



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LUCIANO HENRIQUE ALMEIDA DE OLIVEIRA

**Microclima em ambiente cavernícola: estudo da variação
microclimática da caverna Lapa do Boqueirão, Vila Propício, Go**

GOIÂNIA

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Luciano Henrique Almeida de Oliveira

3. Título do trabalho

MICROCLIMA EM AMBIENTE CAVERNÍCOLA: ESTUDO DA VARIAÇÃO MICROCLIMÁTICA DA CAVERNA LAPA DO BOQUEIRÃO, VILA PROPICIO, GO.

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **LUCIANO HENRIQUE ALMEIDA DE OLIVEIRA, Discente**, em 26/04/2022, às 16:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Maximiliano Bayer, Professor do Magistério Superior**, em 05/06/2022, às 12:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do



[Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2856798** e o código CRC **04680BC3**.

Referência: Processo nº 23070.019178/2022-10

SEI nº 2856798

LUCIANO HENRIQUE ALMEIDA DE OLIVEIRA

Microclima em ambiente cavernícola: estudo da variação microclimática da caverna Lapa do Boqueirão, Vila Propício, Go

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica.

Área de concentração: Natureza e Produção do Espaço.

Orientador: Prof. Dr. Maximiliano Bayer

GOIÂNIA

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Luciano Henrique Almeida de
Microclima em Ambiente Cavernícola [Manuscrito]: Estudo Da Variação Microclimática da Caverna Lapa do Boqueirão, Vila Propício, GO / Luciano Henrique Almeida de Oliveira. - 2021.
LXXI, 71 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Maximiliano Bayer.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2021.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, mapas, fotografias, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Cavernas. 2. Microclima cavernícola. 3. Atmosfera. 4. Temperatura do ar. 5. Umidade do ar. I. Bayer, Maximiliano Bayer, orient. II. Título.

CDU 911.2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 47 da sessão de Defesa de Dissertação de **Luciano Henrique Almeida de Oliveira**, que confere o título de Mestre em **Geografia**, na área de concentração em Natureza e Produção do Espaço.

Aos **dez dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e um**, a partir das 14:00 horas, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “**MICROCLIMA EM AMBIENTE CAVERNÍCOLA: ESTUDO DA VARIAÇÃO MICROCLIMÁTICA DA CAVERNA LAPA DO BOQUEIRÃO, VILA PROPICIO, GO**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Maximiliano Bayer (IESA/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora Renata Santos Momoli (IESA/UFG), membro titular externo; Professora Doutora Juliana Ramalho Barros (IESA/UFG), membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Maximiliano Bayer, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos dez dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e um.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Renata Santos Momoli, Professor do Magistério Superior**, em 26/04/2022, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maximiliano Bayer, Professor do Magistério Superior**, em 05/06/2022, às 12:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Juliana Ramalho Barros, Professora do Magistério Superior**, em 26/10/2022, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2855099** e o código CRC **DF18A131**.

GOIÂNIA
2021

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. MAXIMILIANO BAYER
Orientador – PPGeo/IESA/UFG

Profa. Dra JULIANA RAMALHO BARROS
Membro Interno – PPGeo/IESA/UFG

Profa. Dra. RENATA SANTOS MOMOLI
LABOGEF – IESA/UFG

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, quero expressar minha profunda gratidão pelo apoio e incentivo incansáveis. Especialmente à minha esposa, Maysa, que ao longo dos últimos anos esteve ao meu lado incondicionalmente, me apoiando em todos os momentos e dificuldades que enfrentamos juntos. Em especial, durante os últimos meses que antecederam a conclusão deste trabalho, sua presença foi fundamental.

Gostaria de expressar meu mais sincero agradecimento ao meu orientador, Maximiliano Bayer. Sua dedicação, ajuda, suporte, paciência e disposição em me auxiliar durante todo o período desta pesquisa foram inestimáveis.

À professora Juliana Ramalho, minha profunda gratidão por gentilmente ceder os termohigrômetros utilizados, equipamentos essenciais para a realização desta pesquisa. Além disso, agradeço pelas valiosas ideias, sugestões e dicas que contribuíram significativamente para o trabalho. Seu apoio e incentivo foram fundamentais para a conclusão deste projeto.

Não posso deixar de mencionar a professora Renata Momoli, cujo auxílio logístico e material na execução dos trabalhos e incursões de campo foram de extrema importância. Sua colaboração na instalação dos aparelhos de medição, na topografia e em outras observações relacionadas à cavidade estudada foram essenciais para o sucesso desta pesquisa.

Gostaria também de agradecer imensamente à guia das cavernas de Vila Propício, Lia, por gentilmente retirar o aparelho localizado na entrada da caverna e por mantê-lo em segurança após o período de monitoramento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), minha profunda gratidão pela concessão da bolsa de Mestrado. Essa bolsa foi de fundamental importância para viabilizar as etapas deste mestrado e contribuiu significativamente para o seu êxito.

Por fim, quero expressar minha gratidão a todos os membros do Pequeno espeleológico grupo, amigos e demais colegas que, ao longo desta jornada, deixaram sua marca. Agradeço a cada um de vocês por terem compartilhado essa caminhada comigo durante a realização desta pesquisa. Suas contribuições e apoio foram inestimáveis.

*Expanded to the state of light
The deepest corners of the world
Gliding through the low lands
And swimming all the oceans
Walking through the silence
Already made it through the night
There will be a new day
Whenever the sun rises*

(Gojira, Low Lands. Álbum: Magma, 2016)

RESUMO

Os ambientes cavernícolas configuram um dos ecossistemas de fundamental importância na natureza, devido à grande biodiversidade de espécies encontradas nesses ambientes, as características geológicas, os padrões de drenagem, os espeleotemas e a representatividade patrimonial, social e econômica para as populações que vivem próximas a essas áreas (BUECHER, 1999; LINO, 2001). A compreensão dos aspectos climáticos das cavernas se fazem necessárias para geração de dados que permitam a modelagem atmosférica desses ambientes, e observação das variáveis ou características encontradas no microclima de cavidades. Sendo de grande importância no planejamento e gestão dos recursos naturais, auxiliando no manejo, planejamento e conservação desses ambientes (FREITAS, 2010). Resultando num importante instrumento de apoio nas pesquisas acerca dos ambientes cavernícolas. Em grande parte dos estudos acerca dos ambientes cavernícolas, há a forte presença de trabalhos relacionados apenas a geologia das cavernas, denotando uma carência de estudos sobre os processos microclimáticos internos de cavernas em todo o Brasil (LOBO, 2010). A escala microclimática compreende as variações atmosféricas sobre a superfície variando de altura conforme os aspectos encontrados na paisagem (MONTEIRO, 1990; MENDONÇA; DANNI-SILVA, 2007). Tornando-se a melhor escala para avaliação da atmosfera cavernícola. Monitoramentos por meio de termohigrometros que armazenam dados diários, análises estatísticas e comparação entre os gráficos, permitiram avaliar o microclima na caverna Lapa do Boqueirão, localizada no município de Vila Propício. Estado de Goiás. As informações adquiridas revelaram diferenças significativas da variabilidade térmica da cavidade em relação ao ambiente externo. Apresentando padrões de circulação e mecanismos de regulação interna da variabilidade térmica entre ambientes que corroboram as especificidades características de um microclima (LUETSCHER; LISMONDE; JEANNIN, 2008; LOBO, 2012). Os resultados obtidos na presente pesquisa servem de apoio e contribuição aos estudos realizados sobre a paisagem espeleológica, em especial os que considerem os parâmetros microclimáticos, podendo auxiliar em análises científicas e na tomada de decisão de cavidades prioritárias para conservação e preservação.

Palavras chave: Cavernas, Microclima em cavernas, Atmosfera, Temperatura do ar, Umidade do ar

ABSTRACT

The cave environments constitute one of the ecosystems of fundamental importance in nature, due to the great biodiversity of species found in these environments, the geological characteristics, the drainage patterns, the speleothems and the patrimonial, social and economic representativeness for the populations that live close to these areas (BUECHER, 1999; LINO, 2001). The understanding of the climatic aspects of caves is necessary for the generation of data that allow the atmospheric modeling of these environments, and the observation of the variables or characteristics found in the microclimate of caves. This is of great importance in the planning and management of natural resources, assisting in the management, planning and conservation of these environments (FREITAS, 2010). Resulting in an important tool to support research on cave environments. In most studies on cave environments, there is a strong presence of works related only to the geology of caves, denoting a lack of studies on the internal microclimatic processes of caves throughout Brazil (LOBO, 2010). The microclimatic scale comprises the atmospheric variations over the surface varying in height according to the aspects found in the landscape (MONTEIRO, 1990; MENDONÇA; DANNI-SILVA, 2007). Becoming the best scale for evaluating the cave atmosphere. Monitoring by means of thermohygrometers that store daily data, statistical analysis and comparison between graphs, allowed us to evaluate the microclimate in the cave Lapa do Boqueirão, located in the municipality of Vila Propício. State of Goiás. The acquired information revealed significant differences of the thermal variability of the cavity in relation to the external environment. Presenting circulation patterns and internal regulation mechanisms of thermal variability between environments that corroborate the characteristic specificities of a microclimate (LUETSCHER; LISMONDE; JEANNIN, 2008; LOBO, 2012). The results obtained in this research serve as support and contribution to studies conducted on the speleological landscape, especially those that consider the microclimatic parameters, and can assist in scientific analysis and decision-making of priority caves for conservation and preservation.

Key words: Caves, Microclimate in caves, Atmosphere, Air temperature, Air humidity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escalas do clima, Macroclima, Mesoclima e Microclima	22
Figura 2 - Variação térmica dos compartimentos de uma cavidade na região do Mediterrâneo, com apenas uma abertura.	24
Figura 3 - Diversidade morfológica dos espeleotemas por influência do gradiente microclimático.	26
Figura 4 - Aspectos do sistema cárstico.	28
Figura 5 - Evolução do carste.	29
Figura 6 - Dolina de Colapso – Formosa – GO.	30
Figura 7 - Lapiás em forma de caneluras – Monjolos – MG.	30
Figura 8 - Sumidouro do Córrego Ribeirão – Mambaí – GO.	30
Figura 9 - Regiões cársticas carbonáticas brasileiras – Schobbenhaus Filho et al., 1981.	31
Figura 10 - Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil.	32
Figura 11 - Mapa de Ocorrências de Cavernas no Brasil.	33
Figura 12 - Ação da água no processo de dissolução e precipitação da calcita sobre o perfil cárstico e formação dos espeleotemas.	36
Figura 13 - Modelo de evolução e desenvolvimento de cavernas hipogênicas.	37
Figura 14 - Localização das cavidades Centro-Oeste.	38
Figura 15. Localização das cavidades por região de planejamento em Goiás e Distrito Federal.	38
Figura 16. UCs em Goiás e Distrito Federal e a distribuição das cavidades pelo território. Fonte: CECAV, 2019. Elaboração: Próprio Autor	40
Figura 17 - Potencial de Ocorrência de cavernas em sobreposição as UCs e localização das cavidades em Goiás e Distrito Federal.	43
Figura 18 - Localização, município de Vila Propício-GO.	44
Figura 19. Localização - Caverna Lapa do Boqueirão, Vila Propício-GO.	45
Figura 20. Blocos abatidos proximo a entrada da cavidade	46
Figura 21. Mapa Caverna Lapa do Boqueirão.	47
Figura 22. Pontos de monitoramento.	51
Figura 23. Localização dos pontos de coleta de dados no interior da caverna Lapa do Boqueirão	52
Figura 24. Interface do software de leitura e gráfico representando os dados do P1 com as variações de temperatura e umidade do ar e as leituras destoantes do dia 17/08 a 04/01/2020 que seguem no canto direito da imagem.	53
Figura 25. Temperatura, Máxima e Mínima.	61
Figura 26. Umidade, Máxima e Mínima	62
Figura 27. Modelo de circulação atmosférica por influência da temperatura, com exagero vertical e horizontal. Acessos mais largos que o interior da caverna apresentam variabilidade constante de temperatura e umidade do ar e condução unidirecional do ar.	64
Figura 28. Direção preferencial dos fluxos de ar na caverna Lapa do Boqueirão.	65
Figura 29. Acesso principal, Lapa do Boqueirão.	66
Figura 30. Acesso principal, Lapa do Boqueirão.	66

Figura 31. Croqui sem escala, com exagero vertical e horizontal da morfologia das estalactites da caverna Lapa do Boqueirão.	67
Figura 32. Espeleotemas caverna lapa do Boqueirão: a) Espeleotemas no interior da cavidade, com ausência total de luz e circulação atmosférica pouco variável; b e c) Gotejamento de calcita em uma estalactite	68
Figura 33. a) Seixos transportados pela circulação pluvial da água para o interior da caverna. b) Erosão lateral do depósito de sedimentos à borda das paredes do conduto.	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação de cavidades naturais.....	34
Quadro 2. Níveis de Classificação da coleta de dados cartográficos de cavernas.....	39
Quadro 4. Especificações e parâmetros do termohigrômetro.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Cavidades Naturais por UCs - Goiás e Distrito Federal	42
Gráfico 2. Variação da temperatura nas estações de monitoramento para o dia 20/09.....	57
Gráfico 3. Variação da umidade relativa do ar nas estações de monitoramento para o dia 20/09	58
Gráfico 4. Variação da temperatura do ar durante o periodo monitorado. Org. Autor	59
Gráfico 5. Variação da umidade relativa do ar durante o periodo monitorado. Org. Autor.....	60

Sumário

1. INTRODUÇÃO: PROBLEMÁTICA DA INVESTIGAÇÃO	14
2. MARCO TEÓRICO E CONCEITUAL.....	16
2.1 Base teórica.....	16
2.2 Microclima cavernícola	20
2.2.1 Escala microclimática.....	20
2.2.2 O microclima em cavernas	23
2.3 Cavernas Naturais Subterrâneas.....	27
2.3.1 Sistemas Cársticos	27
2.3.2 Definição e Gênese.....	33
2.3.3 Epigênese e Hipogênese	34
2.3.4 Distribuição de cavernas naturais: Goiás e Distrito Federal.....	37
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
3.1 Área de Estudo.....	44
3.2 Parâmetros analisados.....	47
3.3 Registro de dados.....	49
3.4 Monitoramento climático.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 Temperatura e umidade do ar	54
4.2 Circulação atmosférica	63
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6. REFERENCIAS	72

1. INTRODUÇÃO: PROBLEMÁTICA DA INVESTIGAÇÃO

De acordo com o Cadastro Nacional de Cavernas (CNC, 2018) que compõe a base de dados da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), no Estado de Goiás está o mais importante sistema cárstico do Centro-Oeste brasileiro. Com destaque para o nordeste goiano, região do Vão do Paranã (onde estão localizados o Parque Estadual de Terra Ronca, Área de Proteção Ambiental da Serra Geral de Goiás e a Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho), entorno de Brasília e municípios ao norte do estado.

O CNC (2018) tem registrados atualmente cerca de 7466 cavernas em todo o Brasil, com a região Centro-Oeste detentora de 1461 cavernas, Goiás com 832 cavidades catalogadas junto ao CNC. Os dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) atualizados em junho de 2019, apontam para o estado de Goiás e Distrito Federal um quantitativo de 1108 cavidades conhecidas e catalogadas. O CECAV também aponta que há aproximadamente 200.000 km² de áreas de sistemas cársticos no Brasil.

Tendo em mente a quantidade e a relevância das cavernas registradas para o Estado de Goiás na composição do patrimônio espeleológico brasileiro. Grande parte desse patrimônio encontra-se fora de unidades de conservação e preservação, indicando um determinado risco para a proteção desse ambiente. E os usos das cavidades demonstram se diversos, desde atividades turísticas (um dos principais usos para o desenvolvimento socioeconômico), mineração, estudos e pesquisas. No quadro geral, existem várias pesquisas realizadas acerca dos ambientes cavernícolas no Brasil, porém, são poucas quando comparadas a grandiosidade do ambiente cárstico presente no território nacional, estima-se que no Brasil haja em torno de 300.000 cavidades (PILÓ; AULER, 2011), onde cerca de 18.012 já foram catalogadas pelo CECAV até dezembro de 2018.

Estudos que abordam os impactos ambientais recorrentes ao uso turístico no ambiente cavernícola, o manejo, ações de conservação e preservação, levam em consideração o monitoramento climático do ambiente subterrâneo (LARIO; SOLER, 2009; FRES, 2010; LOBO, 2010; ROCHA, 2010). Lino (2001), expressa que as cavidades possuem dinâmica climática favorável a estabilidade, em função dos aspectos estruturais da geologia presente. Estas condições devem ser analisadas considerando a morfologia interna da cavidade e sua posição geográfica, que exerce controle na dinâmica atmosférica interna que, por sua vez, influencia nos elementos que compõem a paisagem cavernícola. Condicionando as variáveis do microclima local, de acordo com os níveis de perturbação e interferência nos fluxos de troca de

energia e matéria com o ambiente externo (BAILEY, 2005; LUETSCHER; LISMONDE; JEANNIN, 2008; BADINO, 2009).

Se tratando de um ambiente de aparente estabilidade climática e, sensível a mudanças nos mecanismos de fluxo e energia, a análise em escala microclimática comporta a observação de pequenas oscilações nos parâmetros atmosféricos das cavidades (LARIO; SOLER, 2010). O microclima, de modo geral, compreende a menor escala de análise sobre as condições atmosféricas observadas em superfície ou sobre camadas mais baixas, variando de altura conforme a geografia, posição do relevo, as características ambientais e os elementos presentes em determinada área (GEIGER, 1990; BAILEY, 2005; MENDONÇA; DANNI-SILVA, 2007; FOKEN, 2008).

Monitoramentos, de curta ou longa duração, geram informações que podem determinar as condições atmosféricas sazonais de uma cavidade e, avaliar as diferenças do estado microclimático e as oscilações térmicas existentes nos fluxos entre o ambiente interno e externo (MOREIRA; TRAJANO, 1992; RIBEIRO, 1993; LANDSBERG; OLIVER, 2005; LARIO; SOLER, 2010). Servindo de suporte para a modelagem atmosférica de cavidades sobre diversas condições climáticas, na identificação de impactos e na gestão do patrimônio espeleológico.

A cavidade selecionada para estudo no presente trabalho fica localizada no município de Vila Propício, GO, a 200 km de Goiânia e 180 km de Brasília. Com 5.145 habitantes e 2.181, 583 km² de área territorial sobre o bioma cerrado (IBGE, 2010). De acordo com o relatório estatístico produzido através dos dados disponibilizados pelo CANIE (Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - Ministério do Meio Ambiente, 2019), Vila Propício tem registrados um quantitativo de 35 cavidades, representando cerca de 3,2% das cavernas registradas em todo o estado de Goiás. Desse quantitativo, a presente pesquisa visa como ponto de partida a avaliação em escala microclimática das variações térmicas da caverna Lapa do Boqueirão, Localizada a 40 km da área urbana de Vila Propício.

Não existem pesquisas encontradas para área que tenham como foco a atmosfera cavernícola e, referente a outros trabalhos que tratam de forma referencial o assunto, foi encontrado um que trata da presença de microrganismos na caverna Garganta, Vila Propício - Go, na qual os pesquisadores ressaltam que a presença e distribuição dos microrganismos no ambiente podem variar de acordo com as condições e estabilidade da temperatura e umidade do ar de uma cavidade (RODRIGUES et al., 2009).

A ausência de informações climáticas de cavernas dificulta na elaboração de hipóteses e novas metodologias de estudos e pesquisas do microclima em áreas carsticas no cerrado.

Sendo importante a aquisição de dados preliminares de diversas variáveis que podem ser adotadas, como: temperatura do ar; umidade relativa do ar; concentração de CO₂; direção e fluxo das correntes de ar; índices de saturação higrotérmica; temperatura da água; morfologia das cavidades; direção, desenvolvimento e organização dos espeleotemas (LUNDBERG; MCFARLANE, 2015).

A pesquisa, *a priori*, tem como finalidade compreender em escala microclimática a atmosfera da caverna através dos parâmetros de temperatura do ar, umidade relativa do ar e circulação atmosférica, aferidos *in loco* e analisados estatisticamente dentro do período de monitoramento proposto. Resultando nas observações da circulação atmosférica e do gradiente térmico da cavidade e, sua aparente estabilidade e capacidade de regulação da circulação atmosférica em relação ao ambiente externo.

Somando-se a mais uma contribuição ao desenvolvimento científico dos estudos em cavernas com foco na escala microclimatológica, sobre estudos futuros que considerem uso voltado a visitação turística e, demais atividades em Goiás. Tendo em vista a verdadeira necessidade da realização de mais estudos e pesquisas para aquisição de dados climatológicos sobre as cavernas em Goiás. Um importante fator a ser considerado na escolha de cavernas prioritárias a conservação e preservação.

2. MARCO TEÓRICO E CONCEITUAL

2.1 Base teórica

Diversos estudos e pesquisas sobre o ambiente cavernícola se restringem aos aspectos geológicos ligados a gênese, estrutura e formação de cavernas no carste. Quando levado em conta a importância das mudanças climáticas, as condições para o desenvolvimento da vida, os processos e registros geológicos e paleoclimáticos presentes nos espeleotemas e, na distribuição geográfica do carste as variações referentes ao clima nos ambientes cavernícolas ainda vêm sendo pouco estudadas. Tudo isto soma-se ao desafio de realizar levantamentos de parâmetros atmosféricos no interior de cavernas, dadas as condições e intemperes que o ambiente pode apresentar e as dificuldades logísticas que podem inviabilizar estudos em regiões cavernícolas mais amplas e diversas.

Sobre os estudos que tem como foco principal as variações climáticas em cavidades naturais subterrâneas, Lobo (2010) ressalta que o monitoramento da atmosfera cavernícola surgiu em diversas cavernas pelo mundo por conta do uso turístico, como na Eslováquia em 1870 e na Eslovênia em 1884. Sendo o monitoramento climático de cavernas a principal ferramenta na gestão e manejo do uso de cavernas para turismo (LOBO, 2010).

No Brasil o histórico de pesquisas espeleoclimáticas iniciou por volta da década de 1960. Lobo (2010), divide em três períodos a história do estudo do espeleoclima brasileiro. No primeiro, entre os anos de 1960 e 1980, eram feitas apenas leituras pontuais de temperatura e umidade relativa do ar, durante algumas pesquisas espeleológicas nos estados de Minas Gerais e São Paulo. No segundo período, nos anos de 1990, surgem os primeiros trabalhos de monitoramento do espeleoclima, incluindo a primeira dissertação de mestrado sobre o tema no Brasil. O terceiro período, na virada do século, na qual houve o aumento dos trabalhos de monitoramento para conservação ambiental, assim como de teses e dissertações sobre aspectos específicos da atmosfera subterrânea.

Lobo (2012) faz uma revisão sobre esses estudos, abordando aspectos sobre as variações de temperatura e umidade do ar, a concentração de gases e dos fluxos de energia presentes nesses ambientes, tendo como foco o manejo do turismo em cavernas. Salientando a necessidade de estudos a longo prazo sobre a variabilidade atmosférica das cavernas, tanto para o manejo quanto para a caracterização da atmosfera cavernícola. Dessa forma, os estudos do microclima em cavernas no Brasil têm se desenvolvido de forma sistemática nas últimas três décadas, com foco maior em cavernas de interesses turístico.

Destes trabalhos destacam-se as pesquisas na gruta Olhos d'Água, Castro-PR (CARVALHO, 2001), na gruta do Lago Azul, Bonito - MS (BOGGIANI et al., 2007), estudos da variabilidade atmosférica em cavernas para o zoneamento ambiental por meio do microclima cavernícola (LOBO; PERINOTTO; POUDOU, 2009) e na determinação da capacidade turística na caverna Santana (PETAR, Iporanga – SP) por meio da análise da dinâmica atmosférica subterrânea (LOBO, 2011).

