

VRB Esp

Revista Brasileira de ESPELEOLOGIA

Edição Especial, V.01 - Nº 13 de 2024
ISSN 2179.4952

EDIÇÃO ESPECIAL

2º Prêmio
Nacional
de Espeleologia



**Michel
Le Bret**



Equipe editorial

Júlio Ferreira da Costa Neto, Jocy Brandão Cruz, Julio César Rocha Costa,
Diego de Medeiros Bento, Thais Xavier Nunes e Claudia Simone da Luz Alves.



VRBEsp
Revista Brasileira de
ESPELEOLOGIA

Brasília-DF
2024



Expediente edição especial

Publicada pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – ICMBio/Cecav www.icmbio.gov.br/cecav
Endereço: Parque Nacional de Brasília. Rodovia BR 450, km 8,5 via Epia. CEP: 70635-800, Brasília/DF. Brasil.
Telefone: +55 (61) 2028-9792.

Editores

Júlio Ferreira da Costa Neto

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Jocy Brandão Cruz

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Comissão de apoio editorial

Claudia Simone da Luz Alves

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Thais Xavier Nunes

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Diego de Medeiros Bento

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

Julio César Rocha Costa

Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, Nova Lima, Minas Gerais, Brasil.

Comissão Científica da edição especial

Dr. Allan Silas Calux

Scientific Director at Carstografica –Karst Applied Research Centre, Campinas, São Paulo, Brasil.

Me. Xavier Prous

Analista de Meio Ambiente na Gerência de Espeleologia da Mineradora Vale S.A.

Coordenação editorial

Javiera de la Fuente C.

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentabilidade - IABS.

Projeto gráfico

Bruno Silva Bastos

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentabilidade - IABS.

Diagramação

Júlia Mendes Araújo

Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Sustentabilidade - IABS.

Foto da capa

Gruta Ermida, Almirante Tamandaré /PR / **Rodrigo Lopes Ferreira**

Catálogo na Fonte

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

Revista Brasileira de Espeleologia. Edição Especial – 2º Prêmio Nacional de Espeleologia Michel Le Bret / Julio Ferreira da Costa Neto e Jocy Brandão Cruz (ed.) – Brasília: ICMBio, 2024.

ISSN 2179.4952 - Online

368 p. ; Il. Color.

1. Espeleologia. 2. Estudos Ambientais. 3. Geomorfologia cárstica. 4. Biologia subterrânea. I. Julio Ferreira da Costa Neto II. Jocy Brandão Cruz. III. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. VI. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – ICMBio/Cecav. V. Título.

CDU: 551.44

A reprodução total ou parcial desta obra é permitida, desde que citada a fonte.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade
Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
Rodovia BR 450, km 8,5 via Epia – Parque Nacional de Brasília
CEP: 70635-800 - Brasília/DF - Tel: 61 2028-9792
<http://www.icmbio.gov.br/CECAV>

PROTEÇÃO FORNECIDA POR PEQUENA CAVERNA PARA UMA COLÔNIA DE MORCEGOS (*Anoura geoffroyi* GRAY, 1838) DURANTE INCÊNDIO FLORESTAL OCORRIDO NO BRASIL

PROTECTION PROVIDED BY A SMALL CAVE FOR A BAT COLONY (*Anoura geoffroyi* GRAY, 1838) DURING A FOREST FIRE IN BRAZIL

Aline da Silva Reis

Observatório Espeleológico – OE
E-mail: alineambiental@yahoo.com.br

Robson de Almeida Zampaulo

Observatório Espeleológico – OE
E-mail: rzampaulo@yahoo.com.br

RESUMO

Morcegos são considerados de extrema importância para o ambiente cavernícola atuando diretamente no aporte energético destes ecossistemas. O guano produzido por alguns grupos de morcegos possui extremo valor energético chegando ao ponto de algumas espécies de invertebrados (guanóbios) terem se especializado a viver exclusivamente deste recurso. Em contrapartida, para os morcegos, as cavernas fornecem abrigo e proteção contra intempéries e predadores. Neste trabalho, avaliamos variações no microclima da caverna MJ_0005 durante um evento de incêndio ocorrido em seu entorno. Para esta avaliação, utilizamos os dados de três *data loggers* sendo um instalado próximo a entrada da caverna no ambiente externo, um no meio da caverna e um próximo

ABSTRACT

*Bats are considered to be extremely important for the cave environment, acting directly in these ecosystems' energy supply. The guano produced by some bat groups has extreme energetic value, to the point where some invertebrates species (detritivores) have specialized in living exclusively off this resource. On the other hand, caves provide shelter and protection from weather and predators for bats. In this study, we evaluated variations in the MJ_0005 cave's microclimate during a fire event in its surroundings. Data from three data loggers were used for this evaluation. One installed near the outside of the cave's entrance, one in the middle of the cave and one near a large *Anoura geoffroyi* bat colony. The outside's average temperature ($x 22,6^{\circ}\text{C}$) was significantly higher than the average temperatures in the middle of the cave ($x 18,3^{\circ}\text{C}$) and at*

ao local onde uma grande colônia de morcegos da espécie *Anoura geoffroyi* reside. No dia do incêndio, a temperatura média do ambiente externo (x 22,6°C) apresentou-se expressivamente maior que as temperaturas médias do meio da caverna (x 18,3°C) e do local da colônia (x 18,6°C). No momento em que o incêndio se aproximou da área onde se encontrava o *logger* externo, a temperatura atingiu 33,3°C, enquanto a temperatura registrada no meio da caverna era de 16,4°C e no ponto próximo a colônia a temperatura era 17,0°C. Mesmo no momento em que o *logger* externo apresentou o maior valor de temperatura (46,0°C), os dados observados no ponto da colônia e no centro da caverna foram inferiores as médias anuais observadas neste ambiente. Desta forma, torna-se evidente que mesmo cavernas de pequenas dimensões também podem representar refúgios importantes para a fauna em locais onde a incidência de distúrbios ambientais como os incêndios florestais ocorrem de maneira constante, sendo, portanto, um aspecto importante a ser avaliado em estudos de relevância espeleológica em regiões onde a disponibilidade de cavernas é restrita.

