



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

VANESSA VELOSO BARBOSA

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO CARSTE DE
MONTES CLAROS - BRASIL**

MONTES CLAROS – MG

2021

VANESSA VELOSO BARBOSA

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO CARSTE DE
MONTES CLAROS - BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Ricardo Fernandes da Costa

MONTES CLAROS – MG

2021

B238m Barbosa, Vanessa Veloso.
Mapeamento geomorfológico do Carste de Montes Claros - Brasil [manuscrito]
/ Vanessa Veloso Barbosa. – Montes Claros, 2021.
83 f. : il.

Bibliografia: f. 77-83.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros -
Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGEO, 2021.
Defesa: 14/07/2021.

Orientador: Prof. Dr. Luís Ricardo Fernandes da Costa.

1. Carste. 2. Geomorfologia cárstica. 3. Mapeamento geomorfológico. 4.
Carste de Montes Claros (MG). I. Costa, Luís Ricardo Fernandes da. II.
Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

VANESSA VELOSO BARBOSA

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO CARSTE DE
MONTES CLAROS - BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 14/07/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luís Ricardo Fernandes da Costa (Orientador)
Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES)

Prof. Dr. Cássio Alexandre da Silva
Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES)

Prof. Dr. Luiz Eduardo Panisset Travassos
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG)

Dedico ao meu filho Mateus e aos meus pais
Edes e Lúcia, com todo o meu amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha base em todo esse tempo, que me segurou e me mostrou forças dentro de mim quando achei que não tinha mais.

À mãe natureza, que me apresenta todos os dias uma miudeza gigante e me oferece um infinito campo de possibilidades e perplexidades.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luís Ricardo Fernandes da Costa, que me incentivou à pesquisa da geomorfologia cárstica, me mostrou caminhos, confiou em mim e me apoiou com seu conhecimento; sempre com sua gentileza e tranquilidade, que foram fundamentais para que eu chegasse ao final da caminhada.

Ao amigo e colega Fredson Reis Nunes, incansável companheiro nesta jornada, que me ajudou no geoprocessamento e elaboração dos mapas, abrindo mão de finais de semana e horas de descanso, com muito esforço e dedicação e sem o qual não seria possível concluir esse trabalho.

Ao Espeleogrupo Peter Lund, onde tudo começou.

Ao amigo de longa caminhada, Eduardo Gomes de Assis, que cedeu imagens aéreas, fotografias, me acompanhou nos trabalhos de campo e contribuiu com seu vasto conhecimento sobre o carste de Montes Claros.

Ao meu filho Mateus, que precisou usar de sua maturidade incomum para compreender os meus momentos de presença minguada num período tão conturbado de pandemia.

Às minhas irmãs: Christine, pelos conselhos, desabafos e longos telefonemas guiadores; e Hellen, pelo carinho e cuidado.

Aos meus pais, que dentro de suas possibilidades colaboraram para que eu pudesse me dedicar à pesquisa.

À Unimontes, por mais uma oportunidade de desenvolvimento acadêmico.

“Quem elegeu a busca não pode recusar a travessia.”

Alfredo Bosi

RESUMO

Buscamos investigar as características geomorfológicas da região cárstica no entorno de Montes Claros, situada no norte do estado de Minas Gerais, Brasil. A pesquisa é amparada na análise morfoestrutural e na identificação das principais formas do relevo cárstico, especialmente do exocarste. Utilizamos processamento digital e interpretação de imagens orbitais, produção de material cartográfico em ambiente SIG, trabalho de campo e imagens aéreas produzidas por drones. O produto final é um mapa básico de semidetalhe com a representação geomorfológica deste Carste, em escala de 1:50.000. Foram mapeadas, na área de pesquisa, algumas centenas de dolinas e cavernas, dezenas de sumidouros e surgências, dentre outras feições cársticas como uvalas, humes, vales cegos e campos de lapiás, o que resultou na distinção de uma unidade geomorfológica a qual denominamos Carste de Montes Claros.

Palavras-chave: Carste; Geomorfologia cárstica; Mapeamento geomorfológico; Carste de Montes Claros.

ABSTRACT

We seek to investigate the geomorphological characteristics of the karst region around Montes Claros, located in the north of the state of Minas Gerais, Brazil. The research is supported by the morphostructural analysis and the identification of the main forms of the karst relief, especially the exokarst. Digital processing and interpretation of orbital images, production of cartographic material in a GIS environment, field work and aerial images produced by drones were used. The final product is a semi-detail basic map with the geomorphological representation of this karst, at a scale of 1:50,000. In the research area, some hundreds of dolines and caves, dozens of sinkholes and upwellings, among other karst features such as uvalas, humes, blind valleys and lapies fields were mapped, which resulted in the distinction of a geomorphological unit which we call the Karst of Montes Claros.

Keywords: Karst; Karst geomorphology; Geomorphological mapping; Karst of Montes Claros.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bloco diagrama de uma paisagem cárstica.	21
Figura 2: Áreas de Ocorrência de Cavernas do Brasil.....	23
Figura 3: Organograma dos procedimentos metodológicos aplicados.....	28
Figura 4: Localização da área de estudo.....	30
Figura 5: Mapa geológico da área de pesquisa.....	36
Figura 6: Gráfico das Normais Climatológicas do período 1981-2010 do município de Montes Claros, MG, para o parâmetro temperatura.	39
Figura 7: Gráfico das Normais Climatológicas do período 1981-2010 do município de Montes Claros, MG, para os parâmetros precipitação e umidade relativa do ar.....	39
Figura 8: Leito do Rio Verde Grande, na divisa dos municípios de Matias Cardoso e Gameleiras, MG. Coord.: 23 L 661252.00 m E 8349639.00 m S. Data 21/08/17	41
Figura 9: Rede hidrográfica na área de estudo.	43
Figura 10: Mapa hipsométrico da área de pesquisa.....	51
Figura 11: Mapa de declividades da área de pesquisa.....	52
Figura 12: Compartimentação do relevo na área de pesquisa conforme os modelados do terreno.....	55
Figura 13: Bloco diagrama e perfil topográfico da porção norte da área de pesquisa, representando as bacias hidrográficas do Rio Canabrava [2] e Ribeirão do Ouro.....	57
Figura 14: Bloco diagrama e perfil topográfico da porção central da área de pesquisa, representando a região norte do Carste de Montes Claros e o complexo Santa Rosa.....	59
Figura 15: Controle estrutural do Córrego do Campo por falha geológica com sumidouro a jusante em imagem CNES/Airbus, de julho de 2019.....	60
Figura 16: Complexo de sumidouros e ressurgências e controle estrutural sobre os cursos d'água locais determinados por falhas geológicas na região de Santa Rosa de Lima. Destacamos com a seta vermelha o sumidouro do Córrego Patrona, onde se desenvolve a Lapa Encantada. Imagem CNES/Airbus, de julho de 2019.	61
Figura 17: Morro do Frade. Imponente hume em meio à planície de Santa Rosa, rodeado por pastagens.....	62
Figura 18: Local da ressurgência da Lapa Encantada, no ponto mais baixo da escarpa (seta branca), onde se inicia o córrego da Barra.	62
Figura 19: Planície do vale do Rio Jacuí, aproveitada pela agricultura com irrigação por pivô central e atividades pastoris. Ao fundo, a Serra da Tenda.....	62

Figura 20: Vertente característica da região de Santa Rosa, com sumidouros acima da linha de ruptura do relevo e ressurgências a meia encosta, em direção ao fundo plano do vale.	62
Figura 21: Vista aérea do vale do Córrego Claudiano. Ao fundo, os morros Maliça e São Pedro, já na região de São Pedro das Garças. À esquerda da foto, a seta indica a Lagoa Criciúma.	63
Figura 22: Imagem aérea do polje de Barreiras com visada para jusante.	64
Figura 23: Imagem aérea do polje de Barreiras com visada para montante.	64
Figura 24: Bloco diagrama e perfil topográfico da porção sul da área de pesquisa, representando a faixa urbana de Montes Claros, o complexo Lapa Grande e o complexo Barrocão-Cedro.	65
Figura 25: Serra do Mel e a expansão urbana no sopé da elevação.	66
Figura 26: Frente de lavra de empresa de mineração de calcário ao norte da Serra do Mel. ...	66
Figura 27: Maciço da Lapa Pintada com notável campo de lapiás no topo.	68
Figura 28: Sumidouro do Córrego Lapa Grande constituindo um vale cego.	68
Figura 29: Ressurgência do Córrego Lapa Grande, após a Lapa D'água.	68
Figura 30: Entrada da Lapa da Santa, com curso d'água ressurgindo em sua entrada.	68
Figura 31: Vista aérea da porção central do Parque Estadual da Lapa Grande, onde é possível observar diversas feições: morros, colinas e maciços, afloramentos, dolinas e vales cársticos. Ao fundo cidade de Montes Claros.	69
Figura 32: Vista aérea do limite oeste do Parque da Lapa Grande demonstrando a diferença na conformação do terreno, com o planalto (modelado de aplainamento) ao fundo e o relevo cárstico (modelado de dissolução) em primeiro plano.	70
Figura 33: Foto panorâmica da Lagoa dos Sumidouros, dolina com preenchimento de água perene, com oscilação hidráulica na região do complexo Barrocão.	71
Figura 34: Dolinas no interior de uma uvala na região do complexo Barrocão.	72
Figura 35: Foto montagem demonstrando umas das dolinas do complexo Barrocão, antes e após o período chuvoso na região, evidenciando oscilação do lençol nessas feições.	72
Figura 36: Formas cársticas negativas no complexo Barrocão sobre imagem Maxar Technologies, de setembro de 2020.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padronização e unificação das unidades geológicas no mapeamento geológico da área de pesquisa.	32
Tabela 2: Principais cursos d'água na área de pesquisa	41
Tabela 3: Fitofisionomias mapeadas nos municípios inseridos na área de pesquisa e respectivas áreas em km ²	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Normais Climatológicas do período 1981-2010 do município de Montes Claros, MG, para os parâmetros temperatura, precipitação e umidade relativa do ar.	38
Quadro 2: Classificação morfogenética.....	53
Quadro 3: Critérios para classificação morfológica de unidades de relevo.	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....	16
2.1. Paisagem e Paisagem Cárstica.....	16
2.2. Geomorfologia cárstica	18
2.3. O carste no Brasil	22
2.4. Procedimentos metodológicos.....	24
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA.....	29
3.1. Localização	29
3.2 Condicionantes geológico-geomorfológicas.....	30
3.3 Clima e recursos hídricos.....	37
3.4 Solos e vegetação	45
4. COMPARTIMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CARSTE DE MONTES CLAROS	50
4.1. O Carste de Montes Claros.....	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO

O Carste é um tipo de relevo moldado pela ação da água em rochas solúveis resultando em feições singulares que lhe imprimem identidade fisionômica. “É particularmente associado a rochas calcárias, podendo se referir também a paisagens similares elaboradas em outras rochas, carbonáticas ou não” (PILÓ, 2000, p. 88).

Alguns autores preferem adotar como carste somente o relevo moldado em rochas carbonáticas, aplicando termos como pseudocarste, carste não-tradicional, dentre outras expressões, para denominar paisagens com ocorrência de feições cársticas em outras litologias.

Por estas questões de ordem conceitual, os dados sobre o Carste no mundo não são sempre concordantes. Conforme Travassos (2019), dentre as estatísticas mais aceitas está a de Ford e Willians (2007), que “afirmam que as regiões desenvolvidas em rochas carbonáticas totalizam cerca de 10 a 15% da superfície terrestre”.

Recentemente, Goldscheider *et al.* (2020) publicaram um trabalho onde são apresentados dados estatísticos sobre a distribuição do carste no mundo, baseado na ocorrência de rochas carbonáticas, incluindo aquelas associadas a evaporitos. Segundo os autores, as rochas carbonáticas estão presentes em todos os continentes, ocupando, ao todo, 15,2% da superfície terrestre¹

Segundo a União Internacional de Espeleologia - UIS (2021), esta tipologia de relevo cobre cerca de 20% da superfície no mundo; dado que provavelmente inclui o carste desenvolvido em litologias não carbonáticas.

No Brasil, o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV, com base nos dados do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE, banco de dados oficial do governo federal, definiu 15 grupos litológicos com potencial para ocorrência de cavernas no Brasil (CECAV, 2018), dentre os quais: rochas carbonáticas (majoritariamente em termos de área e ocorrências espeleológicas), siliciclásticas, ferruginosas, granitoides e vulcânicas.

Rubiolli *et al.* (2019) afirmam que 3,1% do território nacional apresenta litologias carbonáticas, correspondendo a 260.815 quilômetros quadrados; 4,6% de rochas siliciclásticas (considerando apenas aquelas com ocorrência de cavernas) e 0,1% de rochas ferríferas.

¹ Conforme o estudo: 9,4% da superfície global não coberta por gelo consiste em rochas carbonáticas contínuas (CC) e 5,8% são ocupados por rochas carbonáticas descontínuas (DC) ou rochas carbonáticas associadas a evaporitos (GOLDSCHIEDER *et al.*, 2020).

Segundo Goldscheider *et al.* (2020), 312 km² do território brasileiro são ocupados por área cárstica, o que representa 3,7% de sua área, dos quais, 1,1% são em afloramentos carbonáticos descontínuos.

Os dados do Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil – CNC, mantido pela Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, demonstram que o estado de Minas Gerais ocupa o primeiro lugar no ranking nacional em registro de cavidades naturais subterrâneas, detendo 30,1% dos registros em todo o Brasil, num total de 2.383 cavernas registradas (SBE, 2020). Esse dado é ainda mais robusto no CANIE, com 9.765 registros no estado, correspondendo a 45,41% dos registros nacionais. O segundo lugar é ocupado pelo estado do Pará com 12,6% dos registros, o que expõe ainda mais a riqueza do patrimônio espeleológico em Minas Gerais (CECAV, 2020). Essa riqueza espeleológica se deve à ampla presença de litótipos favoráveis à formação de cavidades e do relevo cárstico no território mineiro, especialmente as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

O Grupo Bambuí se estende por aproximadamente 146 mil km², nos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Tocantins e no Distrito Federal, onde se distinguem 11 regiões espeleológicas, dentre elas a Região de Montes Claros e Arredores. “Essa área apresenta muitos afloramentos calcários, muito embora não tenha havido pesquisas espeleológicas sistemáticas” (RUBBIOLI *et al.*, 2019.)

Embora seja frequentemente citado na literatura e apresente amplo acervo endocárstico, o carste da região de Montes Claros é, em geral, tratado de forma genérica nas publicações, sem uma definição muito clara. Alguns poucos trabalhos foram publicados tendo o carste montesclarensense como foco: Ribeiro; Costa; Soares, 2017; Travassos; Oliveira, 2016; Barbosa *et al.*, 2015; por exemplo.

Essa escassez de pesquisas pode justificar o fato dessa região não ter o mesmo reconhecimento nacional de outras que se estabeleceram com toponímias ligadas aos relevos cársticos como o Carste de Lagoa Santa, estudado desde os primórdios da pesquisa espeleológica no Brasil, remontando desde 1835 nos trabalhos desenvolvidos pelo dinamarquês Peter W. Lund; o Carste do Alto São Francisco (Arcos-Pains) e o Carste do Peruaçu; para citar apenas os localizados em território mineiro.

Consideramos que a distinção espacial de áreas que representam uma unidade geomorfológica mais homogênea, composta por faixas contínuas em escala regional, permite reconhecer os limites geográficos que definem o carste nos arredores de Montes Claros, estabelecendo-o como área focal para o desenvolvimento da pesquisa científica em diversos

vieses. Nesta perspectiva, compreendemos como questão inicial, a análise físico-geográfica desta paisagem enquanto unidade geomorfológica.

Neste trabalho, buscamos investigar as características físicas que definem o Carste de Montes Claros a partir do mapeamento geomorfológico em escala regional, apoiado na interpretação morfoestrutural e na identificação das principais formas do relevo cárstico, especialmente do exocarste.²

Por isso, empreendemos: identificar as formas superficiais e a estrutura que determinam a paisagem cárstica regional; conhecer as características físico-geográficas deste ambiente; e estabelecer um delineamento do relevo cárstico de Montes Claros.

Aplicamos metodologias de geoprocessamento no software livre QGis; com uso de mosaicos de imagens de satélites de franco acesso; interpretação de imagens da plataforma Google Earth e produção de bases cartográficas, blocos diagrama e perfis topográficos. Também realizamos imageamento com drone e trabalho de campo, resultando na caracterização e mapeamento geomorfológico do Carste de Montes Claros, em escala 1:50.000.

Em termos globais, o presente estudo vem ao encontro dos propósitos do Ano Internacional das Cavernas e do Carste (International Year of Caves and Karst), idealizado pela União Internacional de Espeleologia (UIS) para o ano de 2021; com atividades de promoção e divulgação do conhecimento sobre as cavernas e o carste em todo o mundo, até o final de 2022³, nos mais diversos formatos, meios e públicos.

No âmbito nacional, ratificando a importância e necessidade de desenvolvimento de pesquisas sobre o Carste de Montes Claros, o município foi listado dentro das ações do Plano de Ação Nacional para a Conservação nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco⁴, como área prioritária para conservação nas categorias 1, 2 e 3, destacando-se, nesta última, ações de “ampliação do conhecimento (pesquisa, prospecção espeleológica, validação de coordenadas)” (CAVALCANTI, 2018).

Na esfera local, o presente trabalho contribui como instrumento de gestão do município na condução do licenciamento ambiental que, a partir da promulgação da Lei

² Adotamos o termo Carste de Montes Claros por estar inserido nos limites deste município.

³ “O Ano Internacional das Cavernas e do Carste 2021 (IYCK), que teria seu ponto máximo no 18º CIE [Congresso Internacional de Espeleologia] em 2021 e continuidade até o final deste ano, também fica prorrogado até o final de 2022, mantendo seu clímax para o mesmo evento, mas agora em nova data”. (Comunicado aos associados da Sociedade Brasileira de Espeleologia, em 02 de abril de 2021).

⁴ A Portaria MMA nº 358, de 30 de setembro 2009 instituiu o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico, base para a formulação do Plano de Ação para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco - PAN Cavernas do São Francisco, conduzido pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV, do Instituto Chico Mendes.

Complementar Federal nº 140/2011, passou à competência do município para atividades e empreendimentos que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local; podendo, o município, assumir atribuições delegadas pelo Estado por instrumento legal ou convênio; este cada vez mais sendo praticado, inclusive em relação ao patrimônio espeleológico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

2.1. Paisagem e Paisagem Cárstica

Os estudos da paisagem estão presentes na Geografia desde os seus primórdios enquanto ciência, em diferentes abordagens conceituais e tendo maior ou menor destaque, conforme o desenvolvimento das correntes do pensamento geográfico ao longo da história; desde a visão naturalista do século XIX, a partir de Humboldt, à incorporação da fenomenologia, no último quartel do século XX, com autores como Tuan e Claval, conforme nos descreve Salgueiro (2001).

O conceito de paisagem, que em sua origem era essencialmente voltado para o aspecto descritivo dos elementos e das formas físicas, foi assimilando gradativamente o aspecto antrópico (SALGUEIRO, 2001). A abordagem sistêmica, originada da Teoria Geral dos Sistemas, foi incorporada a essa categoria geográfica a partir da década de 1960, como reação aos métodos e abordagens da Nova Geografia (TRAVASSOS; AMORIM-FILHO, 2001). O termo geossistemas surgiu na escola soviética, adotada pela primeira vez pelo geógrafo Sotchava, em 1962, encontrando reverberação na escola Francesa, a partir de George Bertrand (MARQUES NETO, 2008).

Para Bertrand (1968), a paisagem é, “em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.” (BERTRAND, 1968; tradução de CRUZ, 2004, p. 141).

Tricart (1982) citado por Marques Neto (2008, p. 246) define que “uma paisagem é uma porção perceptível a um observador onde se inscreve uma combinação de fatos visíveis e invisíveis e interações as quais, num dado momento, não percebemos senão o resultado global”.

O aspecto sistêmico é claro em ambos os autores, traduzidos principalmente na expressão das interações entre os diversos elementos que compõem a paisagem, inclusive o antrópico; mas também na concepção da dinâmica e da evolução da paisagem. Segundo

Marques Neto (2008), a incorporação da abordagem sistêmica no âmbito da Geografia Física “ampliou o rigor científico” atribuído a essa categoria geográfica. Este autor, remetendo-se a Tricart, nos coloca que, nesta abordagem, a paisagem é percebida como categoria de análise concreta, relativamente homogênea, passível de representação cartográfica.

O termo geossistema é compreendido por Bertrand (1968) como uma unidade de paisagem inserida dentro de uma região natural, resultante da combinação dos fatores naturais – geomorfológicos, climáticos e hidrológicos, denominados pelo autor de “potencial ecológico” e vegetação, solo e fauna, denominados “exploração ecológica”; compartilhando uma dinâmica comum (mesma morfogênese ou mesmo tipo de intervenção antrópica, por exemplo); caracterizando, ao final, uma certa homogeneidade fisionômica; definida num intervalo escalar entre a 4ª e 5ª grandeza têmporo-espacial de Cailleux e Tricart [1956] (BERTRAND, 1968; KOLHER, 2011).

Na interpretação de Troppmair; Galina (2006, citados por Lima; Brito; Farias 2021, p. 10), “a estrutura, as interrelações e a dinâmica que ocorrem em determinada área formando um geossistema dão a feição, a fisionomia daquele espaço, que é a própria paisagem visto como sistema, como unidade real e integrada”.

Unidades fisionômicas menores em termos de escala, mas passíveis de distinção dentro da unidade geossistema são definidas por Bertrand como geofácies, produzidas pela dinâmica interna dos geossistemas, sendo situadas na sexta ordem têmporo espacial (BERTRAND, 1968).

Ambas as unidades da paisagem abordadas são perfeitamente observáveis num sistema cárstico, sendo: o geossistema a unidade fisionômica que define o conjunto cárstico, suportado pela mesma estrutura: um maciço ou planalto calcário, por exemplo; e os geofácies, cada um dos conjuntos de formas (feições típicas) que compõem este relevo cárstico diferenciados na paisagem (campo de dolinas, humes, poljes). As cavernas, embora presentes no domínio subterrâneo, estariam no nível taxonômico dos geótopos, menor unidade homogênea que pode ser reconhecida no terreno e que compreende um subconjunto da geofácie, conforme abordagem do referido autor.

A paisagem cárstica é naturalmente reconhecida na expressão do modelado de dissolução, resultando na esculturação de feições muito típicas que lhe imprimem uma identidade morfológica própria, ao mesmo tempo em que é evidente a atuação de processos genéticos (dinâmica) semelhantes, sob a influência hidrológica ou, nas palavras de Karmman (2009), devido à “ação geológica da água sobre rochas solúveis”.

Karmann (2009) compreende que,

Do ponto de vista hidrológico e geomorfológico, sistemas cársticos são constituídos por: três componentes principais que se desenvolvem de maneira conjunta e interdependente 1. sistemas de cavernas – formas subterrâneas acessíveis à exploração, 2. aquíferos de condutos – formas condutoras de águas subterrâneas e 3. relevo cárstico – formas superficiais (KARMANN, 2009, p. 202-203).

Focaremos neste último e na representação cartográfica da fisionomia da paisagem cárstica na região de Montes Claros.

2.2. Geomorfologia cárstica

Conforme amplamente abordado na literatura, da qual podemos citar Christofolletti (1980), Kohler (2003), Lino (2009) e Travassos (2010, 2019), o termo *carste* se origina da palavra Karst, de origem germânica, empregada para designar a morfologia regional da área de calcários maciços situada entre a Itália e a Eslovênia; tendo sido popularizado pelo geógrafo sérvio, Jovan Cvijić (1893), segundo Travassos (2019).

O relevo cárstico ou simplesmente Carste é um tipo específico de relevo que se desenvolve principalmente sobre rochas solúveis, apresentando morfologia típica, cujas formas são moldadas predominantemente por processos hidrológicos. Embora possa se desenvolver em outros tipos de rochas menos solúveis, são nas rochas carbonáticas, como o calcário, que o carste se desenvolve em plenitude (BARBOSA, 2010).

Nos processos de formação de um carste atuam fatores endógenos, associados principalmente ao componente litológico, e, fortemente, os fatores exógenos, associados ao trabalho da água, em seu ciclo meteórico, superficial, subsuperficial e em faixas subterrâneas mais profundas; podendo ocorrer processos físicos atuantes, sem, no entanto, retirar protagonismo da dissolução da rocha pela água.