Lino (2001) ressalta que as cavernas apresentam estruturas geológicas que a protegem das variações climáticas que ocorrem de forma abrupta na superfície, resultando em uma dinâmica climática interna particular, que resulta no desenvolvimento e na diversidade da vida animal e vegetal no interior das cavernas. Em um estudo realizado na Gruta Ubajara- CE, verificou-se que a temperatura e a umidade relativa do ar na entrada da caverna apresentavam variações maiores do que no interior da caverna, possuindo maiores alterações no período seco quando comparado ao chuvoso (VERÍSSIMO et al., 2003).

Rocha (2010) caracteriza o microclima das cavernas do Parque Estadual Intervalles – SP em condições naturais, utilizando cinco aparelhos registradores de temperatura e umidade do ar instalados ao longo da galeria superior da gruta, obtendo dados durante o período de dois dias, possibilitando a caracterização física das estruturas das cavidades que influenciam na dinâmica atmosférica interna das cavernas do parque em virtude das atividades turísticas. Lario

e Soler (2010), relacionam a fragilidade da atmosfera interna da caverna Pozalagua (Espanha) e os possíveis impactos do turismo. Propondo mudanças nos regimes de visitação de forma a evitar a perturbação e o equilíbrio deste sistema de forma permanente.

Diversas pesquisas demonstraram que o uso turístico de cavernas tem impacto direto as condições atmosféricas internas, tendo inclusive registros contemporâneos de impactos por uso de carbureteira encontrados em amostras de espeleotemas (FERNÁNDEZ-CORTÉS, 2004; LOBO, 2010). Freitas (2010), argumenta que o manejo de cavernas não se resume simplesmente na determinação dos níveis de uso ou a capacidade de carga turística. Ao contrário, envolve determinar técnicas de gestão ambiental que sejam apropriadas a uma condição específica da caverna ou estado ambiental que deva prevalecer.

Bailey (2005) e Badino (2009), especificam que dentre os fatores que condicionam a variabilidade do espeleoclima estão o confinamento espacial, a estratificação vertical, a baixa movimentação e troca de massa e energia, a pouca disponibilidade ou ausência total de luz solar e a estabilidade relativa dos parâmetros físico-químicos, que são proporcionais ao confinamento espacial, à profundidade e a distância entre o meio externo e ao número e disposição dos acessos para o ambiente externo.

Cigna (1967; 2004), aponta que o movimento das correntes de ar exerce forte influência na atmosfera dentro de cavernas, dividindo a circulação em dois modelos classificados em estáticas ou dinâmicas. As causas estáticas estão ligadas a termodinâmica da cavidade por alteração da temperatura do ar e a oscilação da pressão interna. As causas dinâmicas são associadas à circulação de fluidos como, cursos d'água e a intensidade da circulação do ar.

Essas condições são observadas nos trabalhos de Badino, (2010) e Pflitsch et al (2010), na caracterização de cavernas barométricas, onde os acessos possuem diâmetro menor que o interior da cavidade, na qual a pressão atmosférica condiciona a circulação do ar e a variabilidade da temperatura e umidade do ar. Cavernas dinâmicas, segundo Palmer (2007), Pflitsch et al. (2010), Freitas (2010) e Lobo (2010), apresentam fluxos de ar para dentro e para fora ao mesmo tempo, exercendo trocas de energia e massa com o ambiente externo, condicionando o gradiente térmico principalmente nos acessos, que são mais amplos em comparação ao salões e condutos da cavidade (BAILEY, 2005). Watson e Lovelock, (1983), Luetscher, Lismonde e Jeannin, (2008) expressam que as trocas de fluxos com o ambiente externo classificam as cavidades como um sistema aberto e de condição homeostática.

Taboroši, Hirakawa e Sawagaki (2005) apontam que as variações no microclima local podem afetar profundamente a precipitação de carbonato. Isso pode ser insignificante no

interior de cavernas, mas é intenso em ambientes climáticos menos estáveis, como nos acessos das cavernas e nas zonas de penumbra. Nessas situações, o microclima pode exercer controle primário sobre as características de desenvolvimento ativo de estalactites, superando outros fatores, principalmente as propriedades da água de gotejamento (CIGNA, 2004; PALMER, 2007; PFLITSCH et al., 2010).

Nehme et al. (2016) reforça que o crescimento de estalagmites em cavernas está intensamente ligado às condições climáticas externas. Para isso, o estudo de alta resolução dos sinais químicos contidos em sua estrutura interna (lâminas ou camadas de deposição) permite reconstruir as variações nos parâmetros climáticos e, portanto, a sazonalidade do clima atual e passado. Resultados esses que Novello (2016), obteve por meio de análises de registros de paleo-precipitação, apoiado em mais de 5000 análises isotópicas de oxigênio e carbono encontrados em estalagmites coletadas em cavernas da região Centro-Oeste. Os resultados obtidos pelo autor apresentaram as variações climáticas, e os níveis de umidade sobre o carste, incididas no Centro-Oeste durante os últimos 30 mil anos. Estes estudos reforçam a importância dos depósitos minerais como registro das condições climáticas passadas e, que estudos presentes podem ser de grande importância no entendimento das mudanças do clima em escala global (TORTELLI, 2009).

Ribas e Carvalho (2009, p 92) ressaltam que as cavernas representam um bem da União de uso público, demonstrando a importância desse ambiente que está sujeito a um “regramento que as diferenciam dos bens de uso comum, de uso especial e de uso dominical”. Brilha (2005) aborda que os ambientes geológicos são especificados pelos fenômenos e processos que moldam a paisagem, dão origem as formações rochosas, minerais, fosseis, solos dentre outros elementos que servem de suporte a vida na terra.

As cavidades apresentam estes processos em seu confinamento espacial que originam registros paleoambientais, podendo resultar em fatores importantes na classificação de uma caverna como patrimônio geológico (LOBO; BOGGIANI, 2013). Nesse contexto, as cavidades naturais são elementos representativos da geodiversidade cárstica, por caracterizar um ambiente de alta fragilidade e vulnerabilidade que influenciam nos aspectos marcantes e condicionantes da dinâmica de alteração e formação da paisagem cavernícola (FREIRE et al., 2016).

2.2 Microclima cavernícola

2.2.1 Escala microclimática

Sorre (1951, p. 13) define o clima como o “ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera acima de um dado lugar em uma sucessão habitual”. Nessa definição o autor traz a noção de escala e de ritmo climático, sendo o clima ainda considerado pelo autor como fator determinante nos limites espaciais para o desenvolvimento e adaptação dos seres humanos e na disponibilidade e capacidade de produção dos meios necessários a sobrevivência (SORRE, 2002). Assim, o clima deve ser percebido pela magnitude das escalas e as relações de seus componentes entre si em um dado ponto, área ou região do planeta. Monteiro (1999), em discussão sobre três grandes fenômenos climáticos em atuação naquele período (El Niño, Seca do Nordeste e Inundações metropolitanas) no âmbito da geografia aponta o problema das escalas geográficas do clima.

Quando anunciamos que o clima de um lugar (espaço) é a resultante do comportamento dinâmico mais habitual ou recorrente da atmosfera, cronologicamente desenvolvido (tempo) sobre aquele dado lugar, teremos o problema de definir que lugar é este. Ele pode variar desde o globo terrestre, passando pelos continentes, regiões, países até atingir um dado lugar (ponto) que pode ser uma pequena ilha, uma grande, média ou pequena cidade que, por sua vez, poderá ser subdividida em bairros, setores, ruas etc. Creio que ao apontar o caráter específico de cada caso, podemos extrair vários pontos de relevância na abordagem geográfica do clima (MONTEIRO, 1999, p. 10).

Estudos sobre clima desdobram-se em escalas de tempo e espaço, tendo sua descrição baseada em termos de valores dos elementos climáticos particulares. Ribeiro (1993, p. 1) nos apresenta que a escala é uma “referência de valor arbitrada” de acordo com as variáveis relevantes para entendimento de um fenômeno.

Os estudos dos fenômenos relacionados com o comportamento da atmosfera são orientados no sentido da compreensão de sua extensão (espaço) e de sua duração (tempo). A definição da intensidade, frequência e, finalmente, de uma tipologia climática dependerá, basicamente, da adequação da abordagem espaço-temporal com o conjunto de técnicas analíticas empregadas no processo da pesquisa e comunicação dos seus resultados (RIBEIRO, 1993, p. 1).

Dessa forma, o clima configura um coletivo estatístico, como aborda Landsberg e Oliver (2005), que apesar das condições e variações atmosféricas seguirem as leis da física, as mudanças diárias e de maior intervalo de tempo, que para muitos propósitos, podem ser tratados quase como variações aleatórias e serem representados por modelos estatísticos (LANDSBERG; OLIVER, 2005).

A análise climática em conformidade as características e a dimensão dos aspectos geográficos presentes na paisagem terrestre, que se almeja considerar, devem desdobrar-se em

estratificações, camadas e precisamente escalas de análise, adotadas de forma a corresponder as variáveis que estes ambientes possam apresentar. Entre essas escalas encontra-se o microclima: escala atmosférica de altitude moderada em relação ao nível do terreno. Monteiro (1990) enfatiza a noção da escala microclimática na análise das relações entre os pontos sobre a superfície terrestre e a capacidade de alteração do homem:

Tendo em mente o grau de articulação das escalas geográficas do clima, notadamente nos níveis inferiores [...] cada ponto de observação está inserido no nível microclimático onde a capacidade de alteração do homem está em seu apogeu (MONTEIRO, 1990, p. 9).

Segundo Mendonça e Danni-Silva (2007), para o estudo do clima em uma determinada área é importante tomar conhecimento dos controles climáticos que a mesma está sujeita. Esses controles referem-se às escalas de análise, pois:

Um clima particular (escala local e/ou microclimática, dada via circulação terciária) é definido sobre aspectos de primeira grandeza (escala zonal, macroclimática, dada via circulação primária) e de segunda grandeza (escala regional, mesoclimática, via circulação secundária). Essa hierarquia se aplica em todo e qualquer estudo do clima, independentemente da unidade climática estudada (MENDONÇA; DANNI-SILVA, 2007, P. 83).

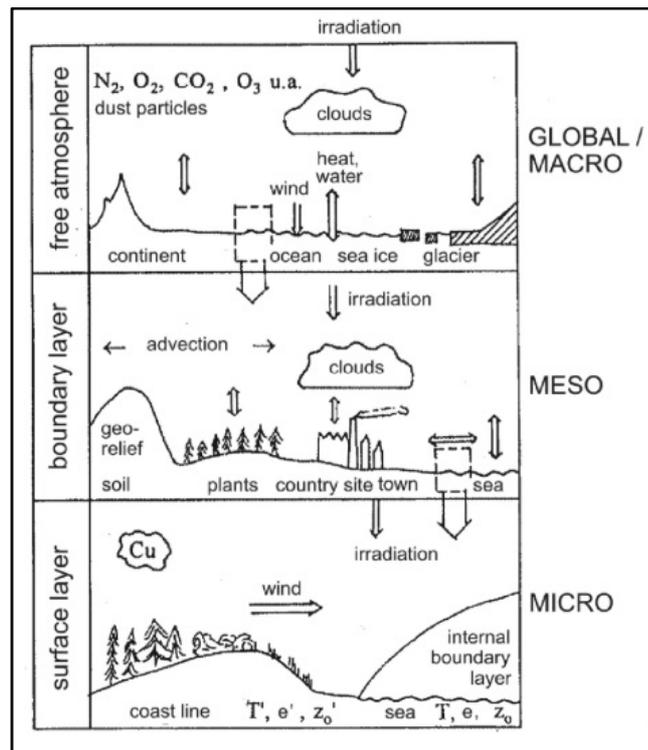
Os autores descrevem também a importância da escala temporal nos estudos climatológicos, divididos em escala geológica, escala histórica e escala contemporânea. Para o presente trabalho foi escolhida a escala contemporânea, caracterizada pela geração de dados climatológicos por uma ou mais estações de medição em intervalos temporais, preferencialmente igual ou superior a 30 anos. Contudo, séries de dados climáticos de curta duração (meses, semanas, dias e intervalos de horário), modelos que se baseiam em tendências e variabilidades climáticas em pequenos espaços de tempo também são enquadrados na escala contemporânea (MENDONÇA; DANNI-SILVA, 2007).

Conforme apresentado acima, o conhecimento e análise das variáveis de interesse num recorte escalar torna-se importante para entendimento da atmosfera, a influência sobre os elementos presentes na superfície e os possíveis impactos causados pelo ser humano. Percebendo os diferentes microclimas que cada área pode apresentar conforme suas características, dimensão espacial dos objetos sobre a paisagem e as variadas formas em que o microclima vem sendo entendido e apresentado como escala de análise.

Geiger (1990) refere-se ao microclima como a camada de ar próxima à superfície, a aproximadamente 2m, que devido ao atrito da circulação do ar, em maior ou menor grau com as feições sobre o solo, altera sua velocidade e conseqüentemente influencia na mistura do ar, que equilibra a diferença do fluxo atmosférico em espaços de menor proporção (GEIGER,

1990). Bailey (2005) e Foken (2008) apontam que o microclima se estende desde a camada superficial a subsuperficial, variando de altura conforme as características encontradas nos ambientes apresentam parâmetros distintos do clima local, com trocas de energia e matéria, sugerindo que vários microclimas podem ser identificados de acordo com os elementos presentes na paisagem.

Figura 1 - Escalas do clima, Macroclima, Mesoclima e Microclima.



Fonte: FOKEN (2008) *apud* HUPFER (1996)

A figura 1, ilustra as várias escalas do clima e os fenômenos associados a elas. O microclima é perceptível principalmente nas interações que ocorrem na camada superficial, por exemplo, os processos de radiação e troca de matéria perto da superfície do solo e efeitos da superfície subjacente. Entretanto, a convecção de nuvens (cumulos) não é considerada parte do microclima (FOKEN, 2008).

Para Mendonça e Danni-Oliveira (2007) o microclima consiste na menor e mais imprecisa escala de análise atmosférica, podendo variar de poucos centímetros para dezenas de metros. Os autores ainda ressaltam que:

Os fatores que definem essa unidade dizem respeito ao movimento turbulento do ar na superfície (circulação terciária), a determinados obstáculos à circulação do ar, a detalhes do uso e da ocupação do solo, entre outros. Quando se fala em microclima, geralmente, fala-se de áreas com extensão espacial muito pequena; podem ser citados

como exemplo o clima de construções (uma sala de aula, um apartamento), o clima de uma rua, à beira de um lago etc. (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 24).

Portanto o microclima representa uma escala de maior detalhe no monitoramento e análise do comportamento térmico em diferentes ambientes. Gerando enfoques em dimensões espaciais de menor proporção e, na relação entre os elementos sobre a superfície terrestre, como construções e edificações e, as feições geomorfológicas sobre a paisagem e o relevo (morros, montanhas, serras e vales), que alteram a circulação atmosférica em superfície. A inclinação e direção geográfica do relevo altera os níveis de incidência solar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Lugares com umidade elevada tendem a apresentar níveis de temperatura mais altas, como em florestas e bosques. A radiação do sol incidente sobre a superfície terrestre acarreta a irradiação para a atmosfera, estabelecendo uma interação dinâmica entre os processos de trocas de fluxo e energia, possibilitando identificar características microclimáticas específicas de cada local, sendo o microclima a escala mais próxima dos indivíduos (RIBEIRO, 1993; SANTOS; SILVA, 2011).

Nos estudos sobre a atmosfera em superfície, Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 41) abordam que os elementos climáticos mais utilizados na caracterização são a temperatura, a umidade e pressão atmosférica. Que são despontados pela nebulosidade, precipitação, circulação do ar e pelas ondas de calor e frio que derivam das relações estabelecidas entre as feições e objetos do espaço geográfico e os elementos climáticos citados acima.

Como apresentado anteriormente, Bailey (2005) e Foken (2008) definem a subsuperfície como camada microclimática. Na qual feições presentes sobre a paisagem em diferentes regiões do mundo apresentam ambientes desenvolvidos abaixo da superfície, entre eles as cavernas. Cavidades naturais, que apesar das características relacionadas a sua formação confinada, são constituídas sobre rochas carbonáticas, graníticas e sedimentares, apresentam relações de troca de fluxos e energia com o ambiente externo. Possuindo também um ciclo climático, na qual a escala microclimática se torna aplicável e viável para entendimento dos fenômenos atmosféricos de ocorrência no interior de determinada cavidade.

2.2.2 O microclima em cavernas

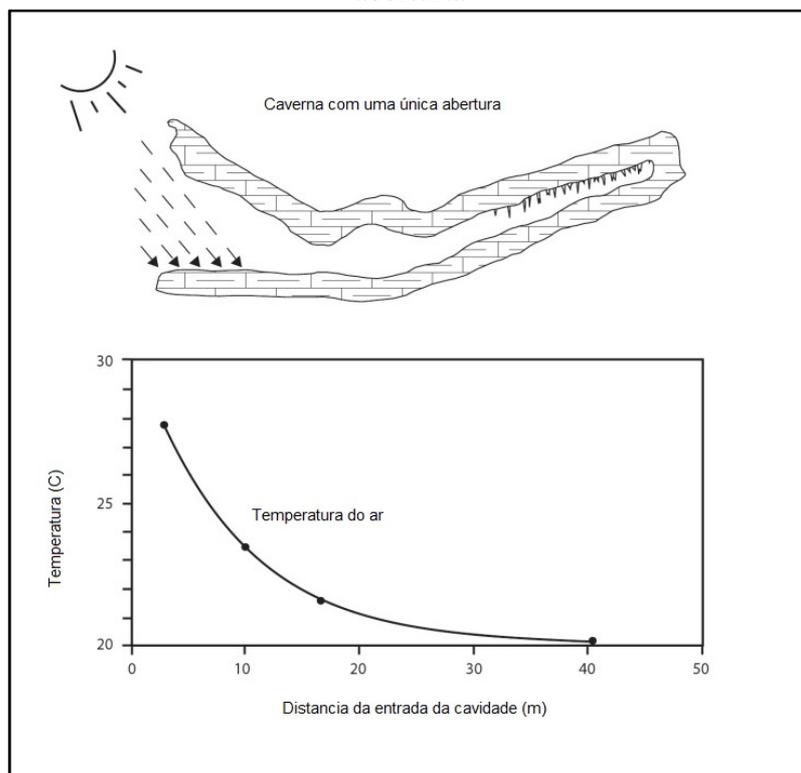
No ambiente de cavernas a atmosfera é distinta por diversas particularidades presentes nesse ecossistema que o distinguem dos demais sistemas atmosféricos presentes na natureza, como a ausência de luz nas zonas de maior profundidade subterrânea, a baixa incidência de

energia solar, o isolamento das galerias, acumulação de gases, drenagem e estrutura geológica (BUECHER, 1999). Possuindo uma dinâmica interna própria constituída de fatores bióticos e abióticos e pela inter-relação entre os mesmos, que influenciam o microclima de uma cavidade (MORAIS; SOUZA, 2009). Lino (2001) aborda que as especificidades que as cavidades naturais possuem proporcionam um ambiente estável e peculiar:

“O ambiente cavernícola *stricto sensu* é considerado um dos mais peculiares e estáveis existentes na biosfera. A capa rochosa que cobre e resguarda as cavernas das variações climáticas bruscas que ocorrem na superfície dá a esse ambiente uma série de características próprias, que condicionam a diversidade de vida animal e vegetal que se desenvolve em seu interior” (LINO, 2001, p. 203)

No ambiente cavernícola a atmosfera apresenta características de processos semelhantes aos da superfície terrestre, com troca de energia e massa dos fluxos hídricos e gasosos e a ação de processos físico-químicos, configurando um sistema aberto e homeostático, com mecanismos de regulação inter-relacionados, viabilizando a estabilidade primária das condições atmosféricas (WHATSON, LOVELOCK, 1983; LUETSCHER; LISMONDE; JEANNIN, 2008; LOBO, 2012; 2013). Essas particularidades em relação ao ambiente externo fazem com que as cavernas apresentem características atmosféricas próprias de um ambiente subterrâneo, sendo estas consideradas um microclima.

Figura 2 - Variação térmica dos compartimentos de uma cavidade na região do Mediterrâneo, com apenas uma abertura.



Fonte: Adaptado de Bailey (2005) e Geiger (1961)

No modelo apresentado na figura 2, a entrada da cavidade recebe a radiação solar e apresenta uma temperatura relativamente quente, no interior da caverna as paredes apresentam um estreitamento formando uma passagem alongada e apertada. Nessa passagem ocorre uma diminuição da turbulência da circulação do ar, causando uma diminuição da temperatura do ar e elevando a umidade (BAILEY, 2005). No modelo proposto por Bailey, o microclima da caverna é estável e capaz de regular os mecanismos de troca de energia com a superfície. Freitas (2010), situa que os processos que determinam o microclima de quase todas as cavidades que possuem poucos ou único acesso é dado pela advecção (transmissão do calor por intermédio do deslocamento da massa atmosférica no sentido horizontal) de calor e umidade.

Por se tratar de um sistema aberto apresentando os mesmos processos da superfície, a modelagem atmosférica padrão de uma cavidade não deve levar somente em consideração a aparente estabilidade em estágio estacionário do ambiente, como proposta por Watson e Lovelock (1983). As alterações no modelo para cavidades podem ser percebidas pela simplificação da Biosfera, considerada ineficaz na regulação da retroalimentação do ambiente. No caso das cavidades, este tema ainda não vem sendo um constante alvo de estudos.

Segundo Lobo (2010), a presença de colônias de morcegos em cavidades representa uma possibilidade de alteração dos parâmetros térmicos do ambiente por conta do depósito e acúmulo de excrementos, que interagem com ambiente físico pelos gases e depósitos de compostos orgânicos, gerando até mesmo espeleotemas, o que representa uma possibilidade preliminar da retroalimentação em cavidades (LOBO, 2010; LUNDBERG; MCFARLANE, 2015). Como o apresentado por Moreira e Trajano (1992):

O fundo de cavernas, por apresentar um ambiente estável, permite aos morcegos uma conservação máxima de energia, se as condições topoclimáticas forem favoráveis à sua manutenção. [...] nas cavernas estudadas são encontradas grandes populações de morcegos, que se concentram nos salões e galerias mais distantes, ocasionando a formação de depósitos de guano de largas proporções [...] na Venezuela, temperaturas de até 40 graus Celsius são registradas em cavernas, devido ao efeito do calor corporal dos morcegos e da fermentação de suas fezes... Essas evidências [...] fez-nos supor que o principal fator regulador da temperatura no fundo dessas cavernas seja o calor corporal dos morcegos, bem como da fermentação dos depósitos de guano no solo (MOREIRA; TRAJANO, 1992, p. 78,79).

Por conformar um ambiente de aparente estabilidade climática, a adoção da escala microclimática permite a observação de pequenas oscilações nos parâmetros atmosféricos das cavidades (LARIO; SOLER, 2010). Devido a sua escala espacial e a dinâmica inerente nas trocas de energia e massa com a superfície, fazendo com que estas especificidades da fisiografia das cavernas (topografia, acessos, geometria da cavidade e fluxos de água) sejam adotadas em diversos estudos como espeleoclima ou microclima de cavernas, termo utilizado para

diferenciar os significados gerais de um microclima como escala de análise para cavidades (LOBO, 2011; 2012).

