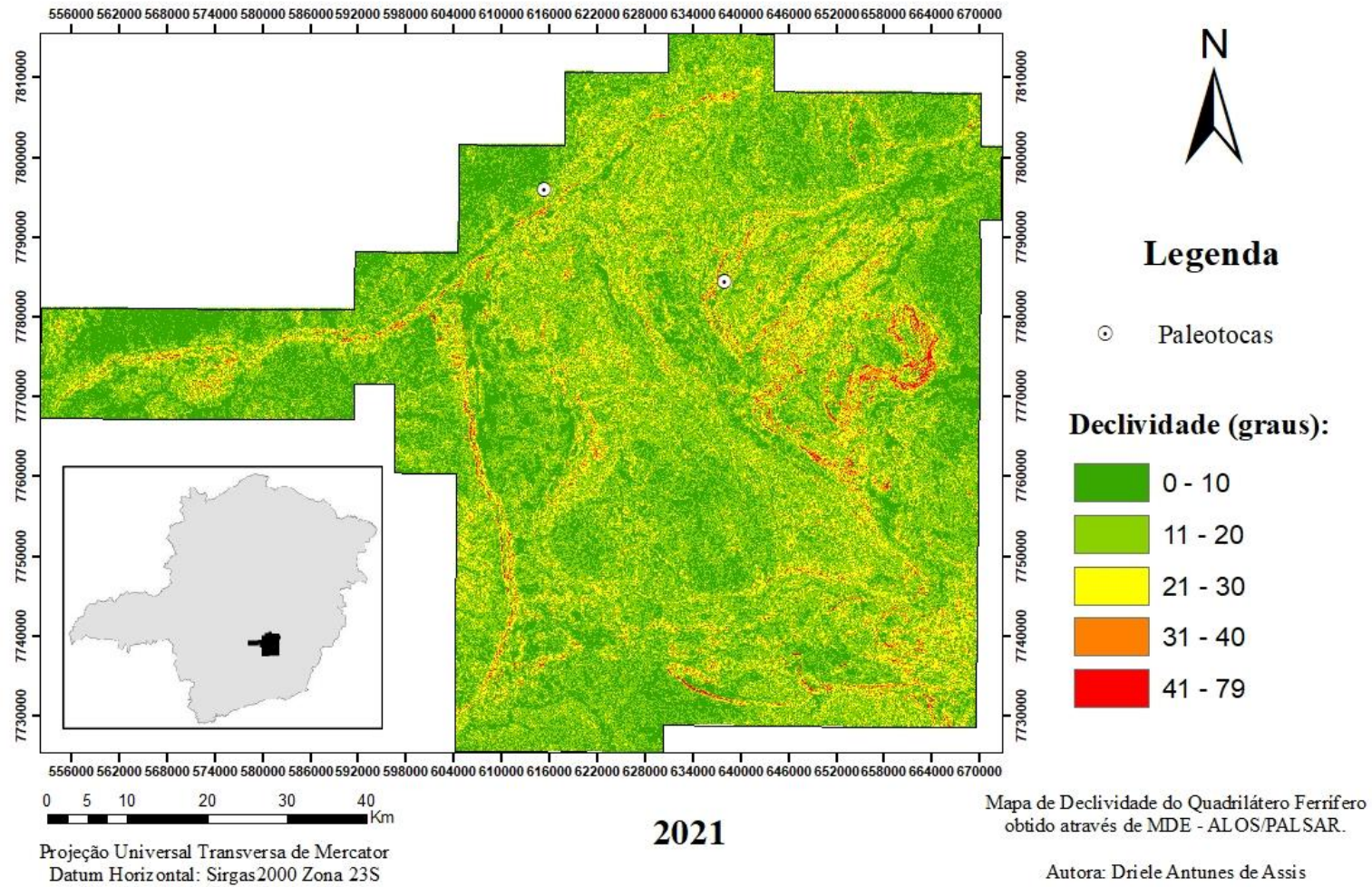
Apêndice 13 – Mapa de Altitude (Hipsométrico) para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa Hipsométrico - Quadrilátero Ferrífero