Nas últimas décadas tem tomado corpo o debate em torno do termo *carste*, uma vez que o avanço das pesquisas vem demonstrando a ocorrência de feições tipicamente cársticas, especialmente as cavernas, em litologias não carbonáticas, como nas rochas siliciclásticas e nas formações ferríferas; um debate que ainda está sendo construído e para o qual foram criados termos como: pseudocarste, carste não tradicional e carste não-carbonático. Uma abordagem interessante neste sentido é encontrada em Hardt; Rodet; Pinto (2010).

Conforme discorre Travassos (2019), é necessário que o caráter de solubilidade esteja presente nas rochas para que as feições características do carste sejam moldadas. Embora seja possível considerar que quaisquer litologias possam apresentar algum grau de

dissolução, esse pode não ser um processo suficientemente desenvolvido para que se forme uma paisagem cárstica. Para White e White (2013, citados por TRAVASSOS, 2019), o carste é o tipo de paisagem na qual a dissolução química predomina sobre os processos mecânicos e a simples presença de uma caverna não é suficiente para que se possa determinar um sistema cárstico, para o qual é necessário “estabelecer as relações evolutivas entre a superfície e o subterrâneo” (TRAVASSOS, 2019).

Piló (2000) também destaca a questão dos processos dissolutivos na elaboração das formas cársticas, bem como a existência de drenagens subterrâneas como características próprias do relevo cárstico, lembrando que a origem do termo *karst* possui caráter morfológico. Igualmente, Lino (2009) remete ao caráter predominantemente subterrâneo das drenagens e a existência de formas dissolutivas que imprimem um aspecto ruiforme, como características do ambiente cárstico. Karmman (2009) destaca que, além do alto grau de solubilidade da rocha, a porosidade secundária estabelecida pela rede de discontinuidades formam o caminho preferencial das águas no relevo cárstico.

As formas típicas do relevo cárstico são, portanto, o resultado da atuação da água na compartimentação litológica por meio de processos dissolutivos, apresentando-se, de forma clara, os processos endógenos e exógenos essenciais para a caracterização do relevo cárstico. Estas formas típicas são denominadas de feições cársticas.

Uma das maneiras de se classificar as feições cársticas é em termos de escala, uma vez que elas podem variar desde microformas, como alguns tipos de lapíás (*karren*), ou ainda alguns espeleotemas; até formas em macroescala como os poljes e os maciços calcários, que podem alcançar algumas centenas de metros ou até mesmo dimensões quilométricas. Em mesoescala estão as feições de dimensões métricas ou algumas dezenas de metros, como as dolinas.

Há ainda a classificação dos conjuntos de feições ou das compartimentações, conforme o seu posicionamento em relação à superfície. Denomina-se de exocarste, o conjunto das feições superficiais da geomorfologia cárstica; enquanto as feições subterrâneas, como as cavernas, caracterizam o endocarste.

O epicarste, conforme nos lembra Travassos (2019), é caracterizado por um compartimento intermediário (subs superficial), no qual se evidencia a dissolução da rocha aumentando em profundidade até alcançar as galerias e condutos do endocarste. As feições existentes no epicarste contribuem para o desenvolvimento de feições superficiais, como as dolinas, uvalas e os poljes.

Dentre as diversas formas dos diferentes compartimentos do relevo cárstico, interessa-nos neste estudo o exocarste ou as formas superficiais, e mais ainda as meso e macro feições, que são passíveis de mapeamento geomorfológico em nível regional, através da metodologia adotada. Assim interessa-nos: as dolinas, uvalas e poljes; os vales cegos e secos; os maciços e os humes.

Conforme abordamos em nosso trabalho sobre o carste da Serra do Mel (BARBOSA, 2010), a partir das definições de diversos autores, (KOHLENER, 2003; LINO, 2009; KARMANN, 2009) podemos entender a dolina como uma depressão fechada, geralmente de forma circular e mais larga que profunda, lembrando a aparência de uma bacia ou funil, formada por processos químicos, físicos ou físico-químicos. Muitas vezes, as dolinas se desenvolvem nas interseções de diáclases e podem apresentar dimensões de poucos metros a duas ou três unidades quilométricas (BARBOSA, 2010).

As uvalas são normalmente entendidas como depressões alongadas, que podem atingir grandes extensões, apresentando formas circulares aglutinadas, o que, para alguns autores, representam dolinas coalescentes. Caracterizam-se por fundos irregulares, pela presença de dolinas e sumidouros, ou aplainados por sedimentos coluviais, localizadas acima do nível de base do carste regional (TRAVASSOS, 2019).

Outro tipo de depressão fechada ocorrente no carste são os poljes ou planícies cársticas; caracterizadas como macro feição que, em geral, ultrapassam algumas dezenas de metros de extensão e podem atingir dimensões quilométricas. São caracterizadas pelo fundo plano, preenchidas por sedimentos e paredes abruptas, rochosas ou não, neste caso, compostas por depósitos aluvionares ou lacustres. São formadas por dissolução, assim como as dolinas; mas seu desenvolvimento se dá mais acentuadamente na direção horizontal, por recuo das bordas, dada a impermeabilização do fundo. Os poljes podem se apresentar secos, intermitentes ou ainda permanentemente alagados, conforme a variação do nível do lençol freático (PILÓ, 2000; LINO, 2009; TRAVASSOS, 2019). Travassos (2019), citando Kranjc (2013), ressalta que os poljes “não são feições cársticas puras, pois são poligenéticas”, podendo, eventualmente, se apresentar abertos (TRAVASSOS, 2019).

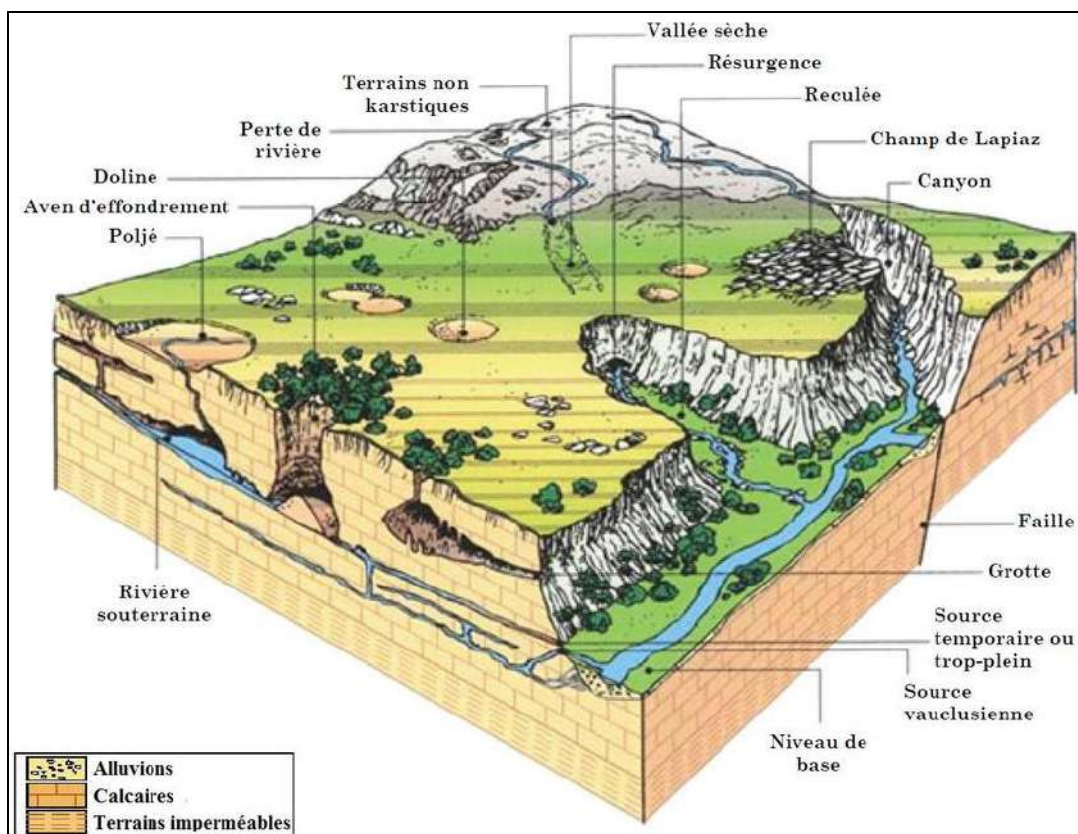
Os vales nos relevos cársticos também podem apresentar particularidades, devido às características dos aquíferos fissurais e à influência da circulação subterrânea. Assim, uma drenagem superficial pode se encontrar interrompida à jusante pela presença de um sumidouro, por onde a água é capturada, caracterizando o vale cego. Outras vezes, esses vales podem ter sido abandonados pelo lençol, que passa a correr subterraneamente, formando os vales secos (PILÓ, 2000; LINO, 2009; TRAVASSOS, 2019).

Dentre as formas positivas, destacam-se os maciços calcários, definidos por Kohler (1989) como planaltos. Sua morfologia apresenta frequentemente escarpas rochosas e topo rugoso, dada a presença de grande número de fraturas e discontinuidades, muitas vezes caracterizando campos de lapiás (karren).

Outra feição de interesse deste trabalho é o hume, definido por Travassos (2019) como “uma forma residual [rochosa] isolada em meio a um polje ou planície cárstica”. [...] “Em nosso carste brasileiro, mesmo que uma paisagem não esteja totalmente nivelada, é possível identificar humes isolados” (TRAVASSOS, 2019, p. 126).

O reconhecimento das principais feições do exocarste é de fundamental importância para o mapeamento geomorfológico do relevo cárstico. Na Figura 1 é possível observar algumas das feições abordadas, ilustradas em bloco diagrama.

Figura 1: Bloco diagrama de uma paisagem cárstica.



Fonte: BAKALOWICZ, 1999 citado por VALOIS, 2011.

2.3. O carste no Brasil

A extensão do Grupo Bambuí e sua vocação ao desenvolvimento de relevo cárstico é tão destacada que a unidade é reconhecida desde a primeira classificação do carste brasileiro, proposta por Karmann; Sánchez (1979), baseada na distribuição de rochas carbonáticas no país e que delimitou 5 províncias espeleológicas no território brasileiro, além de 8 regiões carbonáticas. Neste trabalho, os autores citam a região de Montes Claros, Nova Esperança, Tabuas, Bom Sucesso, Barreiras, Mirabela e Patis como “um vasto afloramento de calcários” descontínuo à margem direita do Rio das Velhas, desde Corinto até Montes Claros (KARMANN; SÁNCHEZ, 1979, p. 13).

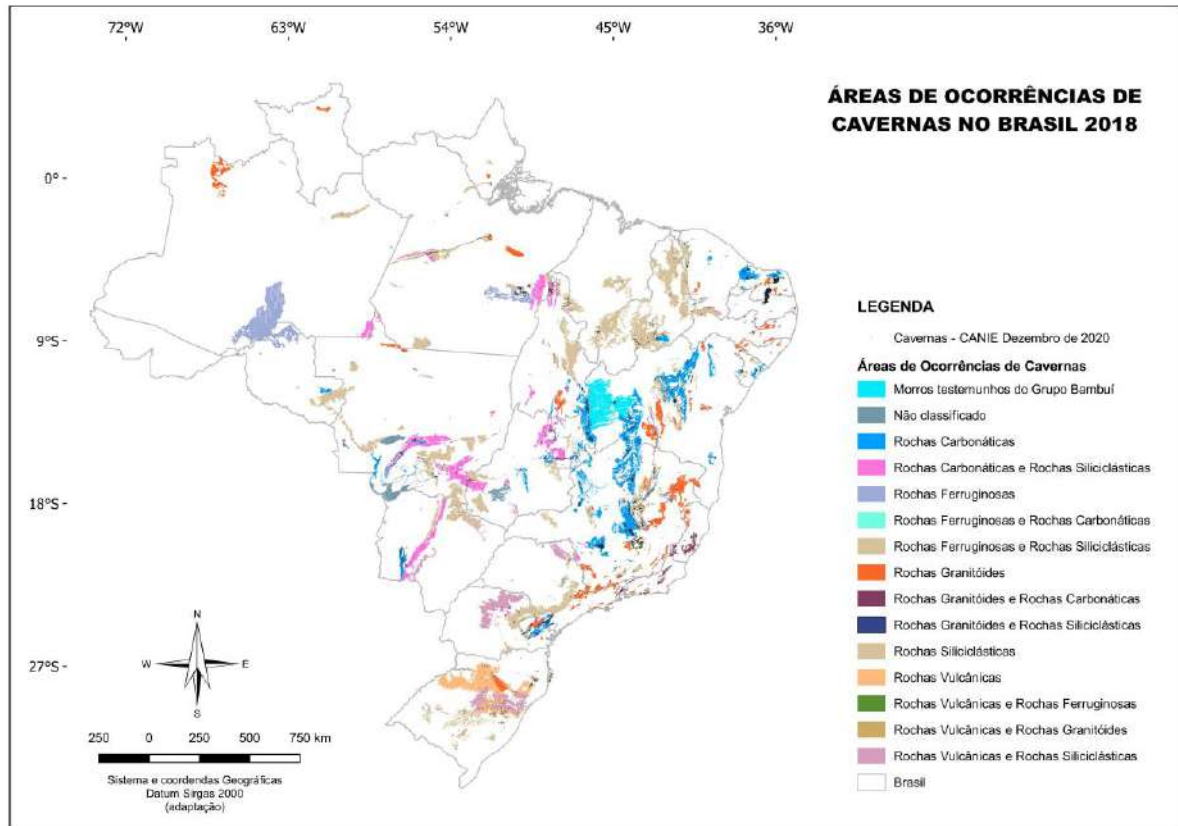
Conforme descrito por Timo (2014), essa classificação é ampliada pelos mesmos autores em 1986; aperfeiçoada por Auler, Rubbioli e Brandi em 2001 e novamente ampliada em 2011, pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas - CECAV; incorporando-se, ao longo do tempo, litologias não carbonáticas nestas classificações, conforme o avanço do conhecimento acerca do patrimônio espeleológico nacional.

Alguns dos trabalhos mais atuais neste sentido são organizados pelo CECAV, que em seu último mapeamento listou 15 grupos litológicos com potencial para ocorrência de cavernas no Brasil onde as rochas carbonáticas permanecem em destaque (CECAV, 2018), tanto em extensão, como em número de ocorrências de cavernas.⁵ A distribuição desses grupos litológicos no território brasileiro é apresentada na Figura 2, com as rochas carbonáticas representadas em azul⁶.

⁵ Em dezembro de 2020, o CECAV alcançou o registro de 21.505 cavernas no Brasil, das quais 53% ocorrem em rochas carbonáticas, excetuando-se aquelas em associação com outras litologias como as rochas siliciclásticas ou ferruginosas (CECAV, 2021).

⁶ O original pode ser consultado em <https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html>.

Figura 2: Áreas de Ocorrência de Cavernas do Brasil.



Fonte: CECAV, 2018.

No seu mapeamento mais atual, o CECAV deixou de nominar as regiões cársticas/espeleológicas, como vinha sendo abordado pelos autores até então e pelo próprio Centro em trabalhos anteriores (CECAV, 2011, por exemplo), passando a priorizar a nomenclatura das litologias. No estado de Minas Gerais, constam nove desses grupos litológicos mapeados, com as rochas carbonáticas se destacando no território.

Rubioli *et al.*, (2019) apresentam, em seu Atlas, o mais recente trabalho de mapeamento de regiões espeleológicas brasileiras, baseado no cruzamento de dados geológicos mapeados em território nacional e de informações do CANIE, cujo resultado é um refinamento do trabalho de 2001 (AULER; RUBBIOLI; BRANDI, 2001), sendo agrupadas apenas regiões desenvolvidas em rochas carbonáticas, siliciclásticas e ferríferas. Segundo os autores, o termo “cárstico” foi evitado para que não fossem excluídas as regiões ferríferas, onde tem sido cadastrado um grande número de cavernas, correspondendo à terceira litologia com mais ocorrências cadastradas no Brasil.⁷ Neste trabalho, as regiões são nominadas

⁷ O Anuário Estatístico do Patrimônio Espeleológico Brasileiro 2019 (CECAV, 2020) aponta o registro 2.772 cavernas em formações ferruginosas (14% da base de dados). Há ainda registros em litologias que combinam rochas ferruginosas e siliciclásticas (816) e rochas ferruginosas e carbonáticas (217).

conforme as unidades geológicas correlatas e depois subdivididas em “regiões espeleológicas”, correspondentes às áreas com maior número de registros de cavernas, aproximando-se dos conceitos iniciais de Província e Distrito propostas por Karmann e Sánchez (RUBBIOLI *et al.*, 2019.). Os autores mapearam 24 regiões carbonáticas, 12 siliciclásticas e 6 ferríferas. No Grupo Bambuí são delimitadas 11 unidades espeleológicas, dentre as quais, a região espeleológica de “Montes Claros e Arredores”, destacando-se ainda no norte do estado de Minas Gerais a região espeleológica de “Januária, Itacarambi, Manga e Montalvânia” (RUBBIOLI *et al.*, 2019.).

Excetuando-se a área focal do Vale do Rio Peruaçu, onde vem sendo desenvolvidas diversas pesquisas científicas, como os estudos paleoclimáticos de Strikis, [projeto atual]; e os trabalhos de Gomes, *et al.* (2019); Coelho; Piló e Valadão (2017) – apenas para citar alguns; poucos são os trabalhos realizados sobre o carste no Norte de Minas Gerais.

2.4. Procedimentos metodológicos

Apoiamos o processo de mapeamento geomorfológico da região cárstica de Montes Claros na interpretação dos modelados e das principais formas superficiais que se desenvolvem sobre o arcabouço estrutural das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí e das demais unidades geológicas presentes. Assim, o recorte espacial tomado como área de pesquisa não foi restrito ao território do município, baseado em limites políticos. Também não almejou o mapeamento geomorfológico de todo o território municipal, uma vez que seu foco foi o relevo cárstico.

Buscamos alcançar uma caracterização em torno da quarta e da quinta ordem taxonômica, conforme classificação do IBGE⁸, representando os diversos modelados encontrados na área de pesquisa – especialmente o modelado de dissolução e as formas de relevo simbolizadas do exocarste.

“Os modelados de dissolução, elaborados em rochas carbonáticas, podem ser classificados de acordo com sua evolução, identificados de acordo com o seu aspecto em superfície ou em subsuperfície” (IBGE, 2009, p 31). “As formas de relevo simbolizadas

Rubioli *et al.* (2019) apontam, segundo dados do CANIE de dezembro de 2017, um número de 3.042 cavernas localizadas em regiões ferríferas, em uma área de 10,030 km², correspondendo a uma densidade de 0,33 cavernas por km², bem superior ao índice das rochas carbonáticas de 0,0373 cavernas/km², segundo estes autores.

⁸A proposta de mapeamento geomorfológico do IBGE obedece 5 níveis taxonômicos, segundo uma classificação temporal e espacial, organizados em ordem decrescente de grandeza da seguinte maneira: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (IBGE, 2009).

abrangem feições que, por sua dimensão espacial, somente podem ser representadas por símbolos lineares ou pontuais.” (IBGE, 2009, p. 31)

A questão estrutural foi inicialmente analisada por meio do reconhecimento da abrangência da Província do Grupo Bambuí, a partir do mapa das Regiões Cársticas do Brasil (CECAV, 2011; 2018), quando processamos o primeiro recorte espacial da área de interesse.

Em seguida, foi elaborado um mapa geológico para esta área, cujas bases cartográficas foram as cartas geológicas da região, em escala 1:100.000, resultado dos mapeamentos da CPRM – Serviço Geológico do Brasil e da CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, em parceria com a UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, selecionando-se as folhas: Montes Claros, Coração de Jesus, Brasília de Minas, Capitão Enéas, São João da Ponte e Barreiro da Jaíba (CHAVES; ANDRADE, 2011; 2013; KUCHENBECKER; COSTA, 2013; KUCHENBECKER; ATMAN; COSTA, 2013; KUCHENBECKER *et al.*, 2013; ROMANO *et al.*, 2015). Nesta fase, analisamos as composições e litologias predominantes em cada uma das unidades geológicas que compõem as folhas, em especial o Grupo Bambuí. Deste grupo geológico, destacamos a Formação Lagoa do Jacaré, nas fácies onde predominam calcilitos e calcarenitos e a Formação Serra da Saudade, definidas como unidade estrutural do carste regional.

Ainda nas análises iniciais observamos nas folhas geológicas que os polígonos que representam a ocorrência da Formação Lagoa do Jacaré se mostram relativamente contíguos, abrangendo territórios de muitos outros municípios vizinhos. Em razão desta constatação, consideramos a adoção de um segundo recorte espacial, cujo critério foram os limites das bacias hidrográficas, tendo como referência o Rio Verde Grande, nível de base regional e as sub-bacias contribuintes deste rio presentes, completa ou parcialmente, em território montesclareense; uma vez que as bacias concentram os fluxos hídricos, que são os protagonistas nos processos de esculturação do carste. Certamente, consideramos a suposição das bacias criptorreicas não serem coincidentes com os limites superficiais; podendo, inclusive, ocorrer destas bacias estarem interconectadas com outras bacias em nível subterrâneo. No entanto, como a proposta deste estudo é focada no exocarste, consideramos que, por ora, este é um fator de delimitação aceitável, até que se conheça suficientemente o endocarste e se possa afirmar uma presumível conexão entre bacias não consideradas aqui.

Assim, este segundo recorte espacial foi inicialmente limitado ao leste pelo Rio Verde Grande, e ao norte, oeste e sul, pelos interflúvios das sub-bacias dos seguintes cursos d’água: Rio Vieiras, Rio Tabuas, Rio da Serra/Canabrava [1], Córrego do Bengo, Ribeirão

Barreiras, Rio Santa Rosa/Jacuí, Rio Canabrava [2] e Ribeirão do Ouro/Suçupara, todos afluentes da margem esquerda do Rio Verde Grande; obtendo-se assim, a área de pesquisa para análise das diversas variáveis.⁹

Uma vez definido o recorte espacial de trabalho, elaboramos o MDE - Modelo Digital de Elevação da área compondo um mosaico de cenas obtidas a partir dos sensores do satélite Alos, banda L (Palsar), com resolução de 12,5 m, o que atendeu ao propósito da pesquisa.

O processamento digital deste mosaico permitiu a extração das bacias hidrográficas relacionadas e a elaboração de mapas temáticos, com uso do software livre QGis e aplicação de ferramentas específicas para cada produto cartográfico. Com esse trabalho, obtivemos os mapas de hipsometria, declividade e topográfico da região estudada, com curvas de níveis de 10 metros de equidistância. Conforme abordado pelo IBGE (2009), mapas com curvas de nível nesta equidistância podem gerar mapas temáticos com escala superior a 1:50.000.

A rede de drenagem foi obtida nas bases georreferenciadas do IGAM – Instituto Mineiro de Gestão da Águas, disponível no portal IDE - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2019).

Essas bases cartográficas interpretadas em conjunto permitiram reconhecer os diversos modelados presentes na área de estudo e apontar suas especificidades geomorfológicas. Os modelados foram classificados conforme metodologia descrita no Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009).

Como forma de auxiliar a interpretação e contribuir na representação do relevo da área de pesquisa, criamos blocos diagrama e perfis topográficos para os setores norte, centro e sul da área de pesquisa, a partir do MDE, com utilização do plugins específicos para essa função (Qgis2threejs versão 2.6 e VoGIS-ProfilTool, versão 3.0.2) no QGis.

Para o reconhecimento das formas negativas, utilizamos dois processos: o primeiro foi a identificação de depressões fechadas representadas nos mapas topográficos da região, em escala 1:100.000, folhas Coração de Jesus, Montes Claros, Capitão Enéas e Brasília de Minas (IBGE, 1972; 1979; 1979a; 1979b.). Também criamos chaves de interpretação e utilizamos imagens disponíveis na plataforma Google Earth (Landsat Copernicus. Maxar Technologies e CNES/Airbus; com datas de 2012 a 2021, principalmente maio de 2017 e julho de 2019) para identificação destas feições. Algumas feições que se

⁹ Como na área de pesquisa ocorrem dois cursos d'água com denominação de Rio Canabrava, utilizamos para diferenciação: [1] para aquele posicionado mais ao sul, e [2] o correspondente ao norte.

enquadravam na chave de interpretação geraram dúvidas quanto à gênese, se de fato eram dolinas ou pequenas barragens antrópicas, muito comuns na região para dessedentação animal e foram descartadas. O mesmo ocorreu com depressões muito próximas ao baixo curso dos principais rios regionais, que poderiam se constituir lagoas marginais.