As variáveis do microclima em cavidades também influenciam nos elementos que compõem a paisagem interna, alterando o arranjo dos espeleotemas, os fluxos e depósitos minerais e nas formas de vida presente (CIGNA, 2004; PFLITSCH et al., 2010). Estes elementos servem de registro das condições climáticas e ambientais do passado, sendo as principais informações encontradas em espeleotemas como as estalactites e estalagmites (NEHME et al., 2016; NOVELLO, 2016). Dados paleoclimáticos retroalimentam as análises do microclima em cavernas, possibilitando extrair informações que forneçam suporte para compreensão da dinâmica atmosférica e suas implicações sobre mudanças da paisagem cavernícola.

Figura 3 - Diversidade morfológica dos espeleotemas por influência do gradiente microclimático.

illumination	DAYLIGHT	REDUCED	MINIMAL	NONE
Temperature	Daily variations		Reduced variations	
Humidity	Wide range (60-90%)		Narrow range (80-95%)	
Hypothetical cave profile	Entrance		Inner cave	
Expected morphologies of stalactites	[Diagram showing diverse, irregular stalactite shapes]		[Diagram showing uniform, vertical stalactite shapes]	
Petrology	Crumbly, porous, unordered, heterogeneous fabrics		Hard, dense, organized fabrics	
Crystal size	Microcrystalline		Macrocrystalline	
Biology	Biologic processes dominant		Biologic influence	
Rock type	TUFA		SPELEOTHEMS	

Fonte: TABOROSI; HIRAKAWA; SAWAGAKI (2005)

Observar os padrões de crescimento vertical dos espeleotemas serve de inferência para entender as variáveis de temperatura e umidade, padrões da circulação do ar e a presença de água atuando no intemperismo químico da rocha, gerando gotejamento do depósito mineral que forma os espeleotemas, favorecendo principalmente a formação de estalactites (SELF, 2009; QUEEN, 2009). O arranjo morfológico e a direção do desenvolvimento vertical dos espeleotemas podem ser usados para determinar a circulação predominante do ar (TABOROSI; HIRAKAWA; SAWAGAKI, 2005; PALMER, 2007; QUEEN, 2009). As correntes de ar

influenciam na flutuação da umidade interna principalmente na zona afótica, concentrando moléculas de água, nas paredes e espeleotemas, que condensam devido a saturação da umidade no ambiente (FREITAS; SCHMEKAL, 2003; PLAMER, 2007).

Outro processo é o ressecamento dos depósitos minerais dos espeleotemas por influência da intensidade e força da circulação do ar, que evapora a água residual ocorrendo liberação de CO₂, alterando o arranjo estrutural dos cristais que dão origem a espeleotemas com dureza, porosidade e morfologia distintas encontradas entre os compartimentos de uma cavidade (FREITAS; SCHMEKAL, 2003; TABOROSI; HIRAKAWA; SAWAGAKI, 2005; PALMER, 2007).

O comprimento e diâmetro dos condutos cavernícolas são responsáveis pela circulação do ar no ambiente subterrâneo (BADINO, 2009). Variações constantes de temperatura e umidade do ar são observadas em cavidades com mais de um acesso, maiores que o interior, sendo o gradiente térmico, o desnível vertical e a diferença da pressão atmosférica com o exterior os agentes que regem a dinâmica atmosférica interna.

Os estudos da atmosfera subterrânea nos ambientes cavernícolas justificam-se pela necessidade de compreensão dos mecanismos de interação atmosfera-rocha, de modo a identificar sua contribuição para o processo de espeleogênese na paisagem do carste (CIGNA; FORTI, 1986). Também se fazem importantes na compreensão do clima passado (paleoclima) e as alterações do clima global pelos registros encontrados nas camadas de depósitos mineralógicos que originam espeleotemas e no desenvolvimento, direção de crescimento e organização dos mesmos (TORTELLI, 2009; ROCHA, 2010). E dos processos geológicos contidos na gênese e desenvolvimento de cavidades e, das formas de vida presentes.

2.3 Cavidades Naturais Subterrâneas

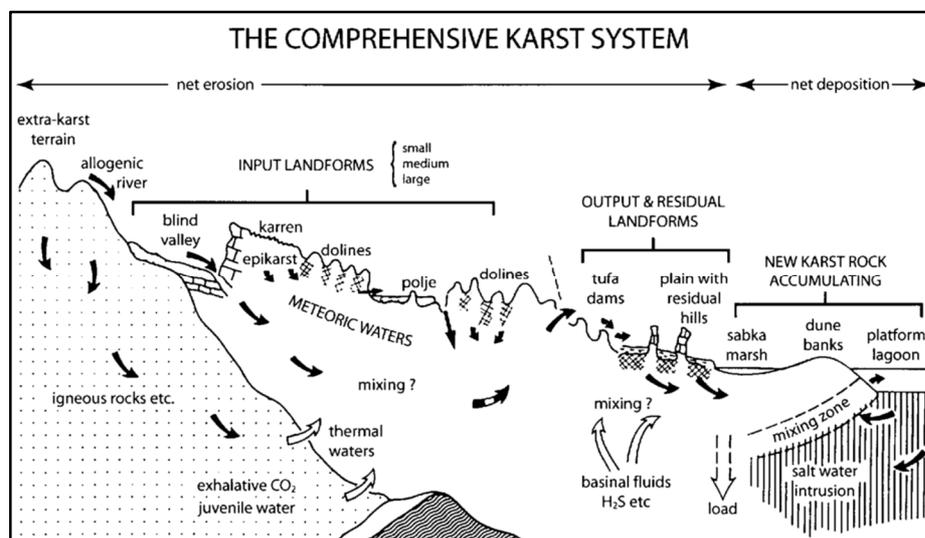
2.3.1 Sistemas Cársticos

Cavernas são ambientes cuja uma de suas principais características é observada em sua estrutura, formação e disposição geográfica sobre o carste. Formadas principalmente pela dissolução de rochas solúveis, como calcário, dolomito, metaconglomerados e folhelhos (CUNHA; GUERRA, 2011; CAVALCANTI et al., 2012). De acordo com Christofolletti (1980), a gênese do carste em rochas calcárias inicia com águas do regime pluvial que penetram na rocha calcária, e a água enriquecida com CO₂, antes de penetrar a rocha, infiltra no solo e escoar para os poros da rocha carbonática, reagindo com a rocha (CHRISTOFOLETTI, 1980). Dando origem a uma, das várias formas de relevo que se desenvolvem sobre o sistema cárstico, como

dolinas, lapiás, paredões de rochas, cânions, sumidouros e ressurgências de canais de drenagem (LOBO, 2011).

Delineando uma das condições notáveis sobre o ambiente cárstico: cavernas com extensos sistemas de água subterrânea que se desenvolvem especialmente sobre rochas solúveis, como calcário, gesso e mármore, podendo ter quilômetros de comprimento (FORD; WILLIAMS, 2007, p. 28). Resultando em uma baixa drenagem superficial, e predominando a drenagem subterrânea. Sendo a água um dos principais agentes de alteração e transformação sobre as formas de relevo identificadas no carste (AULER; ZOGBI, 2005, p.16).

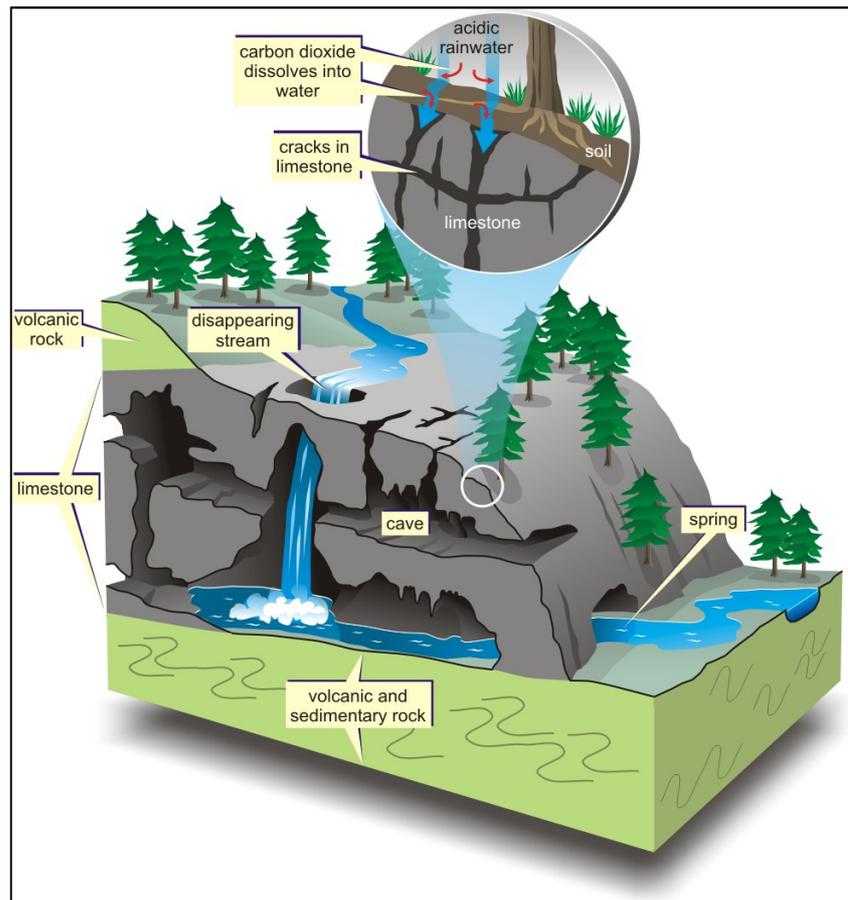
Figura 4 - Aspectos do sistema cárstico.



Fonte: FORD; WILLIAMS (1989, 2007)

O carste é compreendido e compartimentado em exocarste (ambiente externo), sobre a qual as formas de relevo desenvolvem-se no ambiente superficial e endocarste (ambiente interno), configuram processos que são desenvolvidos no subterrâneo do carste. O exocarste pode ser concebido como o conjunto de formas de relevo que configuram a paisagem cárstica, embora sejam várias as possibilidades de formações, estas podem variar de acordo com as condições e características de cada região, por influência de processos tectônicos, altitude, clima e vegetação por exemplo. Auler, Piló e Saadi (2005, p. 327) referem que “em regiões cársticas bem desenvolvidas, é possível identificar morfologias específicas (lapiás, maciços calcários, vales cegos e dolinas), como também drenagem predominantemente subterrânea”.

Figura 5 - Evolução do carste.



Fonte: Geoscape Nanaimo (2014)

As formações típicas, encontradas comumente no carste são: Dolinas – Depressões ovais, circulares ou semicirculares sobre a superfície, oriundas por dissolução e subsidência de rochas; Uvalas – Depressão resultante do encontro ou junção de duas ou mais dolinas; Lapiás – Dissolução superficial das rochas que formam caneluras e sulcos sobre afloramentos de rochas calcárias; Poljé – Caracterizado como uma grande depressão cárstica originada pela dissolução de extensos grupos e áreas de rocha calcária, também conhecido como planície cárstica, que podem se estender por quilômetros (AULER; PILÓ; SAADI, 2005, p. 323; FORD & WILLIAMS 2007, p. 3).

Figura 6 - Dolina de Colapso – Formosa – GO.



Fonte: Davi Calaça, Secretaria de Turismo de Formosa (2012)

Figura 7 - Lapiás em forma de caneluras – Monjolos – MG.



Foto: TRAVASSOS, 2010. Fonte: TIMO, 2014

Figura 8 - Sumidouro do Córrego Ribeirão – Mambá – GO.



Fonte: Autoria própria (2015)

O endocarste designa o ambiente subterrâneo do carste, na qual as cavernas e condutos marcam o seu principal aspecto, recebendo os depósitos químicos, orgânicos e clásticos (PILÓ, 2000). Podendo evoluir mesmo sem o contato direto com os agentes exógenos da rocha e o intemperismo em superfície, tendo como principal agente de transformação a circulação da água subterrânea que penetra sobre o solo e a rocha, e as águas de origem hipogênica (profunda).

Estima-se que no Brasil a cerca de aproximadamente 200.000 km² de áreas de sistemas cársticos, conforme o mapa geológico (Figura 9) apresentado por Schobbenhaus Filho et al. (1981). Ocorrendo estas áreas na maior parte sobre carbonatos antigos, datados do Pré-Cambriano e cretáceo, em regiões com estabilidade tectônica e condições sazonais de variação

climática. Para Travassos (2007a) as regiões cársticas são marcadas pela presença de rochas solúveis como calcário e dolomito, podendo serem formadas por rochas de menor capacidade solúvel, não carbonáticas, como arenitos e quartzitos (siliciclásticas).

As regiões com ocorrência de rochas siliciclásticas são comumente designadas como *pseudocarste*, possuindo feições similares dos presentes nas regiões de rochas calcárias com dolinas, cavernas e condutos de drenagem subterrânea. Formam-se em áreas com sedimentos inconsolidados, gelo (se ocorrer), solo congelado (permafrost) e lava consolidada, na qual a gênese e evolução e acarretada principalmente por processos mecânicos (TRAVASSOS, 2007a, p. 39).

Figura 9 - Regiões cársticas carbonáticas brasileiras – Schobbenhaus Filho et al., 1981.

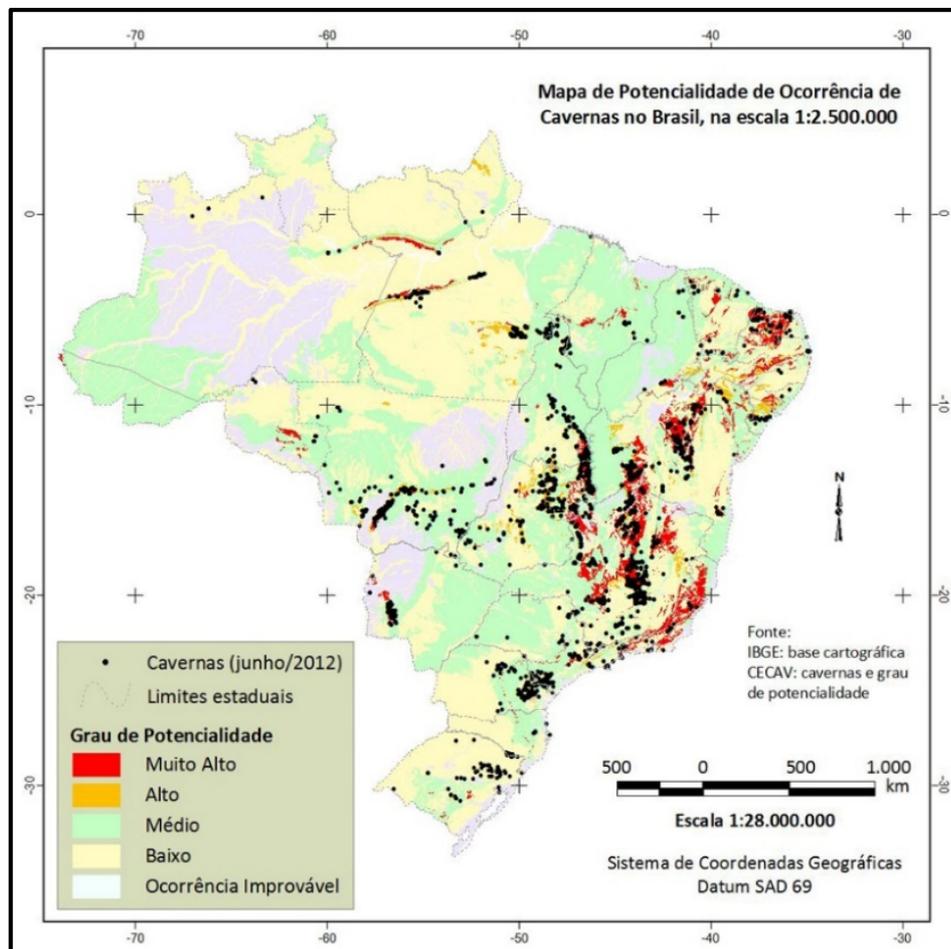


Fonte: Adaptado por AULER; PILÓ; SAADI (2005)

Karmann e Sánchez (1979), definiram a primeira classificação de regiões cársticas no Brasil, baseadas nas ocorrências de rochas carbonáticas identificadas, onde os pesquisadores definiram cinco regiões: Alto Rio Paraguai (Mato Grosso), Bambuí (Minas Gerais, Bahia, Tocantins, Goiás e o Distrito Federal), Serra da Bodoquena (Mato Grosso do Sul), Vale do Ribeira (entre os estados de São Paulo e Paraná) e Chapada de Ibiapaba (Ceará).

Auler, Rubbioli e Brandi (2001) elaboraram uma nova caracterização do carste brasileiro geologicamente refinada tendo como base o mapa geológico elaborado por Schobbenhaus Filho et al., 1981, onde identificaram a distribuição de 14 áreas carsticas no Brasil, além de áreas sem rochas carbonáticas. Boa parte dessas áreas estão inseridas nos estados da Bahia, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Em 2009 o CECAV por intermédio de dados contidos no Mapa Geológico do Brasil (CPRM, 2003), das informações litoestratigráficas do Geobank da CPRM (2007) e dos dados das cavidades brasileiras do acervo de informações do CECAV, ampliaram a classificação de Auler, Rubbioli e Brandi (2001), resultando no Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas (figura 10).

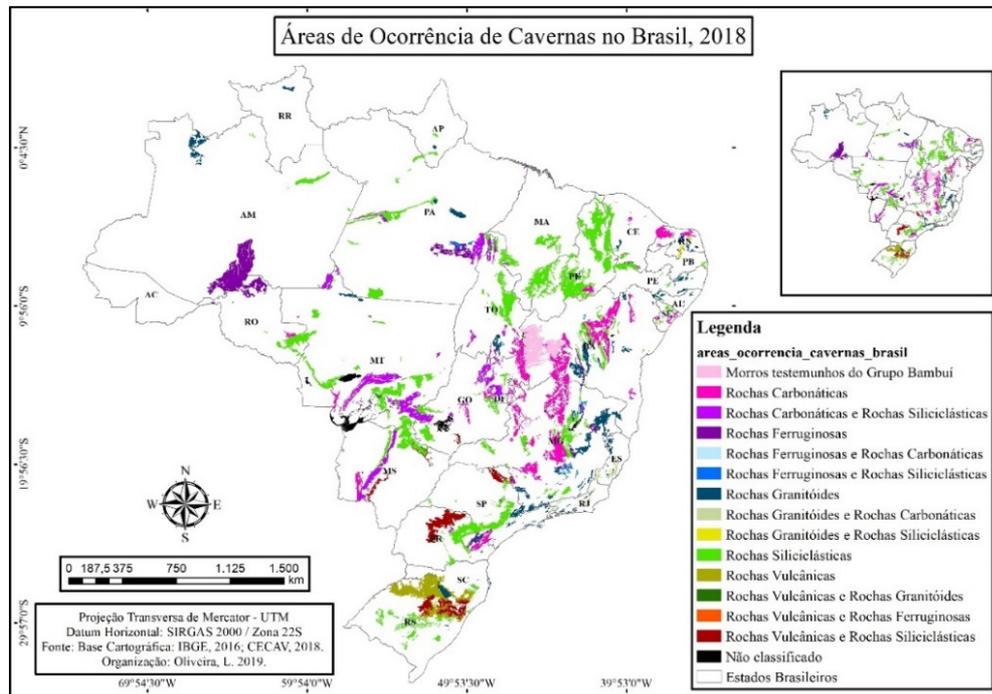
Figura 10 - Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil.



Fonte: JANSEN, CECV (2009)

Os estudos sobre a classificação e delimitação das regiões carsticas no Brasil realizados pelo CECAV seguiram posteriormente, sendo publicado em 2018 o atual mapa das Áreas de Ocorrências de Cavernas no Brasil (figura 11), com 17.875 cavidades cadastradas no período e quatorze (14) regiões carsticas, nomeadas pelo CECAV como áreas de ocorrências de cavernas.

Figura 11 - Mapa de Ocorrências de Cavernas no Brasil.



Fonte: CECAV (2018). Organização: Autoria própria (2019)

2.3.2 Definição e Gênese

Cavidades naturais subterrâneas, popularmente conhecidas pela alcunha de *Cavernas*, tem em sua maioria no Brasil origem e formação relacionada a dissolução de rochas carbonáticas, desenvolvendo-se sobre um eixo vertical ou horizontalmente em subsuperfície (CAVALCANTE et al., 2012). Por consequência de processos químicos e físicos, tendo a água como principal agente de transformação. Lino (2001) conclui que as cavernas são definidas como:

[...] cavidades subterrâneas penetráveis pelo homem, formadas por processos naturais, independentemente do tipo de rocha encaixante ou de suas dimensões, incluindo o seu ambiente, seu conteúdo mineral e hídrico, as comunidades animais e vegetais ali abrigadas e o corpo rochoso onde se inserem (LINO, 2001, p.94).

Os processos de espeleogênese, por sua vez, sofrem influências diversas conforme os agentes de transformação, como a rocha matriz, a porosidade das rochas e composição química da água interagendo sobre o carste (WORTINGHTON, 2003). Spoladore (2004) ressalta que as cavidades naturais se desenvolvem de forma mais facilitada em áreas carbonáticas, ricas em minerais de alta dissolução, como evaporitos, sendo a água fundamental no processo de intemperismo, remoção mecânica de matérias insolúveis, transporte e deposição de materiais detríticos e particulados.

A calcita, mineral presente em rochas como mármore e calcários, é um carbonato de cálcio, que em contato com águas que absorveram quantidades pequenas de dióxido de carbono,

forma o ácido carbônico - $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$ - capaz de dissolver o carbonato de cálcio, formando carbonato ácido de cálcio - $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow CaH_2(CO_3)_2$ – também denominado bicarbonato de cálcio. Os pesquisadores Auler e Piló (2011, p.25) definem que os processos básicos que formam as cavernas em regiões de rochas carbonáticas pode ser expresso pela equação:



Onde:

A água da chuva absorve dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera e se torna ácida devido à formação de ácido carbônico (H_2CO_3). Esta água ao entrar em contato com a rocha já é capaz de dissolver o calcário. Esta mesma água, ao penetrar no solo absorve ainda mais dióxido de carbono associado a raízes de plantas e ao húmus. Ao atingir a rocha a água estará bastante ácida, podendo então dissolver o calcário e alargar as fraturas da rocha (AULER; PILÓ, 2011, p.25).

Em rochas como arenito e quartzito, o processo de dissolução da sílica presente nas rochas é tido como o principal agente na formação de cavernas em litologias não carbonáticas. A sílica e o quartzo possuem baixa solubilidade, sendo mais solúveis em áreas de clima quente. Nesse processo, a lenta dissolução da rocha pela circulação da água abre canalículos, que por ação mecânica vão sendo alargados conforme a água remove as partículas de quartzo. Desse modo a espeleogênese das cavidades sobre rochas siliciclásticas não se dá somente pela ação da água, sendo este importante no processo inicial de modificação, no entanto, a ação mais efetiva na formação de cavernas em quartzitos e arenitos é dada por processos mecânicos, tectonismo e erosão dos condutos (AULER; PILÓ, 2011).

2.3.3 Epigênese e Hipogênese

A formação de uma caverna e sua evolução é um processo lento, que pode acarretar milhões de anos para ser desenvolvida, e vários fatores condicionam esse processo que por meio das múltiplas variáveis envolvidas na espeleogênese condicionam a multiplicidade de formas e tamanhos que cavidades naturais podem apresentar (AULER; PILÓ, 2011).

As cavernas podem ser categorizadas (quadro 1) de acordo com a morfologia e tamanho diversificado, podendo serem classificadas em grutas, tocas, abismo, dolina, abrigo e fosso (LINO, 2001).