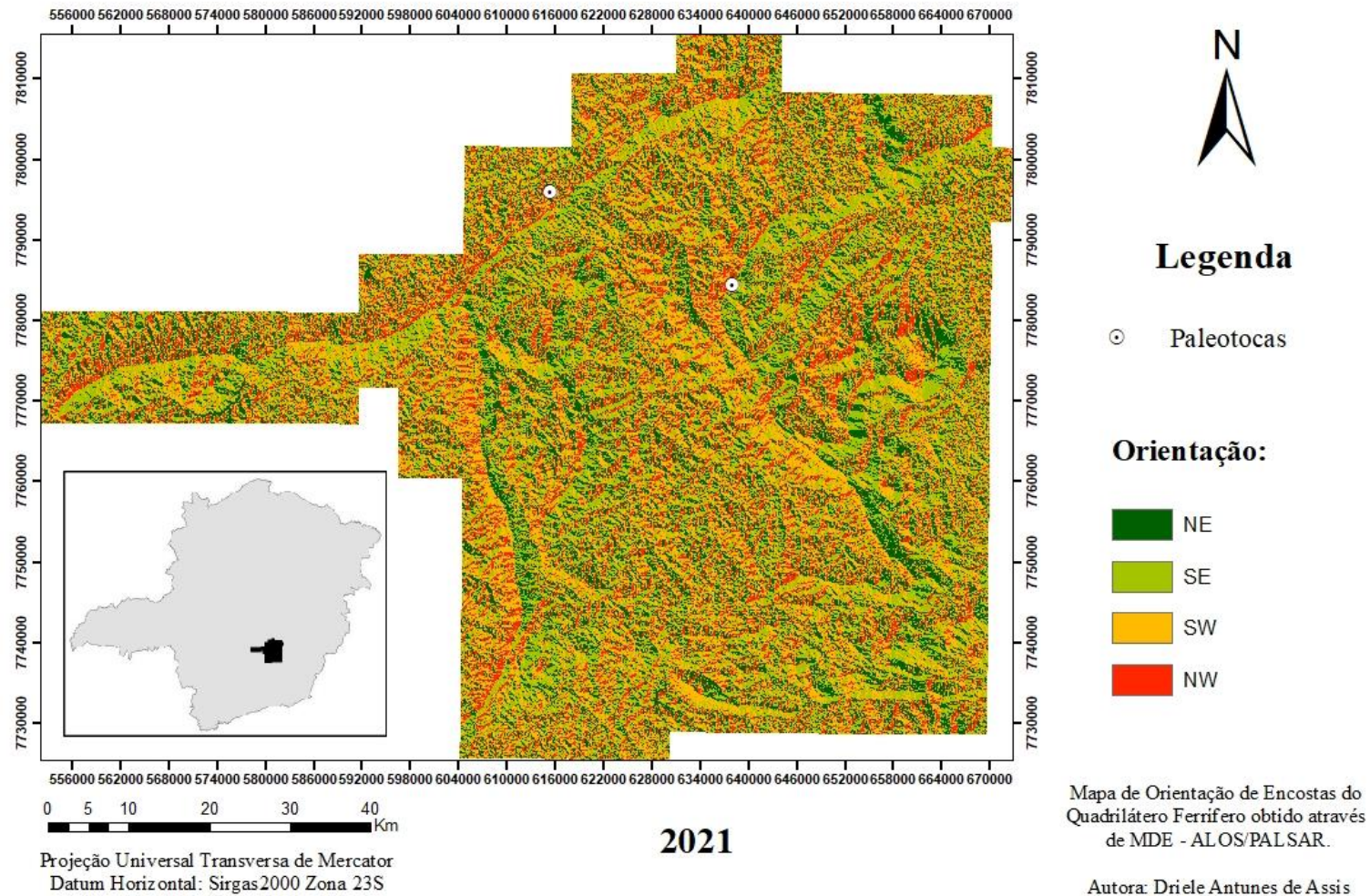
Apêndice 14 – Mapa de Declividade para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Declividade - Quadrilátero Ferrífero



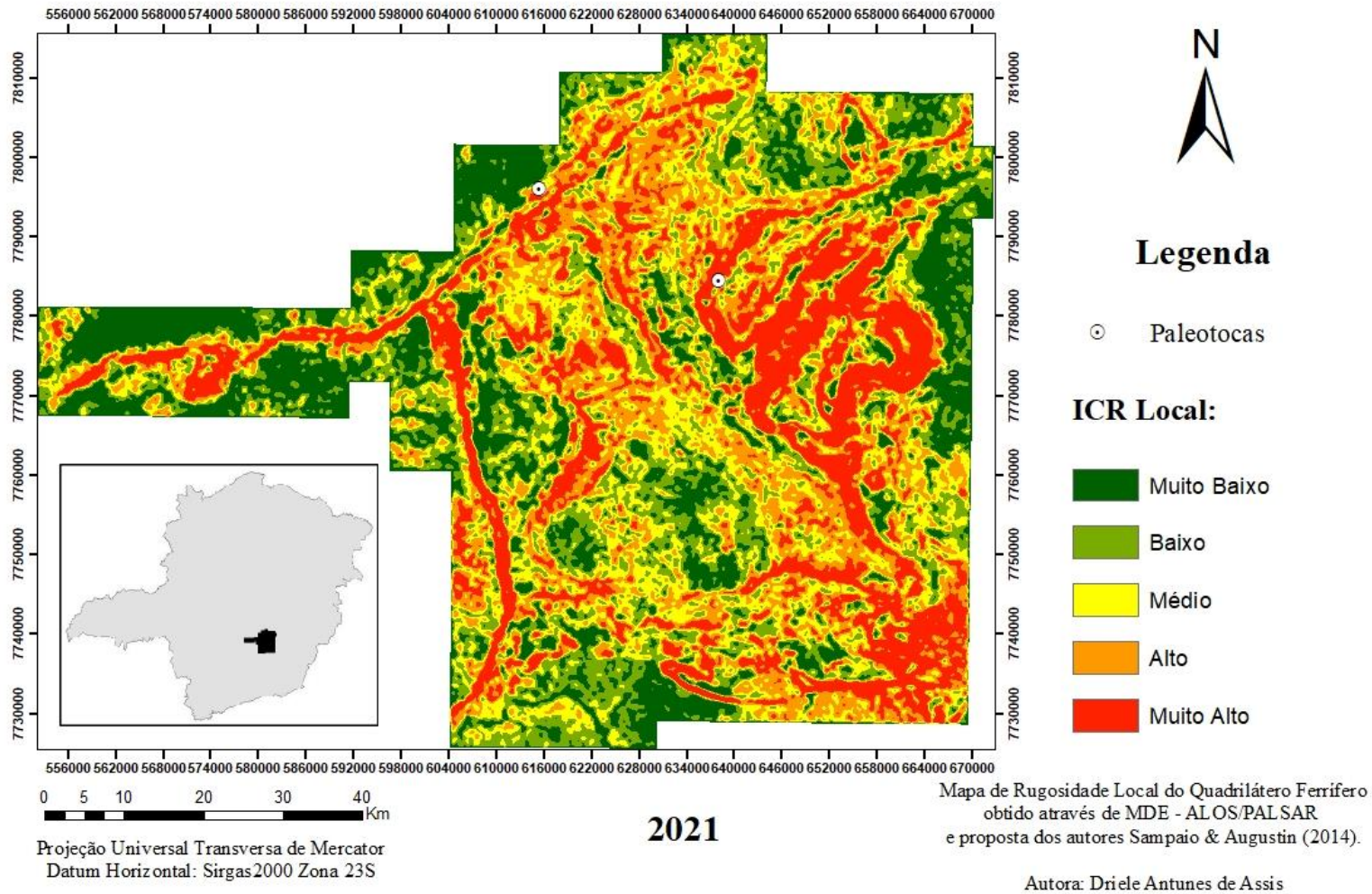
Apêndice 15 – Mapa de Orientação das Encostas para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Orientação de Encostas - Quadrilátero Ferrífero