Utilizamos o mesmo procedimento para identificação de sumidouros e surgências e de humes, associando as chaves de interpretação destas feições com a representação da rede de drenagem ou curvas de nível nos mapas topográficos. Os campos de lapíás foram identificados visualmente nas imagens orbitais citadas.

O endocarste foi representado pelas cavidades naturais subterrâneas que se encontram cadastradas no CANIE (CECAV, 2021), em arquivo georreferenciado.

Também realizamos imageamento com drone como ferramenta de auxílio na visualização de áreas e feições e para ilustração dos temas.¹⁰

Esse conjunto de análises possibilitou a interpretação do relevo, o reconhecimento do Carste de Montes Claros dentro da área de pesquisa e sua caracterização.

Como produto final apresentamos um mapa básico de semidetalhe¹¹ com o mapeamento geomorfológico do Carste de Montes Claros, em escala 1:50.000, contendo a representação das principais feições, expressas por polígonos de diferentes cores e símbolos específicos da cartográfica.

Na representação dos modelados, aplicamos a simbologia constante no Apêndice 3 do Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009). As cores foram aplicadas conforme o processo morfogenético predominante e se basearam no sistema ITC (International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences), conforme Verstappen (1983) *citado por* Florenzano (2008).

A simbologia das formas cársticas foram baseadas em legendas de diversos mapas de geomorfologia cárstica produzidos no Brasil (TIMO, 2014; GUIMARÃES, 2012; TRAVASSOS, 2010; CPRM, s.d.), todos baseados na proposta da Comissão de Fenômenos Cársticos do Comitê Nacional de Geografia da França.

Nossa vivência de estudos e levantamentos na região cárstica de Montes Claros, acumulada há duas décadas, foi um diferencial diante das restrições impostas pela Pandemia da Covid 19 para realização de trabalhos de campo. Mesmo assim, realizamos um dia de

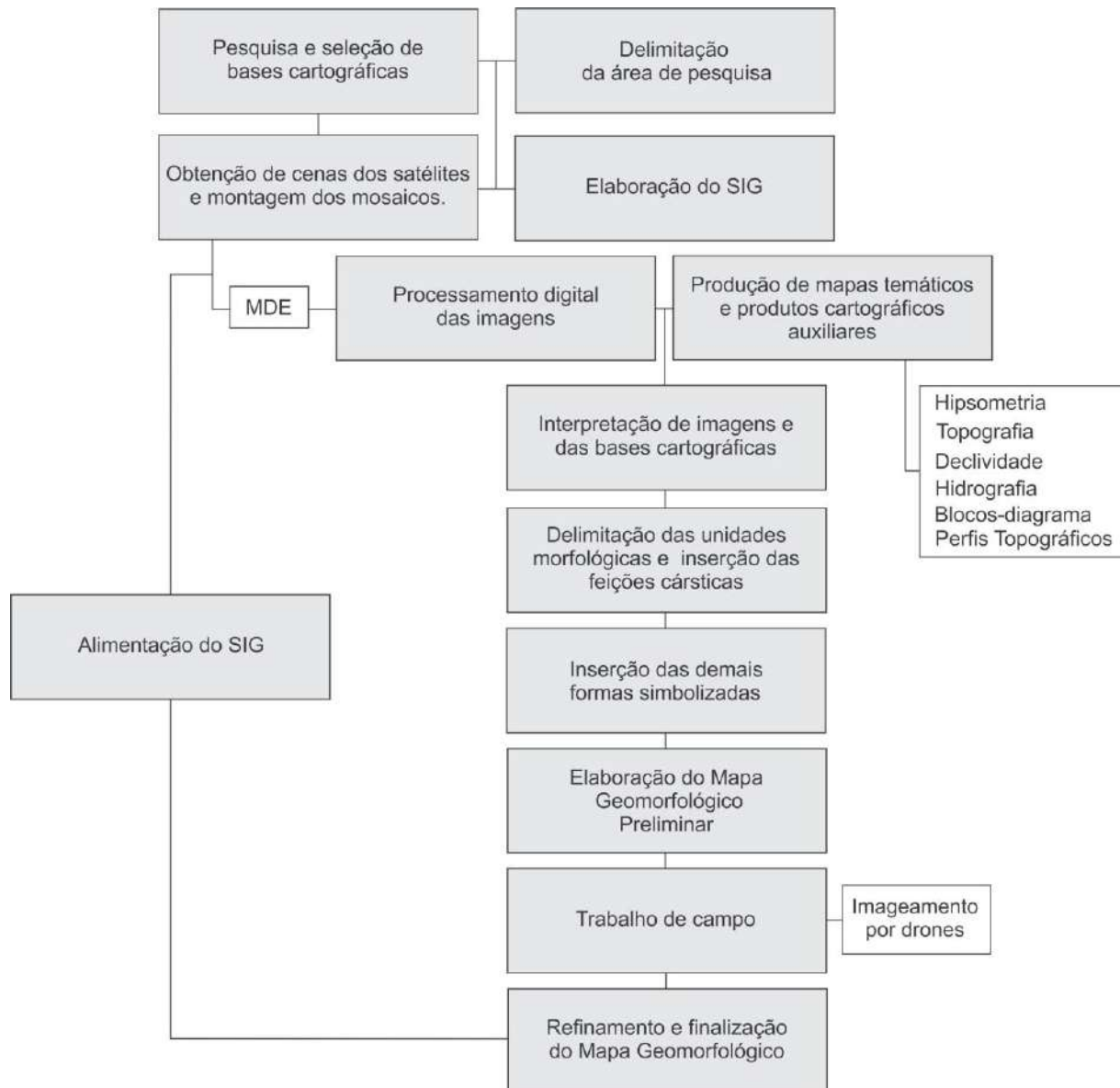
¹⁰ Os voos foram realizados com drone DJI, modelo MAVIC, registro no Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA: PP050619991, operador: Eduardo Gomes de Assis.

¹¹ “Os mapas básicos subdividem-se em mapas regionais, mapas de reconhecimento e mapas de semidetalhe. (...) Os mapas de semidetalhe incluem levantamentos geomorfológicos com escala compreendida entre 1:100 000 (exclusivo) e 1:50 000, sendo esta última a escala preferencial” (IBGE, 2009, p. 155).

campo com o objetivo de redimir pequenas dúvidas de interpretação levantadas no processo de pesquisa.

A Figura 3 resume os procedimentos metodológicos aplicados em forma de um organograma.

Figura 3: Organograma dos procedimentos metodológicos aplicados



3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

3.1. Localização

A área de pesquisa está localizada na região norte do estado de Minas Gerais, Brasil; no município de Montes Claros, abrangendo ainda parte do território de municípios circunvizinhos: São João da Ponte, Patis e Mirabela.

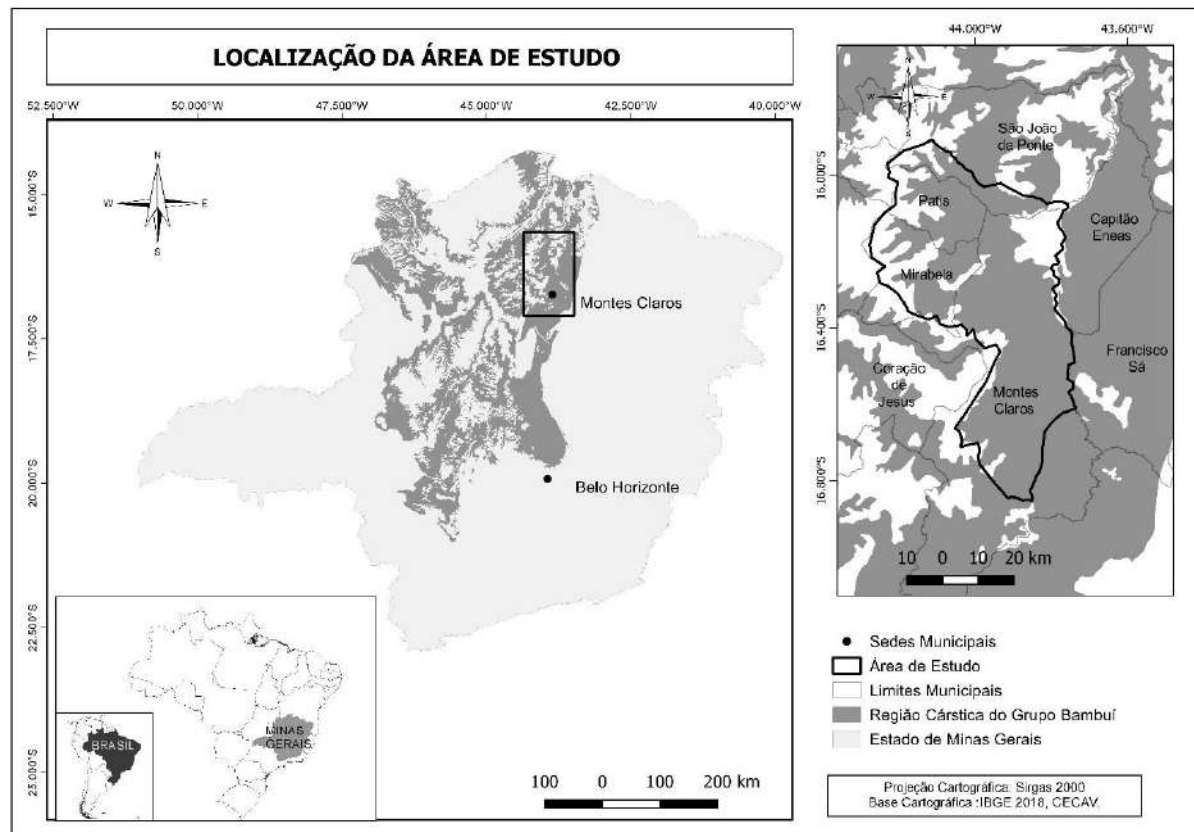
A denominação Carste de Montes Claros parte do referencial espacial a que se propôs a pesquisa: o município de Montes Claros, MG. Trata-se de uma importante área cárstica, onde, até o presente, já foram cadastradas cerca de quatro centenas de cavidades naturais subterrâneas¹², segundo dados disponíveis no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE (CECAV, 2021), com potencial para muitos outros registros.

Esse importante patrimônio espeleológico posiciona-se na chamada Região Cárstica do Grupo Bambuí, desenvolvida sobre as litologias carbonáticas deste grupo geológico e se constitui a mais extensa dentre as regiões cársticas reconhecidas hoje no Brasil. Sua extensão abrange boa parte do território mineiro, desde a região central até o norte do estado, onde se subdivide em duas ramificações: uma ao leste, que se estende até a Bahia; e outra ao oeste, que abrange parte de Goiás, Tocantins e Distrito Federal.

Na Figura 4, ilustramos a posição da área de pesquisa em relação ao estado de Minas Gerais e ao Grupo Bambuí, ambos representados no quadrante da esquerda. No quadrante da direita, apresentamos um detalhamento com a delimitação da área de pesquisa, incluindo os limites municipais.

¹² Considerando apenas os cadastros no município de Montes Claros, MG, em abril de 2021.

Figura 4: Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria, 2020.

3.2 Condicionantes geológico-geomorfológicas

A área de desenvolvimento dessa pesquisa encontra-se no domínio morfoestrutural do Cráton do São Francisco, estando posicionado em sua porção central.

Reis *et al.* (2017; com referência em ALKIMIM & MARTINS-NETO, 2001) apontam os limites do Cráton do São Francisco, caracterizados ao sudeste e sudoeste pelas faixas Araçuaí e Brasileira, respectivamente; ao Norte, pelas faixas Rio Preto e Riacho do Pontal e a Nordeste pela faixa Sergipana.

Conforme descreve Almeida (1977), o Cráton do São Francisco é resultado das atividades geodinâmicas do ciclo brasileiro, cujo embasamento apresenta diferentes idades, em diferentes regiões cratônicas. Segundo o autor, a última faixa de dobramentos a se desenvolver no Cráton corresponde à faixa Espinhaço, que antecede a deposição do Grupo Bambuí sobre a cobertura cratônica. As litologias que compõem o Grupo Bambuí são resultado da sedimentação marinha, em ambiente raso e de baixa a média energia, depositadas em fase de submersão do Cráton, muitas vezes recobrando diretamente o embasamento em algumas das regiões cratônicas, como em seu extremo sul.

Iglesias (2007) nos coloca que, sob a designação de Grupo Bambuí identifica-se uma das mais extensas e discutidas unidades estratigráficas do Brasil. Este grupo é caracterizado por rochas sedimentares pelítico-carbonáticas do Proterozoico Superior, cuja geocronologia é ainda diversamente discutida, mas que indica uma idade entre 740 a 600 Ma.

Conforme descrevem Iglesias e Uhlien (2009), a Formação Sete Lagoas é a unidade basal da Grupo Bambuí na região, composta por uma sequência de carbonatos. Sobre ela assentam-se, em contato concordante e gradativo, as litologias predominantemente pelíticas da Formação Serra de Santa Helena (siltitos, folhelhos, argilitos e margas e intercalações de calcários cinza escuro). Em seguida, tem-se a Formação Lagoa do Jacaré, sobreposta em contato gradacional, e do mesmo modo na passagem para a Formação Serra da Saudade, que completa a sequência estratigráfica no topo, composta por pelitos. Ocorre ainda a Formação Três Marias que aflora de forma bastante isolada na região, assentada sobre a Formação Serra da Saudade sendo composta por arenitos, arcósios e siltitos.¹³ Assim, na região norte de Minas, o Grupo Bambuí apresenta-se com a seguinte sequência estratigráfica da base para o topo: Formação Sete Lagoas, Formação Serra de Santa Helena, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra da Saudade e Formação Três Marias. Na área de estudo, o Grupo Bambuí é recoberto pelos arenitos do Grupo Areado, datados do Cretáceo; e por Depósitos Elúvio-Colúviais do Cenozoico.

O Grupo Bambuí, no Norte de Minas Gerais, pode ser destacado em suas duas sequências carbonáticas, responsáveis pelo desenvolvimento das áreas cársticas mais representativas no âmbito regional, dada a sua composição litoestratigráfica: a Formação Sete Lagoas, onde se desenvolve o Carste do Peruaçu e a Formação Lagoa do Jacaré, onde se desenvolve o Carste de Montes Claros; a primeira, aflorando apenas na margem esquerda do São Francisco e a segunda, majoritariamente, na margem direita. Como a Formação Lagoa do Jacaré é mais relevante no contexto deste estudo, suas características litológicas são apresentadas de forma mais detalhada, conforme os resultados de Iglesias (2007):

A Formação Lagoa do Jacaré regionalmente é composta por calcários pretos a cinza, localmente oolíticos e pisolíticos, brechas intraclásticas, margas e intercalações de siltitos e folhelhos de cor verde-amarelada. Os calcários apresentam-se em estratos paralelos, com espessura média compreendida entre 10 e 20 cm, geralmente separados entre si por pequenas superfícies onduladas (...) observa-se ainda a intercalação de calcários e margas ou calcário com significativa porcentagem de terrígenos. (IGLESIAS, 2007, p. 64 e 65).

¹³ Sobre a evolução dos estudos de geocronologia, estratigrafia e aspectos estruturais do Grupo Bambuí, ver Iglesias, 2007, p- 15-27.

O mapa geológico da área de pesquisa foi fundamentado nas cartas geológicas regionais em escala 1:100.000, disponibilizados pela CPRM e CODEMIG, folhas: Montes Claros, Coração de Jesus, Capitão Enéas, Barreiro da Jaíba, Brasília de Minas e São João da Ponte (CHAVES; ANDRADE, 2011; 2013; KUCHENBECKER; COSTA, 2013; KUCHENBECKER; ATMA; COSTA, 2013; KUCHENBECKER *et al.*, 2013; ROMANO *et al.*, 2015).

No processo de junção das folhas para apresentação de um mapa único abrangendo toda a área de pesquisa, foram necessárias algumas adaptações, como a padronização da nomenclatura empregada em cada folha. Quanto aos termos “depósitos” e “coberturas”, por exemplo, adotou-se o termo “Coberturas”. A unidade Urucuia, aparecia com a nomenclatura “grupo” e “formação”, ambas unificadas como “Grupo”, terminologia hierarquicamente superior, mais abrangente. Todas as unidades que se referiam a litologias do Grupo Areado, que apareciam de forma mais ou menos diferenciadas nas bases cartográficas, foram reunidas em uma única unidade denominada “Grupo Areado Indiviso”; neste caso, unificando tanto a nomenclatura, quanto os polígonos com representação distinta na folha São João da Ponte (nível inferior/superior). A Tabela 1 detalha a nomenclatura adotada na padronização e unificação das unidades geológicas em relação à forma como apareciam originalmente nas folhas. As unidades que não constam na Tabela 1 não apresentaram divergências.

Tabela 1: Padronização e unificação das unidades geológicas no mapeamento geológico da área de pesquisa.

Nomenclatura adotada	Nomenclatura original em cada folha
Coberturas Aluvionares	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coberturas Aluvionares (folha Capitão Enéas); ▪ Depósitos Aluvionares (folha Montes Claros e Capitão Enéas).
Coberturas Elúvio-coluvionares	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Depósitos Colúvio-eluviais (folhas Coração de Jesus e Montes Claros); ▪ Cobertura Elúvio-coluvionar (folhas Capitão Enéas e Brasília de Minas).
Grupo Urucuia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grupo Urucuia (folha Coração de Jesus); ▪ Formação Urucuia (folha Montes Claros).
Grupo Areado Indiviso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formação Abaeté (Folha Montes Claros); ▪ Nível inferior e nível superior (folha São João da Ponte); ▪ Indiviso (folhas Capitão Enéas e Brasília de Minas; ▪ Grupo Areado (Folha Coração de Jesus).

Fonte: Autoria própria, 2020.

Outra adaptação necessária foi em relação à continuidade dos polígonos representativos das unidades geológicas na articulação das folhas São João da Ponte e Brasília de Minas. Alguns polígonos não apresentaram continuidade nos contornos entre uma folha e

outra. Essa situação, foi resolvida com pequenos ajustes nos contornos destes polígonos, feitos com base na interpretação de imagens orbitais.

Na Figura 5 apresentamos o resultado final do mapa geológico regional, adaptado das bases cartográficas citadas. Observamos, na área de pesquisa, a ocorrência das unidades: Cobertura Aluvionares, Cobertura Detrito-laterítica, Cobertura Eluvio-colvionar, Grupo Urucuia, Grupo Areado Indiviso e Grupo Bambuí, com as seguintes formações: Serra de Santa Helena, Serra da Saudade e Lagoa do Jacaré; essa última apresentada em duas subunidades, conforme constam nas fontes cartográficas utilizadas: (1) calcilutito e calcarenitos; e (2) rochas pelíticas e ritmitos.

A Serra de Santa Helena se apresenta de forma um pouco restrita na área de pesquisa: ao norte da área urbana de Montes Claros, em faixas ao longo do Rio Verde Grande e do baixo curso do Rio Canabrava [2] e do Ribeirão do Ouro. Caracteriza-se como uma sequência de metassiltitos de cor rosa, com frequentes níveis argilosos delgados, bastante foliados e localmente intercalados com folhelhos ardosianos em camadas submétricas. Em geral é bastante alterada. Sua espessura na região é estimada entre 250 e 300m. “Em geral, a unidade encontra-se profundamente alterada, com as melhores exposições se observando em cortes das rodovias maiores.” (CHAVES; ANDRADE, 2014a, p. 32).

A Formação Lagoa do Jacaré é uma das unidades mais extensas em relação à área de pesquisa, ocorrendo desde a porção sul, onde é mais presente, até o norte. No mapeamento regional utilizado como fonte cartográfica, nas folhas Montes Claros e Coração de Jesus, conforme já colocado, essa formação foi subdividida em duas subunidades, de acordo com a predominância litológica: a subunidade de base, onde predominam metassiltitos rítmicos; e a subunidade dos calcários, no topo da unidade.

Os ritmitos desta subunidade, quando não alterados, apresentam uma sequência de um material síltico, cinza-claro, milimétricos a centimétricos, alternando-se com camadas de material síltico-argiloso, às vezes carbonatados, de menor espessura, podendo aparecer níveis de calcário impuro. A espessura máxima na região é estimada entre 120 e 180 metros. (CHAVES; ANDRADE, 2014a; 2014b).

A subunidade superior apresenta calcilutitos e calcarenitos e se mostram evidentes em imagem pelo caráter rugoso da superfície e por se manterem mais preservados na paisagem, formando desníveis e escarpas rochosas em contraste com a subunidade de metassiltitos e ainda morros testemunhos. Na área de pesquisa, possui uma espessura máxima estimada em 160 m. Nas folhas onde a Formação Lagoa do Jacaré não foi subdividida é admitida a ocorrência de camadas e lentes pelíticas de dimensões até decamétricas. Os

calcários se apresentam com coloração predominantemente cinza-claro nas faixas mais ao sul e mais escuros ao norte. As duas subunidades juntas apresentam espessura máxima acima dos 300 m (CHAVES; ANDRADE, 2014a; 2014b; KUCHENBECKER et al., 2014; KUCHENBECKER; COSTA, 2014).

A segunda unidade de maior ocorrência é a Formação Serra da Saudade, predominando na porção noroeste na área de pesquisa, em cotas altimétricas superiores em relação à Formação Lagoa do Jacaré.

Caracteriza-se por metargilitos e metassiltitos, em geral muito intemperizados, nas cores bege, amarelo, laranja ou róseo e eventualmente roxeado. Quando frescas, apresentam cores entre verde claro e cinza. Localmente, podem ocorrer camadas e lentes de arenito fino a médio, de porte centimétricas a decimétricas. Também podem ocorrer, de forma mais restrita, camadas ou lentes centimétricas a métricas de calcilutito cinza, em geral na porção inferior do pacote, em meio aos pelitos. A espessura máxima da unidade é estimada entre 100 e 150 metros, sendo mais espessa ao sudoeste da área (CHAVES; ANDRADE, 2014a; 2014b; KUCHENBECKER et al., 2014; KUCHENBECKER; COSTA, 2014).

O Grupo Areado Indiviso ocorre ao noroeste da área de estudo, nos municípios de Mirabela e Patis, estando entre faixas de maior altitude, abaixo das Coberturas Elúvio-colvionares e acima da Formação Serra da Saudade, unidade superior do Grupo Bambuí, e algumas vezes diretamente sobre a Formação Lagoa do Jacaré.

Aparecem em afloramentos na alta encosta, muitas vezes configurando chapadas de bordas arredondadas e morros testemunho. Na área de pesquisa, este grupo se apresenta composto principalmente por um arenito avermelhado; ocorrendo mais raramente pelitos e arenito bege; o primeiro na porção basal e o segundo na porção superior, em geral bastante desagregado formando extensos areais. O arenito predominante é de granulação fina a média, com grãos arredondados a subangulosos de quartzo branco, com cimento ferruginoso vermelho, responsável pela coloração da rocha. A unidade se apresenta bastante intemperizada, com raros afloramentos de rochas fresca, geralmente observados apenas em blocos e matacões dispersos em topos e encostas de morros. A espessura máxima estimada para a unidade na área pesquisada é de 100 a 120 metros (KUCHENBECKER *et al.*, 2014; ROMANO *et al.*, 2015b).

O Grupo Urucuia se apresenta de forma muito restrita na área de pesquisa, em uma pequena área ao sudoeste. Constitui-se de arenito vermelho ou vermelho rosado, de granulometria fina, aflorando em cotas mais altas do relevo regional, normalmente maciço ou com estratos métricos, facilmente perceptíveis pela diferença de coloração das camadas e de

grande extensão lateral. A espessura mínima desta unidade na região é de 60 m (CHAVES; ANDRADE, 2014a; 2014b).

Além das unidades descritas, aparecem na área de pesquisa: coberturas cenozoicas Elúvio-coluvionares, Detrito-lateríticas e Aluvionares.