Quadro 1. Classificação de cavidades naturais

Tipo de cavidade	Dimensões
Grutas	Desenvolvimento horizontal de pelo menos 20 metros.

Abrigos sob rocha	Pouco profundas e abrigadas em paredes rochosas
Tocas	Semelhantes às grutas, porém com até 20 metros de desenvolvimento horizontal.
Abismos	Desenvolvimento vertical com desnível igual ou superior a 10 metros, e diâmetro de entrada menor que seu desnível.
Fossos	Desenvolvimento vertical com desnível inferior a 10 metros, e diâmetro de entrada menor que seu desnível.
Dolinas	Depressões fechadas, circulares ou elípticas (em geral, mais largas que profundas) formadas por dissolução em superfícies rochosas ou por abatimentos gerados por dissolução de rochas em profundidade, com diâmetro variando de poucos a centenas de metros.

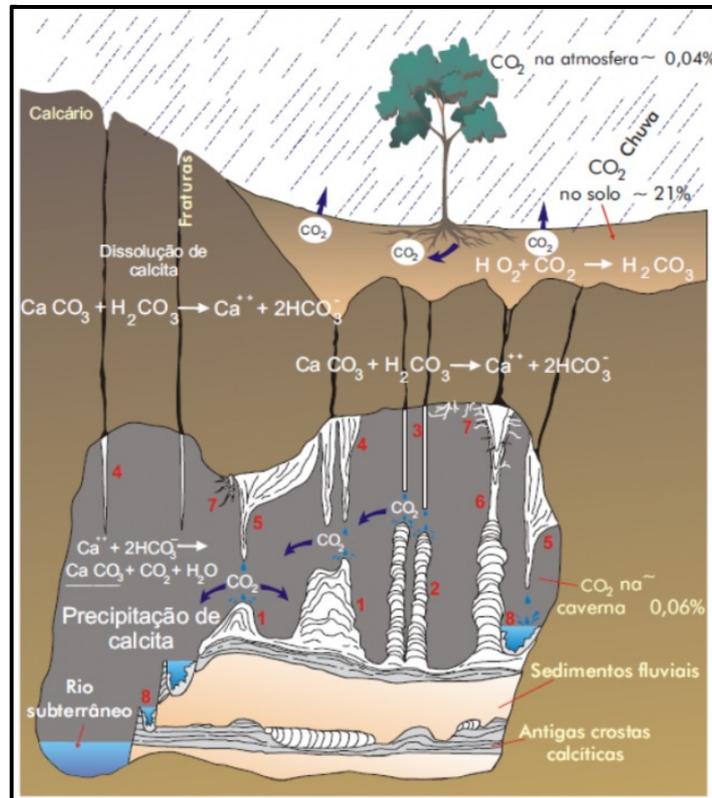
Fonte: Lino, 2001

Os estudos sobre a gênese e evolução das cavidades naturais abordam diversos aspectos sobre a formação do ambiente cavernícola, levando em conta modelos para compreensão da espeleogênese em diversas regiões carsticas. Entre estes, os modelos principais considerados tratam da *epigênese* e *hipogênese*.

Cavernas epigênicas são oriundas pela ação da água em superfície, seja pelo escoamento superficial e dos canais de drenagem, das águas em zonas de recarga e do regime de precipitação (águas meteóricas), que por gravidade escoam sobre as formações superficiais em rochas carbonáticas, como: dolinas, lapiás, condutos e sumidouros (AULER; PILÓ, 2011; ROS; LLAMUSÍ; SÁNCHEZ, 2014). A epigênese compreende a maior parte das cavernas existentes, de acordo com Auler e Piló:

Nas cavernas epigênicas a água se infiltra no maciço rochoso a partir do exterior. A maneira como está infiltração se dá será importante na definição o padrão das galerias. Em locais onde o infiltração é pontual, como por exemplo em um sumidouro ou em fundo de dolina, a tendência será a formação de uma caverna do tipo dendrítica. [...] no caso de uma infiltração difusa, como em uma zona de inundação, cavernas labirínticas do tipo reticulado ou anastomótico podem se formar. [...] as cavernas podem ocorrer em todos os tipos de zonas hidrológicas. Na zona freática, os condutos tenderão a escolher o percurso mais simples de acordo com o gradiente hidráulico, em direção à zona de descarga. Assim sendo as fraturas e os planos de acamamento mais propícios serão utilizados (AULER; PILÓ, 2011 p. 30).

Figura 12 - Ação da água no processo de dissolução e precipitação da calcita sobre o perfil cárstico e formação dos espeleotemas.



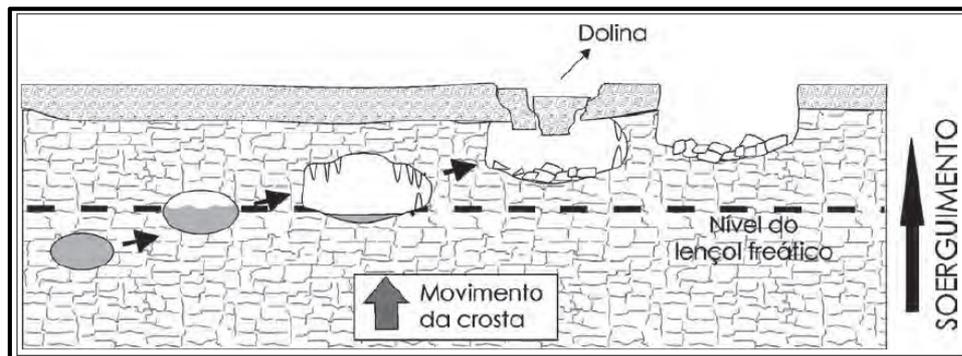
Fonte: Teixeira et al., (2000)

Cavernas hipogênicas passam por outro processo, que advém por intermédio da água em subsuperfície (aquíferos, nível freático) que age na dissolução da rocha (ROS; LLAMUSÍ; SÁNCHEZ, 2014). Auler e Piló (2011) abordam que em uma caverna hipogênica:

[...] o agente ativo na dissolução provém da subsuperfície, podendo ser tanto ácido carbônico quanto ácido sulfúrico. A água ascendente, normalmente aquecida devido à profundidade, pode vir carregada destes ácidos. Cavernas criadas desta forma são denominadas cavernas hidrotermais. Ácido sulfúrico é o agente principal na gênese de muitas cavernas hipogênicas. Pode ser produzido a partir do gás H₂S que ascende pela rocha e se mistura com a água subterrânea produzindo o ácido sulfúrico que dissolve a caverna. [...] Cavernas hipogênicas diferem em alguns aspectos importantes de suas correspondentes epigênicas. Como foram criadas a partir do interior da rocha, não possuem qualquer relação com o terreno superficial. (AULER; PILÓ, 2011, p.33).

Os autores ainda destacam que as cavidades formadas por processos hipogênicos não possuem necessariamente entradas que permitam acesso humano ou animal. Normalmente estas se dão por intermédio de fraturas e abatimentos fortuitos devido a obstrução de condutos por meio do rebaixamento natural da superfície.

Figura 13 - Modelo de evolução e desenvolvimento de cavernas hipogênicas.



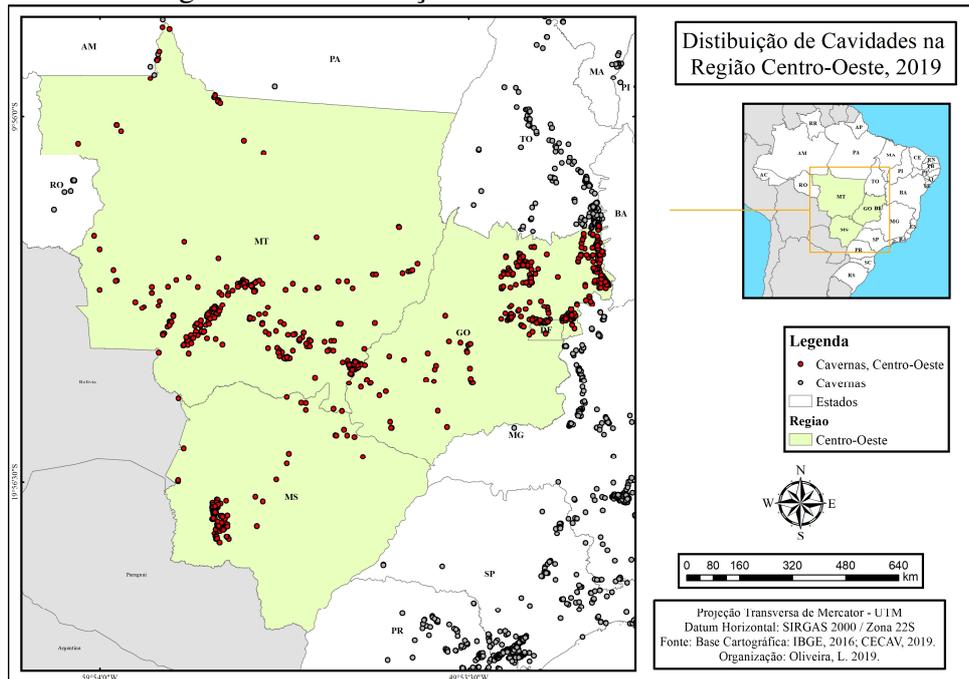
Fonte: AULER; PILÓ, 2011

Essas características, segundo os autores, legam as cavidades hipogênicas uma falsa impressão de representarem uma tipologia rara dentro do contexto espeleológico, que por não possuírem muitos acessos diretos em superfície podem permanecer à margem das descobertas e investigações científicas por espeleólogos (AULER; PILÓ, 2011).

2.3.4 Distribuição de cavidades naturais: Goiás e Distrito Federal

Goiás possui o segundo maior e mais importante sistema cárstico da região centro oeste (CNC, 2017). Dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), atualizados em junho de 2019, apontam somente para o estado de Goiás e Distrito Federal um quantitativo de 1108 cavidades conhecidas e cadastradas na base de dados do CANIE. O CANIE disponibiliza por meio de sua plataforma digital relatórios quantitativos com dados tabulados sobre as cavidades do Brasil.

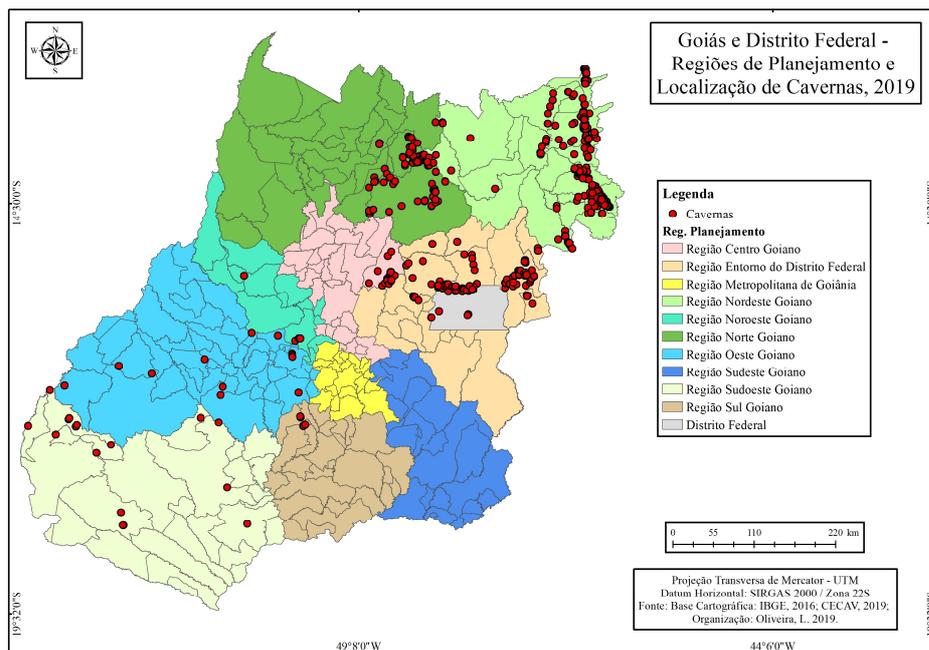
Figura 14 - Localização das cavidades Centro-Oeste.



Fonte: CECAV, 2019. Elaboração: Autoria própria (2019)

Os dados dos relatórios apontam um total de 18.971 cavidades naturais conhecidas em todo o Brasil atualmente. 974 cavernas cadastradas em todo o estado de Goiás, equivalendo a 5,13% das cavernas conhecidas em todo o Brasil, e o Distrito Federal com 134 cavidades, representando apenas 0,71% do quantitativo nacional (CANIE, 2019).

Figura 15. Localização das cavidades por região de planejamento em Goiás e Distrito Federal.



Fonte: CECAV, 2019. Elaboração: Autoria própria (2019)

O nível de validação (quadro 2) dos dados cartográficos referentes a localização das cavidades (figura 14) é estabelecido pelo Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE). Com a proposta de conjugar dados espeleológicos sobre as cavernas conhecidas para todo o Brasil, o CANIE estabeleceu critérios administrativos para o cadastramento e refinamento das informações de localidades, que são atualizadas e disponibilizadas para o público, periodicamente.

Divididos em 4 critérios que tem como partida pontos referentes a localização mais exata possível da entrada principal da caverna de acordo com a precisão mais próxima do par de coordenadas pontuadas no local. O que viabiliza uma precisão maior quanto a localização geográfica das cavidades.

Quadro 2. Níveis de Classificação da coleta de dados cartográficos de cavernas

Nível 0:	Dado cadastrado sem validação de unidade da federação e município;
Nível 1:	Dado cujas coordenadas situam-se dentro da unidade da federação e do município informado pelo cadastrante. As cavernas cadastradas pelo CECAV encontram-se inseridas nesse nível;
Nível 2	Dado cujas coordenadas foram coletadas ou conferidas in loco segundo os procedimentos metodológicos definidos pelo CECAV;
Nível 3	Dado cujas coordenadas se referem à caverna de nível 2, devidamente topografada, com mapa inserido e disponibilizado no Cadastro.

Fonte: CANIE/CECAV, 2009. Organização: Próprio Autor.

Levando em conta os níveis de classificação em relação a validação das cavidades localizadas, das 1108 cavidades, 911 têm classificação de nível 1 e apenas 193 tiveram classificação de nível 2, resultando em cerca de apenas 18% das cavidades localizadas no estado de Goiás e DF que tiveram dados coletados e conferidos de acordo com a metodologia de coleta de dados relativos a catalogação de cavernas proposta pelo CANIE/CECAV (2009). E quando se refere aos dados cartográficos das cavernas em 3º nível, na qual há a realização de levantamentos topográficos e o mapeamento das cavidades, nem uma caverna encontra se cadastrada nesse nível dentro da base do CANIE.

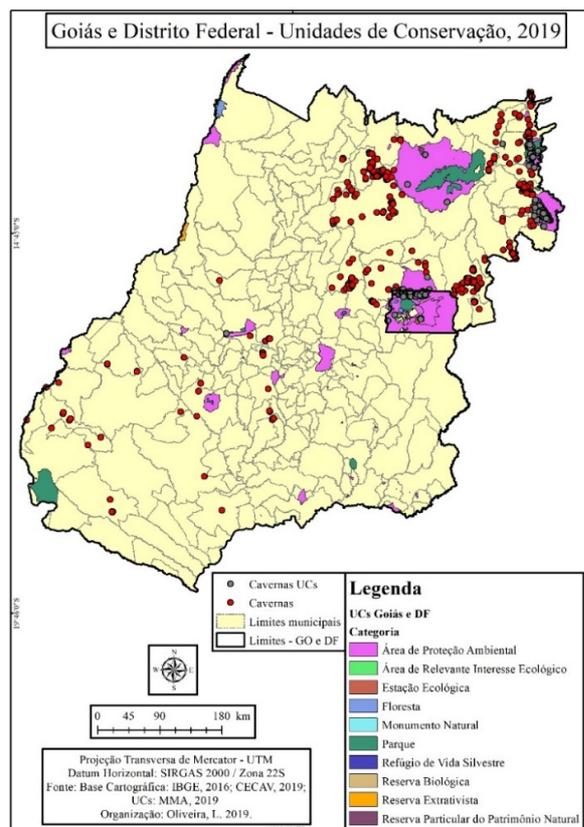
Importante ressaltar que os números referentes a validação da localidade das cavidades, apresentados acima, foram feitos com base nos dados disponibilizados em dezembro de 2017, na qual o quantitativo de cavernas apresentado para Goiás e DF era de 1104 cavidades, ante 1108 na atualização realizada em junho de 2019. Os últimos incrementos de dados vetoriais do CANIE, a partir de dezembro de 2017, não apresentaram mais essas informações. Do mesmo modo com o quantitativo de cavidades inseridas, dentro e fora, das UCs do Brasil. Sobre os tipos de rochas e unidades geológicas, os usos exercidos nas cavidades cadastradas e se nas

mesmas existem projetos, estudos, pesquisas, processos de licenciamento e demais interesses relativos a exploração do ambiente cavernícola.

De acordo com o CANIE, a base de dados congrega informações, estudos e pesquisas provenientes do CECAV, o já extinto CODEX, da rede Espeleologia Brasil, o Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) e a Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), que possui informações referentes a mapas e outros dados topográficos e gerais sobre cavernas, com mais de 20.000 registros em sua base de dados, disponíveis para consulta.

A defasagem de atualizações dessas informações e a divulgação das mesmas de modo parcial e sem maior rigor em relação a validação dos dados pelo órgão, podem acarretar problemas para execução de projetos de gestão do patrimônio espeleológico dentro e fora de UCs, ações de fiscalização e controle, pesquisas e atividades da espeleologia em cavernas brasileiras.

Figura 16. UCs em Goiás e Distrito Federal e a distribuição das cavidades pelo território.



Fonte: CECAV (2019). Elaboração: Autoria própria (2019)

Atualmente no Estado de Goiás e no Distrito Federal existem 90 unidades de conservação (UCs) distribuídas pelo território em diferentes regiões, com maior presença de UCs no DF, Região Nordeste e Norte de Goiás divididas em diferentes categorias como: Área

de Proteção Ambiental (APA); Área de Relevante Interesse Ecológico; Estação Ecológica; Floresta Nacional (FLONA); Monumento Natural; Parque; Refúgio da Vida Silvestre; Reserva Biológica; Reserva Extrativista (RESEX); Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

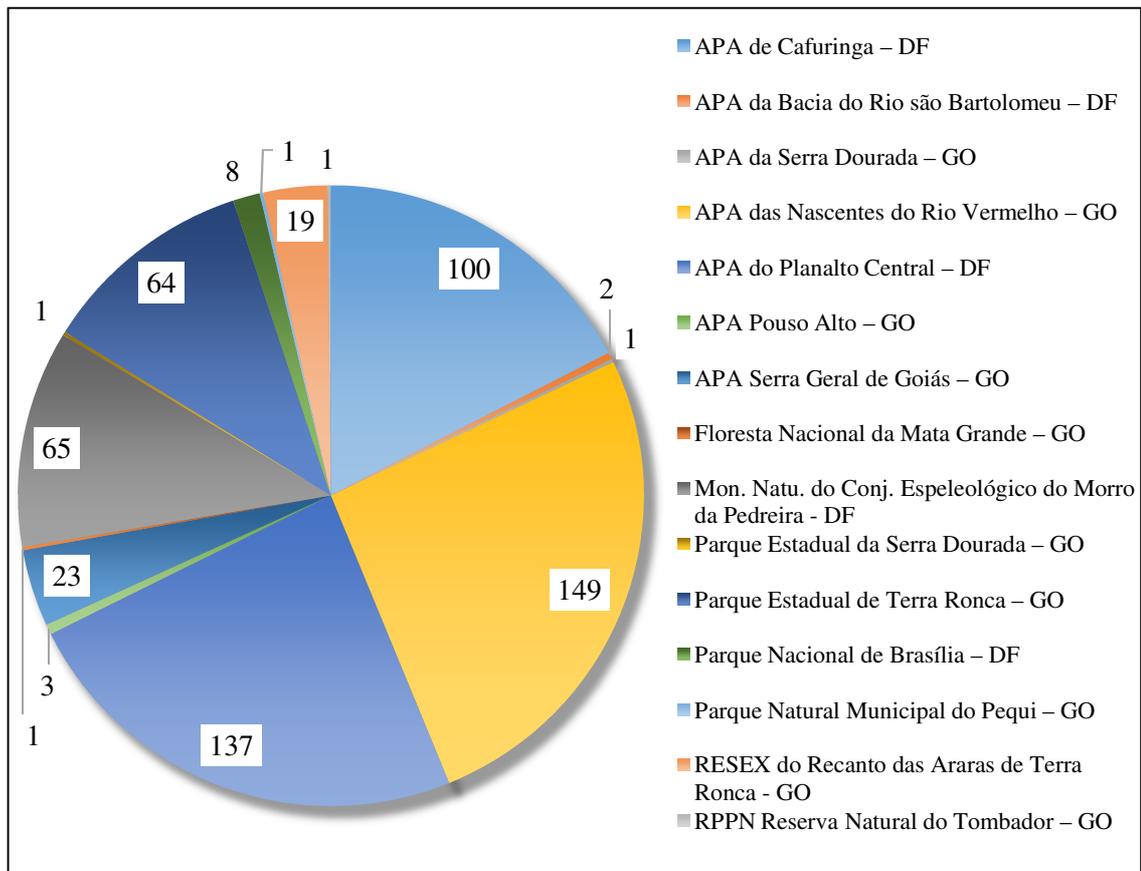
As UCs compõem o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), foi implantada pela lei nº 9.985 em 18 de julho de 2000, e regulamentada via Decreto Federal nº 4.340 em 22 de agosto de 2002. Tornando um instrumento de gestão legal que visa oferecer suporte, estabilidade e segurança para as ações de conservação e preservação das áreas protegidas em todo o Brasil, pelas esferas municipais, estaduais e federais. De acordo com o Ministério do meio Ambiente (MMA, 2008):

A conservação da biodiversidade in situ, por meio da criação e implementação de Unidades de Conservação (UC), é uma ferramenta indispensável para que o país consiga cumprir os compromissos constitucionais internos e os diversos acordos internacionais firmados. Além do mais, é primordial para a preservação dos bens naturais, minimização dos problemas oriundos da 'crise ambiental', e promoção da qualidade de vida da sociedade. [...] algumas categorias de Unidades de Conservação protegem também o patrimônio histórico-cultural, e as práticas e o modo de vida das populações tradicionais, permitindo o uso sustentável dos recursos naturais. (MMA, 2008, p. 3)

As UCs no Estado de Goiás e Distrito Federal exercem um importante papel na conservação e preservação do cerrado remanescente, da fauna e flora presentes, do patrimônio geológico e espeleológico e dos recursos naturais. Preservando os elementos da paisagem natural, conciliando os diferentes interesses inerentes aos usos múltiplos, buscando implementar a coesão entre o meio natural e a sociedade. Servindo como um instrumento fundamental de política pública e ambiental com o objetivo de conservar e preservar o ambiente natural. Um elo na divulgação e conscientização em relação as questões ambientais no Brasil.

Quanto ao patrimônio espeleológico, as UCs exercem suma relevância quando o assunto é a proteção das cavidades naturais. Das cavernas conhecidas e catalogadas atualmente em Goiás e no Distrito Federal, 575 encontram se inseridas em UCs (quadro 3), o que representa 52% do total de cavidades do Estado e DF (Total 1108).