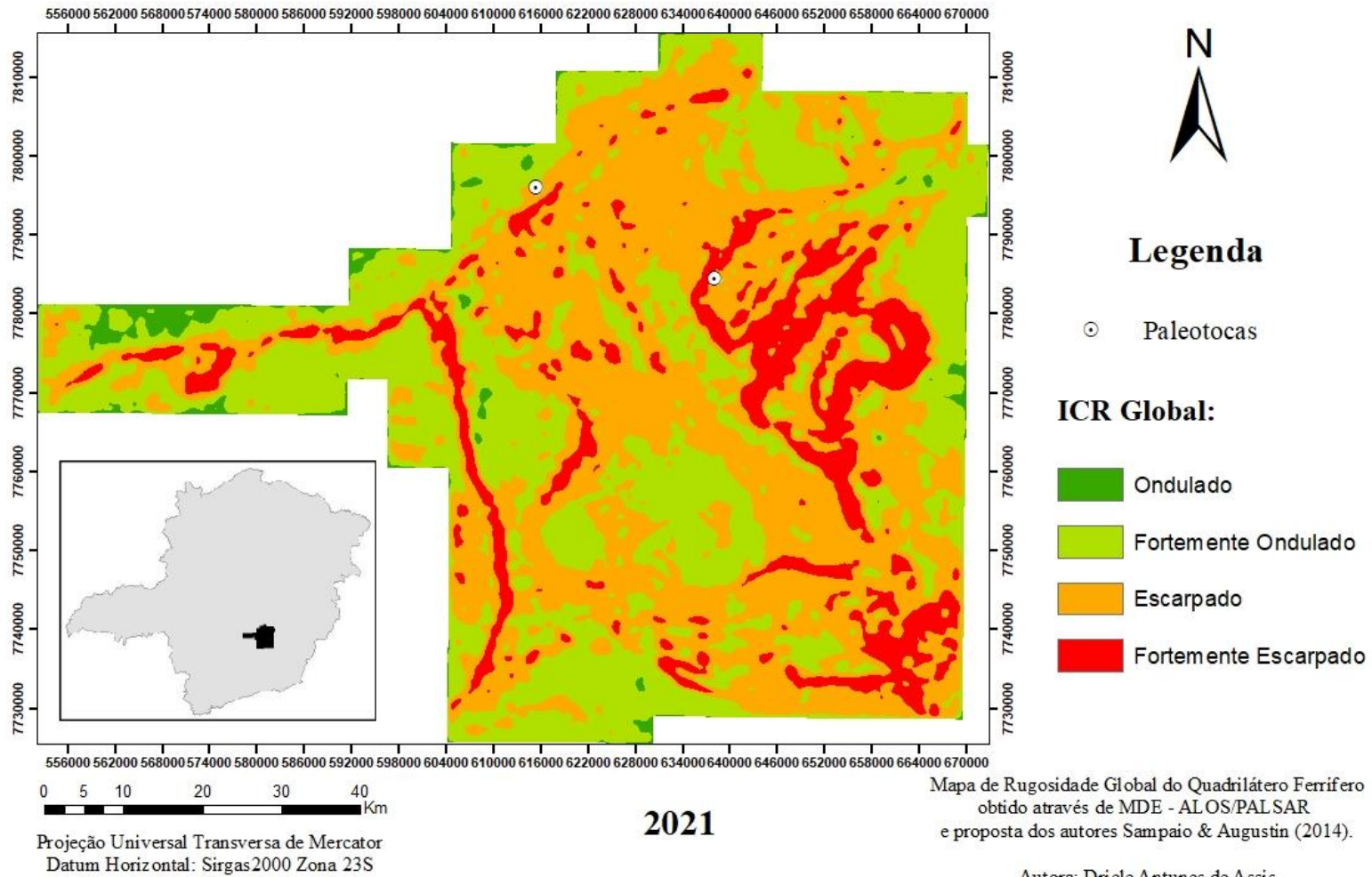
Apêndice 16 – Mapa de Rugosidade - ICR Local para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Rugosidade Local - Quadrilátero Ferrífero