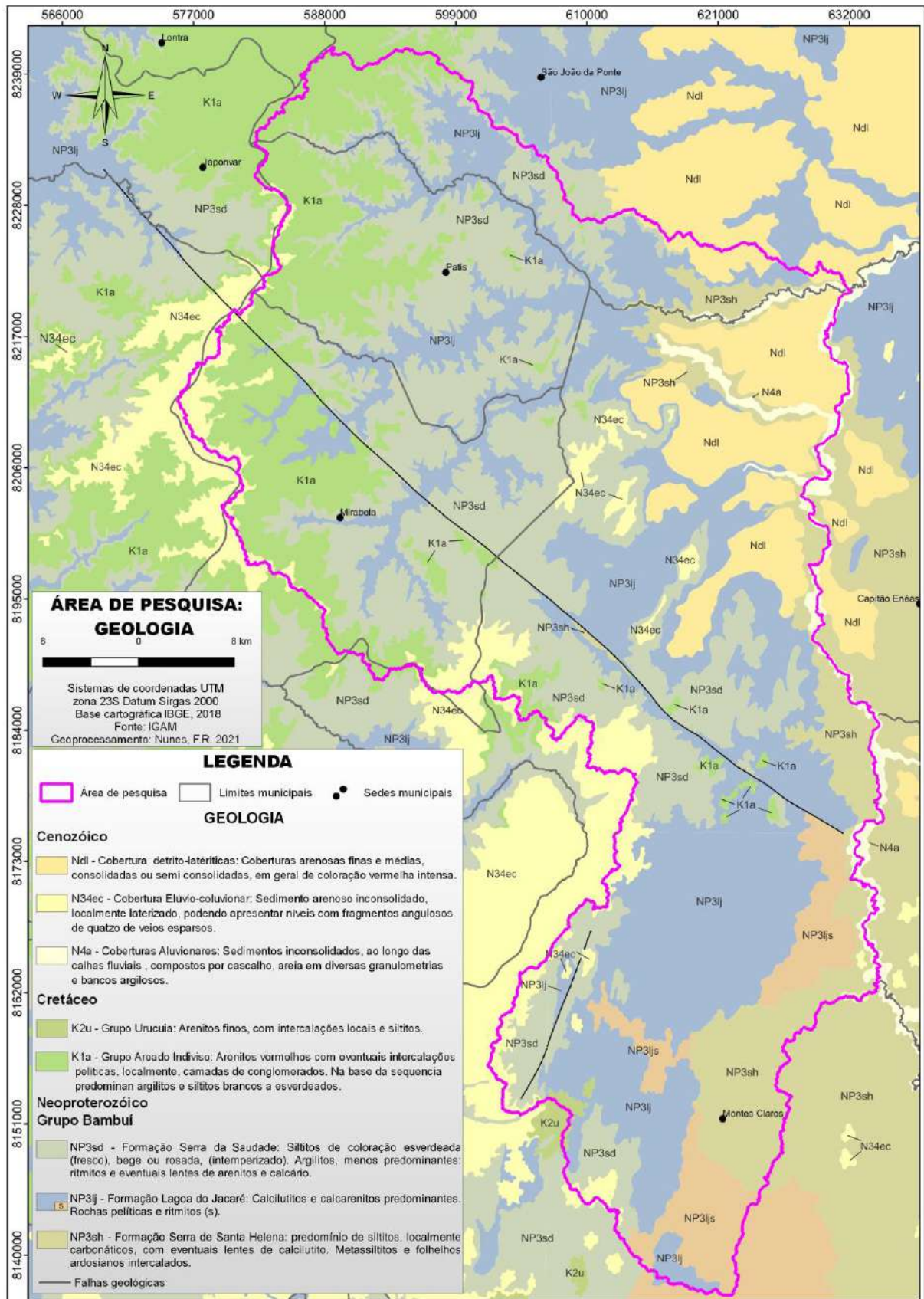
As Coberturas Elúvio-coluvionares aparecem no limite oeste da área de pesquisa e, localmente, na porção central. Constituem-se de faixas de relevo aplainadas, ocorrendo em cotas altimétricas em torno de 900m, com origem pedogenética, quando ligadas ao Grupo Bambuí; ou por processo de intemperismo e desagregação dos arenitos dos grupos Areado e/ou Urucuia. Conforme sua localização, a espessura pode variar de alguns metros até algumas dezenas de metros, sendo composta por areia de granulometria variando desde muito fina até média, avermelhada, bege e acinzentada, com frações de argila e siltes eventuais e nunca predominantes. Localmente, podem ocorrer porções de cascalhos de quartzo de veio e capas lateríticas pouco espessas (CHAVES; ANDRADE, 2014a; 2014b; KUCHENBECKER *et al.*, 2014).

A Cobertura detrito-laterítica ocorre na área de estudo somente na porção nordeste, em locais de relevo suave e cotas altimétricas mais baixas, próximas ao leito do Rio Verde Grande. Compõem-se de sedimentos coluviais argilosos de cor vermelho intenso, originados dos processos erosivos atuantes nas faixas de relevo mais altas, podendo atingir dezenas de metros de espessura. Eventualmente apresentam lateritas esféricas de diâmetro até centimétrico e capas lateríticas, utilizados como agregados e material de empréstimo (KUCHENBECKER; COSTA, 2014).

As Coberturas aluvionares aparecem nas faixas marginais do Rio Verde Grande e do baixo curso do Rio Canabrava [2] e do Ribeirão do Ouro, compostas por sedimentos arenosos, eventualmente argilosos, inconsolidados, apresentando espessura métrica, com depósitos de cascalho de forma pontual (KUCHENBECKER; COSTA, 2014; CHAVES; ANDRADE, 2014b).

Conforme o mapeamento geológico regional utilizado como base cartográfica, há um significativo acervo de falhas e fraturas nas áreas de predomínio das litologias do Grupo Bambuí, especialmente na Formação Lagoa do Jacaré. Segundo Chaves e Andrade (2014a, p. 42) “as estruturas rúpteis incluem falhamentos normais de porte médio e/ou grandes direções de fraturamentos, as mais importantes segundo a direção geral NNE-SSW”. No Mapa Geológico apresentado na Figura 5, representamos apenas as mais significativas no contexto desta pesquisa.

Figura 5: Mapa geológico da área de pesquisa.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Kuchenbecker e Costa (2014), ao descreverem a geologia estrutural da folha Capitão Enéas, destacam dentre as estruturas rúpteis a Falha de Santa Rosa em referência à vila de Santa Rosa de Lima, atravessada por ela, cuja direção é SE-NW, segundo lineamento estrutural mais importante da área de pesquisa. Essa falha expressiva “se estende por dezenas de quilômetros, com traçado perceptível desde a região a norte de Montes Claros até as proximidades de São Francisco. A estrutura exerce notável controle do relevo, sendo marcada pela ocorrência de vales lineares e drenagens encaixadas” (KUCHENBECKER; COSTA, 2014, p. 22). Os autores seguem descrevendo que “a partir da influência exercida pela falha na distribuição das unidades estratigráficas foi possível determinar sua cinemática relativa: bloco alto a SW e bloco baixo a NE.” (KUCHENBECKER; COSTA, 2014, p. 22)

É evidente na análise dos mapas geológicos e topográficos e nas imagens orbitais o controle estrutural exercido pelas falhas, que condicionam a direção dos leitos dos cursos d’água, além de proporcionar a formação de vales cegos, como no caso da Lapa Encantada, no córrego Patrona, e ainda próximo a ele, nos córregos Paraguai e Olaria; na região de Barroão e Rebentão dos Ferros (Córrego Barroão, Rio Buritis e Rio do Cedro); e próximo ao distrito de Nova Esperança (Córrego Barroão do Inferno); todos no município de Montes Claros, para citar somente os mais notáveis.

3.3 Clima e recursos hídricos

De acordo com Sá Júnior (2009), na região da área de pesquisa predomina o clima Aw, classificado segundo o método de Köppen. Esse tipo climático é o mais comum no estado de Minas Gerais; implica em um clima megatérmico, tropical úmido de savana, em que o mês mais frio do ano tem temperatura média superior 18°C. As chuvas se concentram no verão, apresentando inverno seco com precipitação média inferior a 60 mm em pelo menos um dos meses dessa estação. (SÁ JÚNIOR, 2009)

Estas características climáticas ficam evidenciadas ao observarmos os principais parâmetros das normais climatológicas da região, apresentadas no Quadro 1 e nos gráficos das Figura 6 e 7. Os dados utilizados são da estação de Montes Claros (código INMET 83437) localizada nas coordenadas latitude -16,69 e longitude -43,84; a 652 m de altitude, e correspondem às normais mais recentes disponibilizadas pelo INMET (2021), correspondente ao período de 1981-2010.

Quadro 1: Normais Climatológicas do período 1981-2010 do município de Montes Claros, MG, para os parâmetros temperatura, precipitação e umidade relativa do ar.

NORMAIS CLIMATOLÓGICAS -1981 -2010 – MONTES CLAROS - MG													
Parâmetro	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Tméd	24,3	24,5	24,1	23,4	21,7	20,2	20,3	21,5	23,9	25,3	24,2	24,0	23,1
Tmáx	30,1	30,7	30,2	30,0	29,1	28,0	28,0	29,3	31,2	32,1	29,9	29,2	29,8
Tmín	19,8	19,7	19,6	18,3	16,0	14,0	13,6	14,5	17,4	19,5	20,0	20,0	17,7
P	191,8	108,7	154,1	38,6	8,8	4,4	0,8	2,0	20,2	83,1	224,4	249,5	1.086,4
UR	74,2	70,1	73,8	70,8	67,2	63,7	58,4	51,7	50,2	55,0	70,1	76,2	65,1

Tméd = Temperatura média (bulbo seco) (°C); Tmax = temperatura máxima(°C); Tmin = temperatura mínima(°C); P= precipitação acumulada (mm); UR = Umidade Relativa do Ar (%).

Fonte: INMET, 2021.

Na Figura 6 é interessante observar que a temperatura média é alta durante todo ano, com médias mensais sempre acima de 20°C. A temperatura média anual na área de pesquisa é registrada em 23,10°C. As menores temperaturas são registradas nos meses de junho, julho e agosto, correspondentes ao inverno, com mínimas em torno dos 14°C, período em que o município registra as maiores amplitudes térmicas, com diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas iguais ou superiores a 14°.

No Figura 7 é evidente a presença de dois períodos climatológicos distintos: um chuvoso, iniciando no final da primavera e se estendendo durante o verão, com maior concentração nos meses de novembro, dezembro e janeiro; e outro seco, de abril a outubro. Os cinco meses mais chuvosos (novembro a março) concentram 85,5% da precipitação anual, cujo índice é de 1.086,4 mm/ano. Durante o inverno (considerando o período de junho a agosto), os acumulados não ultrapassam os 5 mm, sendo o menor índice registrado no mês de julho, com apenas 0,8 mm. A umidade relativa do ar decresce a partir de março até setembro, quando atinge seu menor índice (50,2%), ascendendo em seguida, acompanhando o aumento dos índices pluviométricos.

Figura 6: Gráfico das Normais Climatológicas do período 1981-2010 do município de Montes Claros, MG, para o parâmetro temperatura.

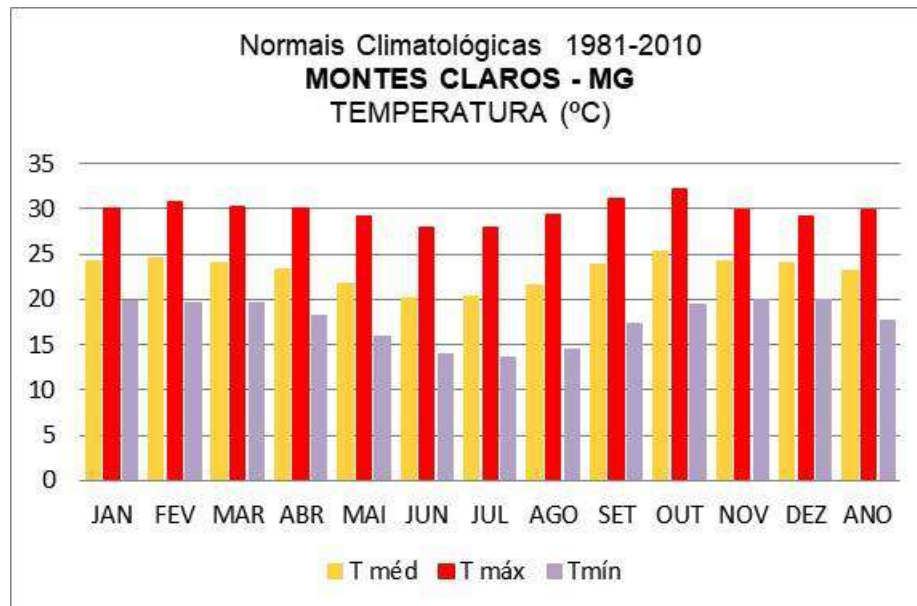
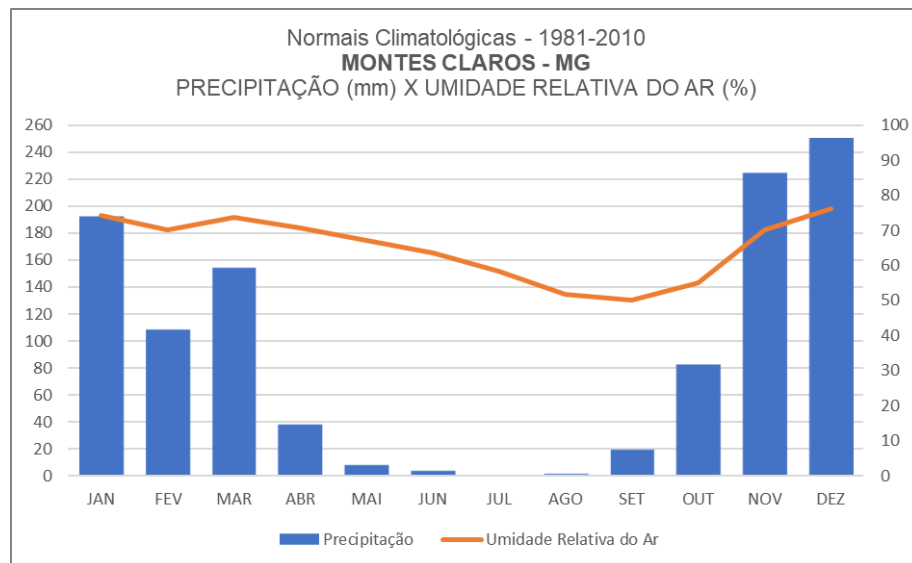


Figura 7: Gráfico das Normais Climatológicas do período 1981-2010 do município de Montes Claros, MG, para os parâmetros precipitação e umidade relativa do ar.



O clima de uma região é preponderante no desenvolvimento da paisagem cárstica. Considerando que a dissolução é um dos processos elementares na esculturação desta fisionomia, o desenvolvimento do carste é mais intenso em climas úmidos. O clima quente também é fator importante, pois favorece a disponibilidade de CO₂ no solo por meio da decomposição da matéria orgânica, aumentando a acidez da água percolada e sua capacidade dissolutiva (KARMANN, 2009).

Segundo Lladó (1970, citado por Matovani *et al.*, 2002) “nas regiões carbonáticas com precipitações superiores a 1.000 mm/ano, o processo de carstificação apresenta elevada atividade”.

As condições climáticas presentes em Montes Claros pressupõem um sistema cárstico em plena atividade, pois o índice de precipitação anual é de 1.086mm, associado a altas temperaturas. Também podemos inferir que os processos de carstificação sejam mais ativos durante o verão, condicionados pela forte sazonalidade.

O clima regional combinado à circulação secundária característica do carste é também determinante na disponibilidade de água nos aquíferos cársticos locais e na hidrografia superficial.

O nível de base da circulação hídrica da região norte mineira é o Rio São Francisco e da área de pesquisa é o Rio Verde Grande.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco abrange em torno de 640.000 km² de área de drenagem, o que corresponde a 8% do território nacional e apresenta vazão média de 2.769 m³/s. Seus limites abrangem áreas de 7 unidades federativas e 507 municípios, sendo a maior extensão no estado da Bahia, seguido de Minas Gerais. O rio São Francisco nasce na Serra da Canastra, no estado de Minas Gerais e percorre uma extensão de 2.863 km até a sua foz no oceano Atlântico, entre os estados de Sergipe e Alagoas (CBHSF, 2016).

A bacia hidrográfica do Rio Verde Grande possui uma área total de 31.410 km², se estendendo pelos estados de Minas Gerais (87%) e Bahia (13%). Sua nascente se encontra no município de Bocaiúva, MG, e sua foz em Malhada, BA, perfazendo um comprimento de 577,75 km (ECOPLAN, 2009). O Rio Verde Grande é considerado um rio perene, embora alguns trechos se apresentem intermitentes em períodos de seca na região. A Figura 8, por exemplo, ilustra o leito do Verde Grande completamente seco, entre os municípios de Matias Cardoso e Gameleiras, MG, próximo à divisa com o estado da BA, registrado em agosto de 2017. Esse comportamento hídrico, dentre outros motivos, pode ser atribuído à fuga da água para o subterrâneo através da porosidade secundária em locais em que o talvegue intercepta rochas carbonáticas.

**Figura 8: Leito do Rio Verde Grande, na divisa dos municípios de Matias Cardoso e Gameleiras, MG.
Coord.: 23 L 661252.00 m E 8349639.00 m S. Data 21/08/17**



Fonte: Foto da autora/Acervo pessoal, 2017.

A área de pesquisa se posiciona na margem esquerda do Rio Verde Grande, parcialmente inserido nas regiões “alto Verde Grande” e no “trecho alto do médio Verde Grande”, segundo a proposta de divisão da bacia apresentadas por ECOPLAN (2009); entre as sub-bacias do Rio Vieras e do Ribeirão do Ouro, num trecho de aproximadamente 125 km.

Os principais cursos d’água nesta área são: Rio Vieiras, Rio Tabuas, Rio Canabrava [1], Rio Jacuí, Rio Canabrava [2] e Rio Suçupara-Ribeirão do Ouro. A Tabela 2 enumera os cursos d’água presentes na área de pesquisa e alguns aspectos importantes associados a eles. A Figura 9 mostra o mapeamento da hidrografia na área de estudo.

Tabela 2: Principais cursos d’água na área de pesquisa

Curso d’água principal	Afluentes importantes	Aspectos importantes
Rio Vieiras	Córrego Palmital, Córrego Lapa Grande/Córrego dos Bois	Captação Lapa Grande (COPASA); Parque Estadual da Lapa Grande.
	Cedro (Córrego Barrocão)	Captação Rebentão dos Ferros (COPASA); Diversos trechos subterrâneos (Rio Buriti, Córrego Barrocão e o próprio Cedro, por exemplo.), caracterizando vales cegos; Região da Fazenda Barrocão: campo de dolinas e rico acervo espeleológico; Cavernas importantes do entorno de Buriti do Campo Santo: Lapas Claudina, Meireles, Santa.
Córrego Sanharó	Rio Canoas (formado pela junção dos Córregos Cabeceiras e Mocambo Firme)	
Rio Tabuas	Córrego do Veado e Córrego do Estreito se unem formando o Rio	

Curso d'água principal	Afluentes importantes	Aspectos importantes
	Tabuas	
Rio Canabrava [1]	Córrego Bonsucesso e Rio da Serra	
Bengo		Baixa de Matira (grande uvala)
Córrego Barreiras		Polje
Rio Jacuí:	Córregos Olaria, Brejão e Crispim formam o Rio Santa Rosa, que junto com Claudiano forma o Jacuí.	Lapa Encantada no Córrego Patrona, maior caverna do município de Montes Claros até o momento.
Rio Canabrava [2]	Córregos Água Limpa, Brejinho, Laranjeira e Chapéu.	Córrego do Brejinho: cânion Usina Velha/Peruaçuzinho).
Ribeirão do Ouro	Rio Suçuapara (Formado pelos Córregos Muquém e Santo Hipólito), Riacho da Cruz e Córrego Serra Negra.	

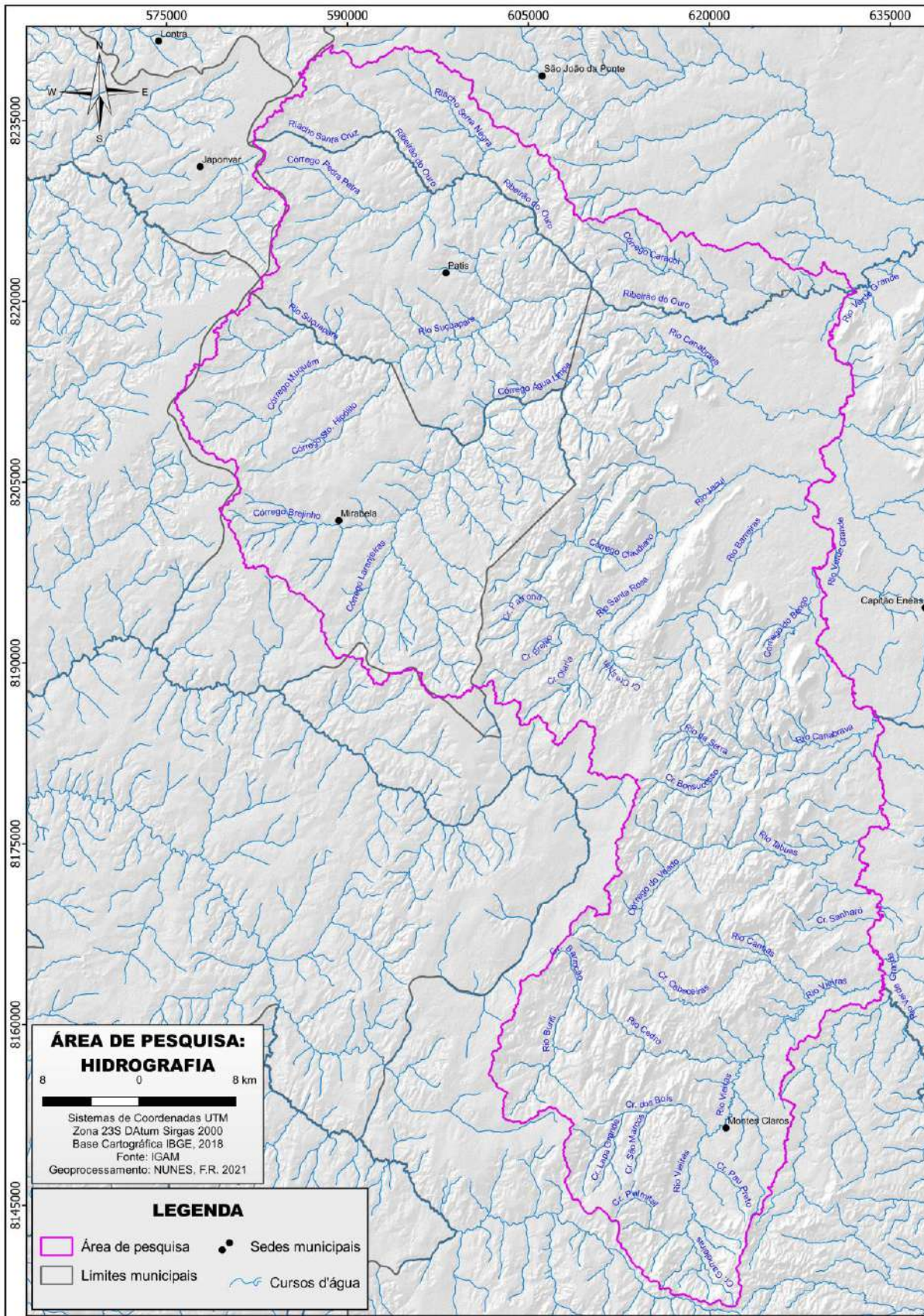
Fonte: Autoria própria, 2021.

O canal do Rio Verde Grande é meandrante e nas margens formam-se planícies aluviais, onde é possível observar lagoas marginais e meandros abandonados. Segundo ECOPLAN, 2009, a declividade média na região do Alto Verde Grande é de 11,02% e no Médio Verde Grande - Trecho Alto é de 7,02%.