Gráfico 1 - Cavidades Naturais por UCs - Goiás e Distrito Federal

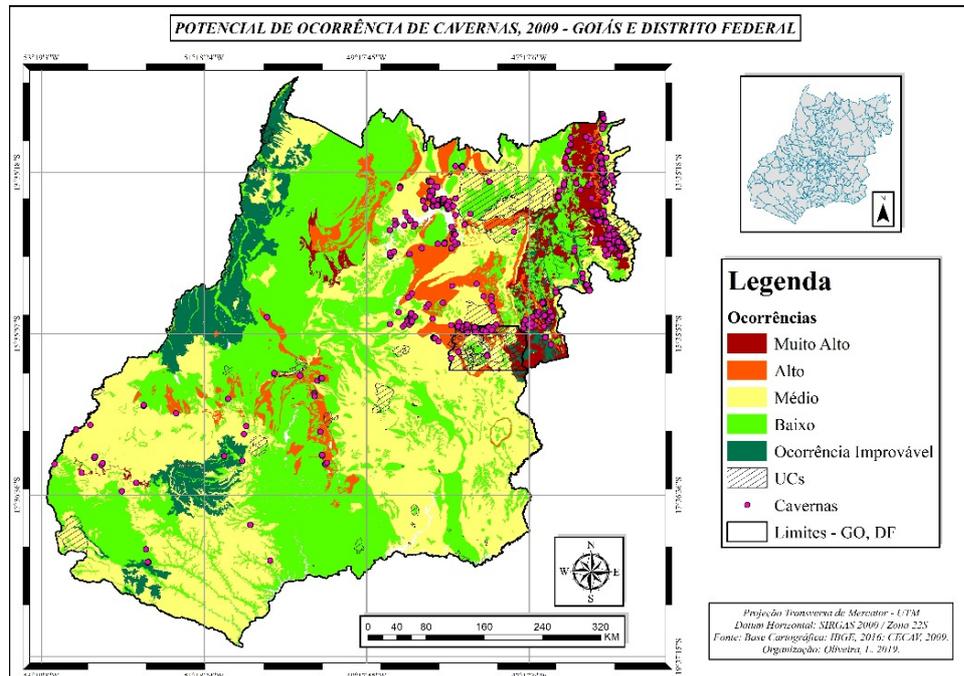


Fonte: CECAV, 2019. Organização: Autoria própria (2019)

A figura 15 e o quadro 3, apresentados anteriormente, expressam a comparação quantitativa de cavernas inseridas em UCs e a distribuição espacial das cavidades sobre o território. É possível observar no mapa a relação de grandeza sobre as cavidades naturais espalhadas pelo Estado de Goiás e Distrito Federal e as dimensões das áreas de atuação das UCs presentes. O que denota a relevância do SNUC sobre o contexto estratégico para proteção do patrimônio espeleológico, apresentando UCs que abarcam um quantitativo considerável de cavidades conhecidas em áreas dispersas do território. Tendo maior representatividade as regiões do entorno do DF e o nordeste goiano, ambas apresentam o maior número de cavernas registradas e as UCs com maior dimensão territorial. Destacando-se a APA das Nascentes do Rio Vermelho - GO (149), APA do Planalto Central - DF (137) e APA da Cafuringa - DF (100), o que representa 35% de todas as cavernas conhecidas presentes em Goiás e DF.

A posição estratégica das UCs pode ser observada novamente sobre o mapa do potencial de ocorrência de cavernas para o Estado de Goiás e Distrito Federal. A figura 17 apresenta o potencial de ocorrência classificados em 5 classes: *Ocorrência Improvável*, *Baixo*, *Médio*, *Alto* e *Muito Alto* (JANSEN, 2009).

Figura 17 - Potencial de Ocorrência de cavernas em sobreposição às UCs e localização das cavidades em Goiás e Distrito Federal.



Fonte: JANSEN, 2009; CECAV, 2019. Elaboração: Autoria própria (2019)

É possível observar uma grande faixa classificada como Alto e Muito Alto que se estende por toda face leste da região nordeste de Goiás e no entorno do DF. Onde estão as UCs: APA da Serra Geral, Parque Estadual de Terra Ronca e APA das Nascentes do Rio Vermelho. A faixa onde as ocorrências são muito altas inserem-se sobre as rochas calcárias do Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba e algumas ocorrências na formação Sete Lagoas, essa faixa é a que apresenta quase o total de cavernas conhecidas e catalogadas em todo o estado e DF. As ocorrências de Médio e Baixo potencial ocupam a maior parte do território e uma estreita faixa sobre a Serra Geral na divisa com o Estado da Bahia. Ocorrência Improvável é observada em maior extensão sobre a bacia do Rio Araguaia em Goiás e na Região Sudoeste do Estado, ocupando proporções menores em relação as demais ocorrências classificadas.

O norte de Goiás exibe pequenas faixas de alta, média e baixa ocorrência, no entanto apresenta um grande número de cavidades aglomeradas a oeste e sul dos limites da APA de Pouso Alto. A APA de Pouso Alto até 2017 não avia registros oficiais de cavernas, passando para duas cavidades em 2018, e três registros na atualização de junho de 2019 do CECAV, todos sobre as áreas de média e baixa ocorrência. Isso salienta a importância do monitoramento contínuo das cavidades, do cadastro ao refinamento da classificação e abrangência das ocorrências de cavernas e dos demais elementos que compõem a paisagem do carste em todo o

Brasil, sendo importante no acompanhamento e evolução temporal das descobertas espeleológicas e na gestão desse patrimônio natural.

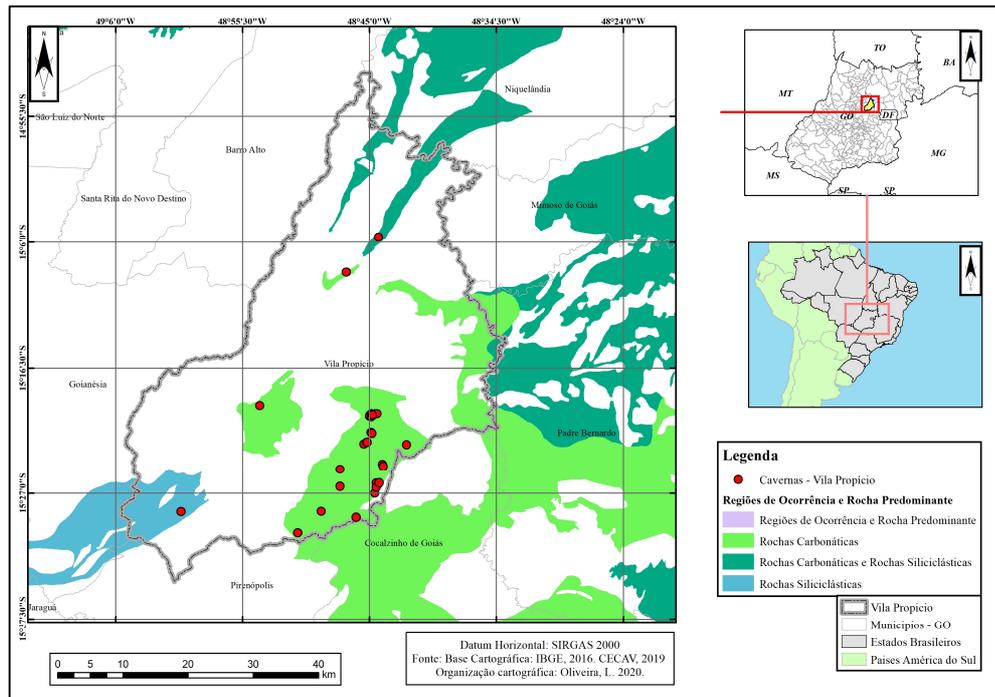
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Área de Estudo

O Município de Vila Propício fica localizado no estado de Goiás, a 200 km de Goiânia e 180 km de Brasília. O Último censo do IBGE (2010) aponta para o município 5.145 habitantes, estimada para 2020 em 5.882, densidade demográfica de 2,36 hab/km² e área territorial de 2.181, 583 km².

A economia local é pautada pela agropecuária, agricultura de soja e cana-de-açúcar, mineração (brita e calcário agrícola) e extração vegetal (IMB, 2020). Outra importante atividade para economia local é o ecoturismo. Grutas, cavernas e lagos estão entre os principais atrativos do município, que é cortado pelos rios: Maranhão, dos Patos e Verde. Em que parte se destaca o espeleoturismo, o afazer de maior procura entre turistas e grupos de espeleologia. Promovendo uma fonte alternativa de renda para moradores que exercem a função de guias pelas trilhas e caminhos de acesso as cavernas.

Figura 18 - Localização, município de Vila Propício-GO

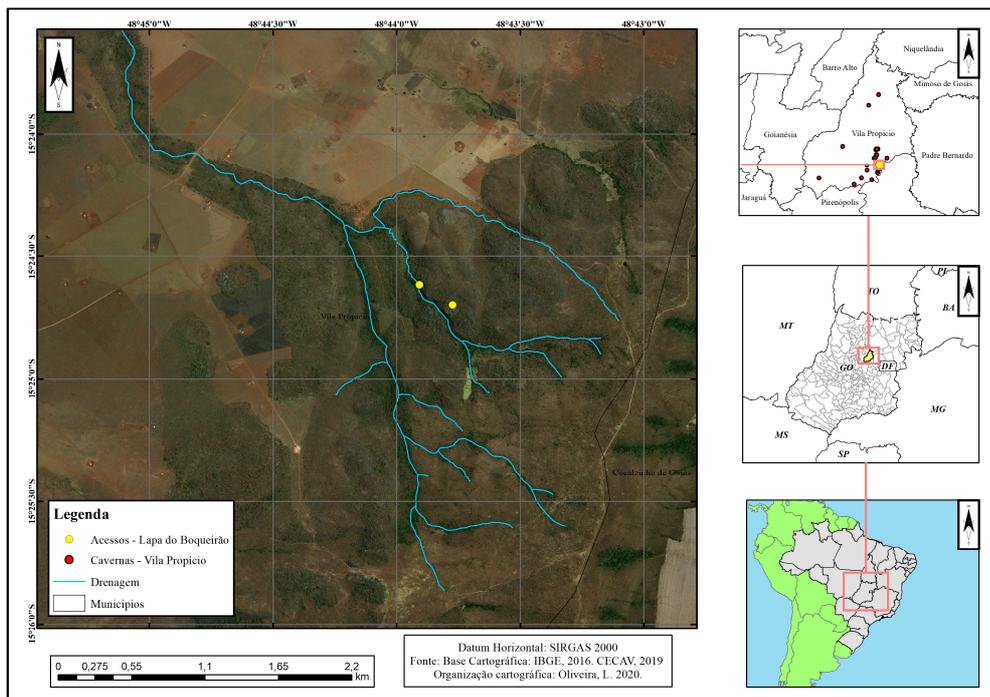


Fonte: Autoria própria (2020)

Vila Propício tem registrados 35 cavernas, com 564,764 km² de áreas propensas a ocorrência de cavernas (figura 18), com a presença de rochas carbonáticas e siliciclásticas quem cobrem em torno de 25% da área territorial do município (CECAV, 2019). Entre as mais conhecidas estão: Caverna Samambaia, Caverna do Bigode, Caverna Tubarão, Lapa do Fuzil e Lapa do Boqueirão (FREITAS; DIAS; MOMOLI, 2019).

A Lapa do Boqueirão, caverna analisada nesta pesquisa, fica localizada a aproximadamente 40 km do centro urbano de Vila Propício (figura 19). Inserida na microbacia do Córrego Pai José, em uma área destinada a reforma agrária no assentamento Marly Peixoto de Oliveira, antiga fazenda Bom Jesus Brejão. A fazenda com área de 1.354,8541 ha, foi desapropriada pelo INCRA através da portaria de n^o 18, de 05 de julho de 2017, por ser considerada improdutiva, em seguida loteada e destinada a ocupação de 60 famílias (INCRA GOIÁS, 2017).

Figura 19. Localização - Caverna Lapa do Boqueirão, Vila Propício-GO



Fonte: Autoria própria (2020)

O acesso a caverna é por uma trilha que inicia próximo à casa de um dos assentados. A trilha passa por trechos de mata aberta e fechada que levam ao fundo de vale, onde a caminho segue sobre um canal de drenagem seco. Nas proximidades da entrada da cavidade, onde a mata fechada e os paredões de rocha calcária destacam-se, possui grandes blocos de rochas abatidas recobertos de fungos, folhas e galhos (figura 20).

Figura 20. Blocos abatidos próximo a entrada da cavidade



Fonte: Autoria própria (2019)

Para adentrar a cavidade é necessário escalar estes blocos, não havendo a necessidade de equipamentos específicos para escalada. No entanto, oferecem grau médio de dificuldade ao visitante devido a possibilidade de desequilíbrio, quedas e torções sobre os blocos, representando um risco. Apesar da visitação constante, a trilha e a caverna não possuem infraestrutura de acesso ou placas de aviso e informações. Sendo importante o acompanhamento de guias locais durante as visitas.

No portal de entrada da Lapa do Boqueirão sobre a linha d'água das rochas, que marca o limite entre o ambiente externo e interno, é possível perceber a presença de espeleotemas como: estalactites e estalagmites. A fauna local apresenta morcegos, aranhas, entre outros invertebrados. Seguindo para o interior, os condutos apresentam largura, sinuosidade e alturas com baixas variações, não oferecendo dificuldades para a passagem.

A realização do estudo ocorreu por meio da obtenção e análise dos parâmetros climáticos da caverna. Lobo (2012) realizou um levantamento acerca dos estudos do microclima cavernícola no Brasil, na qual o autor cita os parâmetros físico-químicos e climáticos mais abordados dentro dos estudos do microclima em cavernas, como: temperatura do ar, composição e temperatura de rochas, análise de espeleotemas, umidade relativa e absoluta do ar, pressão atmosférica, condensação, fluxos de água e fluxos de ar.

É importante destacar, que para este trabalho, a metodologia aplicada para os estudos da variabilidade climática da cavidade apresenta algumas limitações de ordem temporal e ferramental. Resultando em análises prévias das condições apresentadas para amostragem obtidas e um curto intervalo tempo. Não admitindo a caracterização completa do microclima cavernícola sobre as variáveis sazonais do clima presente.

A metodologia é semelhante à adotada por Scaleante (2003), com aferições pontuais de temperatura e umidade do ar na caverna Santana, em Iporanga-SP, na definição da capacidade de visitação turística e nas variações de temperatura pelo uso de carbureteiras para iluminação, o que posteriormente serviu de argumento para a proibição de seu uso em cavernas no estado de São Paulo.

Os parâmetros avaliados para a hodierna pesquisa foram: temperatura do ar, umidade do ar e circulação do ar. Parâmetros como precipitação, pressão atmosférica e concentração de CO₂ não foram empregues devido a restrições logísticas e de aparelhos disponíveis para uso.

Um sensor capaz de medir a concentração de CO₂ no ar foi desenvolvido usando o módulo de gás infravermelho NDIR MH-Z14A, que utiliza o infravermelho (NDIR) não-dispersivo para detectar a existência de CO₂ no ar, com uma faixa de detecção que varia entre 0-5000ppm (partícula por milhão). No entanto, tomou-se a decisão da não utilização do mesmo pela falta de testes com equipamentos devidamente homologados para comparação e validação das leituras obtidas.

O processo de calibração permite a comparação dos dados coletados de ambos os aparelhos. Operando a partir da obtenção de leituras em um mesmo local, data, hora e metodologia de instalação equivalente, afim de realizar a calibração do aparelho, auxiliando nos ajustes necessários, como a programação empregue e a eficácia do sensor utilizado, garantindo a eficácia e confiança nos dados obtidos.

Dados sobre precipitação não foram observados nesta pesquisa devido à ausência de estações meteorológicas, convencionais ou automáticas, no município de Vila Propício que disponibilizem estas informações. A estação meteorológica mais próxima, com dados abertos do INMET, fica localizada no município de Goianésia - GO e, outra localizada no município

de Pirenópolis – GO. Dada a escala de análise adotada para uma cavidade, a utilização destes dados acarretaria em uma generalização a nível regional. O que não complementaria, de forma adequada, as análises sobre a influência da precipitação no microclima que a cavidade e o ambiente externo em seu entorno possam apresentar.

Pela circunstância da cavidade estar localizada em uma área particular, aberta pelo proprietário para visitantes, o acesso fácil pela trilha e indisponibilidade logística de um acompanhamento constante. Tornou inviável a instalação de um pluviômetro nas proximidades da cavidade por ser um equipamento que necessita de certa infraestrutura, de uma área aberta com vegetação baixa e pouco densa para coleta adequada de dados e, pela exposição visual em local de constante visitação.

Cigna (2004), constata que a aferição matemática adequada da circulação do ar no interior de cavernas é quase impossível devido as características geométricas e o número de acessos e condutos que estas podem apresentar. O uso de instrumentos de aferição específicos para obtenção quantificada deste tipo de dado deve ser observado com cuidado, devido as diferenças na circulação do ar ocorrerem em curtos espaços de distância (CIGNA, 2004).

A ausência de equipamentos de leitura como, barômetro e anemômetro, resultaram na utilização de métodos simplificados in-loco para compreensão prévia do padrão e direção da circulação do ar durante o período analisado na Lapa do Boqueirão. Proporcionada a partir da observação do movimento de partículas suspensas no ar através do feixe de luz produzido por uma lanterna.

Apontado uma lanterna em direção ao teto e as paredes, os feixes de luz do foco central e a luz residual permitem analisar a forma ou padrão e a direção em que as partículas se movimentam. Esse método é semelhante ao utilizado por Lobo (2010), na complementação de suas análises da circulação atmosférica em algumas áreas da caverna Santana.

Outro método adotado foi a observação, na contra-luz da lanterna, da movimentação da fumaça produzida por um cigarro ou palito de fósforo, que facilita identificar zonas com turbilhamento do ar e variações de velocidade. Esse método foi utilizado por Fernández-Cortez et al (2006b) na caracterização da circulação do ar entre o interior e exterior da Cueva del Agua, Espanha.

3.3 Registro de dados

Para o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar foi efetuado utilizando termohigrômetros fabricados pela empresa *Instrutherm*, modelo: *Datalogger HT-70*. Com auxílio do *software* de leitura do aparelho na quantificação tabular dos dados adquiridos. Cada

aparelho tem capacidade de gerar e armazenar 32700 registros de forma automática e a vida útil da bateria pode chegar a 6 meses. Vale ressaltar que a memória do termohigrômetro pode chegar a sua capacidade total de acordo com o intervalo de tempo entre as leituras escolhido, sendo determinante na quantidade de dias para o monitoramento.

Testes pré-campo, demonstraram que aferições com intervalos de leitura de 4 e 5 minutos podem esgotar a memória do equipamento em 2 semanas. O próprio software de leitura do aparelho simula e apresenta a quantidade de dias monitoráveis, conforme as configurações de tempo de leitura vão sendo ajustadas. O intervalo de 30 minutos utilizado para o presente trabalho, armazena 340 dias de leituras.

O quadro 1 a baixo apresenta as especificações e parâmetros de obtenção de dados do termohigrômetro, disponibilizados pelo fabricante.

Quadro 3. Especificações e parâmetros do termohigrômetro

Aparelho	Especificações
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grau de Proteção: IP54 ✓ Escala de Umidade: 0 a 100% U.R ✓ Precisão: $\pm 3,0\%$ ✓ Resolução: 0,1% U.R. ✓ Escala de Temperatura:(- 40 a 70°C / - 40 a 158° F) ✓ Precisão: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ✓ Resolução: 0,1°C ✓ Sistema Operacional: XP, Vista, Seven, 8 e 10 (32 e 64 Bits) ✓ Ciclo de medição selecionável de 1 segundo a 24 ✓ Dimensões: 94 x 48 x 33mm - Peso: 115 g ✓ Memória para 32700 registros

Fonte: Fabricante

Em campo, as respostas dos aparelhos foram satisfatórias, não houve danos ou comprometimento na estrutura, durabilidade da bateria, circuitos e no sensor de aferição dos equipamentos em todos os locais de instalação. Como os termohigrometros não foram desenvolvidos com a proposta de utilização em circunstâncias ou ambientes extremos, é importante destacar que as condições naturais da cavidade auxiliaram também na preservação dos aparelhos. Oferecendo o maior risco de danos ao equipamento durante o período chuvoso, com a presença de água que varia em maior ou menor volume no escoamento sobre o conduto principal da caverna.

3.4 Monitoramento climático

A incursão de campo para instalação dos aparelhos e início da coleta de dados na caverna Lapa do Boqueirão foi realizada no dia 31 de junho de 2019 e retirados da cavidade no dia 04 de janeiro de 2020. Cobrindo o início do inverno, a primavera e o começo do verão. As figuras 22a, 22b, 22c e 22c a baixo apresentam os locais aonde os aparelhos foram alocados.

Devido a cavidade ser a aberta a livre visitação e considerando os riscos inerentes aos aparelhos como: furto, vandalismo e remoção do local por visitantes. Foi adotado como local preferencial áreas de difícil acesso ou visualização dos instrumentos, sendo postos próximos aos espeleotemas e fissuras das paredes dos condutos da caverna.

Figura 22. Pontos de monitoramento.



Fonte: Fotos por Avelina Ribeiro (2019)

O primeiro aparelho (figura 22a) foi instalado próximo à entrada da caverna, a uma distância de 50m, preso ao tronco de uma árvore por um cordão de algodão e sendo feita uma cobertura com galhos e folhas com o objetivo de “camuflar” o aparelho da vista de visitantes, visto que o mesmo se encontrara próximo a trilha. A área configura um fundo de vale com um canal de drenagem de regime pluvial e possui vegetação adensada e alta próxima a entrada, tornando a radiação solar difusa caracterizando a zona de transicional entre o ambiente externo e o interior da caverna.

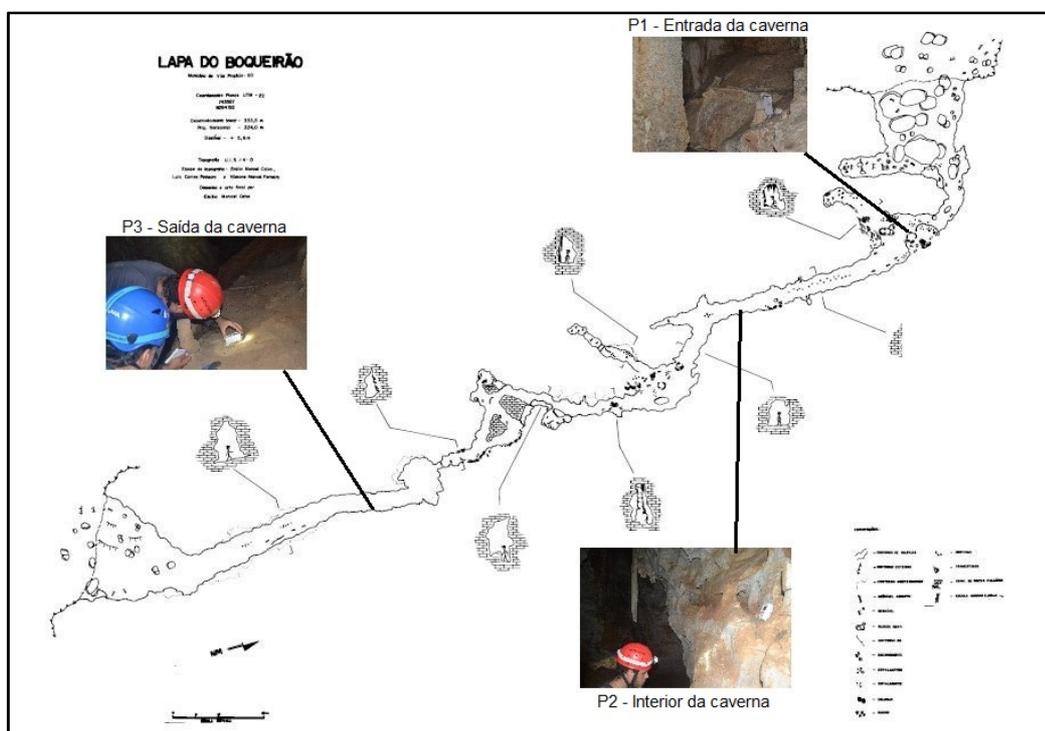
O segundo aparelho (figura 22b) foi instalado dentro da cavidade, próximo a entrada a 20m de distância da linha d’água que marca separação com o ambiente externo, atrás de espeleotemas, com entrada parcial de luz natural e a 15m do ponto de difusão da luz (área de

penumbra), do conduto principal. Nesse ponto o conduto é largo permitindo a circulação atmosférica sem turbulências devido aos espeleotemas presentes e a sinuosidade das paredes.