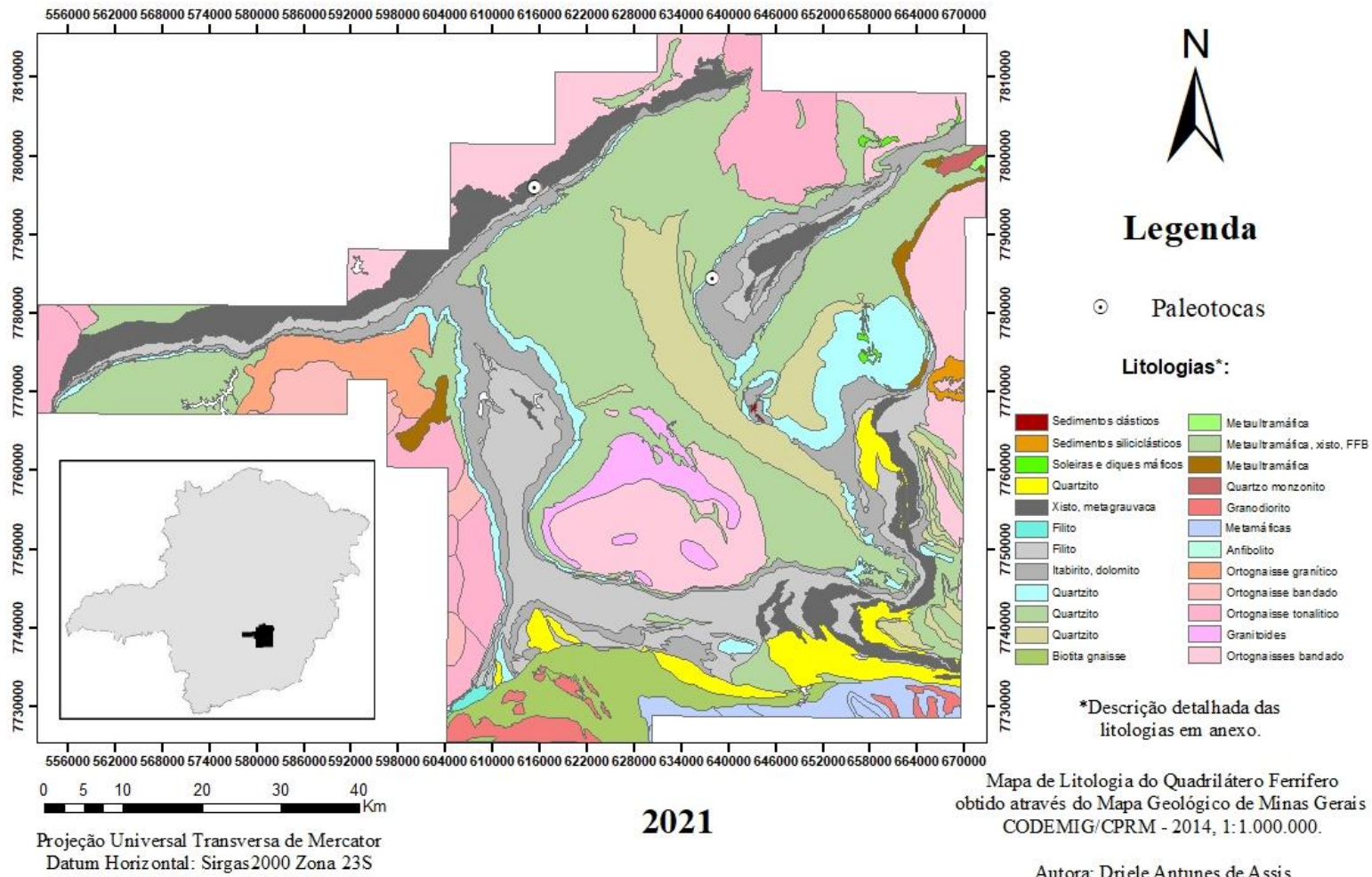
Apêndice 17 – Mapa de Rugosidade - ICR Global para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Rugosidade Global - Quadrilátero Ferrífero



























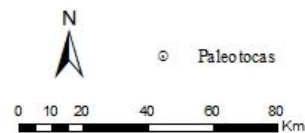
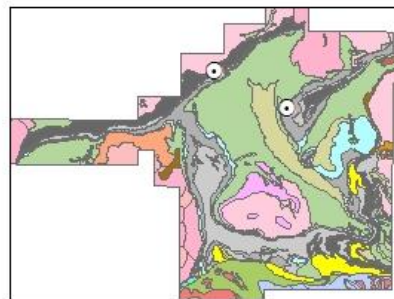
Apêndice 18 – Mapa de Litologia para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Litologias - Quadrilátero Ferrífero