Ao sobrepor a rede de drenagem e o mapeamento das estruturas geológicas obtidas nas bases cartográficas de geologia utilizadas, observamos que o padrão da drenagem predominante na área de estudo é dendrítico, sendo comum trechos dos cursos d'água contribuintes demonstrando controle estrutural, determinado pelo conjunto de falhas e fraturas do sistema cárstico. Muitas vezes, estas estruturas geológicas proporcionam a ocorrência de vales cegos e sumidouros e várias cavernas conhecidas por possuir cursos d'água subterrâneos como: a Lapa D'água, o Boqueirão da Nascente e a Lapa Grande, na sub-bacia do Córrego dos Bois (contribuinte do Rio Vieiras); a Lapa da Santa, na sub-bacia do Rio do Cedro (contribuinte do Rio Vieiras); a Lapa Bonsucesso na sub-bacia do Rio Canabrava [1], e Lapa Encantada, na Sub-bacia do Rio Jacuí e as Cavernas do Brejinho e Lago da Ilusão, na sub-bacia do Córrego Água Limpa (contribuinte do Rio Canabrava [2]), por exemplo. Esse intrincado arranjo hidrológico configura o chamado fluviocarste¹⁴.

¹⁴ “As regiões cársticas de transição, com características morfológicas fluviais e cársticas, são denominadas fluviocársticas” (WHITE, 1988, citado por PILÓ, 2000, p. 93). Incluem-se na mesma paisagem os vales cegos, vales secos, vale fluviais e vales na forma de cânions formados por abatimentos de sistemas subterrâneos (PILÓ, 2000).

Figura 9: Rede hidrográfica na área de estudo.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Outra característica da rede de drenagem na área de pesquisa é que, devido à predominância de circulação secundária no carste, muitos dos contribuintes do Rio Verde Grande são intermitentes ou mesmo temporários.

Soares *et al.* (2002) delimitaram 4 domínios hidrogeológicos na microrregião de Montes Claros, dos quais, três estão presentes na área de pesquisa. O Sistema Aquífero Granular é subdividido pelos autores em três grupos, conforme a natureza do sedimento, estando presentes na área de pesquisa de forma restrita: Aquíferos Aluviais, ao longo do curso do Rio Verde Grande a partir do município de Capitão Enéas, onde se inicia o médio Verde Grande; Aquíferos Colúvio-eluviais, no baixo curso do Ribeirão do Ouro, Rio Canabrava [2] e Rio Jacuí e ainda na porção noroeste da área de pesquisa, na divisa entre os municípios de Montes Claros e Coração de Jesus; e Aquíferos Areníticos, ao oeste da área de pesquisa, na divisa entre os municípios de Patis, Mirabela e São João da Ponte com Brasília de Minas e Japonvar, associados à Formação Urucuia.

Os outros dois sistemas predominam na área de pesquisa: o Sistema Aquífero Fissurado-Cárstico, associado a rochas pelito-carbonatadas; e o Sistema Aquífero Cárstico, associado a rochas carbonáticas. Conforme descrito pelos autores, o contato do primeiro com o segundo ocorre nas escarpas das serras do Sapé, Morrinhos, Brejão e Santa Rosa, no município de Montes Claros e das serras do Morro do Sapo e da Lagoa, em São João da Ponte, acompanhando a borda dessas elevações, ao longo da cota 600m. O sistema aquífero cárstico ocupa as áreas rebaixadas, em cotas altimétricas inferiores a 500m, constituído por calcários (SOARES *et al.*, 2002).

Conforme abordamos, a captura das águas superficiais pelos sistemas subterrâneos é um fenômeno típico da paisagem cárstica e bastante comum na área de pesquisa, caracterizando os aquíferos cársticos, que “podem abrigar uma imensa quantidade de água subterrânea, apresentando-se como recursos naturais estratégicos de importância considerável” (TRAVASSOS, 2019, p 64).

Ainda segundo Soares *et al.* (2002, p 25), o potencial hidrogeológico no conjunto cárstico da área de pesquisa “pode ser considerado médio, com poções localizadas de potencial elevado”. Em termos de transmissividade, os valores são bastante heterogêneos, mas alguns locais apresentam-se elevados, como no caso de Rebentão dos Ferros, no município de Montes Claros, “onde o valor calculado foi de 4.361,7 m²/dia” (SOARES, *et al.*, 2002, p. 25).

Em Montes Claros, maior cidade da região norte de Minas¹⁵, boa parte da água fornecida pela concessionária de abastecimento (cerca de 30%) decorre direta ou indiretamente de mananciais cársticos, com destaque para as captações Rebentão dos Ferros e Lapa Grande, que juntas respondem por uma vazão média de 230 L/s (COPASA, 2017); a primeira localizada na bacia do Rio do Cedro e a segunda na bacia do Córrego dos Bois, ambos contribuintes do Rio Vieiras. Outro grande volume de água é extraído diretamente dos aquíferos cársticos por meio de inúmeros poços tubulares profundos utilizados pela indústria e pela agropecuária locais e mesmo por usuários domésticos.

3.4 Solos e vegetação

A caracterização dos solos presentes na área de estudo é baseada no Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, apresentado pela Universidade Federal de Viçosa em conjunto com a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Universidade Federal de Lavras e Fundação Estadual de Meio Ambiente, em 2010 (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010) e a conceituação de cada tipo pedológico foi segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa, em 2018 (SANTOS *et al.*, 2018).

Conforme o mapeamento citado, predominam na área de pesquisa, solos do tipo Nitossolo háplico, ocupando 63% de sua extensão, nas faixas sudeste, leste, centro e centro-norte. Os Nitossolos são solos minerais, com horizonte B bem desenvolvido, de textura argilosa ou muito argilosa desde a superfície, cerosidade expressiva e estrutura em blocos ou prismática. São profundos, bem drenados, de coloração variando de vermelha a brunada, moderadamente ácidos a ácidos. (SANTOS *et al.*, 2018). O termo háplico, neste caso, refere-se a Nitossolos que não se enquadram nas características da subordem Nitossolo Bruno ou Nitossolo Vermelho e, portanto, não apresentam caráter retrátil.

O segundo tipo pedológico de maior extensão na área de pesquisa é o Latossolo, que aparece nas subordens: Vermelho Amarelo e Vermelho, ocupando 25% e 5% da área, respectivamente. Sua ocorrência está associada às cotas altimétricas mais elevadas em compartimentos de relevo de topo suave semelhantes a chapadas, compondo cabeceiras e interflúvios das bacias hidrográficas da área, especialmente nas bacias do Ribeirão do Ouro-Suçupara e Água Limpa-Canabrava. A subordem Vermelho Amarelo predomina em toda a

¹⁵ Montes Claros é uma cidade com forte urbanização, possuindo uma população estimada em 413.487 habitantes em julho de 2020 e 6ª no *ranking* estadual (IBGE, 2020), gerando forte expansão urbana, o que provoca pressões sobre o ambiente cárstico.

faixa limite noroeste e a subordem Vermelho na faixa limite norte da área de pesquisa e em uma pequena mancha no médio curso do Rio Suçupara.

Os latossolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico (SANTOS *et al.*, 2018). A diferenciação ao nível de subordem (Vermelho ou Vermelho Amarelo, no caso da área de pesquisa) se associa unicamente aos matizes apresentados nos primeiros 100 cm do horizonte B.

São solos marcados por intensa intemperização dos constituintes minerais primários e secundários menos resistentes, resultando na concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Variam de fortemente a bem drenados; em geral, fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos. Em áreas com estação seca bem marcada e/ou que apresentam influência de rochas básicas ou calcárias, podem apresentar saturação por bases média ou alta (SANTOS *et al.*, 2018).

Em proporções bem menores aparecem na área de pesquisa: Cambissolo háplico, representando 5% da área e ocorrendo no extremo sudoeste; Argissolo Vermelho Amarelo, com 2%, ao nordeste, no baixo curso do Ribeirão do Ouro; e uma porção inexpressiva em termos de área de Neossolo Litólico, representando menos de 0,5% da área, aparecendo pontualmente na localidade de São Pedro da Garça, município de Montes Claros.

Cambissolos são solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam aos requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. Apresentam características bastante variadas, desde fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho-escura, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila, conforme o material de origem, relevo e clima local. (SANTOS *et al.*, 2018). O termo Háplico se aplica aos Cambissolos que não se enquadram nas subordens, Hísticos (horizonte O hístico), Húmicos (horizonte A húmico) ou Flúvicos (solos com caráter flúvico dentro dos primeiros 150 cm).

Argissolos compreendem solos com B textural, com argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. Uma de suas principais características é o incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B. Apresentam profundidade e drenagem variadas; são de forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa (SANTOS *et al.*, 2018). A

subordem Vermelho Amarelo se aplica aos Argissolos com cores vermelho-amareladas e/ou amarelo-avermelhadas que não se enquadram nas demais subordens (Amarelo, Vermelho ou Acinzentados).

Neossolos: são solos jovens, pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido e que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário. O Neossolos litólicos apresentam contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície. (SANTOS *et al.*, 2018).

Nunes e Uagoda (2020) oferecem um ponto de partida importante para aqueles que pretendem desenvolver pesquisas sobre os solos em áreas cársticas; mas, como os autores afirmam, são escassos os estudos que buscam compreender o desenvolvimento pedogenético e o comportamento hidrológico dos solos nestes ambientes. Dentre as informações levantadas pelos autores, com referência à IUSS [International Union of Soil Sciences] (2016), eles afirmam que “os solos que recobrem rochas calcárias e dolomíticas são compostos por argila avermelhada, normalmente classificados como Neossolos litólicos, Cambissolos, Luvisolos, Nitossolos e Vertissolos háplicos”, mapeados na área de pesquisa, com exceção dos Luvisolos e dos Vertissolos (NUNES; UAGODA, 2020, p. 3507). Além desses, foram identificados na área delimitada: o Argissolo, que apresenta textura média a muito argilosa no horizonte Bt; e o Latossolo; mas este não se associa diretamente ao carste e sim às áreas geologicamente mapeadas como Depósitos Elúvio-coluvionares ou Grupo Areado Indiviso.

A área de pesquisa se posiciona no ecótono dos biomas Cerrado e Caatinga. (IBGE, 2019). Segundo o Mapa da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais, elaborado pelo Instituto Estadual de Florestas em parceria com a Universidade Federal de Lavras em 2009, disponível em IDE - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2019), além da fitofisionomia típica de Cerrado (Cerrado *Stricto sensu*), ocorrem na área de estudo: “campo”, campo cerrado, veredas e as florestas estacionais decíduais e semidecíduais, estas denominadas Mata Seca, definidas e protegidas pela Lei 11.428 de 2006 como pertencentes ao Bioma Mata Atlântica.

Essa configuração demonstra que a região é muito especial em termos de cobertura vegetal e apresenta um mosaico de variedades fitofisionômicas bastante interessante. Por outro lado, é bastante antropizada e grandes extensões estão ocupadas por pasto ativo ou degradado, além de sítios e fazendas com lavouras diversas e pela silvicultura.

Silva (2021) nos apresenta um mapa de fitofisionomias para o município de Montes Claros, construído a partir de imagens Landsat 8 (sensor OLI), onde observamos a predominância de Cerrado *Stricto Sensu* e de Floresta Estacional Decidual. A primeira

domina as porções sul e oeste do município e a segunda o centro, leste e norte, ambas pontilhadas de polígonos representando áreas de pastagens e cultivos em geral. Destacamos a cobertura por silvicultura ao leste do sítio urbano, ocupando extensões consideráveis, boa parte fora da área de pesquisa. As maiores faixas contínuas de Cerrado menos perturbado (com menos áreas de cultivo) estão nos limites do Parque Estadual da Lapa Grande e nas cabeceiras do Rio Tabuas; e as de Floresta Estacional Decidual no entorno do sítio urbano, especialmente nos limites daquela unidade de conservação e ao norte do município, na região de São Pedro da Garça e Sapé. Segundo o autor, 53% da área do município é determinada por uso antrópico e 48% de cobertura vegetal nativa.

Acreditamos que muitas das áreas onde a Mata Seca se mantém preservada se deve à ocorrência associada aos afloramentos calcários, que dificultam a mecanização e cultivo, o que acaba por contribuir na preservação desta fitofisionomia.

Leite, Santos e Almeida (2011) analisaram a mudança de uso do solo na bacia do Rio Vieira, entre os anos de 1989 e 2009, com uso de geotecnologias e demonstraram que, 51,1% da área da bacia hidrográfica do Rio Vieiras, em 2009, era composta por vegetação natural; 23,1% por pastagem, 0,28% por Eucalipto e 2,8% por cultivos. Segundo os autores, no intervalo de 20 anos, houve um aumento na área composta por vegetação natural na ordem de 10,5%. Também houve redução da cobertura por pastagem em 25% e de áreas cultivadas em 47%. Parte dessa mudança é atribuída à constituição de três unidades de conservação nesta bacia hidrográfica, dentre as quais o Parque Estadual da Lapa Grande, criado em 2006, com 7,6 mil hectares. Ressalta-se que em 2014, a área do Parque foi ampliada para 15.360,43 hectares, o que certamente provocou impacto na cobertura vegetal natural na bacia após a data do artigo.

Trabalho semelhante foi realizado por Rodrigues *et al.* (2017), na bacia do Cedro, tendo concluído que, entre os anos de 2008 e 2013, houve aumento de 22,46% na área de solo exposto nesta bacia hidrográfica, atribuídos pelos autores à supressão da vegetação nativa para implantação de loteamentos e chacreamentos rurais por incentivo do governo federal. Conforme os autores, em 2013, 50,38% da área da bacia era ocupada por vegetação densa; 10,45% por vegetação esparsa e 3,12% por culturas diversas; 35,38% representavam solo exposto e 0,32% afloramentos rochosos.

Nos municípios de Mirabela e Patis, cujos territórios se inserem quase que totalmente na área de pesquisa, encontramos referências sobre a cobertura vegetal no mapeamento das fitofisionomias do Cerrado na região Norte de Minas, elaborado por Borges, Rodrigues e Leite (2019). Segundo os autores, nestes dois municípios e em Montes Claros

ocorrem: Veredas, Cerrado sentido restrito [Cerrado Stricto Sensu], Mata Seca [Floresta Estacional Decidual ou Semidecidual], Mata de Galeria e Mata Ciliar, conforme enumerado na Tabela 3.

Tabela 3: Fitofisionomias mapeadas nos municípios inseridos na área de pesquisa e respectivas áreas em km².

Município	Vereda	Cerrado sentido restrito	Mata Seca	Mata de Galeria	Mata Ciliar
Mirabela	1,25	502,77	87,66	0,29	22,48
Montes Claros	-	1.346,93	1.312,61	2,99	134,63
Patis	0,88	180,71	134,96	14,39	-
São João da Ponte*	2,45	231,42	904,30	0,01	51,21

* A área de pesquisa abrange cerca de 16% do território de São João da Ponte, apenas; enquanto os demais municípios estão inseridos em mais 50% de suas áreas.

Fonte: Modificado de Borges, Rodrigues e Leite (2019).

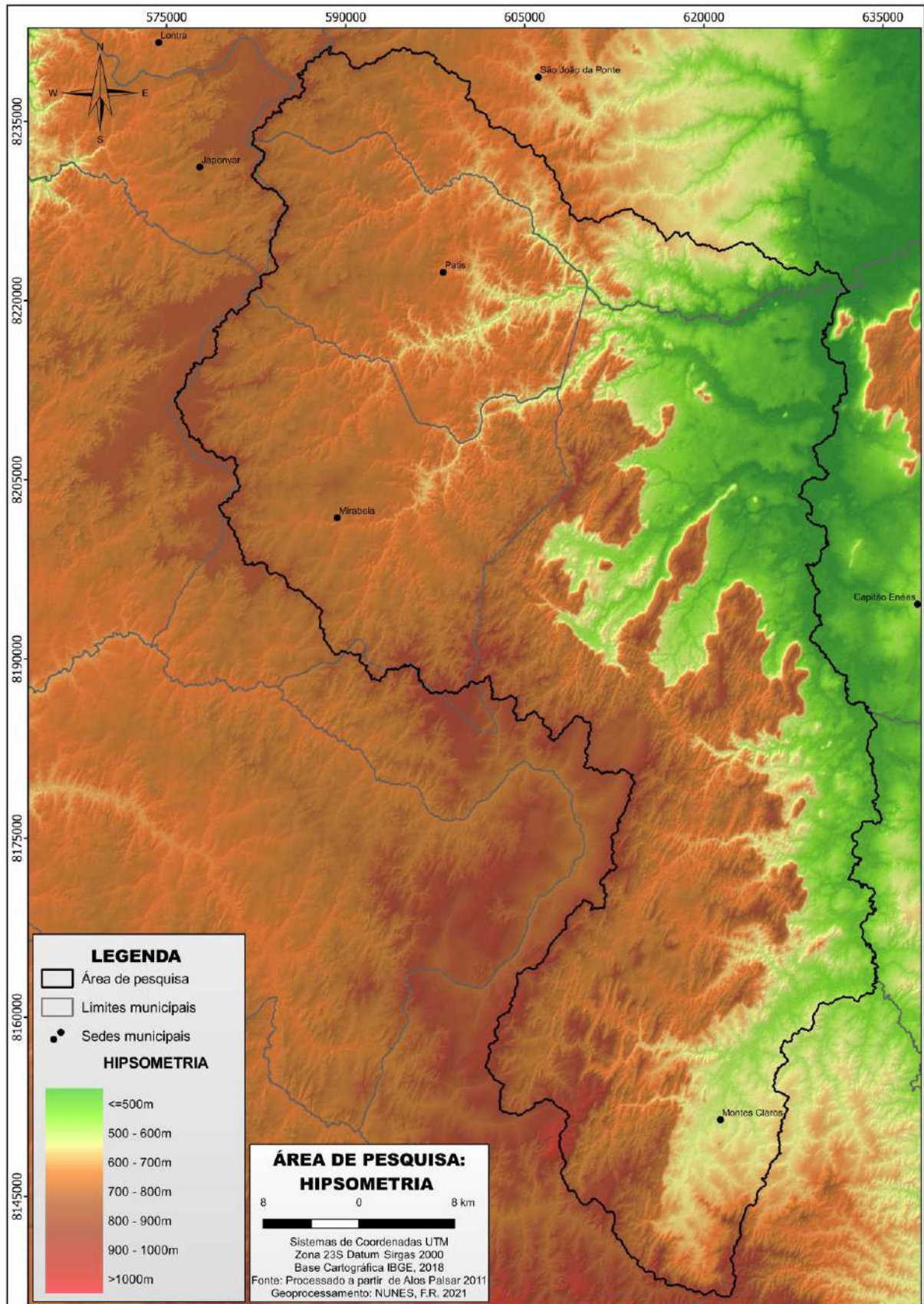
4. COMPARTIMENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CARSTE DE MONTES CLAROS

A caracterização da área de pesquisa passou inicialmente pela análise dos atributos físico-geográficos, abordada no capítulo anterior, seguida pela produção de materiais cartográficos que nos permitiram interpretar o relevo e os modelados predominantes. Assim, foram produzidos os mapas de hipsometria e declividades da área de pesquisa a partir do tratamento de imagens do satélite Alos Palsar e do Modelo Digital de Terreno derivado dessas imagens, apresentados nas Figuras 10 e 11.

É possível observar diferenciações no relevo, já nestes dois mapas. No Mapa de Hipsometria, observamos que as maiores altitudes se concentram ao sul e ao oeste da área de pesquisa, evidenciando as faixas de interflúvio da bacia do Verde Grande ao leste e Jequitaí-Pacuí ao oeste e sul (Pandeiros ao noroeste). Também é clara a variação abrupta de altitude entre os setores oeste e leste. No Mapa de Declividade fica evidente que a passagem entre as faixas de altitude mais baixas para as mais altas é caracterizada por escarpas íngremes, com declividades altas ou muito altas. Observamos ainda diferenças na configuração das drenagens e nas formas de relevo entre a porção norte da área de pesquisa e as porções centro e sul.

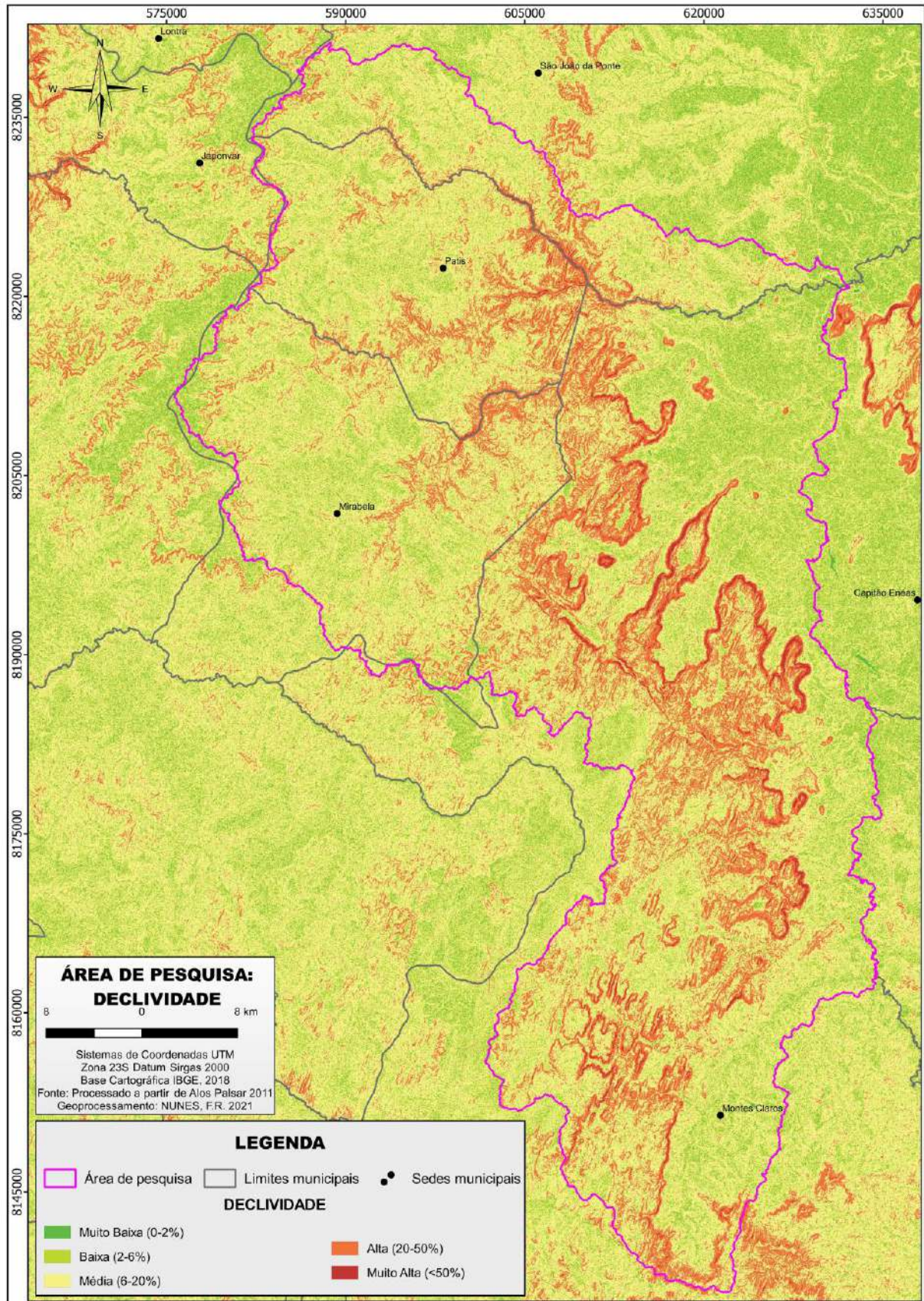
Integrando essas constatações com o mapeamento e caracterização geológica que apresentamos no capítulo anterior e o mapa da hidrografia, identificamos 4 modelados distintos presentes na área de pesquisa, classificados em consonância com o IBGE (2009) em: modelado de acumulação, modelado de aplainamento, modelado de dissecação e modelado de dissolução, conforme apresentamos na Figura 12. A classificação morfogenética foi baseada em Meijerink (1988, citado por Florenzano, 2008) e a morfológica em Florenzano (2008) reproduzidas nos quadros 2 e 3, respectivamente.

Figura 10: Mapa hipsométrico da área de pesquisa.



Fonte: autoria própria, 2021.

Figura 11: Mapa de declividades da área de pesquisa.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Quadro 2: Classificação morfofenética.