O terceiro equipamento (figura 22c) foi instalado na zona afótica da caverna em um encaixe sobre uma fenda na parede, com cerca de 1,5m de largura por 1,3m de altura. O conduto nessa área da caverna tem cerca de 8,1m de largura e, nesse ponto a sinuosidade e a largura entre as paredes variam bastante possuindo aberturas de dois pequenos condutos sem saída. Seguindo em direção a saída, existem dois pontos de estrangulamento moderado do conduto onde, um destes apresenta menor diâmetro e proporciona o aumento do volume e da velocidade da passagem do ar, diminuindo sua temperatura. Esse ponto da caverna foi apelidado de “ventilador” pelos guias locais.

O quarto equipamento (figura 22d) ficou instalado na área de difusão da luz solar (penumbra), a 28m da saída da cavidade, a montante. Nesse ponto é notável a presença de vegetação arbórea e blocos de rochas abatidas, bem como alguns espeleotemas. Adiante, o acesso a outra cavidade conhecida como Lapa do Boqueirão 2, não considerada neste estudo.

Figura 23. Localização dos pontos de coleta de dados no interior da caverna Lapa do Boqueirão



Fonte: SBE (2019). Adaptado pelo autor (2020)

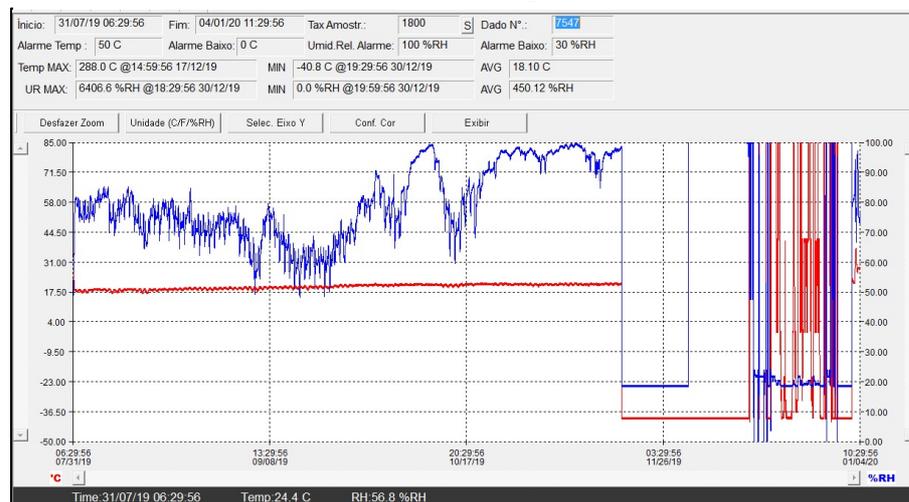
Por conta da morfologia e o desenvolvimento interno, a cavidade não possui grandes salões, claraboias ou demais acessos ao ambiente. As paredes e o teto variam de altura, largura e inclinação havendo um único conduto principal para acesso e saída nas duas extremidades.

Isso implicou na instalação dos termohigrometros em alturas distintas de acordo com o local escolhido, respeitando a altura máxima de 2m e mínima de 1,3m. Possibilitando a leitura da temperatura e umidade do ar com o mínimo de interferência da circulação do oxigênio no solo, teto e entre os espeleotemas da cavidade.

O aparelho instalado a 20 metros após a entrada da caverna (P1) foi retirado em 28/09 pela guia local, que o localizou por intermédio de visitantes que avistaram o equipamento na base. A pedido do autor, gentilmente foi retirado da cavidade e resguardado pela guia de cavernas de Vila Propício por motivos de segurança, garantindo a obtenção das leituras para tabulação mesmo resultando em uma serie temporal de menor duração.

Os dados do monitoramento no P0 e P2 foram obtidos no período de 31/07/2019 a 04/01/2020. E no P3 de 31/07 a 17/11/2019. Os dados dos pontos de monitoramento de maior série temporal, P0 e P2, foram organizados considerando a data inicial de 01/08/2019 e data final em 31/12. E o P3 de 01/08 a 17/11/2019, devido ao aparelho ter sofrido um tombamento frontal que resultou no sensor de aferição ficar direcionado para o chão da base, gerando leituras imprecisas e destoantes da saída da caverna, como pode ser observado na figura 24.

Figura 24. Interface do software de leitura e gráfico representando os dados do P3 com as variações de temperatura e umidade do ar e as leituras destoantes do dia 17/08 a 04/01/2020 que seguem no canto direito da imagem.



Fonte. Autoria propria (2020)

Os dados de maior temporalidade (P0, P2 e P3) foram considerados em sua quase totalidade, mesmo com a ausência das aferições do P1 para o restante do período escolhido, por representarem resultados importantes e passíveis de análise para a pesquisa.

As informações adquiridas foram organizadas e tabuladas através do software Excel, que permeou os cálculos estatísticos das aferições obtidas em campo e a confecção de gráficos para espacialização visual e comparações das variáveis climáticas.

Os mapas com a interpolação dos dados aferidos foram elaborados por meio do software Arcgis, pelo método *inverso da distância à potência (IDW)*. A mediação é conferida por intermédio de um coeficiente de ponderação, aplicado aos pontos amostrais, que controlam como a influência da circunspeção irá diminuir a medida que a distância a partir do ponto desconhecido aumenta. Possibilitando gerar o gradiente de variação dos atributos naturais aferidos: temperatura do ar, umidade relativa do ar e circulação do ar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir se referem a series temporais de coleta sistemática de dados para os pontos denominados: externo da cavidade (P0); entrada da caverna (P1); interior da caverna (P2) e na saída da caverna (P3). Ainda que a análise e interpretação dos dados de cada uma das estações monitoradas seja importante para conhecimento dos padrões de variação em cada trecho da caverna, a integração dos dados permite uma comparação mais clara acerca da atmosfera subterrânea. No perfil temporal, os dados das diferentes estações de monitoramento foram comparados entre si, usando para tanto de interpretações de gráficos, mapas e, análises estatísticas.

4.1 Temperatura e umidade do ar

A tabela 1, apresenta as estatísticas dos parâmetros de temperatura do ar e umidade relativa do ar analisados para todas os pontos de monitoramento no período amostrado. As médias da temperatura e umidade relativa do ar foram calculadas pela somatória de todos os valores do conjunto de dados e dividindo-os pelo número de informações deste conjunto.

Tabela 1. Estatísticas dos parâmetros obtidos para a caverna Lapa do Boqueirão no período de 01/08 a 31/12/2019, sendo o P1 a menor serie de dados temporais.

Estatística	Temperatura do ar (°C)				Umidade relativa do ar (%)			
	P0	P1	P2	P3	P0	P1	P2	P3
Máxima	37	21,4	21,3	21,4	100	85,4	99,1	99,6
Mínima	13,9	19	19,8	16,9	16	53,1	60,4	48,5
Media	23,4	19,6	20,6	19,9	71,0	77,3	86,3	80,0
Amplitude	23,1	2,4	1,5	4,5	84	32,3	38,7	51,1
Moda	21,2	19,5	20,1	20,9	98,1	80,1	98,5	97,2
Mediana	22,4	19,5	20,5	20,1	71,8	79	89,9	78,3
Desv. Padrão	4,2	0,4	0,4	1,1	21,7	5,4	11,4	12,5
Variância	17,2	0,15	0,17	1,18	470,0	28,7	129,3	157,2

Fonte: Autoria própria (2020)

A média das temperaturas para o período analisado foi de 23,4°C no ponto externo (P0), e 19,6°C na entrada da caverna (P1), 20,6°C no interior da cavidade (P2) e 19,9°C na saída da cavidade (P3). As médias permitem perceber o decaimento da temperatura quando se adentra a caverna, a amplitude em relação à média entre o ambiente externo e a entrada da caverna é de 3,8°C, sendo esta área considerada como transicional onde a incidência de luminosidade e a turbulência da circulação do ar começa a diminuir (ROCHA, 2010).

Seguindo para o interior, com ausência total de luz natural, a temperatura média eleva em comparação a entrada da cavidade, apresentando uma amplitude de 1°C. A saída da cavidade também registrou uma temperatura média menor em relação ao interior, com amplitude de 0,7°C. A amplitude entre os pontos de monitoramento presentes na caverna é de 0,3°C desde a entrada a saída da cavidade.

As máximas registradas no período foram de 37°C no ponto externo, 21,4°C na entrada da caverna, 21,3°C no interior, e 21,4°C na saída da cavidade. As mínimas foram de 13,9°C para o ponto externo, 19°C na entrada, 19,8°C no interior da caverna, e 16,9°C na saída. As máximas e mínimas dos pontos de monitoramento na caverna exibem valores muito próximos, em oposição ao ambiente externo. Apresentando um padrão pouco variável das temperaturas aferidas na cavidade. Proporcionando certa estabilidade principalmente no interior da cavidade, onde as máximas e mínimas variam pouco entre si, com uma amplitude térmica de 1,5°C. A entrada da cavidade teve 2,4°C de amplitude, enquanto a saída da caverna obteve 4,5°C. O ponto de monitoramento externo correspondeu a maior amplitude, 23,1°C, correspondendo aos extremos de máxima e mínima para o período analisado.

A umidade relativa do ar é o parâmetro de maior variação em todos os cenários estatísticos. Entra as máximas, a base externa apresentou 100%, enquanto para a entrada da cavidade foi de 85,4%, 99,1% para o interior da caverna, e para saída 99,6%. A mínima para área externa da cavidade foi 16%, a entrada da caverna em 53,1%, interior de 60,4%, e na saída em 48,5%. As médias ficaram em 71,0% no ponto externo, 77,3% na entrada, no interior da caverna em 86,3%, e para saída em 80%.

Os parâmetros aferidos citados acima, demonstram o quanto a umidade relativa do ar pode variar de forma mais sensível que a temperatura, chegando a níveis abaixo de 20% e a saturação de 100%. Isso é notado pela amplitude da umidade, que para o ponto externo da cavidade foi de 84%, enquanto na entrada da caverna esse valor cai para 32,3%, e no interior

da caverna em 38,7%, já a saída da cavidade corresponde a 51,1% de amplitude para o período analisado.

Do mesmo modo que a temperatura do ambiente externo, a relação entre a média e variância para a umidade externa se repete, sendo esta variância de 470,0. A alta variância pode indicar uma ampla gradação de valores de temperatura e umidade, indicando uma maior variabilidade climática. O que denota um grande distanciamento da média apresentada, de 71,0%. O desvio padrão identificado para o ambiente externo foi de 21,7, isso evidencia o grau de dispersão das variáveis de umidade para o ambiente externo em comparação ao ponto vizinho, interno próximo a entrada, com desvio padrão de 5,4. No interior da cavidade esse valor é de 11,4, e na saída 12,5. Apresentando uma homogeneidade menor da umidade, com a variância aferida em 129,3 e, na saída em 157,2.

Entre a estação de monitoramento no interior da caverna e a saída a montante, os valores da máxima, média, moda e mediana apresentam estimativas aproximadas, e pela correlação com a amplitude e a variância o ar esteve saturado na maior parte do tempo durante o monitoramento. O estado saturado é favorecido pelo fato das oscilações térmicas dentro da caverna serem pequenas.

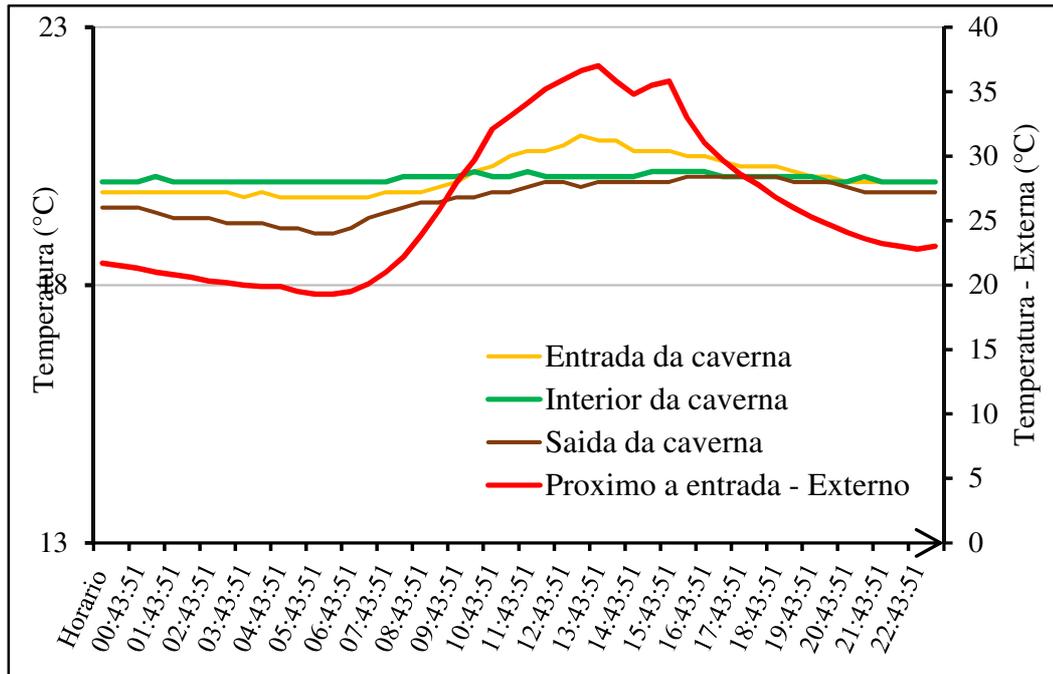
Por conseguinte, a umidade relativa do ar é o parâmetro mais sujeito a alterações, mesmo em condições onde a temperatura não oscila em demasia. Isso é facilmente percebido nas aferições do ponto externo, que por situar um ambiente de mata fechada, as variações de temperatura e umidade em grande amplitude estão associadas as condições atmosféricas, a refração da irradiação solar e a precipitação elevando a umidade, principalmente em dias mais quentes (YNOUE, 2017).

A moda amostral corresponde aos valores aferidos de maior ocorrência no monitoramento. Sendo este importante devido a longa série de dados obtidos, e na repetição de valores no monitoramento. Conforme Lobo (2011), a moda amostral comporta a identificação, ainda que simplificada, do padrão habitual de variabilidade de cada variável aferida.

A moda amostral para temperatura do ar aferida nos pontos de monitoramento no exterior e interior da caverna, correspondem a valores aproximados com a média e mediana. Indicando que para o período analisado, não houve grandes flutuações da temperatura do ar. Para o monitoramento na cavidade, os baixos valores da variância e do desvio padrão atestam essa condição de baixa flutuação da temperatura. O mesmo pode ser visto de forma cautelosa ao ponto externo, que tem a moda próxima a média e a mediana, porém apresenta uma variância elevada (17,2) frente aos demais pontos. Quanto menor for a variância, mais próximos os valores estão da média e, quanto maior ela for, mais os valores se distanciam da média.

A variância elevada calculada no ponto externo, incorre devido ao único dia 20/09 que atingiu a temperatura máxima, de toda a série de dados, em 37°C (as 13:13h), sendo a temperatura média deste ponto 23,4°C. Os gráficos demonstram como se deu as variáveis de temperatura e umidade para o dia 20/09 entre a estação de monitoramento próxima a entrada da caverna, após a entrada da caverna, interior e saída da caverna.

Gráfico 2. Variação da temperatura nas estações de monitoramento para o dia 20/09.



Fonte: Autoria própria (2020)

O gráfico 1, demonstra que as variações térmicas entre a superfície e o ambiente externo da cavidade apresentam flutuações paralelas entre as estações com níveis de oscilação diferentes. Isso é notável quando se observa que a diminuição e elevação da temperatura ocorre ao mesmo tempo nos diferentes pontos, porém apresentando valores bem diferentes. A temperatura externa atinge a sua máxima em 37°C às 13:43, enquanto no mesmo horário a entrada da cavidade afere 20,9°C, levando em consideração que entre o ponto externo e a entrada da cavidade estarem a uma distância máxima de 50m.

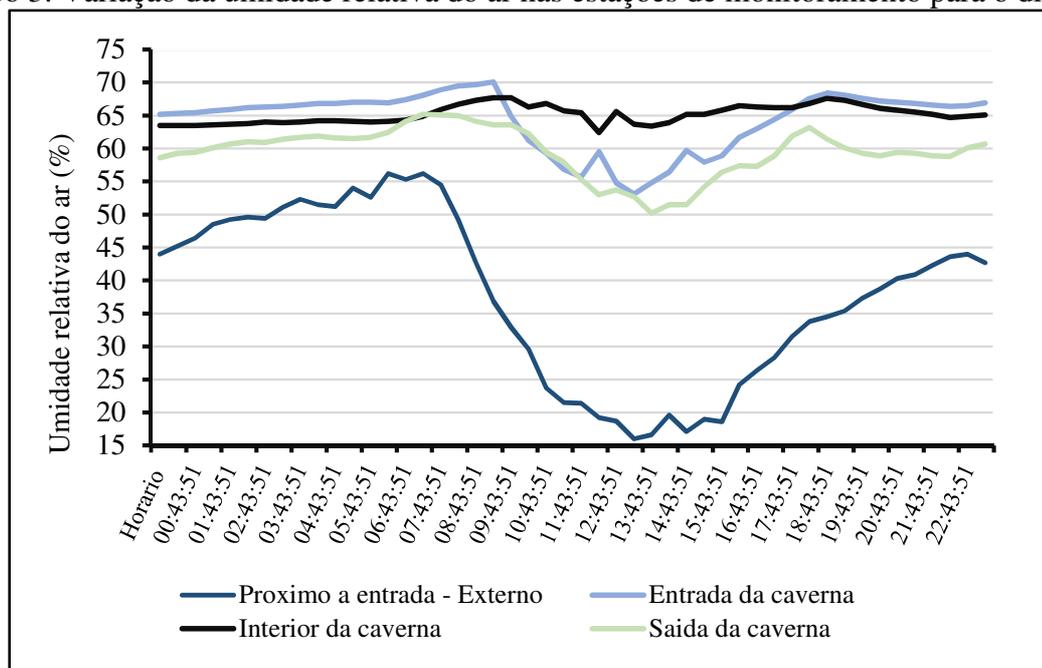
Adentrando a caverna, no ponto interior a temperatura foi de 20,2°C e a saída com 20,1°C. Observando a curva das temperaturas, é notável que o interior da caverna corresponde a uma estabilidade térmica em todos os horários, na qual a mínima foi de 20°C, sendo amplitude de 0,2°C. Sendo a mínima apresentada na área externa em 19,3°C às 06:13 e, no interior em 20°C. Isso denota que a cavidade consegue corresponder as atenuações de temperatura do ar

entre os extremos de máxima e mínima em relação aos demais pontos de aferição, mantendo a estabilidade e conservação da temperatura do ar ambiente nos períodos da manhã, tarde e noite.

Essa situação corresponde a inversão das variáveis externas e internas por influência das oscilações da incidência de radiação solar sobre a superfície ao longo do dia. Ao anoitecer a temperatura externa começa a reduzir e durante a madrugada atinge a sua mínima, próximo ao nascer do sol (YNOUE et al., 2017).

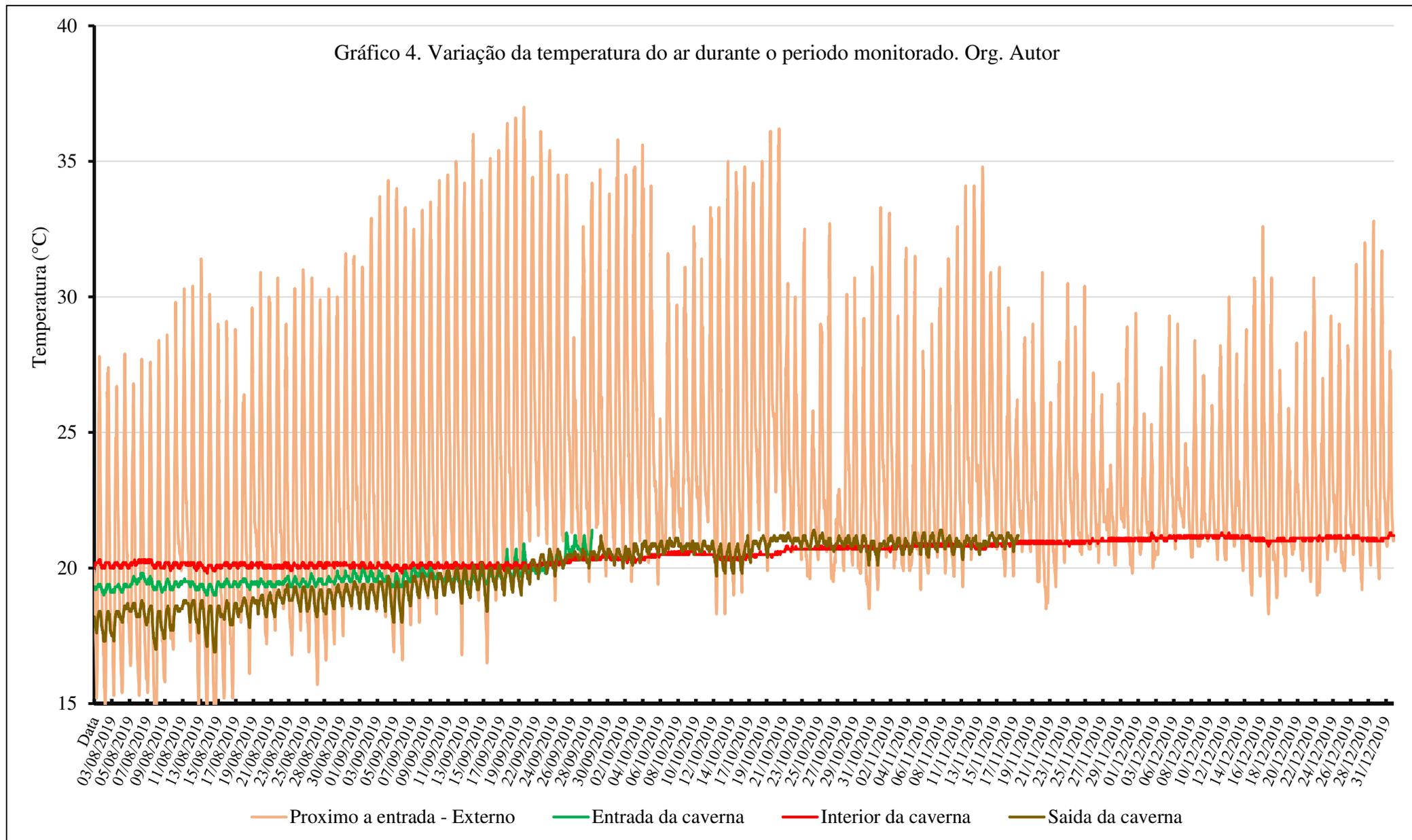
Apesar de sujeita à incidência de radiação solar difusa, a entrada e saída da Lapa do Boqueirão tem presença de vegetação bem desenvolvida em seus arredores e paredões de rocha e blocos abatidos nas laterais e acessos. Essas formações permitem a canalização do vento para o interior da cavidade, isso se dá principalmente na saída da cavidade a montante. A entrada da caverna é bem sombreada, permitindo a subsidência de ar frio, de maior densidade, em noites de inversão térmica (ROCHA, 2010).