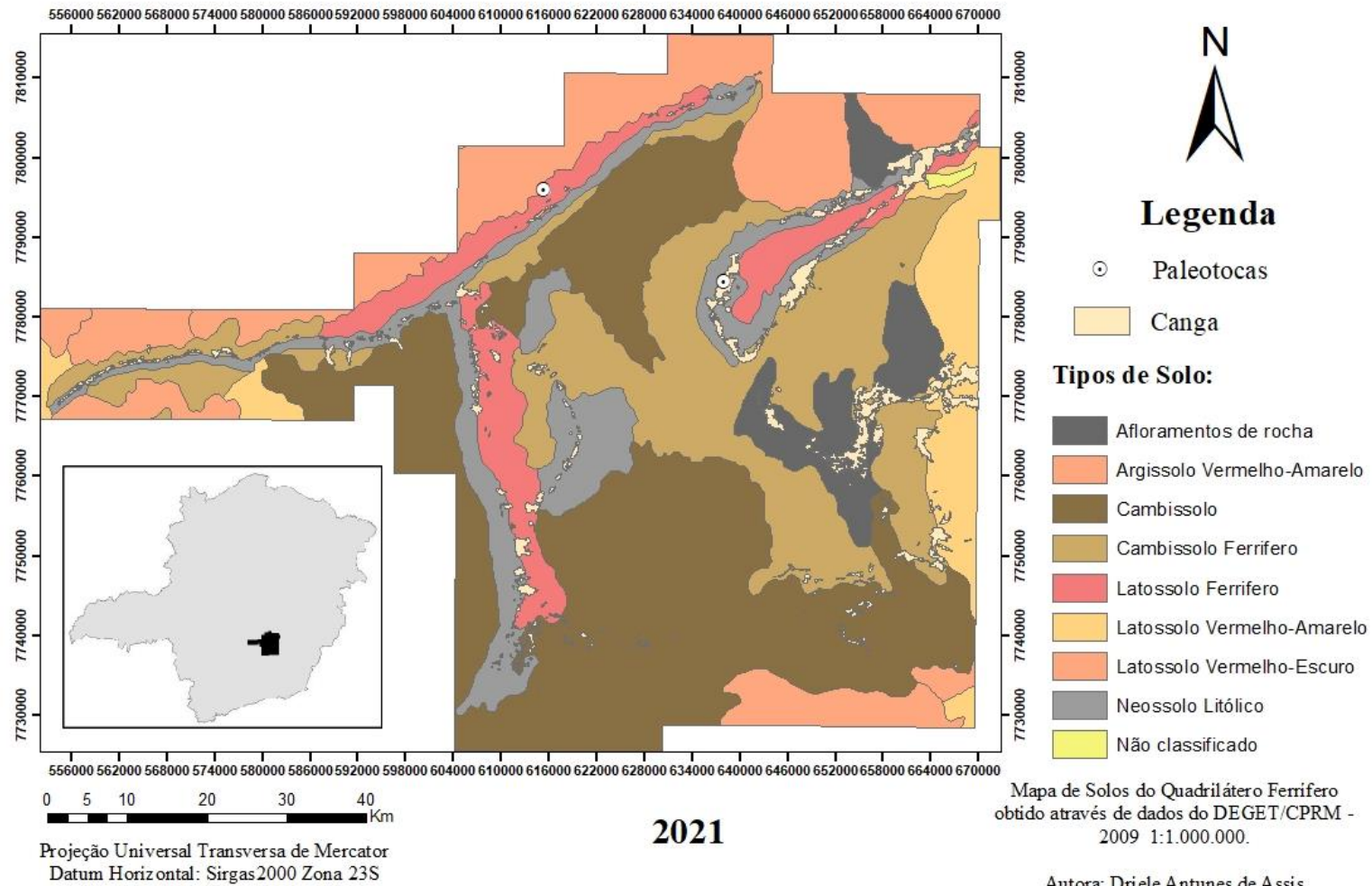
Litologias

-  Sedimentos dásticos e lateríticos ferruginosos (Cobertura Superficial indiferenciada)
-  Sedimentos siliciclásticos, em parte carbonosos (linhito- Formação Fonseca)
-  Soleiras e diques máficos - metagabro e metadiabásio (Suíte Pedro Lessa)
-  Quartzito, quartzo xisto (Grupo Itacolomi)
-  Xisto, metagrauvaça (SGp. Minas, Grupo Sabará)
-  Filito quartzoso e/ou grafitoso, formação ferrífera bandada com intercalações de metarenito e metaconglomerado. Quartzito, filito hematítico, dependendo do fácies. Duvidosamente sills de xistos verdes, metarriolito (SGp. Minas indiviso)
-  Filito quartzoso e/ou grafitoso com intercalações de metarenito e metaconglomerado (SGp. Minas, Grupo Piracicaba)
-  Itabirito, dolomito (SGp. Minas, Grupo Itabira)
-  Quartzito com metaconglomerado e filito quartzoso subordinados (SGp. Minas, Grupo Caraça)
-  Quartzito (SGp. Minas, Grupo Tamandá)
-  Quartzito e metaconglomerado polimítico (SGp. Rio das Velhas, Grupo Maquiné)
-  Biotita gnaíse quartzoso, micaístos e quartzito feldspáticos, com intercalações de anfibolito, anfibólio gnaíse, gnaíse calciossilicático, gndito e metaultramáfica, dependendo do fácies (Grupo Barbaena, Fm. Lafaiete)
-  Rocha metaultramáfica e metamáfica tholeiíticas, gnaíses bandados, quartzito, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto (Grupo Serra Negra)
-  Rocha metaultramáfica e metamáfica tholeiíticas, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto (SGp. Rio das Velhas, Grupo Nova Lima)
-  Rocha metaultramáfica e metamáfica tholeiíticas e metabasalto komatiítico (SGp. Rio das Velhas, Grupo Quebra Osso).
-  Quartzo monzonito, álcali-feldspato granito, ortognaíse granítico alcalino (Suíte Borrachudos)
-  Granodiorito a granito, eventualmente tonalito (Suíte Alto Maranhão)
-  Metamáficas e metaultramáficas acamadadas, com restos de ortognaíse bandado e intrusões félsicas graníticas, com predominâncias segundo a lito fácies (Complexo Monsenhor Isidro)
-  Anfibolito
-  Ortognaíse granítico (Gnaíse Souza Noschese)
-  Ortognaíse bandado tonalítico a granodiorítico (Gnaíse Alberto Flores)
-  Ortognaíse tonalítico a granítico (Granito Barra do Gentio, Suíte Samambaia, Granito Caeté, Gnaíse Cláudio, Granito Bituri, Gnaíse Itapeerica)
-  Granitoides potássicos intrusivos em gnaíse TTG (Complexo do Bação, lito fácies granitoides potássico)
-  Ortognaíses bandados tipo TTG, com intercalações de anfibolito e metaultramáfica (Complexo Santa Bárbara, Complexo do Bação, Complexo Belo Horizonte)