Origem das formas	Característica/tipo de formas
Vulcânica	Estratovulcânicas; crateras; escarpas vulcânicas; fluxos de lava e cones; unidades piroclásticas (rochas de material vulcânico)
Fluvial	Formas de acumulação e formas complexas (planícies aluviais); formas de transição; formas de erosão
Fluiovolcânica	Correntes e campos de “lahar” (lavas e cinzas)
Cárstica	Formas positivas (colinas); formas negativas (depressões: dolinas, uvalas); formas estruturais; outras formas (complexas)
Marinha	Ambientes de alta energia (materiais de granulação grosseira); ambientes de baixa energia (materiais de granulação fina); ambientes orgânicos; ambientes relativamente elevados (costa alta-falésia); associações, formas complexas
Fluviomarinha	Formas (planícies) associadas à, ou influenciadas por água salobra
Denudacional	Unidades associadas com aplainamento, com pouca influência litológica; unidades com influência litológica, submetidas a processos de erosão fluvial e linear; unidades associadas a processos específicos de denudação (movimentos de massa)
Denudacional-estrutural	Associação de formas de ambas as origens
Eólica	Dunas ativas e não ativas (dunas, lençóis de areia); formas de deflação
Glacial	Formas predominantemente erosivas (glaciação continental, glaciação de montanha); formas de acumulação (morainas, planícies)
Lacustre	Planícies e terraços lacustres; formas de fundo de lagos (“playas” – evaporitos formados de resíduos de evaporação das águas carregadas de substâncias químicas dissolvidas – por exemplo, anidrita, salgema etc.; não evaporitos)”

Fonte: Meijerink (1988) citado por Florenzano (2008). (Capítulo 4; Quadro 4.2).

Quadro 3: Critérios para classificação morfológica de unidades de relevo.

Variáveis	Classes
Altitude Absoluta (altitude absoluta dominante da unidade de relevo)	Muito Baixa - < 100 m Baixa – 100 m a 300 m Média – 300 m a 600 m Alta – 600 m a 1.000 m Muito Alta - > 1.000 m
Declividade (declividade dominante da unidade de relevo)	Muito Baixa - < 2% Baixa – 2% a 6% Média – 6% a 20% Alta – 20% a 50% Muito Alta - > 50%
Densidade de Drenagem (densidade de drenagem da unidade de relevo, comprimento total dos canais pela área da unidade, km/km ²)	Muito Baixa – < 0,5 Baixa – 0,5 a 3,0 Média – 3,0 a 6,0 Alta – 6,0 a 10 Muito Alta – > 10
Forma dos Topos (forma dominante dos topos da unidade de relevo)	Plano; Arredondado; Angular.
Forma das Vertentes – Curvatura Horizontal (forma dominante das vertentes da unidade de relevo).	Convergente; Planar; Divergente; Composta.
Forma dos Vales (forma dominante dos vales da unidade de relevo)	Abertos (fundo plano); Fechados (em V).

Fonte: Modificado de Florenzano (2008). (Capítulo 4; Quadro 4.3).

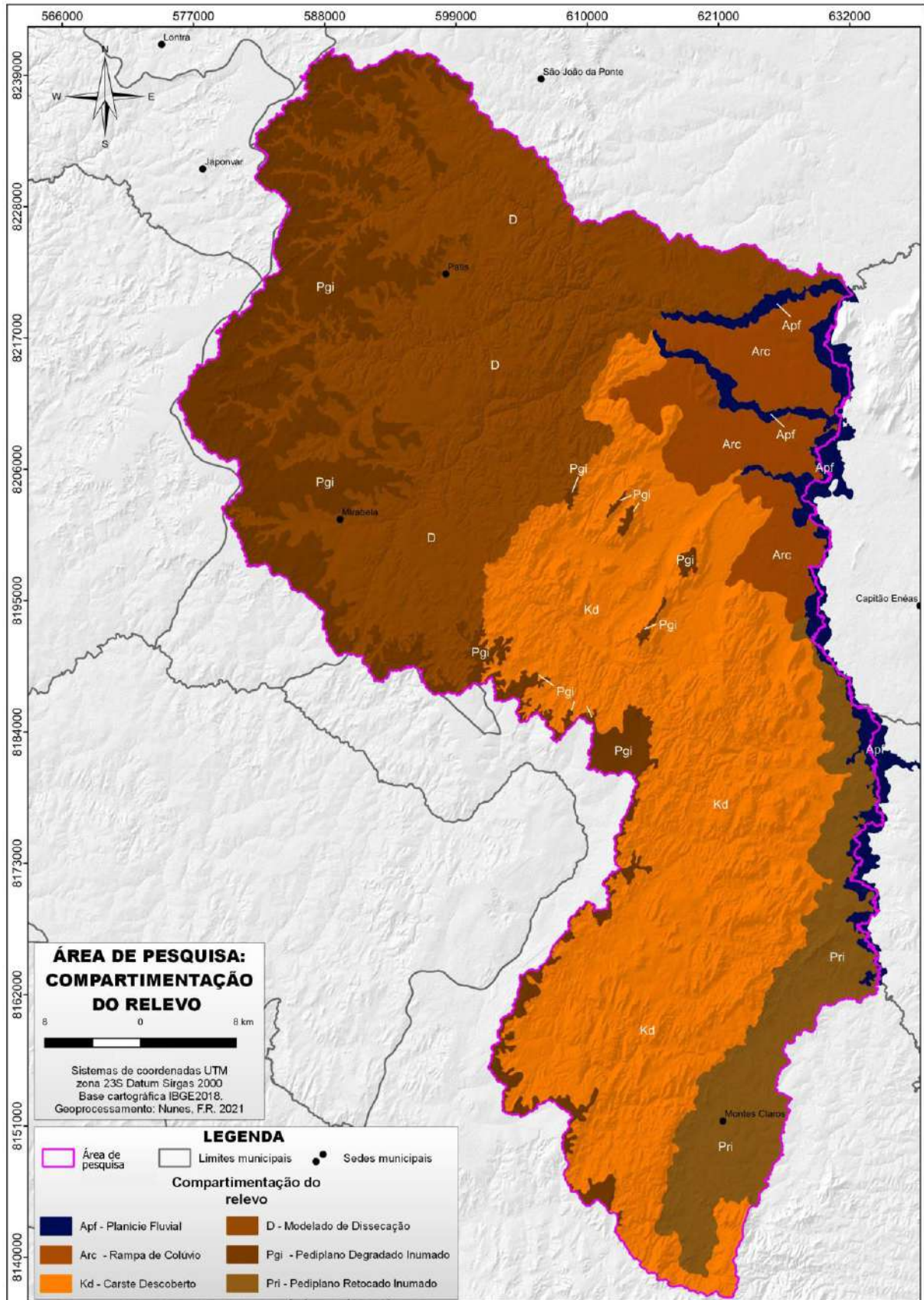
O Modelado de Acumulação ocorre em dois compartimentos. O primeiro, de origem fluvial, ocorre ao longo da calha do Rio Verde Grande e no baixo curso de seus tributários: Ribeirão do Ouro, Rio Jacuí e Rio Canabrava [2], caracterizado por Planícies Fluviais (Apf), onde predominam declividades muito baixas ou baixas em cotas altimétricas menores, em torno dos 500 metros. Predominam as Coberturas Aluvionares, compostas por sedimentos arenosos, eventualmente argilosos, inconsolidados. São áreas sujeitas a inundação, com ocorrência de lagoas marginais e meandros abandonados.

Um segundo compartimento no Modelado de Acumulação é classificado como Rampa de Colúvio (Arc), de origem denudacional e gravitacional, caracterizado nas faixas de ocorrência das Coberturas Detrito Lateríticas depositadas sobre as Formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré. Ocorrem declividades predominantemente baixas ou muito baixas, em altitudes entre 500 e 600m, formando rampas levemente inclinadas em direção ao Rio Verde Grande. Quando em contato com os calcários da Formação Lagoa do Jacaré, apresentam formas negativas (uvalas e dolinas) em quantidade considerável.

O Modelado de Aplainamento também ocorre em dois compartimentos distintos, ambos com morfogênese denudacional, com declividades muito baixas ou baixas. O primeiro ocorre nas cotas altimétricas mais altas, acima dos 850 metros, nos interflúvios ao oeste da área de pesquisa, classificados como Pediplano Degradado Inumado (Pgi). São formas tabulares, apresentando topos planos, formando um planalto que separa a bacia hidrográfica do Verde Grande das bacias: Jequitá-Pacuí e Pandeiros. Ocorrem nas unidades geológicas: Coberturas Elúvio-coluvionares, Grupo Areado Indiviso e Grupo Urucuia.

A segunda compartimentação desse Modelado ocorre em cotas altimétricas mais baixas, inferiores a 600m, no sopé das escarpas calcárias, com predomínio de metassiltitos das Formações Lagoa do Jacaré (subunidade siltitos) e Serra de Santa Helena. Essa compartimentação foi classificada como Pediplano Retocado Inumado (Pri); conforme descreve IBGE (2008, p. 40): “elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão, sem, no entanto, perder suas características de aplanamento, cujos processos geram sistemas de planos inclinados, às vezes levemente côncavos”.

Figura 12: Compartimentação do relevo na área de pesquisa conforme os modelados do terreno.

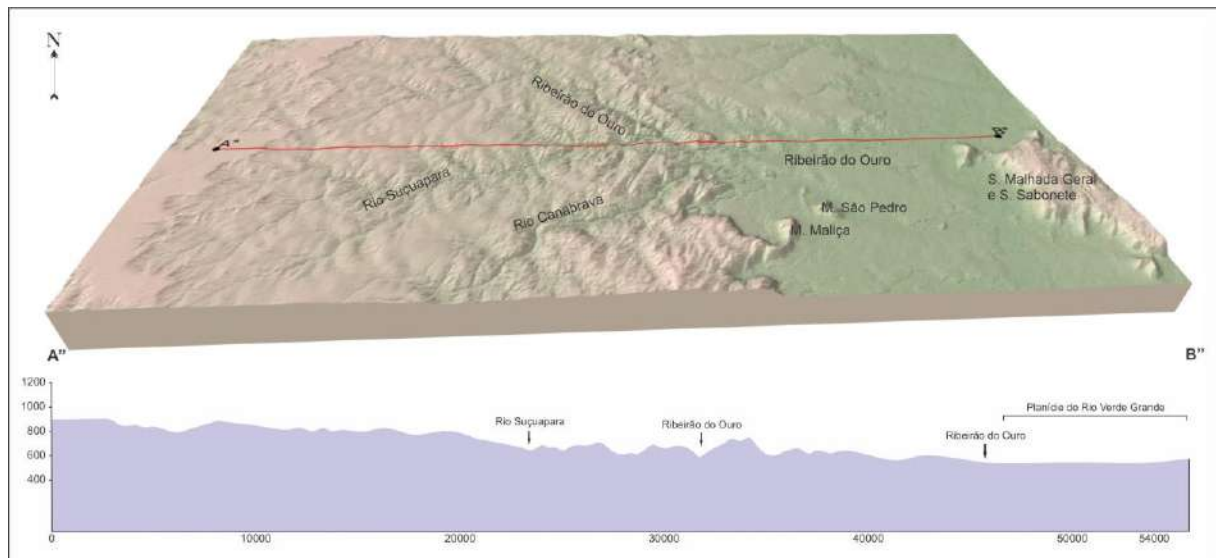


Com morfogênese cárstica, o Modelado de Dissolução foi identificado ao oeste da cidade de Montes Claros, na porção centro e centro-norte da área de pesquisa, até as localidades de São Pedro das Garças e Santa Rosa de Lima. Nesse Modelado, desenvolve-se o Carste Descoberto (Kd), com declividades variando desde muito baixas (menor que 2%) até muito altas (maior que 50%) e altitudes também bastante variadas; ocorrência de formas cársticas positivas e negativas, campos de lapiás, morros cársticos com escarpas rochosas e grande acervo endocárstico, desenvolvido sobre a Formação Serra da Saudade e, especialmente sobre os calcilutitos e calcarenitos da Formação Lagoa do Jacaré.

As bacias hidrográficas do Ribeirão do Ouro e do Rio Canabrava [2], entre as cotas altimétricas 800 e 600 metros, foram interpretadas como Modelado de Dissecação (D), apesar da predominância das litologias das Formações Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade, do Grupo Bambuí. Isso porque observamos a predominância da morfogênese denudacional sobre o caráter dissolutivo neste compartimento. Os vales são predominantemente fechados, com as litologias carbonáticas aparecendo somente ao longo dos cursos d'água, onde a dissecação é mais intensa, com afloramentos calcários praticamente restritos às escarpas destes vales, muitas vezes formando cânions. As declividades variam desde baixas a muito altas, estas nos trechos mais encaixados dos vales, especialmente no médio curso do Ribeirão do Ouro, do Rio Suçupara e do Córrego Água Limpa. Compreendemos que há uma influência litológica e estrutural no aprofundamento das incisões nesta unidade geomorfológica; no entanto, se difere do que classificamos como modelado de dissolução em relação à evolução das formas, o que se reflete num exocarste menos proeminente, com menor ocorrência de formas positivas e negativas.

Essa diferença morfológica pode ser observada na comparação entre os blocos diagrama elaborados para a área de pesquisa. A Figura 13 ilustra a porção norte, evidenciando o Modelado de Dissecação presente nas bacias hidrográficas do Ribeirão do Ouro/Rio Suçupara e Rio Canabrava [2] e o perfil topográfico. Nas Figuras 14 e 24 correspondentes aos blocos diagramas da porção central e sul da área de pesquisa, respectivamente; observamos a rugosidade do terreno proporcionado pelos morros e maciços cársticos, característicos do Modelado de Dissolução. Essa diferenciação é também observada em imagem orbital, no MDE e nos produtos cartográficos.

Figura 13: Bloco diagrama e perfil topográfico da porção norte da área de pesquisa, representando as bacias hidrográficas do Rio Canabrava [2] e Ribeirão do Ouro.



Fonte: Autoria própria, 2021

No bloco diagrama da Figura 13, observamos, de sul para norte, os vales do Rio Canabrava [2], Rio Suçuapara e Ribeirão do Ouro. É possível identificar o aprofundamento dos vales no trecho médio destes rios, escavados sobre as litologias carbonáticas da Formação Lagoa do Jacaré. Avaliamos que essa condição é proporcionada pela combinação da solubilidade das litologias carbonáticas com o aumento da energia decorrente do gradiente hidráulico. A jusante, quando os cursos d'água atingem as litologias da Formação Serra de Santa Helena, os vales se tornam abertos e o relevo aplainado até as planícies fluviais do Verde Grande. Nestas áreas, ocorrem o depósito dos materiais arrastados, formando as Rampas de Colúvio. No perfil topográfico, apresentamos dois pontos diferentes de interceptação do Ribeirão do Ouro: um na baixa vertente, onde prevalece um relevo mais plano e litologias da Formação Serra de Santa Helena e outro mais ao oeste, com morfologia mais encaixada (vale fechado), já no domínio da Formação Lagoa do Jacaré.

O relevo residual visível ao leste, isolado na planície do Verde Grande, é formado por um conjunto de morros cársticos com toponímias de Serra Malhada Geral e Serra do Sabonete.

A prevalência do modelado de dissecação nesta área não significa que não se configure como uma região cárstica. A respeito das formas cársticas conhecidas nesta área, destacamos o Cânion da Usina Velha, formado pelo Córrego Brejinho, contribuinte do Córrego Água Limpa, onde se apresentam diversas ocorrências como: arcos, torres, trechos subterrâneos do rio e cavernas. A semelhança e beleza cênica do lugar lembram a paisagem

cárstica do Vale do Peruaçu, em uma proporção de escala menor; por esse motivo, espeleólogos da região apelidaram o local de “Peruaçuzinho”.

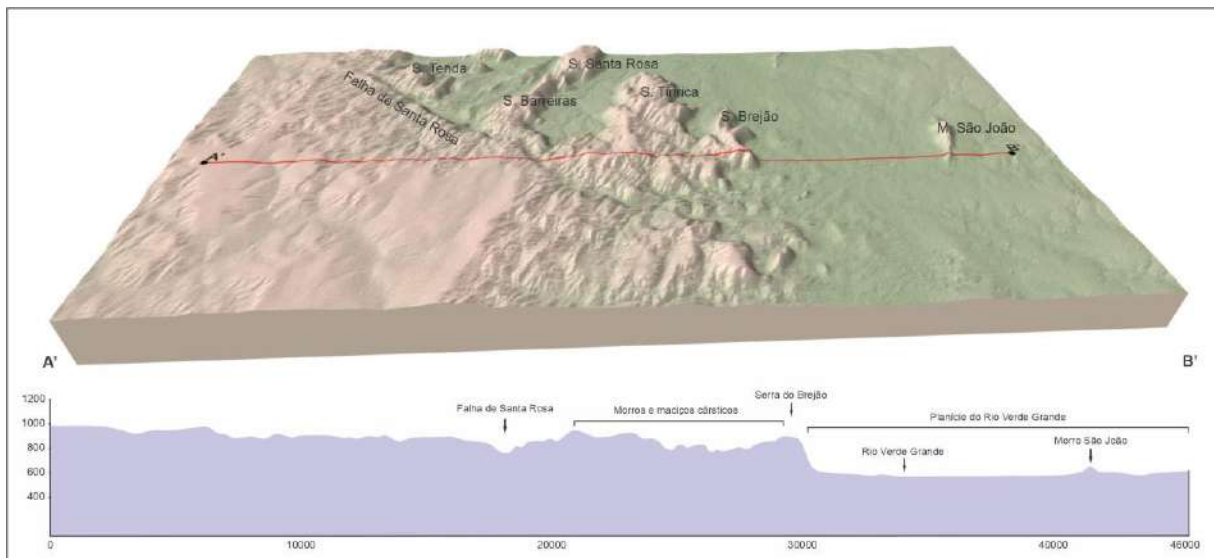
Existem apenas 14 cavernas cadastradas nesta área. O registro escasso não corresponde à realidade do potencial espeleológico local, mas reflete o pouco conhecimento da área, ainda pouco explorado pela espeleologia. Esta é uma área de grande potencial para trabalhos de prospecções espeleológicas.

4.1. O Carste de Montes Claros

A investigação realizada permitiu compreender, distinguir e delinear uma unidade de paisagem inserida na área de pesquisa com características semelhantes do ponto de vista exocárstico e evolutivo a qual denominamos Carste de Montes Claros. Essa unidade se limita: ao oeste, pelos interflúvios das bacias do rio Verde Grande e Pacuí; ao leste, pela planície fluvial do Rio Verde Grande; ao sul pelos limites da sub-bacia do rio Vieiras; e ao norte pelo interflúvio das bacias do Rio Jacuí e Canabrava [2], incluindo a região de São Pedro das Garças, no baixo curso deste rio, abrangendo não só o modelado de dissolução, reconhecido nesta pesquisa como carste descoberto, como os compartimentos vizinhos ao leste que apresentaram feições cársticas, compreendendo o Rio Verde Grande como a principal descontinuidade desta paisagem.

No bloco diagrama da Figura 14, observamos a região de Santa Rosa de Lima. Ao leste, isolado em meio à planície fluvial do Verde Grande, observamos o Morro São João, à margem direita do rio, caracterizando um hume. Ao sudoeste, observamos o relevo aplainado dos planaltos dominados pelas Coberturas Elúvio-coluvionares e unidades residuais do Grupo Areado, gradando para terrenos mais rugosos modelados nas litologias do Grupo Bambuí até a formação dos morros calcários robustos, regionalmente denominados de “serras”. A elevação mais avançada na direção nordeste é denominada de Serra das Barreiras e, na sequência, Serra de Santa Rosa. Ao centro, observamos as Serras da Tiririca e do Brejão. Essas elevações se caracterizam por encostas calcárias escarpadas, com desníveis que podem ultrapassar os 300 metros. No perfil topográfico que mostramos na Figura 14 é possível observar o desnível abrupto entre os compartimentos de morros calcários (‘serras’) e a planície do Rio Verde Grande.

Figura 14: Bloco diagrama e perfil topográfico da porção central da área de pesquisa, representando a região norte do Carste de Montes Claros e o complexo Santa Rosa.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Ainda na Figura 14, no bloco diagrama e também no perfil topográfico correspondente, observamos a falha de Santa Rosa, uma das feições estruturais mais importantes da área de pesquisa, interceptando a região na direção SE-NW; perceptível também de forma bem evidente nas imagens orbitais utilizadas e no Modelo Digital de Terreno. Conforme já abordamos, seu traçado se estende por quilômetros, iniciando ao norte de Montes Claros até as proximidades de São Francisco, exercendo forte controle no relevo, marcando rupturas, escarpas rochosas, vales lineares e capturas de drenagem para o subterrâneo. Outro fator interessante associado à falha de Santa Rosa é o afloramento de litologias da Formação Serra de Santa Helena nas proximidades de Santa Rosa de Lima; uma exceção no contexto geral, já que essa é a estratigrafia de base do Grupo Bambuí na região, que normalmente ocorre em cotas altimétricas mais baixas, próximas ao rio Verde Grande (ver Figura 5 – Mapa Geológico da área de pesquisa). Kuchenbecker e Costa (2014) estimaram para a Falha de Santa Rosa um rejeito vertical entre 20 e 40m, com bloco alto a SW.

Diversos outros lineamentos subparalelos à falha de Santa Rosa ou em direção oposta (NNE-SSW, direcionamento estrutural muito comum na região) proporcionam a instalação de um complexo sistema hidrogeológico nesta área, com presença de vales cegos, vales fechados, dolinas e cavernas. Na Figura 15, ilustramos a captura do Córrego do Campo/Olaria por uma falha com sumidouro a jusante, pouco antes da ruptura do relevo; situação muito comum nesta faixa do terreno, nos contribuintes de montante da bacia do Rio

Santa Rosa. Na Figura 16, é possível observar o forte controle estrutural das falhas sobre os cursos d'água locais, com destaque para o Paraguai, Patrona e Brejão, determinando ainda um complexo de dolinas, surgências e sumidouros, em especial o sumidouro da Lapa Encantada, destacada pela seta vermelha, configurando o vale cego do Córrego Patrona. Ambas as imagens são da Agência Espacial Francesa CNES/Airbus, de julho de 2019, disponibilizada pela plataforma Google Earth. A Lapa Encantada é a maior caverna do município de Montes Claros, com 3.350 metros de desenvolvimento (SBE, 2021) e abriga trecho subterrâneo do Córrego Patrona (e Paraguai?) em boa parte de sua extensão, formando lagos, cachoeiras e sifões em seu interior. A ressurgência da Lapa Encantada marca o início do Córrego da Barra (toponímia), cuja localização é ilustrada na Figura 18.

Figura 15: Controle estrutural do Córrego do Campo por falha geológica com sumidouro a jusante em imagem CNES/Airbus, de julho de 2019.



Fonte Google Earth, 2021.

Figura 16: Complexo de sumidouros e ressurgências e controle estrutural sobre os cursos d'água locais determinados por falhas geológicas na região de Santa Rosa de Lima. Destacamos com a seta vermelha o sumidouro do Córrego Patrona, onde se desenvolve a Lapa Encantada. Imagem CNES/Airbus, de julho de 2019.



Fonte Google Earth, 2021.

A jusante da ruptura de relevo marcada pela grande falha de Santa Rosa abre-se o vale do rio Jacuí, formado pela junção do rio Santa Rosa e córrego Claudiano, caracterizando uma extensa planície em direção ao Rio Verde Grande, ladeada pelas serras de Santa Rosa e Barreiras à direita e Serra da Tenda à esquerda. O Rio Santa Rosa é formado pela junção dos Córregos Crispim e Brejão, ambos fortemente condicionados pela falha de Santa Rosa. À esquerda da planície, apresenta-se o Córrego Claudiano e entre este o primeiro, observamos diversos morros calcários preservados que se constituem humes realçados na paisagem plana, com destaque para o Morro do Frade ao centro do vale, com cume a 900m de altitude, enquanto no vale predominam cotas em torno dos 600m, ilustrado na Figura 17. Todos esses cursos d'água e alguns de seus afluentes apresentam sequências de sumidouros e surgências a montante, nas bordas do planalto cárstico. Os vales do Rio Santa Rosa e do Córrego Claudiano compreendem uma extensão de 15 km (considerando o trecho ladeado pelas escarpas calcárias) e larguras variando entre 9 e 3 km. Em seu interior desenvolvem-se depressões morfológicamente semelhantes a poljes, cuja constatação necessita de maiores investigações, e diversas dolinas, lagoas e ressurgências. As faixas topográficas de montante e jusante delimitadas pela ruptura de relevo associada à falha de Santa Rosa caracterizam

claramente as zonas de recarga e descarga, respectivamente. As planícies férteis do vale do Rio Jacuí são aproveitadas pela agricultura e para atividades pastoris.