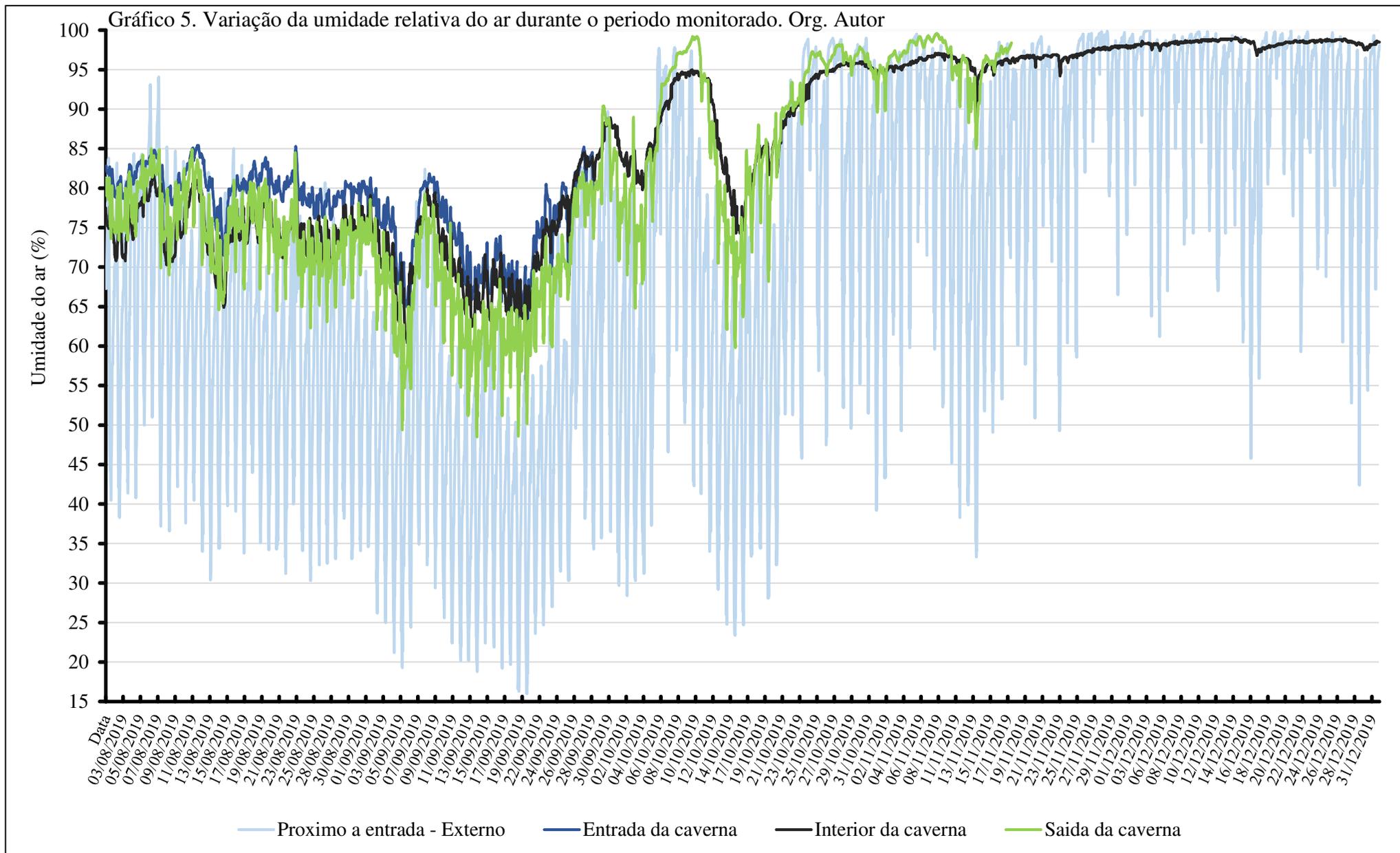
Gráfico 3. Variação da umidade relativa do ar nas estações de monitoramento para o dia 20/09



Fonte: A autoria própria (2020)

Os gráficos a seguir, apresentam as variações da temperatura e umidade relativa do ar reais correspondentes a todo o período de monitoramento. As séries levam em consideração todas as aferições diárias obtidas pelos termohigrometros instalados na área externa, entrada, interior e saída da cavidade.



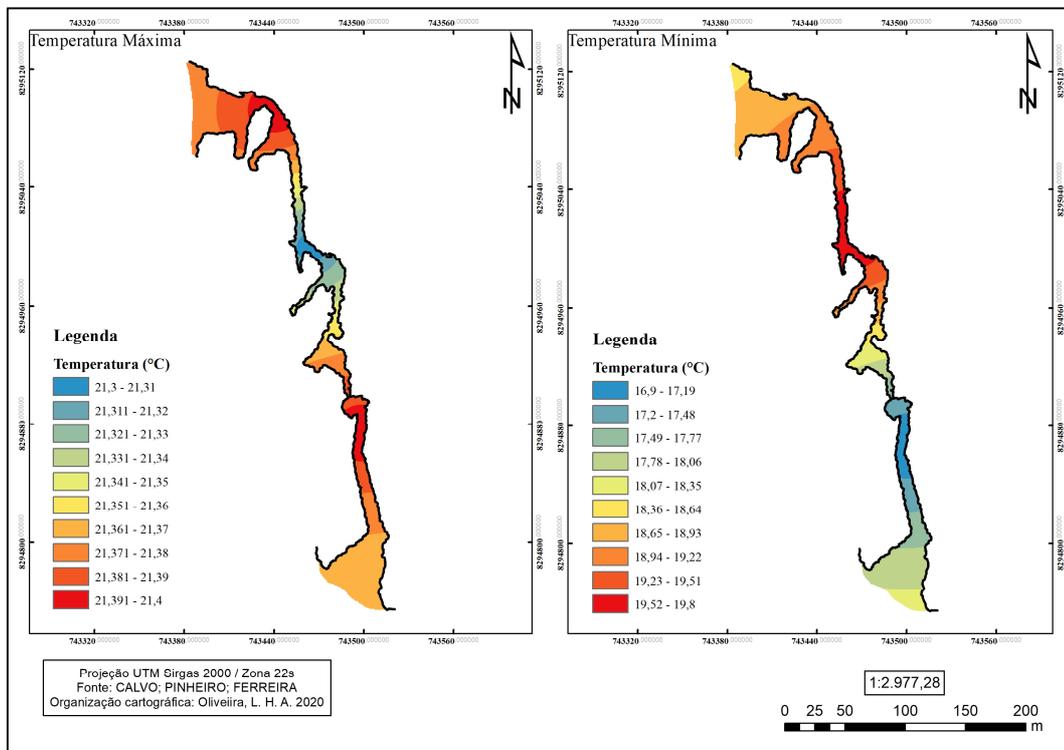


A series apresentadas para os gráficos 3 e 4, correspondem as variações e amplitude térmica em relação a temperatura entre o ambiente externo e o interior da cavidade. Ao longo de 5 meses de monitoramento as variações de temperatura entre a entrada, interior e a saída da cavidade exibem variações atenuadas entre si. E como apresentado anteriormente, os parâmetros estatísticos correspondem as flutuações reais.

Embora apresentando diversas variações de amplitude, media, variância e desvio padrão, a moda nos pontos localizados na caverna permanece muito próxima, tanto para temperatura, quanto para a umidade relativa do ar. Mesmo está apresentando inúmeras variações estatísticas, as tendências de estabilização e conservação do microclima da cavidade são perspectiveis para o período analisado. Isso corrobora com a capacidade que a caverna possui em regular os mecanismos de troca de energia e fluxos.

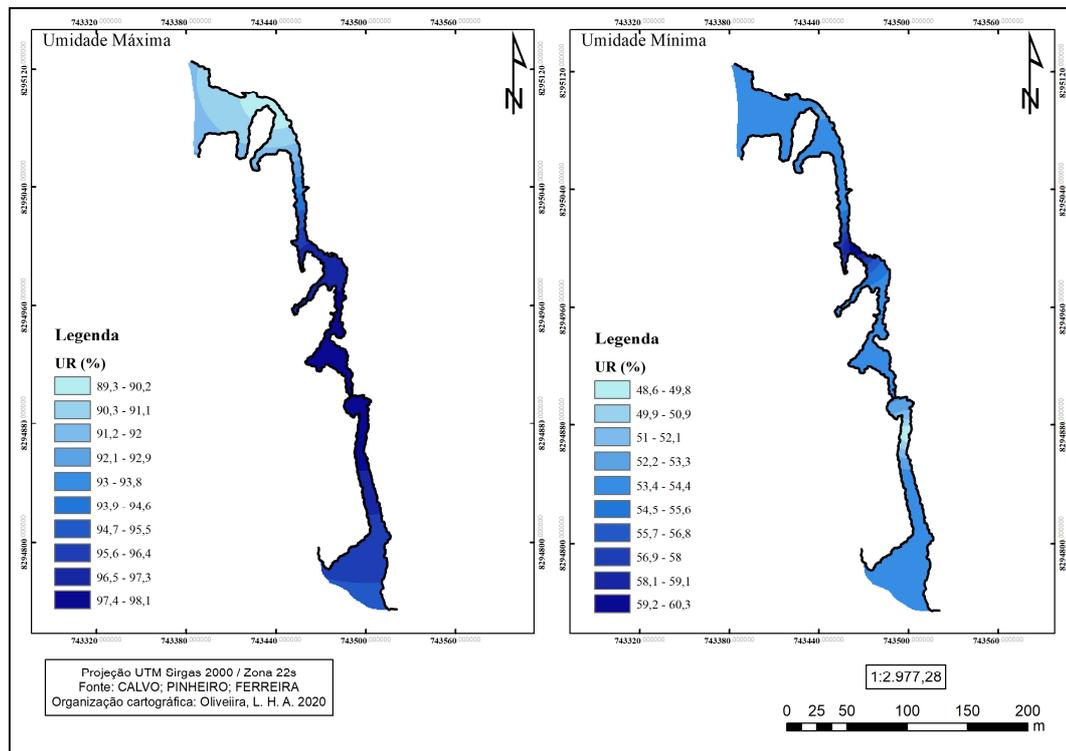
As figuras 25 e 26 a seguir correspondem a espacialização, sobre a planta baixa da caverna Lapa do Boqueirão, dos parâmetros correspondentes a temperatura e umidade relativa do ar absoluta, máxima e mínima, para toda a série temporal do período analisado. Correlacionando o gradiente térmico em dez intervalos de classe.

Figura 25. Temperatura, Máxima e Mínima



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 26. Umidade, Máxima e Mínima



Fonte: Autoria própria (2020)

As condições de variabilidade da temperatura e umidade relativa do ar dentro da cavidade sofrem mudanças pela sinuosidade, alargamento e o estreitamento das paredes, condicionando o fluxo do ar interno. Pontos de maior estreitamento proporcionam um afunilamento da circulação propiciando um fluxo convectivo. A circulação do ar é maior e mais intensa nos acessos da cavidade que em comparação com o interior da caverna. Por possuir dois acessos, a circulação do ar entre o interior e o exterior é condicionada pela pressão atmosférica externa e o gradiente térmico, originando um processo de termoequilíbrio (BAILEY, 2005; BADINO, 2010; PFLITSCH et al., 2010; FAIRCHILD; BAKER, 2012; LUNDBERG; MCFARLANE, 2015).

Os mecanismos térmicos que alteraram as diferenças de pressão atmosférica interna resultam em um balanceamento desigual da pressão, sendo esta muito pequena em comparação com as correntes de ar dentro da caverna (BAILEY, 2005; FAIRCHILD; BAKER, 2012). A figura 25, apresenta o gradiente térmico sobre as máximas da temperatura do ar, apresentando para o interior da caverna uma baixa temperatura em relação aos acessos. De modo geral, as diferenças entre a maior e menor máxima são muito pequenas, variando apenas na casa decimal, em 0,19 °C durante o período monitorado.

Diferente do ocorrido entre os períodos, com as aferições da temperatura mínima do ar (figura 25), que apresenta uma condição de variabilidade menor na saída da cavidade. Isso decorre devido à baixa pressão atmosférica externa, estabelecendo um modelo de circulação com maior dinâmica atmosférica, com influência da diferença de temperatura e a direção das correntes de ar e sua troca entre o interior e exterior da caverna, com tendências para um estado de equilíbrio térmico (CIGNA, 2004; PFLITSCH et al., 2010; FAIRCHILD; BAKER, 2012).

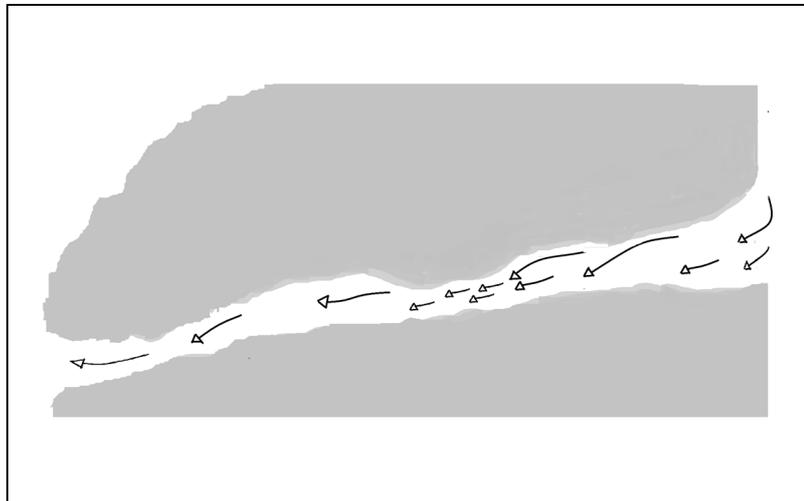
A umidade relativa do ar (figura 26), tem suas variações entre as máximas e mínimas sobre influência de fatores como: temperatura, circulação do ar e presença de água no ambiente. Como a presença de água observada na Lapa do Boqueirão é dada pela infiltração nas rochas, a percolação de fluidos nos espeleotemas e fluxos de maior intensidade durante o período chuvoso, os índices de umidade são regulados pelas correntes de ar e a temperatura.

Como observado nos mapas, os acessos da cavidade são os que apresentam as maiores variabilidades entre as máximas e mínimas de umidade. O gradiente de umidade máxima varia em 7,9%, e as mínimas em 10,5%. Apresentando uma condição de estabilidade. A porção media da caverna é que apresenta os maiores índices, chegando próximo a saturação em 98,1% de máxima. Enquanto a mínima para o período estudado de 48,6%. Representando uma amplitude de 49,5% do gradiente entre os extremos.

4.2 Circulação atmosférica

Correntes de ar estão entre os agentes balizadores do equilíbrio térmico da atmosfera cavernícola por meio de advecção, realizando a troca de massas com o meio externo (BAILEY, 2005; SELF, 2009; LOBO, 2010). Segundo Pflitsch et al. (2010), o fluxo de ar para dentro e para fora da caverna geralmente ocorre ao mesmo tempo, por diferentes aberturas, entrada em um acesso e saída em outro. Na Lapa do Boqueirão é possível aferir a influência pela direção da circulação do ar (figuras 27 e 28), no período analisado, pela advecção do ar que ocorre de modo unidirecional, da saída (montante) rumo a entrada (jusante). Os aspectos da circulação do ar entre o exterior são avaliados como uma possível explicação para as variações das condições de umidade do interior da caverna (FREITAS, 2010).

Figura 27. Modelo de circulação atmosférica por influência da temperatura, com exaero vertical e horizontal. Acessos mais largos que o interior da caverna apresentam variabilidade constante de temperatura e umidade do ar e condução unidirecional do ar.



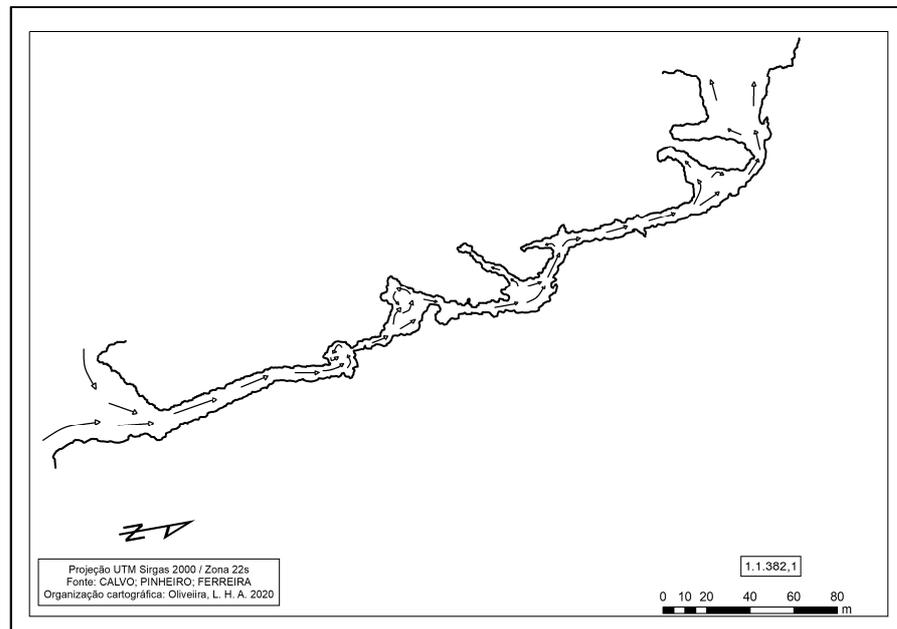
Fonte: Autoria própria (2019)

O padrão de circulação do ar pode ser observado por intermédio de aspectos, como: nas diferenças de temperatura do ar, dos fluxos de água, pelos acessos a cavidade serem mais largos que o interior, possuindo apenas dois acessos transponíveis, a sinuosidade das paredes que controlam a intensidade e velocidade da circulação do ar, inclinação do relevo e desenvolvimento vertical da cavidade, pela posição e direção em que os espeleotemas desenvolvem-se (SELF, 2009; QUEEN, 2009).

No período seco a temperatura externa eleva, favorecendo a circulação do ar frio e denso sair pelo acesso inferior. Em períodos que a temperatura externa é menor que o interior da cavidade, a circulação do ar e sua saída pelo acesso inferior sofre uma maior resistência (ERASO, 1969; BADINO; 2010). Esses fatores são responsáveis pelas maiores variações na temperatura e umidade relativa do ar aferidas serem encontradas nas áreas de acesso a cavidade, apresentando variações menores nas áreas internas.

Diversos estudos apontam que cavernas com maior dinâmica atmosférica podem ter o seu fluxo de ar alterado durante o inverno (ERASO, 1969; GEIGER, 1990; CIGNA, 2004; PALMER, 2007; BADINO, 2010; PFLITSCH et al., 2010; LUNDBERG; MCFARLANE, 2015). No entanto, o monitoramento ocorreu no período inicial do inverno, onde estas condições para interferência na circulação do ar não foram notadas para a caverna Lapa do Boqueirão (figura 28). Resultantes do período seco, da elevada amplitude térmica diária e a média alta da temperatura (NASCIMENTO, 2017).

Figura 28. Direção preferencial dos fluxos de ar na caverna Lapa do Boqueirão.



Fonte: Autoria própria (2020)

Padrões de circulação e direção das correntes e fluxos e, as condições da temperatura do ar são um dos fatores que podem determinar os padrões de crescimento e organização mineralógica dos espeleotemas (HILL; FORTI, 1997; TABOTOSI et al., 2005; TORTELLI, 2009; ROCHA, 2010). Estas condições são melhor observadas nos espeleotemas, principalmente estalactites, presentes nos acessos e no interior da cavidade.

Os acessos sofrem a presença da radiação solar, que vai difundindo-se conforme o avanço ao interior, na zona afótica. Influenciando no gradiente de temperatura, como observado nos mapas discutidos anteriormente, variando entre os segmentos da caverna. A presença de luz, inicialmente, exerce maior influência na formação e definição da biologia local encontrada no entorno dos acessos possibilitando o aumento da umidade nessa área, conduzida pelas correntes de ar para o interior da cavidade (TABOROSI; HIRAKAWA; SAWAGAKI, 2005).

Figura 29. Acesso principal, Lapa do Boqueirão.



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 30. Acesso principal, Lapa do Boqueirão.

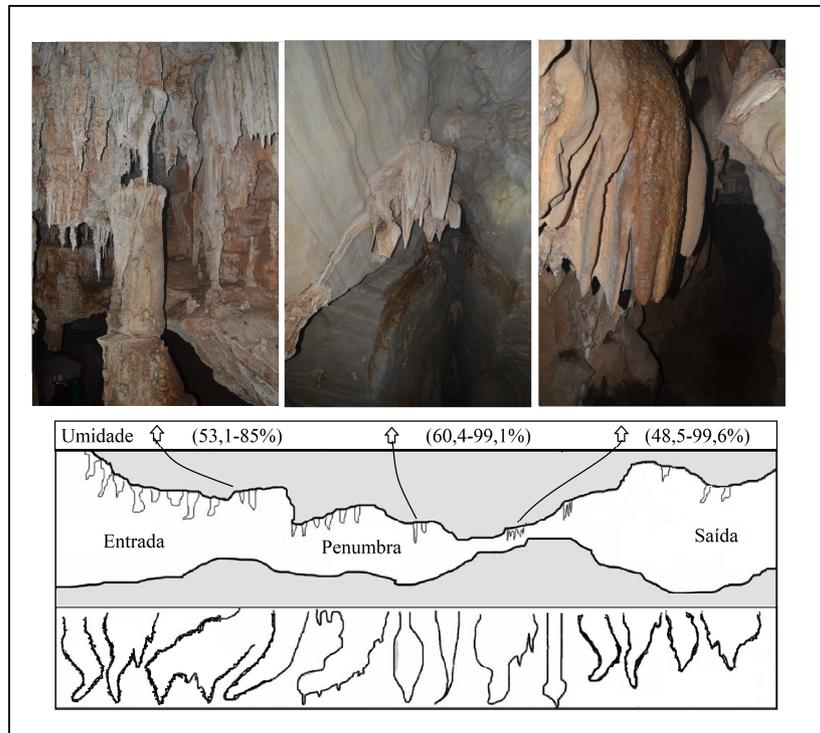


Fonte: TIARINI, C. (2019)

A orientação preferencial do eixo vertical de crescimento dos espeleotemas também possibilita observar o padrão predominante da direção e circulação das correntes de ar sobre a cavidade (HILL; FORTI, 1997; SELF; HILL, 2003; TABOROSI; HIRAKAWA; SAWAGAKI, 2005; PALMER, 2007; QUEEN, 2009; SELF, 2009). Os espeleotemas apresentam padrões característicos de desenvolvimento vertical por interferência microclimática, decorrentes das correntes de ar que intensificam a circulação das moléculas de água que escoam pelos espeleotemas e na presença ou ausência de luz natural. Exercendo influência no arranjo atômico da estrutura cristalina dos minerais, gerando aspectos morfológicos distintos dos espeleotemas inseridos em compartimentos de maior ou menor variabilidade microclimática (SELF; HILL, 2003; SELF, 2009).