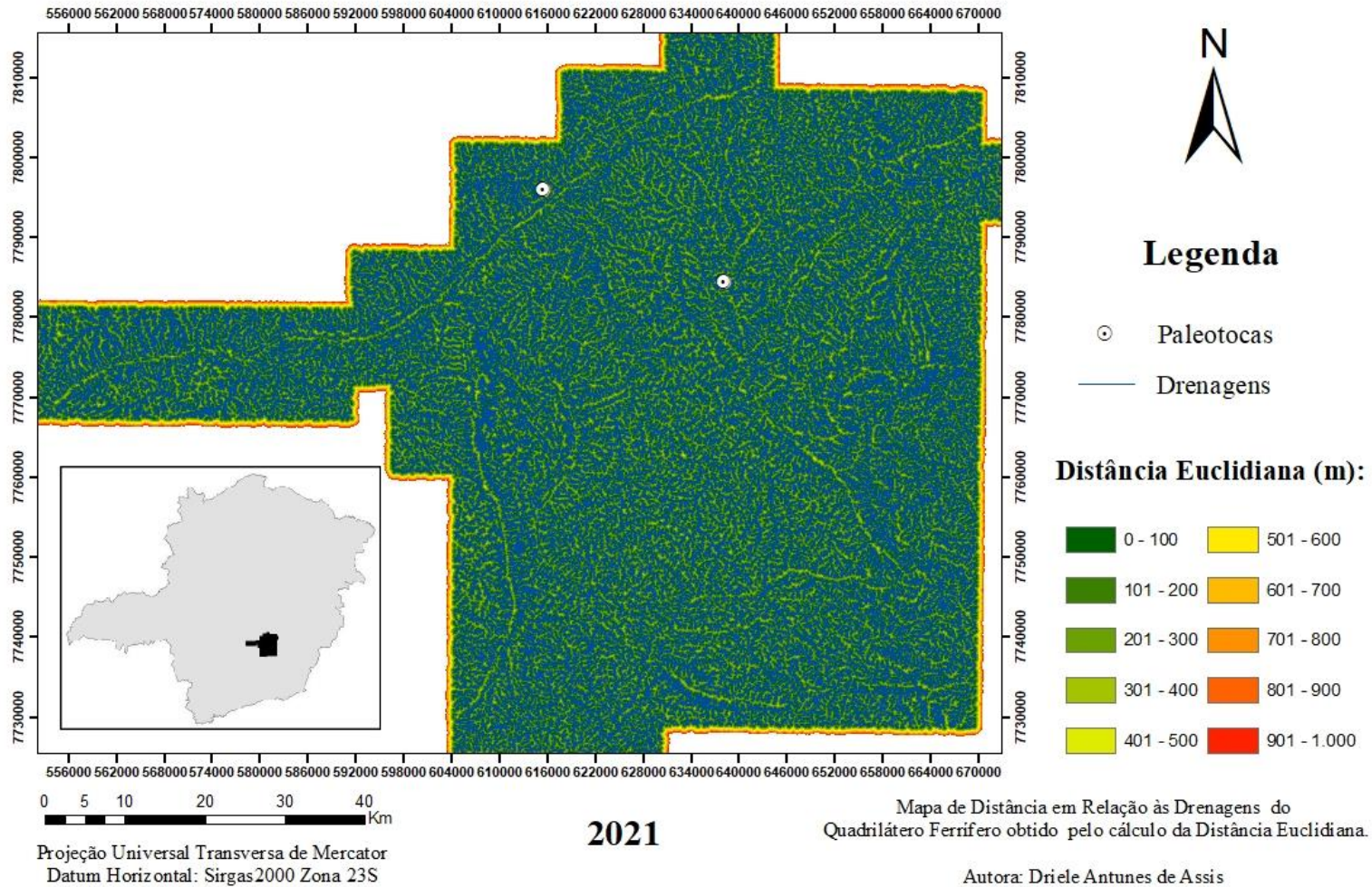
Apêndice 19 – Mapa de Solos para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Solos - Quadrilátero Ferrífero



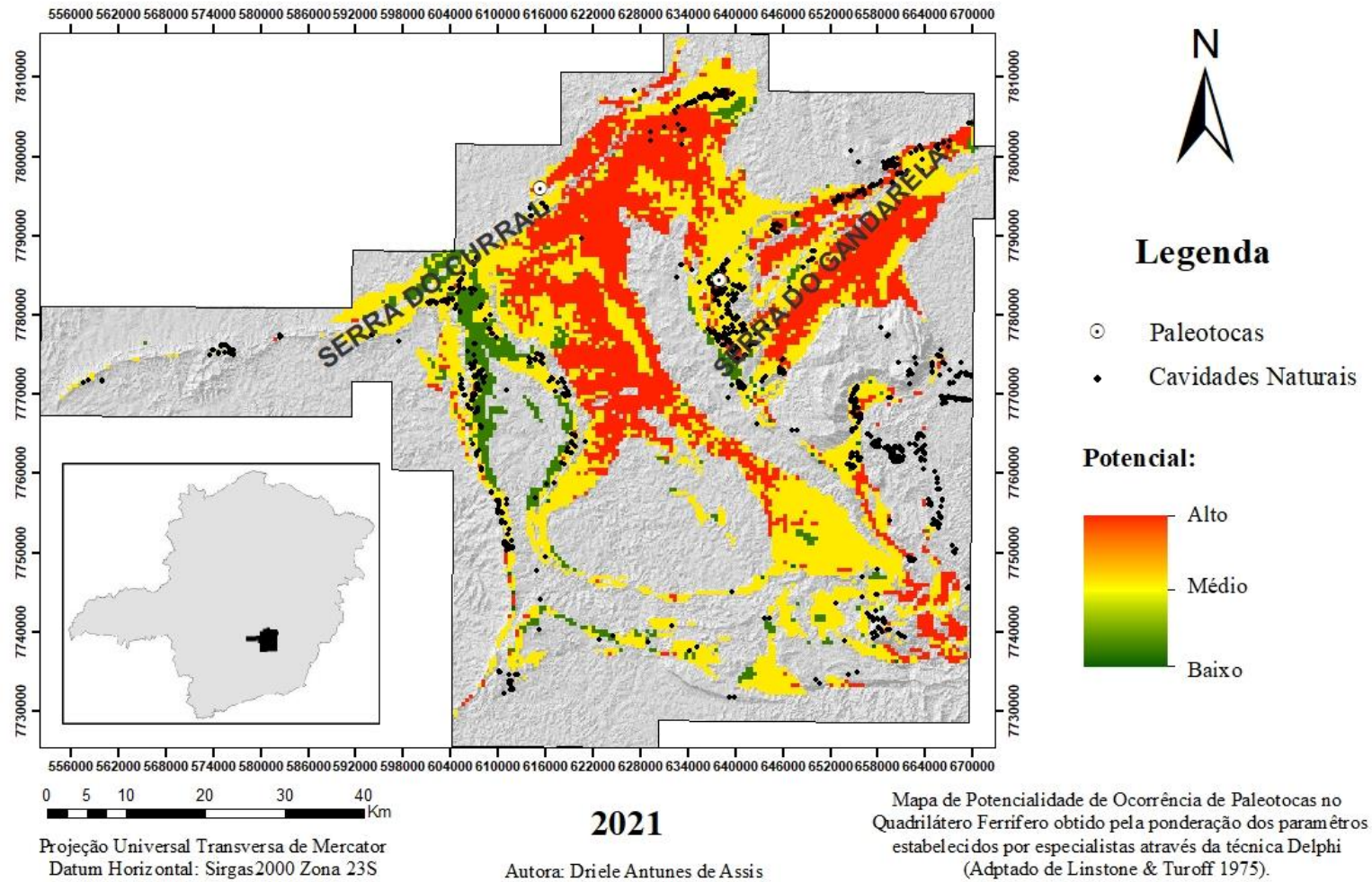
Apêndice 20 – Mapa de Distância da Drenagem para o Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Distância em Relação às Drenagens - Quadrilátero Ferrífero



Apêndice 21 – Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Paleotocas no Quadrilátero Ferrífero. Indicada a localização das paleotocas existentes.

Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Paleotocas - Quadrilátero Ferrífero



Apêndice 22 – Tabela de cavidades naturais registradas inseridas em zonas de elevado potencial, separadas por localidade e unidade estratigráfica; de acordo com o Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Paleotocas - QF.

Caverna	Localidade	Unidade Estratigráfica
DI007	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI008	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI009	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI010	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI011	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI012	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI014	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI015	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI016	Barão de Cocais	Grupo Itabira
DI019	Barão de Cocais	Grupo Itabira
GS-001	Barão de Cocais	Grupo Itabira
GS-002	Barão de Cocais	Grupo Itabira
GS-003	Barão de Cocais	Grupo Itabira
GS-009	Barão de Cocais	Grupo Itabira
GS-010	Barão de Cocais	Grupo Itabira
GS-011	Barão de Cocais	Grupo Itabira
GS-013	Barão de Cocais	Grupo Itabira
MDIR_0025	Barão de Cocais	Grupo Itabira
MDIR_0028	Barão de Cocais	Grupo Itabira
MDIR_0039	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-015	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-016	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-017	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-018	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-019	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-030	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-031	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-032	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-033	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-034	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-035	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-036	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-037	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-038	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-039	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-040	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-041	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-042	Barão de Cocais	Grupo Itabira

PDI-043	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-044	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-045	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-046	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-047	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-048	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-049	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-050	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-055	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-056	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-067	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-068	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-070	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-072	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-074	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-076	Barão de Cocais	Grupo Itabira
PDI-077	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0005	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0006	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0007	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0025	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0030	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0031	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0035	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0039	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0041	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0042	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0045	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0049	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF_0067	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-005	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-006	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-007	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-008	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-009	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-025	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-026	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-027	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-028	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-029	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-030	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-031	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-032	Barão de Cocais	Grupo Itabira

RF-033	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-034	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-036	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-037	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-038	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-039	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-040	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-041	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-042	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-043	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-044	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-045	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-046	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-047	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-048	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-049	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-050	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-051	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-052	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-053	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-054	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-055	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-056	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-057	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-058	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-059	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-060	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-061	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-062	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-063	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-064	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-065	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-066	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-067	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-068	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-069	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-070	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-071	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-075	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-076	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-077	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-078	Barão de Cocais	Grupo Itabira

RF-079	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RF-081	Barão de Cocais	Grupo Itabira
RM-21	Belo Horizonte	Grupo Itabira
RM-44	Belo Horizonte	Grupo Itabira
RM-45	Belo Horizonte	Grupo Itabira
RM-46	Belo Horizonte	Grupo Itabira
RM-47	Belo Horizonte	Grupo Itabira
RM-48	Belo Horizonte	Grupo Itabira
MS-07	Brumadinho	Grupo Itabira
MS-08	Brumadinho	Grupo Itabira
SERR_0004	Brumadinho	Grupo Itabira
SERR_0005	Brumadinho	Grupo Itabira
AP-02	Caeté	Grupo Itabira
AP-03	Caeté	Grupo Itabira
AP-05	Caeté	Grupo Itabira
AP-06	Caeté	Grupo Itabira
AP-07	Caeté	Grupo Itabira
AP-08	Caeté	Grupo Itabira
AP-11	Caeté	Grupo Itabira
AP-12	Caeté	Grupo Itabira
AP-13	Caeté	Grupo Itabira
AP-14	Caeté	Grupo Itabira
AP-15	Caeté	Grupo Itabira
AP-16	Caeté	Grupo Itabira
AP-23	Caeté	Grupo Itabira
AP-24	Caeté	Grupo Itabira
AP-40	Caeté	Grupo Itabira
AP-44	Caeté	Grupo Itabira
AP-54	Caeté	Grupo Itabira
AP-55	Caeté	Grupo Itabira
GP 36	Caeté	Grupo Itabira
GP-49	Caeté	Grupo Itabira
Gruta da Árvore Seca (GP 35)	Caeté	Grupo Itabira
Gruta da Claraboia	Caeté	Grupo Itabira
Gruta da Estrada I	Caeté	Grupo Itabira
Gruta da Macumba	Caeté	Grupo Itabira
Gruta das Latinhas	Caeté	Grupo Itabira
Gruta do Cascalinho	Caeté	Grupo Itabira
Gruta do Morcego	Caeté	Grupo Itabira
Gruta Pequena	Caeté	Grupo Itabira
FZ_0025	Catas Altas	Grupo Itabira
MP-007	Itabirito	Grupo Itabira
MP-008	Itabirito	Grupo Itabira