Toda a configuração descrita demonstra o quanto a região de Santa Rosa de Lima é um campo fascinante para a investigação da Carstologia e da Hidrogeologia.

Figura 17: Morro do Frade. Imponente hume em meio à planície de Santa Rosa, rodeado por pastagens.



Fonte: Foto da autora, 2021.

Figura 19: Planície do vale do Rio Jacuí, aproveitada pela agricultura com irrigação por pivô central e atividades pastoris. Ao fundo, a Serra da Tenda.



Fonte: Foto da autora, 2021.

Figura 18: Local da ressurgência da Lapa Encantada, no ponto mais baixo da escarpa (seta branca), onde se inicia o córrego da Barra.



Fonte: Foto da autora, 2021.

Figura 20: Vertente característica da região de Santa Rosa, com sumidouros acima da linha de ruptura do relevo e ressurgências à meia encosta, em direção ao fundo plano do vale.



Fonte: Foto Eduardo Gomes, 2021.

Figura 21: Vista aérea do vale do Córrego Claudiano. Ao fundo, os morros Maliça e São Pedro, já na região de São Pedro das Garças. À esquerda da foto, a seta indica a Lagoa Criciúma.



Fonte: Foto com drone por Eduardo Gomes, 2021.

A planície do rio Barreiras desenvolve-se entre as serras de Barreiras e Tiririca, sendo classificada como um polje aberto. Apresenta fundo predominantemente plano, compreendido por escarpas rochosas e com ressurgências, dolinas, lagoas cársticas e fluxos perenes em seu interior; aberto a jusante, no sentido do vale do Rio Verde Grande. Possui cerca de 10 km de extensão e larguras variando entre 2 e 4 km, com o Córrego Barreira ao centro e pequenos contribuintes originados das serras circundantes. O Córrego Barreiras nasce na faixa de borda do planalto ao sudoeste do vale, em torno da cota altimétrica 800m, na região da comunidade rural de Lavaginha, sendo capturado para o subterrâneo logo em seguida, antes da escarpa rochosa e ressurgindo na base dela. Segundo o mapeamento geológico da área, o centro deste vale é preenchido por material coluvial.

Figura 22: Imagem aérea do polje de Barreiras com visada para jusante.



Fonte: Foto com drone por Eduardo Gomes, 2021.

Figura 23: Imagem aérea do polje de Barreiras com visada para montante.

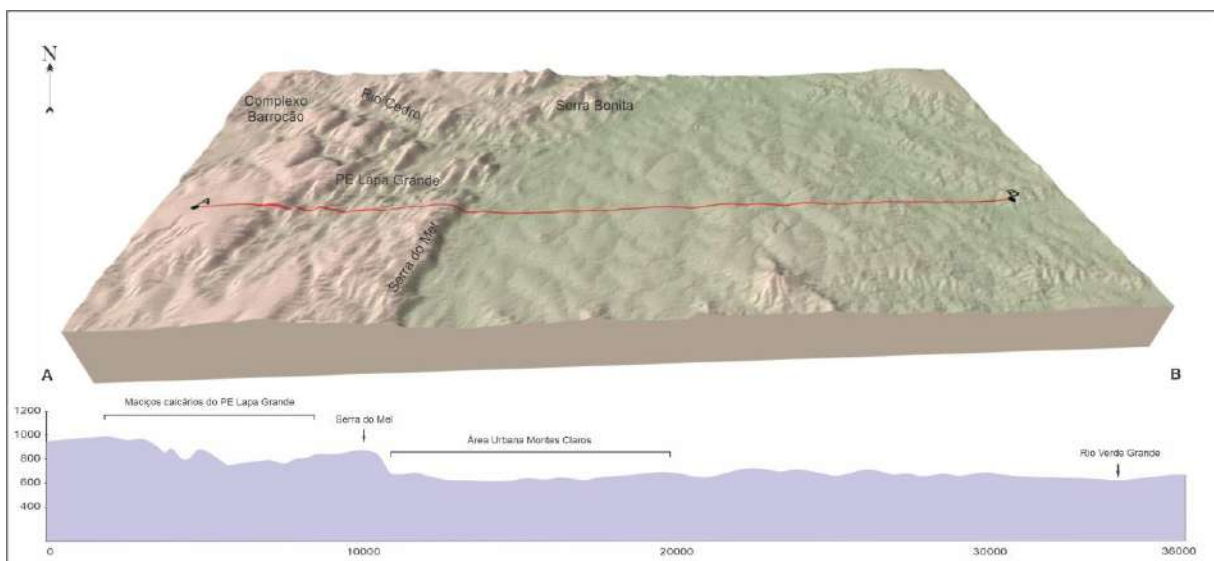


Fonte: Foto com drone por Eduardo Gomes, 2021.

O bloco diagrama da Figura 24 mostra a região onde se instalou a área urbana de Montes Claros, destacada no perfil topográfico, com relevo suave a levemente ondulado, limitada a oeste pela Serra do Mel, disposta no sentido SSW-NNE, com altitudes em torno dos 800m. Essa compartimentação, é representada pelas bordas do planalto cárstico posicionado ao oeste do Rio Vieiras, apresentando escarpas rochosas, que muitas vezes superam os 50% de declividade, e exocarste bem evidente.

A Serra do Mel, é uma barreira natural para a expansão da cidade de Montes Claros no sentido oeste e vem sofrendo pressão através da ocupação urbana por diversos condomínios, chácaras e bairros, conforme ilustramos na Figura 25. Algumas destas ocupações se encontram bem próximas aos afloramentos calcários, o que pode representar risco geológico. Outro fato de pressão antrópica nos arredores do sítio urbano é representado pela mineração, com presença de pelo menos quatro empresas de exploração do calcário para fins diversos e pela existência de grandes jazidas de rocha calcária no município. Na Figura 26 ilustramos uma destas frentes de mineração, localizada na porção norte da Serra do Mel.

Figura 24: Bloco diagrama e perfil topográfico da porção sul da área de pesquisa, representando a faixa urbana de Montes Claros, o complexo Lapa Grande e o complexo Barroco-Cedro.



Fonte: autoria própria, 2021.

Em nosso trabalho sobre a porção norte da Serra do Mel, em 2010, registramos a ocorrência de 28 cavidades nesta área, sendo 26 em uma extensão de apenas 28,12 ha, o que demonstra uma alta concentração de sítios espeleológicos, com destaque para as Lapas do Caçador com 62,90m de projeção horizontal; Pérolas, com 65,20m; Cânion Grande, com 77m; e Botina, a maior da área com 96,80m (BARBOSA, 2010).

Figura 25: Serra do Mel e a expansão urbana no sopé da elevação.



Fonte: Eduardo Gomes, 2019.

Figura 26: Frente de lavra de empresa de mineração de calcário ao norte da Serra do Mel.



Fonte: Eduardo Gomes, 2019.

Também é possível observar no bloco diagrama da Figura 24 a rugosidade do terreno proporcionada pelos morros e maciços calcários da região da Lapa Grande e do Cedro, ao oeste e noroeste da Serra do Mel. Ressaltamos o alinhamento dos maciços calcários na direção SW-NE, direção predominante das formas positivas na região cárstica. Boa parte destas feições apresentam afloramentos rochosos no topo, onde se desenvolvem campos de lapiás bastante robustos, alguns com mais de uma dezena de profundidade (ver Figura 27). O ponto ‘A’ do perfil topográfico marca o planalto ao oeste da área cárstica, onde predomina o modelado de aplainamento, com Coberturas Elúvio Coluviais.

O Parque Estadual da Lapa Grande, criado pelo Decreto nº 44.204 de 10 de janeiro de 2006, tendo como seus principais objetivos a proteção e a conservação do complexo de grutas e abrigos da região. O Decreto 46.692 de 29 de dezembro de 2014 ampliou a área do Parque que passou a um território de 15.360,43 hectares; mais que o dobro de seus 7,6 mil hectares iniciais (BARBOSA, *et al.*, 2015). Conforme o Art. 2º do Decreto de criação, também é objetivo desta Unidade de Conservação “proteger e conservar os principais mananciais de fornecimento de água para as comunidades de Montes Claros e dos municípios vizinhos, suas adjacências, bem como a flora e fauna locais”. (MINAS GERAIS, Decreto nº 44.204/2006).

Em nosso trabalho de diagnóstico espeleológico nesta unidade de conservação, em 2015, registramos 66 cavernas nos limites do Parque e 82 em seu entorno. No entanto, ainda existem muitas áreas a serem prospectadas nos limites do Parque e no entorno, o que certamente resultará em muitos outros registros espeleológicos (BARBOSA, *et al.*, 2015). Muito conhecidas nos limites do Parque e que se destacam pelas dimensões, citamos as

cavernas: Lapa Grande, com 2.200 m de projeção horizontal; o Boqueirão da Nascente, com 620m, a Lapa Pintada, abrigo com cerca de 40 metros de altura por 20 metros de largura; Lapa D'água, com 1.234 m, Lapa da Claudina com 1.959m, Lapa da Santa, com 2.928m e Lapa do Meireles, sem espeleometria, com desenvolvimento estimado em mais de 900m.¹⁶

A caverna Lapa Grande apresenta grande potencial turístico e referências históricas que remontam do período de ocupação da região de Montes Claros, tendo recebido visitas de naturalistas icônicos como: Eschwenge, Sant-Hilarie, Spix e Martius e atividades de extração de salitre no século XIX. Também se configura como sítio arqueológico pré-histórico. Atualmente, a Lapa Grande recebe visitantes somente à entrada até o início da zona de penumbra, onde foi instalada uma passarela de madeira suspensa evitando impactos sobre os sedimentos com registros arqueológicos à entrada da caverna.

Além da Lapa Grande, outras duas cavidades recebem visitação dentro do Parque: a Lapa Pintada e a Lapa Boqueirão da Nascente. A primeira se caracteriza como um grande abrigo em formato de anfiteatro e se constitui importante sítio arqueológico com diversas gravuras rupestres e onde escavações revelaram vestígios no piso como: peças líticas e cerâmicas, ossos humanos e de animais, e restos de fogueiras e alimentos. O mesmo procedimento de proteção da Lapa Grande foi adotado na Lapa Pintada, com um mirante para observação das gravuras rupestres instalado de forma suspensa para proteger o sedimento.

O Boqueirão da Nascente, com 620 m de projeção horizontal, marca a ressurgência do Córrego Lapa Grande, após uma sequência de três trechos subterrâneos deste curso d'água, entrecortado por dolinas, os quais são denominados Boqueirão de Cima, Boqueirão do Meio e Lapa Boqueirão da Nascente. A visita a essa cavidade se limita a sua entrada.

No interior do Parque Estadual da Lapa Grande se destacam ainda a Lapa D'água, com dois níveis de desenvolvimento, o segundo com curso d'água. A esquerda da entrada da Lapa D'água existe um sumidouro do Córrego São Marcos, marcando um vale cego.

Outro vale cego ocorre próximo à entrada desta caverna, a cerca de 750m a montante, onde há um sumidouro do Córrego Lapa Grande/Bois (Figura 28). Neste local se instala uma das captações da concessionária de abastecimento de água no município de Montes Claros, com vazão média de 148 l/s (COPASA, 2017).

¹⁶ As medidas de desenvolvimento das cavernas foram obtidas em arquivos internos do Espeleogrupo Peter Lund, que desenvolve trabalhos na região desde 1989; em BARBOSA, *et al.*, 2015 ou no CNC – Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil (2021).

A existência de uma ressurgência (Figura 29) a cerca de 1.300 m a jusante deste vale cego e posicionamento dos dois sumidouros citados, sugere que ocorra a confluência dos Córregos São Marcos e Lapa Grande no interior da Lapa D'Água, circunstância que ainda necessita de investigação e comprovação científica.

A região da Lapa Grande apresenta um fluviocarste rico e intricado, ainda não compreendido totalmente; o que se configura um amplo campo de investigação em aberto.

Figura 27: Maciço da Lapa Pintada com notável campo de lapíais no topo.



Fonte: Eduardo Gomes, 2019

Figura 28: Sumidouro do Córrego Lapa Grande constituindo um vale cego.



Fonte: Eduardo Gomes, 2019.

Figura 29: Ressurgência do Córrego Lapa Grande, após a Lapa D'água.



Fonte: foto da autora/acervo pessoal, 2009.

Figura 30: Entrada da Lapa da Santa, com curso d'água ressurgindo em sua entrada.



Fonte: Acervo pessoal, 2013.

Figura 31: Vista aérea da porção central do Parque Estadual da Lapa Grande, onde é possível observar diversas feições: morros, colinas e maciços, afloramentos, dolinas e vales cársticos. Ao fundo cidade de Montes Claros.



Fonte: Eduardo Gomes, 2018.

Figura 32: Vista aérea do limite oeste do Parque da Lapa Grande demonstrando a diferença na conformação do terreno, com o planalto (modelado de aplainamento) ao fundo e o relevo cárstico (modelado de dissolução) em primeiro plano.



Foto: Eduardo Gomes, 2018.

Outras duas áreas de grande importância, ilustradas no bloco diagrama da Figura 24, são o vale do Rio Cedro e o complexo Barrocão. O vale do Rio Cedro é bem evidente na figura, atravessando transversalmente o relevo de morros cársticos no sentido SE-NW. Caracteriza-se como um típico vale cárstico, aberto e com fundo plano, apresentando dolinas, surgências e sumidouros ao longo de seu curso. Destas feições, destacamos a ressurgência de Rebentão dos Ferros, onde a concessionária de abastecimento do município faz captação, com uma vazão média 82 L/s (COPASA, 2017).

A área no extremo noroeste do bloco diagrama da Figura 24, a montante do Rebentão dos Ferros, corresponde ao complexo Barrocão, onde ocorre um fluviocarste dos mais interessantes da área de pesquisa, descrito a seguir.

O Rio Buriti nasce um pouco a montante da comunidade de Buriti do Campo Santo, região de ocorrência das cavernas Lapa da Claudina, Meireles e Santa, esta última associada ao Córrego Dois Riachos, contribuinte do Buriti. Percorre cerca de 12,20 Km, na direção predominante NE, até o local conhecido como Viradouro, onde desaparece numa

grande uvala. Além do sumidouro do Rio Buriti, a uvala do Viradouro apresenta três ressurgências. Cerca de trezentos metros a jusante o Rio Buriti ressurge em sentido bem diferente ao seu trecho inicial, sendo reconhecido em alguns mapas consultados já como Rio Cedro, seguindo por pouco mais de 2 quilômetros para SE, desaparecendo novamente numa região de dolinas conhecida como Candéal, configurando um vale cego.

Outro contribuinte deste fluviocarste é o Córrego Barroirão, que nasce no rebordo do planalto ao oeste e percorre pouco mais de 3 km no sentido sudeste, sendo capturado pelo sistema subterrâneo na altura da fazenda Barroirão onde se desenvolve uma depressão com cerca de 2 km de extensão, com diversas dolinas em seu interior, podendo se configurar um polje, cuja constatação não pode ser realizada nesta pesquisa. Ao leste dessa depressão, ocorre um alinhamento de dolinas alongadas, no sentido nordeste, conhecidas como Lagoa dos Sumidouros, preenchidas com água perene, ilustrada na Figura 33.

Figura 33: Foto panorâmica da Lagoa dos Sumidouros, dolina com preenchimento de água perene, com oscilação hidráulica na região do complexo Barroirão.



Fonte: foto Eduardo Gomes/Acervo Lapiá Espeleologia, 2010.

Conforme levantamentos espeleológicos realizados por nós em 2010 nesta região, a Lapa do Sabino (23K 609540.04 m E; 8163177.03 m S), localizada ao leste dessas dolinas, apresenta um sistema de drenagem peculiar, eventualmente se alternando nos dois sentidos da cavidade, conforme a oscilação do lençol nas dolinas que formam as Lagoas do Sumidouro. Em condições normais, a drenagem na caverna ocorre no sentido da entrada principal, com descarga nas dolinas; quando o lençol se eleva até a cota máxima de inundação das dolinas, ocorre a vazão contrária, para o interior da cavidade; fenômeno não muito frequente, de acordo com o relato dos moradores próximos.

Ao sul do córrego Barroirão e oeste do Viradouro, mapeamos uma uvala muito importante do ponto de vista hidrogeológico, encerrando pelo menos 17 dolinas em seu interior, boa parte apresentando oscilação sazonal do lençol. Essa situação foi observada por

nós em diversas ocasiões, em períodos anteriores à realização da pesquisa, em trabalhos na região, sendo possível registrar situações distintas do comportamento do lençol nas dolinas, conforme ilustramos na Figura 35. Na Figura 34 observamos a disposição de algumas das dolinas no interior desta uvala em período seco na região.

Figura 34: Dolinas no interior de uma uvala na região do complexo Barrocão.



Fonte: Foto da autora (acervo), 2013.

Figura 35: Foto montagem demonstrando umas das dolinas do complexo Barrocão, antes e após o período chuvoso na região, evidenciando oscilação do lençol nessas feições.



Fonte: Fotos Eduardo Gomes/Acervo Lapiá Espeleologia, 2010.

A conformação dos cursos d'água, vales cegos e surgências nesta região permite presumir haver interconexão entre o Córrego Barroirão e os Rios Buritis e Cedro em zona criptorreica, hipótese que ainda necessita de investigação científica.

Importante ressaltarmos a existência de uma falha geológica com cerca de 15 km na direção SW-NE interceptando a região, a qual denominamos neste trabalho de falha de Buriti, por interceptar a comunidade rural de Buriti do Campo Santo e controlar o direcionamento do curso do Rio Buriti. A existência da falha de Buriti condiciona as formas alongadas de algumas dolinas e o alinhamento dessas feições na região segundo o mesmo direcionamento, além de proporcionar a formação dos sumidouros. Essa feição geológica é também responsável pela exposição dos calcários da Formação Lagoa do Jacaré, neste trecho.

A grande quantidade de formas negativas no complexo Barroirão, onde registramos mais de 50 dolinas, é ilustrada na imagem da Figura 36, sendo possível observar também o alinhamento estrutural destas formas. A linha laranja representa a falha de Buriti, os polígonos vermelhos as dolinas e uvalas; a depressão (polje?) de Barroirão é contornado pela linha roxa. Os marcadores brancos apontam as cavernas cadastradas no CANIE e os marcadores azuis assinalam sumidouros e ressurgências.

Figura 36: Formas cársticas negativas no complexo Barroirão sobre imagem Maxar Technologies, de setembro de 2020.



Fonte: Google Earth, 2021.

Os setores descritos acima são os mais relevantes em número de ocorrências, em complexidade do fluviocarste, na exuberância do exocarste ou na combinação de diversos fatores de interesse da Carstologia. Citamos algumas outras áreas que também apresentam grande potencial para pesquisa espeleológica e sobre o carste: Serra Bonita e arredores, Região de Cabeceiras e Nova Esperança; arredores de Vila Nova de Minas, São Pedro das Garças, Sanharó e margem esquerda do Rio Tabuas (médio curso), dentre outras.

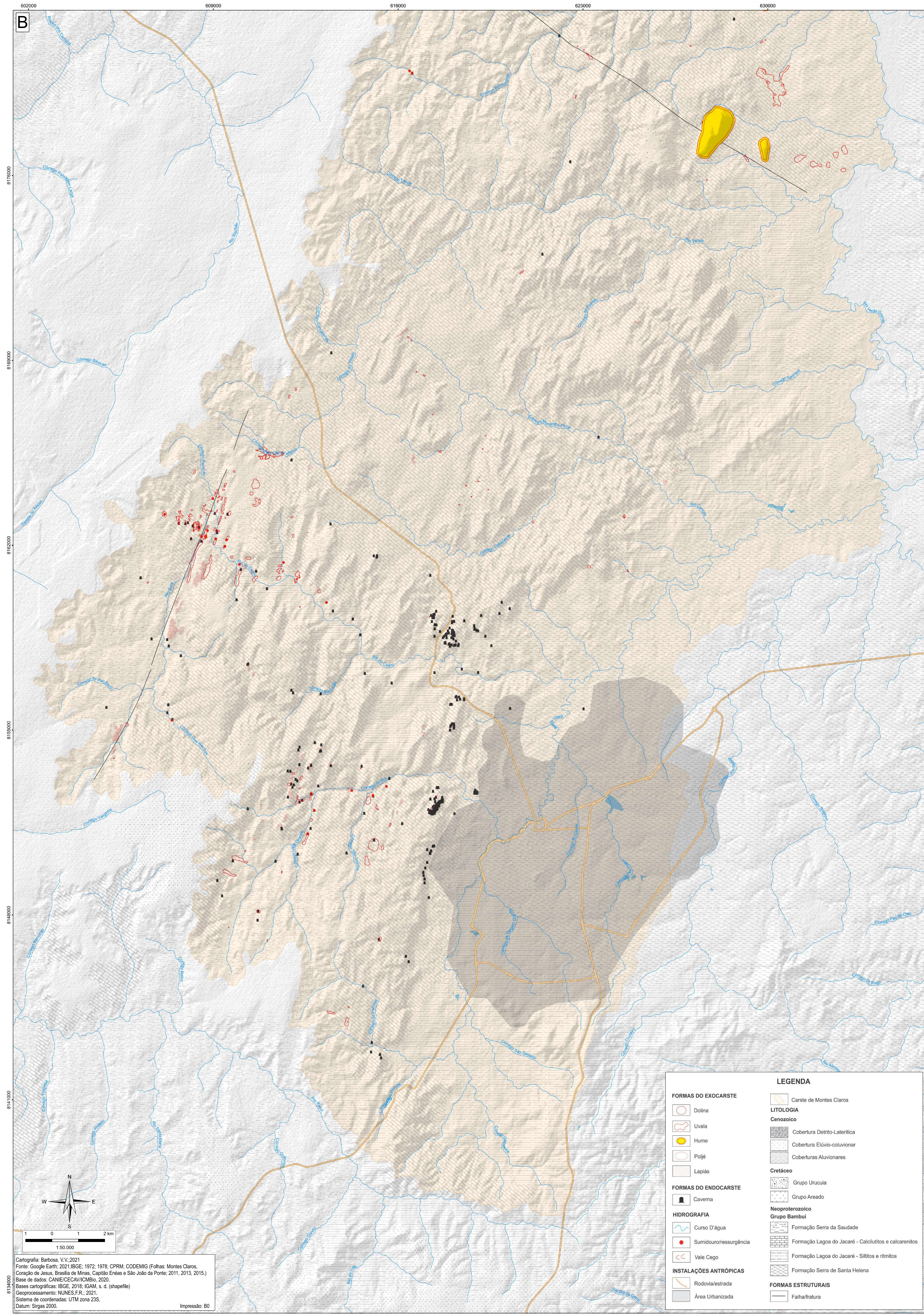
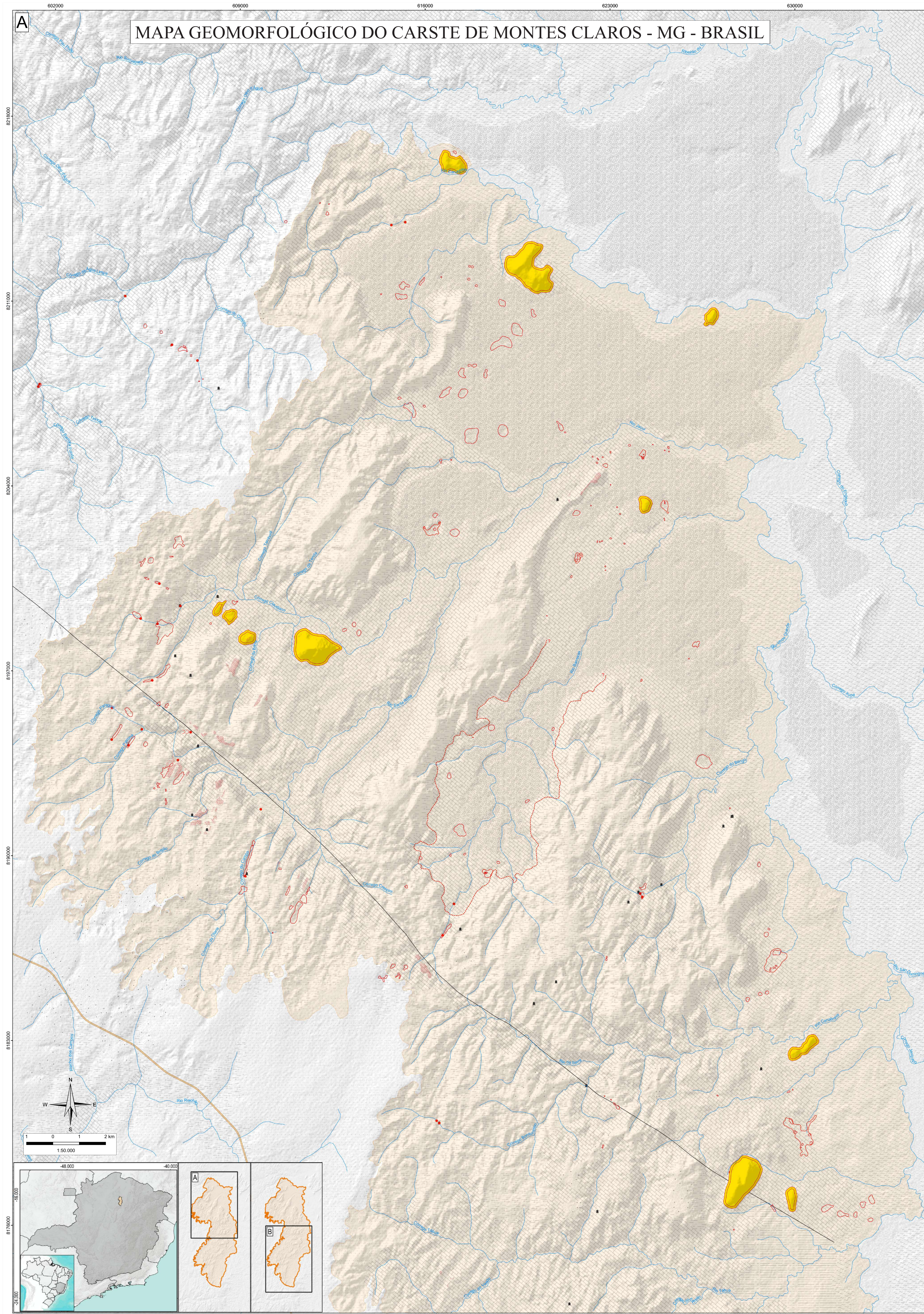
Nossa pesquisa resultou no mapeamento de 348 dolinas, 14 uvalas, 1 polje, 22 ressurgências, 31 sumidouros, 390 cavernas, além de humes, vales cegos, campos de lapiás e outras feições cársticas na área de pesquisa.