Segundo Taborosi, Hirakawa, Sawagaki (2005) e Palmer (2007), o fluxo do ar em contato com a superfície rochosa afeta a deposição do carbonato devido o ressecamento acelerado pela a evaporação da água e a liberação de CO_2 (FAIRCHILD et al., 2006; SELF, 2009; SILVA, 2009; LOBO, 2010). Essa condição resulta em espeleotemas de aparência rugosa, porosa com desenvolvimento desordenado, encontrados nos acessos e na zona de difusão luminosa da cavidade (figura 31). No interior a ausência de luz associada a baixa variação da amplitude da umidade e da temperatura interna, possibilita a cristalização dos depósitos minerais, formando macrocristais, que dá a superfície dos espeleotemas um aspecto ordenado e de menor porosidade (TABOROSI et al., 2005; PALMER, 2007).

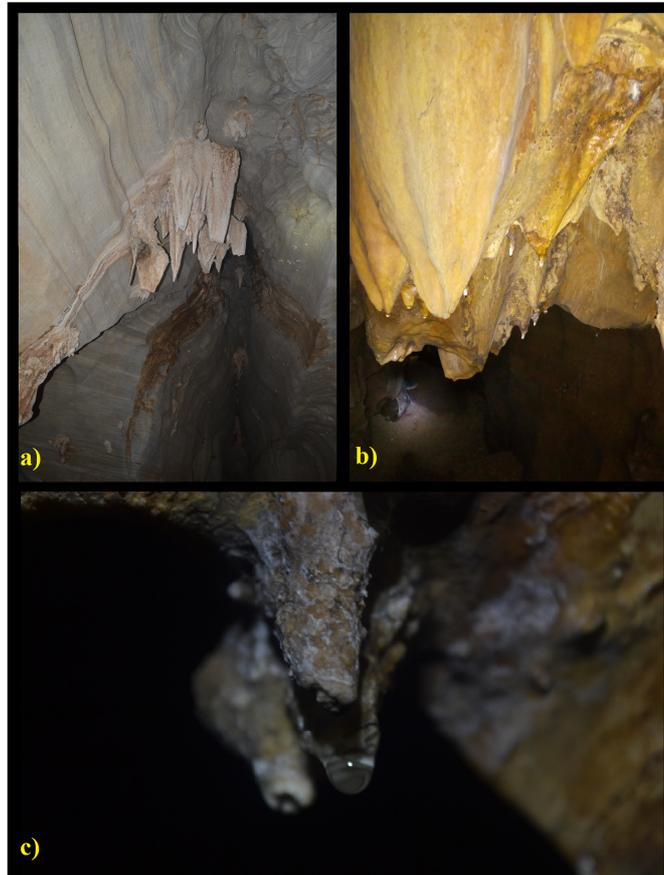
Figura 31. Croqui sem escala, com exagero vertical e horizontal da morfologia das estalactites da caverna Lapa do Boqueirão.



Fonte: Adaptado de TABOROSI et al. (2005). Organização: Aatoria propria (2020)

Nas áreas com ausência total de luz, durante os períodos de chuva, a infiltração e percolação da água pelas rochas em conjunto as partículas de água trazidas pelas correntes ar para o interior da caverna elevam a temperatura ambiente. Aumentando os índices de umidade do ar, relativa e absoluta, resultando na condensação de água em alguns espeleotemas localizados em pontos estreitos dos condutos (FREITAS; SCHMEKAL, 2003; PLAMER, 2007).

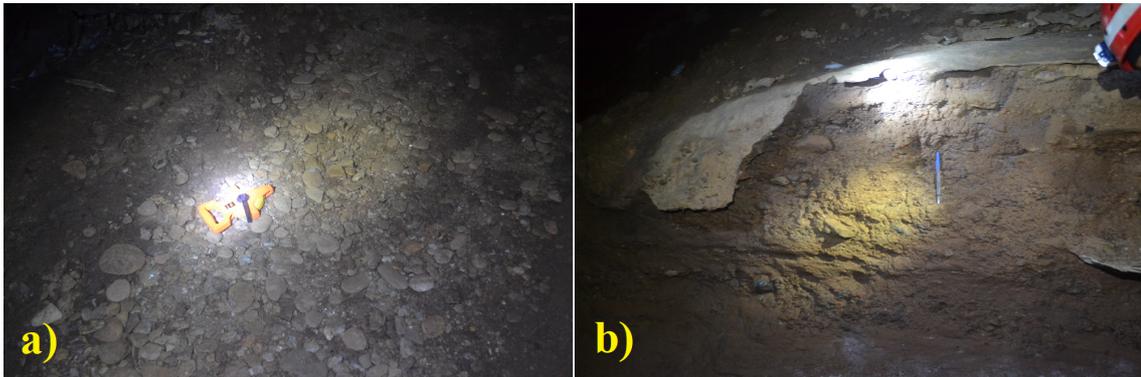
Figura 32. Espeleotemas caverna lapa do Boqueirão:
a) Espeleotemas no interior da cavidade, com ausência total de luz e circulação atmosférica pouco variável; b e c) Gotejamento de calcita em uma estalactite



Fonte: RIBEIRO, A. (2019)

Por sua vez, é possível que a morfologia de alguns espeleotemas localizados em compartimentos estreitos do conduto tenham recebido maior influência da ação da água. Nessas áreas são encontradas estalactites de comprimentos que variam de 5cm a 1,0 m, apresentando percolação e gotejamento de material dissolvido (figura 32). Nesse mesmo local a presença de estalagmites é escassa, apresentando algumas em estágio inicial de desenvolvimento. Isso pode estar relacionado com a circulação da água pelo interior, que lava os depósitos minerais do solo, em alguns pontos, causando retardamento do crescimento das estalagmites. E impactos de origem antrópica como, a quebra e destruição dos espeleotemas por visitantes.

Figura 33. a) Seixos transportados pela circulação pluvial da água para o interior da caverna. b) Erosão lateral do depósito de sedimentos à borda das paredes do conduto.



Fonte: Autoria própria (2019)

O desnível vertical contribui para o escoamento direto e contínuo da água pelo interior da caverna no período chuvoso, mantendo-se seca durante a estiagem, sem a presença de lagos subterrâneos ou canais de drenagem com fluxo constante. Na direção a montante é possível encontrar troncos e galhos de árvores presos entre as paredes do conduto. O escoamento da água favorece o processo de dissolução e erosão dos condutos e no transporte de material erodido (figura 33) para o interior da cavidade (CHRISTOFOLETTI, 1980; SPOLADORE, 2004; CAVALCANTE et al., 2012).

A morfologia interna não apresenta desníveis e áreas de grande profundidade e, o fluxo das correntes de ar movimentada e altera a umidade do ar em diferentes pontos da cavidade. A baixa saturação da umidade do ar na Lapa do Boqueirão pode ser entendida pelo regime sazonal da precipitação em regiões de clima tropical-úmido associada a posição geográfica da cavidade e, ausência total de corpos d'água ativos (SILVA, 2009; LOBO, 2014).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste trabalho somam-se a mais uma contribuição aos estudos da atmosfera cavernícola, em Goiás e em especial para Vila Propício. Onde a produção científica sobre cavidades é recente em comparação a outras cavidades inseridas em parques e unidades de conservação em diversas regiões e municípios do estado. Levando em conta que várias cavernas de Vila Propício estão abertas à visitação turística e o uso para tal atividade é constate. O que torna importante estudos e levantamentos sobre os possíveis impactos que as cavidades estão sujeitas. Abordando aspectos do meio físico, ambiental e socioeconômico. Conciliar estes estudos ao papel das políticas ambientais é determinante para o uso sustentável e preservação das cavidades do município.

As análises apresentadas demonstraram estabilidade nos valores de temperatura e umidade relativa do ar durante os meses monitorados. Devido ao confinamento espacial as trocas de energia e massa com o meio externo são atenuadas, resultando em um comportamento de aparente estabilidade, com as maiores variações limitadas aos acessos. Um padrão esperado para o microclima em cavernas dada a sua especificidade geográfica, geológica e física. Por sua vez, o monitoramento com series amostrais de longa duração, possibilitaria perceber possíveis alterações na estabilidade microclimática da caverna.

Os aspectos morfológicos da caverna Lapa do Boqueirão apresentam alterações microclimáticas de baixa amplitude durante o ciclo diurno. A temperatura decai durante as primeiras horas da noite atingido as mínimas durante a manhã, apresentando oscilações muito baixas. O mesmo ocorre as máximas do ar, porem com oscilações quase insignificantes. Reforçando a qualidade da caverna em regular as diferenças de temperatura do ar com o ambiente externo.

A Lapa do Boqueirão tem como agente principal na determinação da variabilidade dos parâmetros de circulação atmosférica a temperatura e umidade do ar. Os acessos largos promovem maiores oscilações térmicas e o desnível vertical da cavidade contribui para o deslocamento unidirecional das correntes de ar.

Estes padrões, por sua vez, não são determinantes para estabelecer uma caracterização definitiva do microclima da caverna Lapa do Boqueirão. Os dados apresentados e discutidos são indicativos reais que a caverna apresenta variações atmosféricas consideráveis. A forma e o desenvolvimento da cavidade, tamanho, número de acessos e condutos apresentam tendências para variações atenuadas e opostas dos parâmetros climáticos observados no ambiente externo.

Essa capacidade é possível por conta dos acessos amplos e largos, maiores que o conduto principal e o gradiente vertical. Onde a pressão atmosférica e o gradiente térmico sofrem mudanças que refletem na circulação do ar interior. Nesse caso as trocas de energia entre o ambiente externo e interno tendem ao estado de termoequilíbrio. As aferições alcançadas no período amostral sustentam a classificação da Lapa do Boqueirão como caverna dinâmica, classificação proposta por Cigna (1967; 2004). Onde os fluxos e a variabilidade térmica interna condicionam a dinâmica do microclimática ambiente.

O monitoramento permitiu a geração de um banco de dados espeleoclimático, com variações diárias em intervalos de 30 minutos em um período de cinco meses, cobrindo o início do inverno, a primavera e início do verão para o ano de 2019. As aferições em curtas series temporais se fazem necessárias e úteis, considerado os desafios que o monitoramento climático de uma caverna possa oferecer.

Series amostrais de curta duração permitem uma atualização rápida de informações sobre as condições atmosféricas atuais, principalmente em áreas cujo o monitoramento constante se torna inviável pela falta de equipamento adequado, infraestrutura e logística necessária para este tipo pesquisa.

Monitoramentos futuros em escala temporal maior e também estudos que avaliem o impacto da visitação turística na caverna, aliado a obtenção de dados físico-químicos são necessários para um entendimento amplo de todas as variáveis que levem a uma caracterização microclimática completa da cavidade.

Nesta pesquisa os dados obtidos forneceram resultados que demonstram as tendências e mecanismos de regulação atmosférica entre o meio externo e interno preferenciais a uma condição de estabilidade da temperatura e umidade do ar. Estas condições podem mudar a qualquer presença ou alteração dos elementos presentes em uma cavidade

A aquisição de dados climáticos de cavernas pode resultar em informações que possibilitariam a modelagem atmosférica desses ambientes, que extrapolado a escalas de nível regional ou nacional, auxiliam na compreensão das condições climáticas e ambientais que determinadas áreas possam apresentar. Tendo grande importância no planejamento e gestão dos recursos naturais, auxiliando no manejo, planejamento, conservação e preservação desses ambientes. Resultando num importante instrumento de apoio na tomada de decisões e gestão do patrimônio geológico e espeleológico pelo mundo.

6. REFERENCIAS

- AULER, A. S.; PILÓ, L. B. Geospeleologia. In: CARVALHO, Sonia Carlos (Org.). **Curso de espeleologia e licenciamento ambiental**. 3. ed. Brasília/DF: CECAV, 2011. p. 25-44.
- AULER, A. S.; PILÓ, L. B.; SAADI, A. AMBIENTES CÁRSTICOS. In: SOUZA, C. R. G. et al. (Ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. Cap. 15. p. 322-342.
- AULER, A. S.; ZOGBI, L. **Espeleologia: noções básicas**. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005.
- AULER, A.; RUBBIOLI, E.; BRANDI, R. **As grandes cavernas do Brasil**. Belo Horizonte: GBPE, 2001. 150 p.
- BADINO, G. Underground meteorology – “What’s the weather underground?”. **Acta Carsologica**, Postojna, v.39, n.3, p.427-448, 2010.
- BAILEY, W.G. Microclimatology. In: OLIVER, J.E. (Ed.) **Encyclopedia of world climatology**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 486-499.
- BOGGIANI, P.C. et al. **Definição de capacidade de carga turística das cavernas do Monumento Natural Gruta do Lago Azul (Bonito, MS)**. *Geociências*, Rio Claro, v.26, n.4, p.333-348, 2007.
- BRILHA J. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Palimage Editores, Viseu, 2005. 190 p.
- BUECHER, R. H. Microclimate study of Kartchner caverns, Arizona. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v.61, n.2, p.108-120, 1999.
- CARVALHO, S.M. Microclimatologia subterrânea da gruta Olhos d’Água (Castro, PR). In: DITZEL, C. de H.M.; SAHR, C.L.L. **Espaço e cultura: Ponta Grossa e os Campos Gerais**. Ponta Grossa: UEPG, 2001. p.443-462.
- CAVALCANTI, F. C. et al. **Plano de Ação Nacional para a Conservação do Patrimônio Espeleológico nas Áreas Cársticas da Bacia do Rio São Francisco**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes, 2012. 140 p. (Série Espécies Ameaçadas, 27). Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-plano-de-acao/pan-cavernas/livro_cavernas.pdf>. Acesso em: 15 junho 2018.
- CECAV. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE)**. Atualização de 30/06/2019. Formato *shapefile*. Sistema de Coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>>. Acesso em: 12 julho 2018.
- CECAV. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS. **Projeto Inventário Anual do Patrimônio Espeleológico Anual: Rotina de procedimentos associados à coleta de dados relativos à localização de cavidades**. 2009. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/Rotina%20de%20procedimentos%20associados%20%C3%A0%20coleta%20de%20dados%20relativos%20%C3%A0%20localiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20cavidades%20Jun_2012.pdf>. Acesso em 20 abril 2019.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.
- CUNHA, S.B. da; GUERRA, A.J.T. (orgs.) **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 5ª Ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil. 2011. 239 - 250pp.

- FAIRCHILD, I. J.; Baker, A. **Speleothem Science: From Process to Past Environments**. New York: Wiley-Blackwell, 2012. 450 p.
- FERNÁNDEZ-CORTÉS, A. **Caracterización microclimática de cavidades y análisis de la influencia antrópica de su uso turístico**. 2004. 424 p. Tese (Doutorado em Hidrogeologia e Química Analítica) – Universidad de Almería, Almería. 2004.
- FERNÁNDEZ-CORTÉS, A.; CALAFORRA, J.M.; SÁNCHEZ-MARTOS, F. Spatiotemporal analysis of air condition as a tool for the environmental management of a show cave (Cueva del Agua, Spain). **Atmospheric Environment**, v.40, p. 7378- 7394, 2006b.
- FOKEN, T. **Micrometeorology**. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 306 p.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. 2 ed. rev. e atual. West Sussex: Wiley, 2007. 562 p.
- FREIRE, L. M. et al. Geoconservação em patrimônios espeleológicos da Amazônia: proposta de planejamento ambiental para a província espeleológica Altamira-Itaituba (PA). **Revista Equador**, Piauí, v. 5, n. 4, p.262-279, jun. 2016.
- FREITAS, C. R. de; SCHMEK, A. L, A. Condensation as a microclimate process: measurement, numerical simulation and prediction in the Glowworm cave, New Zealand. **International Journal of Climatology**, v.23, p.557-575, 2003.
- FREITAS, C. R. The role and the importance of cave microclimate in the sustainable use and management of show caves. **Acta Carsologica**, Postojna, v.39, n.3, p.477-489, 2010.
- FREITAS, S.T.O; DIAS, P.A.; MOMOLI, R.S. Potencial do turismo espeleológico na região de Vila Propício (GO). In: ZAMPAULO, R. A. (org.) CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35, 2019. Bonito. **Anais...** Campinas: SBE, 2019. p.485-491. Disponível em: http://www.cavernas.org.br/anais35cbe/35cbe_485-491.pdf. Acesso em: 16 ago. 2020.
- GEIGER, R. **Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto do solo**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990. 556p.
- INCRA GOIÁS. BLOG DO INCRA. (org.). **Incra cria assentamento para 60 famílias em Vila Propício**. 2017. Disponível em: <https://incragoias.wordpress.com/2017/07/12/incra-cria-assentamento-para-60-familias-em-vila-propicio/>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L.E. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, Monte Sião, v.13, p.105-167, 1979.
- LANDSBERG, H. E.; OLIVER, J. O.; Climatology. In: OLIVER, J.E. (Ed.) **Encyclopedia of world climatology**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 272-283.
- LARIO, J.; SOLER, V. Microclimate monitoring of Pozalagua cave (Vizcaya, Spain): Application to management and protection of show caves. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v.72, n.3, p.169-180, 2010.
- LINO, Clayton Ferreira. **Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo**. 2. Ed. São Paulo: Gaia, 2001.
- LOBO, H. A. S.; BOGGIANI, P. C. Cavernas como patrimônio geológico. **Boletim Paranaense de Geociências**, Paraná, v. 70, p.190-199, ago. 2013.
- LOBO, H. A. S. CARACTERIZAÇÃO DO ESPELEOCLIMA DA GRUTA DO MATEUS (BONITO- MS). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 14, p. 154-172, Jan/jul 2014. ISSN 1980-055x.

LOBO, H.A.S. Circulação microclimática entre superfície, grandes dolinas e cavernas no carste de São Desidério, Bahia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p.163-177, jun. 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/17752>. Acesso em: 09 jan. 2020.

_____, H.A.S. Espeleoclima e suas aplicações no manejo do turismo em cavernas. **Revista do Depto. de Geografia USP**, v.23, p.27-54, 2012.

_____, H.A.S. **Estudo da dinâmica atmosférica subterrânea na determinação da capacidade de carga turística na caverna de Santana (PETAR, Iporanga-SP)**. 2011. 392 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2011.

_____, H.A.S. **Histórico das pesquisas espeleoclimáticas em cavernas brasileiras**. Espeleo-Tema, v.21, p.131-144, 2010.

LOBO, H.A.S.; PERINOTTO, J.A. de J.; POUDOU, S. **Análise de agrupamentos aplicada à variabilidade térmica da atmosfera subterrânea**: contribuição ao zoneamento ambiental microclimático de cavernas. *Revista de Estudos Ambientais*, Blumenau, v.11, n.1, p.22-35, 2009.

LUETSCHER, M.; LISMONDE, B.; JEANNIN, P.Y. Heat exchanges in the heterothermic zone of a karst system: Monlesi cave, Swiss Jura mountains. **Journal of Geophysical Research**, v.113, p.1-13Nehm, 2008.

LUNDBERG, J.; MCFARLANE, D. A. Microclimate and niche constructionism in tropical bat caves: A case study from Mount Elgon, Kenya. **Geological Society Of America**, Special Paper 516, jun. 2015.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. Lei Nº. 9.985, de 18 de julho de 2000. Decreto Nº. 4.340, de 22 de agosto de 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Unidades de Conservação**: Conservando a Vida, os Bens e os Serviços Ambientais. São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/pda/_arquivos/prj_mc_061_pub_car_001_uc.pdf. Acesso em: 15 abr. 2019.

MONTEIRO, C. A. de F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Geosul**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p.61-79, 1990.

MONTEIRO, C. A. de F. O Estudo Geográfico do Clima. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, n. 1, p.1-73, maio 1999.

MORAIS, F; SOUZA, L. Cavernas em arenito na porção setentrional da Serra do Lajeado-Tocantins. **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Minas Gerais, 2009.

MOREIRA, J.R. de A.; TRAJANO, E. Estudo do topoclima de cavernas da província espeleológica arenítica Altamita-Itaituba, Pará. **Espeleo-Tema**, São Paulo, v.16, p.75-82, 1992.

NASCIMENTO, D. T. F. Caracterização ambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal como insumo à gestão dos recursos hídricos. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**, Goiânia, v. 6, n. 2, p. 34-50, jul. 2017. Disponível em: <file:///E:/Documentos/UFG/MESTRADO/DISSERTA%C3%87%C3%83O/REFERENCIAS>

%20E%20MATERIAL%20BIBLIOGRAFICO/ARTIGOS/CLIMA_GOIAS.pdf. Acesso em: 18 ago. 2019.

PALMER, A.N. **Cave geology**. Dayton: Cave Books, 2007. 454 p.

PFLITSCH, A. et al. Dynamic climatologic processes of barometric cave systems using the example of Jewel cave and wind cave in South Dakota, USA. **Acta Carsologica**, Postojna, v.39, n.3, p.449-462, 2010.

PILÓ, Luis B. Geomorfologia Cárstica. *Rev. Brasileira de Geomorfologia*. Rio de Janeiro. V. 1, nº 1, 2000. p. 88-102.

RIBAS, L. M. L. R.; CARVALHO, L. C. de. Cavidade natural subterrânea: natureza jurídica. **Interações (Campo Grande)**. 2009, v.10, n.1, p. 83-93. ISSN 1518-7012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/inter/v10n1/09.pdf>>. Acesso em: 11 abril 2018.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teórica**, Uberlândia, v. 23, n. 45-46, p.288-294, 1993.

ROCHA, B.N. **Estudo microclimático do ambiente de cavernas, Parque Estadual Intervalles, SP**. 2010. 107 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

ROS, A.; LLAMUSÍ, J. L.; SÁNCHEZ, J. **Cuevas hipogénicas en la región de Murcia – España**. Murcia: CENM-naturaleza, 2014.

SANTOS, V. A.; SILVA, C. A. Dinâmica Climática e Poluição Atmosférica na Cidade de Dourados (MS). In: XIV SGBFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 14., 2007, Dourados. **Anais....** Dourados: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2011. p. 1 - 11. Disponível em: <http://lgf.ggf.br/arquivos/publicacoes/48/6a531053786916b77a67b181d977b16e.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2019.

SCALEANTE, J. A. B. **Avaliação do impacto de atividades turísticas em cavernas**. 2003. 82. p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

SCHOBENHAUS FILHO, C. et al. **Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente Incluindo Depósitos Mineraiis - Escala 1/2.500.000**. Brasília, DNPM. 981.

SILVA, R. F.G. **Estimativa de parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos em áreas de embasamento através de métodos indiretos**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia – UFOP. 109p Ouro Preto, 2009.

SORRE, M. Le Climat. In: SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Armand Colin, 1951. Chap. 5, p.13-43.

SORRE, M.; Les fondements biologiques de la geographie humaine. **Écologie & politique**, vol. 26, no. 3, 2002, pp. 189-199.

TABOROSI, D.; HIRAKAWA, K.; SAWAGAKI, T. Carbonate precipitation along a microclimatic gradient in a Thailand cave – continuum of calcareous tufa and speleothems. **Journal of Cave and Karst Studies**, Huntsville, v.67, n.1, p.69-87, 2005.

TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M., FAIRCHILD, T.R., TAIOLI, F. (orgs.). **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos. São Paulo, 2000. 568 p.

TORTELLI, D. M. **Modelagem e Renderização da Gênese e Crescimento de Espeleotemas em Tempo-Real**. 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

TRAVASSOS, L. E. P. 2007a. **Caracterização do carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial. PUC Minas. 96 p.

WATSON, A.J.; LOVELOCK, J.E. **Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld**. Tellus, v.35B, p.284-289, 1983.

WORTHINGTON, S. R. H. A comprehensive strategy for understanding flow in carbonate aquifer. **Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers**, v.1, n.1, p.1-8, 2003.

YNOUE, R. Y. et al. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 184 p.