MP-009	Itabirito	Grupo Itabira
MP-011	Itabirito	Grupo Itabira
MP-017	Itabirito	Grupo Itabira
VL-16	Itabirito	Grupo Itabira
VL-17	Itabirito	Grupo Itabira
VL-18	Itabirito	Grupo Itabira
VL-24	Itabirito	Grupo Itabira
VL-25	Itabirito	Grupo Itabira
VL-26	Itabirito	Grupo Itabira
VL-27	Itabirito	Grupo Itabira
VL-28	Itabirito	Grupo Itabira
RVL-0011	Moeda	Grupo Itabira
RVL-0012	Moeda	Grupo Itabira
RVL-0013	Moeda	Grupo Itabira
RVL-0016	Moeda	Grupo Itabira
RVL-0017	Moeda	Grupo Itabira
VL-12	Moeda	Grupo Itabira
VL-13	Moeda	Grupo Itabira
VL-14	Moeda	Grupo Itabira
VL-15	Moeda	Grupo Itabira
VL-29	Moeda	Grupo Itabira
VL-30	Moeda	Grupo Itabira
VL-31	Moeda	Grupo Itabira
VL-32	Moeda	Grupo Itabira
VL-33	Moeda	Grupo Itabira
Caverna RM-51	Nova Lima	Grupo Itabira
CX-004	Nova Lima	Grupo Itabira
CX-006	Nova Lima	Grupo Itabira
MS-14	Nova Lima	Grupo Itabira
MS-15	Nova Lima	Grupo Itabira
MS-16	Nova Lima	Grupo Itabira
MS-17	Nova Lima	Grupo Itabira
MS-18 (MG01144)	Nova Lima	Grupo Itabira
MT-005	Nova Lima	Grupo Itabira
MT-006	Nova Lima	Grupo Itabira
MT-007	Nova Lima	Grupo Itabira
PBR-08	Nova Lima	Grupo Itabira
PBR-09	Nova Lima	Grupo Itabira
PBR-10-11	Nova Lima	Grupo Itabira
PBR-12	Nova Lima	Grupo Itabira
PBR-13	Nova Lima	Grupo Itabira
PBR-14	Nova Lima	Grupo Itabira

PBR-16	Nova Lima	Grupo Itabira
PBR-17	Nova Lima	Grupo Itabira
CH-020	Ouro Preto	Grupo Itabira
CH-023	Ouro Preto	Grupo Itabira
FE-11	Ouro Preto	Grupo Itabira
FE-14	Ouro Preto	Grupo Itabira
FE-32	Ouro Preto	Grupo Itabira
FE-46	Ouro Preto	Grupo Itabira
GS-16	Ouro Preto	Grupo Itabira
GS-17	Ouro Preto	Grupo Itabira
Lapa de Antônio Pereira	Ouro Preto	Grupo Itabira
GAND_0002	Rio Acima	Grupo Itabira
GAND_0006	Rio Acima	Grupo Itabira
Loca da Estrada	Rio Acima	Grupo Itabira
AVG-75	Sabará	Grupo Itabira
GP 11	Sabará	Grupo Itabira
GP 12	Sabará	Grupo Itabira
GP 14	Sabará	Grupo Itabira
GP 15	Sabará	Grupo Itabira
GP 19	Sabará	Grupo Itabira
GP 20	Sabará	Grupo Itabira
GP 21	Sabará	Grupo Itabira
GP 23	Sabará	Grupo Itabira
GP 25	Sabará	Grupo Itabira
GP 48	Sabará	Grupo Itabira
Gruta do Banheiro	Sabará	Grupo Itabira
Gruta do Chuveirinho	Sabará	Grupo Itabira
Gruta do Desisto	Sabará	Grupo Itabira
Gruta do Eremita	Sabará	Grupo Itabira
Gruta dos Romeiros	Sabará	Grupo Itabira
Gruta Pequena II	Sabará	Grupo Itabira
AP-25	Santa Bárbara	Grupo Itabira
AP-26	Santa Bárbara	Grupo Itabira
AP-27	Santa Bárbara	Grupo Itabira
AP-33	Santa Bárbara	Grupo Itabira
AP-39	Santa Bárbara	Grupo Itabira
AP-42	Santa Bárbara	Grupo Itabira
AP-45	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0009	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0010	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0011	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0012	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0055	Santa Bárbara	Grupo Itabira

GAND_0057	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0092	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0093	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0097	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0100	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GAND_0101	Santa Bárbara	Grupo Itabira
GP-34	Santa Bárbara	Grupo Itabira
Gruta do Conduto I	Santa Bárbara	Grupo Itabira
Gruta do Conduto II	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-008	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-033	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-034	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-035	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-036	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-037	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-038	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-039	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-040	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-041	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-042	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-043	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-044	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-045	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-046	Santa Bárbara	Grupo Itabira
SG-047	Santa Bárbara	Grupo Itabira
BRU_0001	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
BRU_0005	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
BRU_0007	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
BRU_0008	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
BRU_0009	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
BRU_0010	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
BRU_0011	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
BRU_0012	São Gonçalo do Rio Abaixo	Grupo Itabira
RF_0015	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF_0018	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF_0021	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF_0022	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF_0024	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-014	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-015	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-016	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-017	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima

RF-018	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-019	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-020	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-021	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-022	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-023	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
RF-024	Barão de Cocais	Grupo Nova Lima
Gruta Moeda do Sul	Nova Lima	Grupo Nova Lima
A37ABR	Sabará	Grupo Nova Lima
CBA-0001	Sabará	Grupo Nova Lima
CBA-0002	Sabará	Grupo Nova Lima
CBA-0004	Sabará	Grupo Nova Lima
CBA-0005	Sabará	Grupo Nova Lima
CBA-0012	Sabará	Grupo Nova Lima
CBA-0013	Sabará	Grupo Nova Lima
CBB-0001	Sabará	Grupo Nova Lima
CBC-0004	Sabará	Grupo Nova Lima
CBC-0005	Sabará	Grupo Nova Lima
CBC-0006	Sabará	Grupo Nova Lima
CAP1_0013	Santa Bárbara	Grupo Nova Lima
CAP1_0026	Santa Bárbara	Grupo Nova Lima

Apêndice 23 – Mapa de Áreas Prioritárias à Prospecção de Paleotocas, com enfoque no Grupo Itabira, QF.