Observamos um carste típico tropical, esculpido sobre as rochas carbonáticas pelo trabalho do Rio Verde Grande e seus tributários; sendo, esse rio, o principal responsável pelo recuo das escarpas no sentido oeste e pelo aplainamento das faixas marginais até os níveis estratigráficos onde predominam litologias menos solúveis, como os siltitos da Formação Serra de Santa Helena. Essa dinâmica evolutiva é observada nas diferenças entre as compartimentações de aplainamento e acumulação ao leste da área de pesquisa em contraste com os ressaltos de relevo que formam as escarpas cársticas no modelado de dissolução e pelo grande número e variedade de feições exocársticas presentes nesta compartimentação, especialmente as formas positivas residuais. O Carste de Montes Claros também se mostra plenamente ativo, dada a presença de diversos vales cegos e cursos d'água perenes com trechos subterrâneos constituindo o fluviocarste, bem como as variações dos níveis freáticos muito evidentes na região de Barroão.

O segundo fator atuante na esculturação do relevo cárstico de Montes Claros e com forte influência no sistema endocárstico é o acervo estrutural de falhas e fraturas, com destaque para as falhas de Santa Rosa e Buritis que condicionaram a formação de diversas formas do endo e do exocarste, apresentadas neste trabalho.

Como produto de nossa pesquisa apresentamos o Mapa Geomorfológico do Carste de Montes Claros, representando as compartimentações e principais feições cársticas, elaborado em escala 1:50.000, conforme apresentamos a seguir.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DO CARSTE DE MONTES CLAROS - MG - BRASIL



LEGENDA	
FORMAS DO EXOCARSTE	LITOLOGIA
Dolina	Carste de Montes Claros
Uvala	LITOLÓGIA
Hume	Cenozoico
Polje	Cobertura Detrito-Laterítica
Lapiás	Cobertura Elúvio-colúvionar
FORMAS DO ENDOCARSTE	Coberturas Aluvionares
Caverna	Cretáceo
HIDROGRAFIA	Grupo Urucua
Curso D'água	Grupo Areado
Sumidouro/resurgência	Neoproterozoico
Vale Cego	Grupo Bambuí
INSTALAÇÕES ANTRÓPICAS	Formação Serra da Saudade
Rodovia/estrada	Formação Lagoa do Jacaré - Calcilitos e calcarenitos
Área Urbanizada	Formação Lagoa do Jacaré - Siltos e ritmicos
	Formação Serra de Santa Helena
	FORMAS ESTRUTURAIS
	Falha/fratura

Cartografia: Barbosa, V.V. 2021
 Fonte: Google Earth; 2021/IBGE; 1972; 1978; CPRM; CODEMIG (Folhas: Montes Claros, Coração de Jesus, Brasília de Minas, Capitão Enéas e São João da Ponte; 2011, 2013, 2015).
 Base de dados: CANICE/CANICMIL, 2020.
 Bases cartográficas: IBGE, 2018; IGAM, s. d. (shapefile).
 Geoprocessamento: NUNES.F.R., 2021.
 Sistema de coordenadas: UTM, zona 22S.
 Datum: Sirgas 2000.
 Impressão: B0

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A paisagem cárstica encerra uma gama de elementos de suma importância ambiental e científica, cujos atributos e relações são muitas vezes complexos. Acreditamos termos avançado na compreensão físico-geográfica do Carste de Montes Claros, contribuindo para o seu conhecimento, mas cientes de que um amplo campo de investigação se descortina a partir dessa pesquisa.

O Carste de Montes Claros se mostra uma paisagem típica do relevo cárstico em toda a sua complexidade e riqueza de formas. As feições cársticas mapeadas demonstram um carste bastante evoluído e ainda em atividade, estruturado principalmente sobre as litologias da Formação Lagoa do Jacaré, muitas vezes associados às outras formações do Grupo Bambuí, com destaque para a Formação Serra da Saudade.

Os procedimentos metodológicos adotados se mostraram satisfatórios na geração dos produtos cartográficos, no reconhecimento dos principais modelados na área de pesquisa e no mapeamento do exocarste, resultando no registro e representação de centenas de feições cársticas, o que, analisado em conjunto, contribuiu para uma interpretação inicial da dinâmica evolutiva do relevo na região.

Também foi possível distinguir características similares sobre os aspectos geomorfológicos, principalmente formas e estruturas que definiram uma unidade de paisagem inserida na grande área cárstica caracterizada pelo Grupo Bambuí na região Norte de Minas. A essa unidade da paisagem cárstica denominamos Carste de Montes Claros para o qual construímos um mapa geomorfológico em escala 1:50.000, se configurando o produto cartográfico final de nossa pesquisa.

Com os resultados apresentados, esperamos incentivar a produção de novas pesquisas voltadas para a compreensão do Carste de Montes Claros, que aprofunde as questões físico-geográficas e hidrogeológicas e que contribuam na análise integradora do componente antrópico nesta paisagem.

Estudos de pedologia associada ao carste e a influência do solo na qualidade da água nos aquíferos cársticos; mapeamento detalhado de dolinas; mapeamento de fragilidade ambiental são algumas contribuições importantes a serem trabalhadas, a título de sugestão. Os aquíferos cársticos são recursos estratégicos do ponto de vista econômico; dentre outras razões, porque são fonte de abastecimento humano, a exemplo da área pesquisada onde ocorrem captações pela concessionária local. São ainda de grande importância ecológica, pois são muito vulneráveis à contaminação e ao transporte de patógenos ou poluentes e são os

principais agentes de transporte trófico para as cavernas. Por isso, aprofundamentos sobre o fluviocarste e estudos hidrogeológicos são fundamentais para compreensão do aquífero cárstico e das bacias criptorreicas, especialmente nas regiões de Barroão, Lapa Grande e Santa Rosa que se mostraram bastante complexas.

O fator antrópico, compreendido como componente integrador e transformador na paisagem cárstica, carece de investigação; principalmente nos arredores da área urbana de Montes Claros, onde o uso e ocupação da superfície cárstica gera maior pressão sobre esse ambiente pela expansão urbana, pela mineração e por outras atividades humanas. Neste sentido, sugerimos estudos sobre a relação do homem com o Carste e da influência do desenvolvimento da cidade sobre a paisagem cárstica.

Trabalhos voltados para a pesquisa espeleológica encontram muito potencial nas regiões de Serra Bonita, Cabeceiras, Nova Esperança; Vila Nova de Minas, São Pedro das Garças e Sanharó, onde ocorrem maciços calcários e afloramentos robustos ainda pouco prospectados. Igualmente, a região de Santa Rosa de Lima reserva muitas áreas a serem exploradas em seu complexo sistemas de sumidouro e ressurgências e rico acervo de falhas e fraturas, apresentando potencial para descoberta de grandes cavernas.

Estas são apenas algumas sugestões levantadas, havendo ainda muitas possibilidades de pesquisas ligadas aos diversos temas e disciplinas associadas ao ambiente cárstico como: turismo, este com foco no Parque Estadual da Lapa Grande; arqueologia, paleontologia, botânica, bioespeleologia e tantos outros.

Para finalizar, desejamos registrar que esse trabalho representa nossa contribuição ao Ano Internacional das Cavernas e do Carste.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M de. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 7. 1977. P. 349 – 364.
- AULER, A.; RUBBIOLI, E. L.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, 2001.
- BARBOSA, V. V.; ASSIS, E. G.; SARMENTO, R. L.; SILVA, C. A.; SILVA, S. X. **Resultados do diagnóstico espeleológico do Parque Estadual da Lapa Grande – Montes Claros MG**. In: RASTEIRO, M.A.; SALLUN FILHO, W. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 33, 2015. Eldorado. *Anais*. Campinas: SBE, 2015. p.433-444. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais33cbe/33cbe_433-444.pdf. Acesso em: 09 set. 2020.
- BARBOSA, V. V. **Patrimônio espeleológico da porção setentrional da Serra do Mel, Município de Montes Claros, MG**. 2010. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Ecologia). Unimontes, 2010.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço Metodológico. Tradução de CRUZ, O.R. RA E GA, Curitiba: Editora UFPR, 2004. n. 8, p. 141-152. (Título Original: Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Caderno de Ciências da Terra**. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.)
- BORGES, M. G. RODRIGUES, H. L. A. LEITE M. E. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento do Cerrado no Norte de Minas Gerais e suas fitofisionomias. **Caderno de Geografia**, v.29, n.58, 2019.
- BOSI, A. **Céu, Inferno**. São Paulo: Duas Cidades; Editora 34, 2003.
- BRASIL. **Lei Complementar Federal nº 140, de 08 de dezembro de 2011**. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Instrução normativa nº 02, de 20 de agosto de 2009**. Regulamenta o Decreto Federal 6640/2008.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Portaria MMA nº 358, de 30 de setembro 2009**. Instituir o Programa nacional de conservação do Patrimônio espeleológico, que tem como objetivo desenvolver estratégia nacional de conservação e uso sustentável do patrimônio espeleológico brasileiro.
- CAVALCANTI, L. F. **Áreas prioritárias para a conservação do patrimônio espeleológico**. Brasília, ICMBio, 2018. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/areas-prioritarias-conservacao.html> Acesso em: 10 set. 2020.

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Atualização 2016-2025. Apresentação. Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo, 2016.

CECAV Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **CANIE – Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas**. Banco de Dados sobre o posicionamento de ocorrências espeleológicas no Brasil. Elaborado e Administrado por CECAV/ICMBio – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas/Instituto Chico Mendes de Biodiversidade. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav>. Acesso em 25 abr. 2021.

CECAV Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Anuário estatístico do patrimônio espeleológico brasileiro 2020**. ICMBio: Brasília, 2021.

CECAV Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Mapa de regiões cársticas do Brasil**, [Brasília], 2011. Escala 1:28.000.000. Acervo pessoal.

CECAV Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Mapa de áreas de ocorrência de cavernas no Brasil**, [Brasília], 2018. Escala 1:7.000.000. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html>. Acesso em 08 set. 2020.

CHAVES, M. L. de S.; ANDRADE, K. W. **Mapa geológico. Folha Montes Claros**. Articulação SE 23-X-A-VI. [Belo Horizonte], CPRM, 2011. Escala 1:100.000.

CHAVES, M. L. de S.; ANDRADE, K. W. **Mapa geológico. Folha Coração de Jesus**. Articulação SE-23-X-A-V. [Belo Horizonte], CODEMIG, 2013. Escala 1:100.000.

CHAVES, M. L. de S.; ANDRADE, K. W. Projeto Norte de Minas. **Relatório técnico. Folha Coração de Jesus (SE 23-X-A-V)**. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 59 p.

CHAVES, M. L. de S.; ANDRADE, K. W. **Geologia e recursos minerais da Folha Montes Claros SE.23-X-A-VI: Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. 80 p.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Introdução à geomorfologia**. in: Geomorfologia São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1980. 2. ed.

COELHO, A. H. F.; PILÓ, L. B.; VALADÃO, R. C. **Registros altimétricos, sedimentares e cronológicos de grandes alagamentos no cânion cárstico do Rio Peruaçu, MG**. In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34, 2017. Ouro Preto. Anais... Campinas: SBE, 2017. p.427-437. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_427-437.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS – COPASA. **Plano de racionamento de água. Município de Montes Claros**. Documento Técnico assinado por Monica Maria Ladeia. Distrito Regional de Montes Claros. 20 set. 2017.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Mapa geomorfológico da APA Carste de Lagoa Santa – MG**. Belo Horizonte: CPRM, s.d. Escala 1:50.000.

ECOPLAN Engenharia. **Elaboração do plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Verde Grande**. Brasília, ANA, 2009.

FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GOLDSCHIEDER, N.; CHEN, Z.; AULER, A. S.; BAKALOWICZ, M.; BRODA, S.; DREW, D.; HARTMANN, J.; JIANG, G.; MOOSDORF, N.; STEVANOVIC, Z.; VENI, G. Global distribution of carbonate rocks and karst water resources. **Hydrogeology Journal**, v. 28. 2020. p. 1661–1677.

GOMES, M.; SANTOS, D.J.; TRAVASSOS, L.E.P.; SILVA, G.S.A; U. RUCHKYS. **Monitoramento microclimático de grutas turísticas de Minas Gerais: estudo de caso da Lapa Bonita, Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. In: ZAMPAULO, R. A.(org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. Anais... Campinas: SBE, 2019. p.170-178. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_170-178.pdf. Acesso em: 12 set. 2020.

GUIMARÃES, R. L. **Mapeamento geomorfológico do carste da região de Monjolos, Minas Gerais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

HARDT, R.; RODER, J.; PINTO, S. dos A. F. O Carste. Produto de uma evolução ou processo? Evolução de um conceito. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAP. 2010. v. especial VIII SINAGEO, n. 3.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **2020 Estimativas da população**. Documento eletrônico em PDF. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados> Acesso em: 12 set. 2020.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa topográfico. Folha Montes Claros**. Articulação SE 23 – X – A – VI [Rio de Janeiro], 1979. Escala 1:100.000.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa topográfico. Folha Coração de Jesus**. Articulação SE 23 – X – A – V [Rio de Janeiro], 1979. Escala 1:100.000.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa topográfico. Folha Capitão Enéas**. Articulação SE 23 – X – A – III [Rio de Janeiro], 1979. Escala 1:100.000.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa topográfico. Folha Brasília de Minas**. Articulação SE 23 – X – A – II [Rio de Janeiro], 1972. Escala 1:100.000.

IGLESIAS, M. **Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do Estado de Minas Gerais**. 2007. Dissertação (Mestrado). UFMG: Belo Horizonte, 2007.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências** 39(2): 256-266, junho de 2009.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Portal eletrônico on-line com dados climatológicos da rede de estações climáticas do Instituto. Disponível em: <http://www.portal.inmet.gov.br>. Acesso em 25 abr. 2021.

KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L. E. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. **Revista Espeleotema**, Monte Sião, v. 13, 1979. p. 105-167.

KARMANN, I. **Água: Ciclo e Ação Geológica**. in: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F.[org.] Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 186-209.

KOHLER, Heinz Charles. A Escala na Análise Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.2. n. 1, 2001. p. 21-33.

KOHLER, Heinz Charles. **Geomorfologia cárstica**. In: GUERRA, A J.T.; CUNHA, S. B. da [org.]. Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 5ª ed. p. 309-334.

KOHLER, Heinz Charles. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa – MG**. 1989. Tese (Doutorado em Geografia). São Paulo: USP, 1989.

KUCHENBECKER, M.; ATMAN, D.; COSTA, R. D. da. **Carta geológica. Folha Barreiro da Jaíba**. Articulação SD 23 - Z – C – VI. [Belo Horizonte], 2013. Escala 1:100.000.

KUCHENBECKER, M.; BATISTA, G. A. P.; PEREIRA, A. de S.; PACHECO, F. E. R. C.; MAGALHÃES, M. G. de.; COSTA, R. D. da. **Carta geológica. Folha Brasília de Minas**. Articulação SE 23-X-A-II. Belo Horizonte: CODEMIG. 2013. Escala 1:100.000.

KUCHENBECKER, M.; COSTA, R.D. **Mapa geológico. Folha Capitão Enéas**. Articulação SE 23-X-A-III. Belo Horizonte: CODEMIG. 2013. Escala 1:100.000.

KUCHENBECKER, M.; COSTA, R.D. Projeto Norte de Minas. **Relatório técnico Folha Capitão Enéas (SE.23-X-A-III)**. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 33 p.

KUCHENBECKER, M.; BATISTA, G. A. P.; PEREIRA, A. de S.; PACHECO, F. E.; RODRIGUES, C.; MAGALHÃES, M. G. de.; COSTA, R. D. da. Projeto Norte de Minas. **Relatório técnico. Folha Brasília de Minas (SE.23-Y-D-IV)**. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 35 p.

LEITE, M. E.; SANTOS, I. S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de Uso do Solo na Bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG (Change of Land Use on River Basin Vieira, in Montes Claros/MG). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 4, n. 4, p. 779-792, jan. 2012.

LIMA, G.; BRITO, A. G. M. de.; FARIAS, J. F. Um resgate a obra de Georges Bertrand: contribuições teóricas e metodológicas na análise da paisagem. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 3, n. 01, p. 03-20, 5 jan. 2021.

LINO, C. F. **Cavernas: O Fascinante Brasil Subterrâneo**. São Paulo: Editora Gaia, 2009. 2 ed.

MANTOVANI, L. E.; HINDI, E. C.; DA ROSA FILHO, E.; BITTENCOURT, A. V. L.; FRITZSONS, E.; BABU, S. A Influência do Clima na Formação e Proteção dos Aquíferos Cársticos nas Bacias dos Rios Passaúna e Barigüí. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22854>. Acesso em: 26 abr. 2021.

MARQUES NETO, R. Considerações sobre a paisagem enquanto recurso metodológico para a Geografia Física. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, 2008. v.9. n. 26 p. 243-255.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 44.204/2006**. Cria o Parque Estadual da Lapa Grande, no Município de Montes Claros.

MINAS GERAIS. **Decreto 46.692 de 29 de dezembro de 2014**. Amplia a área do Parque Estadual da Lapa Grande, no Município de Montes Claros, e declara a área de ampliação como de utilidade pública para fins de desapropriação.

NUNES, J. G. da S.; UAGODA, R. Solos em carste tropical, desenvolvimento pedogenético e comportamento hidrológico: Uma revisão teórica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 13, n. 07, p. 3498-3517, dez. 2020.

PILÓ, L. B. Geomorfologia Cárstica. Revisão de Literatura. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 1 n. 1 (2000) p. 88-102

REIS, H. L.S.; ALKMIM, F. F.; FONSECA, R. C.S.; NASCIMENTO, T. C.; SUSS, J. F.; PREVATTI, L. D. **The São Francisco Basin**. In: Heilbron, M., Cordani, U. G., Flecha de Alkmim, F. Eds.). São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continen. Springer, 2017. p.117-143.

RÉMI VALOIS. **Caractérisation structurale de morphologies karstiques supercielles et suivi temporel de l'inltration à l'aide des méthodes électriques et sismiques**. Geophysics. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2011. French. P.17

RIBEIRO, L. V.; COSTA, F. L. B.; SOARES, F. H. S. **Estudo de relevância da Lapa da Lagoinha – Montes Claros – MG**. In: RASTEIRO, M. A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S. G. (orgs.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 34, 2017. Ouro Preto. Anais. Campinas: SBE, 2017. p.355-365. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais34cbe/34cbe_355-365.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

RODRIGUES, L. A.; BRAGA, M. D.; ALMIEDA, R. P.; SOUZA JÚNIOR, D. de. **Estudo de uso e ocupação do solo na sub-bacia do Rio Cedro, norte de Minas Gerais**. Congresso ABES FENASAN 2017. Anais.

ROMANO, A. W.; KNAUER, L. G.; COSTA, R. D. da; JONCEW, H. C.; VASCONCELOS, R. A. C. **Carta geológica. Folha São João da Ponte**. Articulação SD 23 - Z – C – V. [Belo Horizonte], 2015. Escala 1:100.000.

ROMANO, A. W.; KNAUER, L. G.; COSTA, R. D. da; JONCEW, H. C.; VASCONCELOS, R. A. C. Projeto Norte de Minas. **Relatório técnico. Folha Capitão Enéas (SD.23-Z-C-V)**. Belo Horizonte: UFMG, 2015. 50 p.

RUBIOLLI, E.; AULLER, A.; MENIN, D.; BRANDI, R. **Cavernas – Atlas do Brasil Subterrâneo**. Brasília: ICMBio, 2019. 340 p.

SÁ JÚNIOR, A. de. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2009.

SALGUEIRO, T. B. Paisagem e Geografia. **Finisterra**, 72 2001 p. 37-53.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J.B. de; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. rev. ampl., Brasília, DF: Embrapa, 356 p., 2018.

SILVA, W. A. Mapa da vegetação nativa declarada no Cadastro Ambiental Rural - CAR em Montes Claros-MG. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 3, n. 01, p. 151-175, 1 abr. 2021.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE - Sisema, 2019. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 04 mai. 2021.

SOARES, A G.; SIMÕES E. J. M.; OLIVEIRA E. S. de.; VIANA, H. S. **Projeto São Francisco: Caracterização hidrogeológica da microrregião de Montes Claros**. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM, 2002.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. SBE. **Cadastro Nacional de Cavernas do Brasil- CNC**. Banco de dados sobre a espeleologia brasileira. Elaborado e administrado por SBE. Disponível em: <http://www.sbe.com.br/cnc>. Acesso em 09 jan. 2020.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA. SBE. Comunicado aos associados. Comunicação eletrônica em 02 de abril de 2021.

STRIKIS, N. M. [Coord.] **Projeto de Pesquisa: Reconstituição das temperaturas do Brasil Central durante o último milênio: influência da forçante de gases de efeito estufa no aquecimento recente do continente Sul-Americano**. CNPq, 2018 – Atual.

TIMO, M. B. **Mapeamento geomorfológico da região cárstica do Córrego do Cavalo, Piumhi (MG)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia). Belo Horizonte: PUC MG, 2014.

TRAVASSOS, L.E.P. **Princípios de carstologia e geomorfologia Cárstica**. Brasília: ICMBio, 2019.

TRAVASSOS, L.E.P. **Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010.

TRAVASSOS, L.E.P. AMORIM-FILHO, O.B. A. Percepção geográfica da paisagem cárstica como instrumento de preservação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.1. n. 1. 2001.

TRAVASSOS, L.E.P.; OLIVEIRA, R.I.C. Tufa deposits in the karst region of Montes Claros, Minas Gerais, Brazil. **Acta Carsologica**, v. 45, p. 85-96, 2016.

UIS – UNION INTERNATIONALE DE SPÉLÉOLOGIE. **International Year of Caves and Karst**. Hotsite. Disponível em: <http://iyck2021.org/>. Acesso em: 21 abr. 2021.

UFV; CETEC; UFLA; FEAM. Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual de Meio Ambiente. –**Mapa de solos do Estado de Minas Gerais** Belo Horizonte: FEAM, 2010. Escala 1:650.000.