PALAVRAS-CHAVE: Fogo, abrigo, impacto, fauna.

INTRODUÇÃO

A ordem Chiroptera é considerada a segunda maior ordem de mamíferos em número de espécies conhecidas no mundo. Atualmente, no Brasil são encontradas 182 espécies de morcegos, distribuídas em 68 gêneros e nove famílias (GARBINO *et al.*, 2020).

Os morcegos são extremamente importantes no equilíbrio ecológico dos ecossistemas, desempenhando serviços fundamentais, como

the colony site (x 18,6°C) on the day of the fire. The temperature reached 33,3°C when the fire approached the external logger's location. Meanwhile the temperature recorded in the middle of the cave was 16,4°C whilst at the colony's location was 17,0°C. The data observed at the colony point as well as in the center of the cave were lower than the annual averages observed in this environment even when the external logger showed the highest temperature (46,0°C). Thus, it becomes clear that even small caves can also represent important refuges for fauna in places where environmental disturbances such as forest fires constantly occurs. Therefore, they are an important aspect to be evaluated in speleological relevant studies in regions where their availability is restricted.

KEYWORDS: Fire, shelter, impact, fauna.

INTRODUCTION

*The Chiroptera order is considered to be the second largest mammals order in terms of the number of known species in the world. Currently, 182 bat species are found in Brazil. They are distributed in 68 genera and nine families (GARBINO *et al.*, 2020).*

Bats are extremely important in the ecological balance of ecosystems, performing fundamental services such as pollinating plants, dispersing

a polinização de plantas, dispersão de sementes e o controle de populações de insetos (KUNZ; LUMSDEN, 2003; PIMENTEL *et al.*, 2022).

O grupo também é considerado de extrema importância para os ambientes cavernícolas, onde atuam diretamente no aporte energético para o interior da caverna. O guano produzido por alguns grupos de morcegos é de extrema importância, especialmente em cavernas permanentemente secas. Além disso, algumas espécies de invertebrados (guanóbios) podem ser consideradas como especialistas neste tipo de recurso, alimentando exclusivamente dos dejetos produzidos pelas colônias de morcegos (BAHIA; FERREIRA, 2005; FERREIRA *et al.*, 2000; GNASPINI; TRAJANO, 2000).

Em contrapartida, para os morcegos, as cavernas fornecem abrigo e proteção contra intempéries e predadores. Segundo Pereira e colaboradores (2022), no Brasil aproximadamente 45% (80) das espécies de morcegos conhecidas já foram registradas em cavernas, sendo estas utilizadas de forma permanente ou temporária como abrigos diurnos ou poleiros noturnos. A seleção de abrigos por morcegos ainda não é muito clara, no entanto acredita-se que a escolha leve em consideração a interação de diversos fatores, incluindo aspectos físicos (temperatura, umidade, fluxo de ar e intensidade da luz), fatores bióticos (distribuição e abundância de alimento, riscos de predação, competição), além de fatores ecológicos da espécie (KUNZ, 1982; TORQUETTI; SILVA; TALAMONI, 2017; TRAJANO, 1985).

São poucos os estudos realizados no Brasil que tenham como objetivo compreender como os morcegos respondem aos incêndios florestais, sendo inexistente qualquer estudo que avalie

*seeds and controlling insect populations (KUNZ; LUMSDEN, 2003; PIMENTEL *et al.*, 2022).*

*The group is also considered to be extremely important for cave environments. It directly supplies energy to the cave's interior. The guano produced by some bat groups is extremely important, especially in permanently dry caves. In addition, some invertebrate species (detritivores) can be considered specialists in this type of resource, feeding exclusively on the waste produced by bat colonies (BAHIA; FERREIRA, 2005; FERREIRA *et al.*, 2000; GNASPINI; TRAJANO, 2000).*

*On the other hand, caves provide shelter and protection from weather and predators for bats. According to Pereira *et al.* (2022), approximately 45% (80) of known bat species have been recorded in Brazil's caves. They are either permanently or temporarily used as daytime shelters or nighttime roosts. The bats' shelter selection is still unclear, but it is believed that the choice takes the interaction of various factors into account. These factors include physical aspects (temperature, humidity, air flow and light intensity), biotic factors (food distribution and abundance, predation risks, competition), as well as the species ecological factors (KUNZ, 1982; TORQUETTI; SILVA; TALAMONI, 2017; TRAJANO, 1985).*

*Few studies have been carried out in Brazil to understand how bats respond to forest fires, and there are no studies evaluating the shelter's importance as a protection strategy against those fires (OLIVEIRA; AGUIAR, 2015; SANTOS *et al.* 2021; LOEB; BLAKEY, 2021).*

Therefore, this study aims to show how a small ferruginous underground natural cave microclimate behaves when a large forest fire occurs in its surroundings. Thereby, it was assessed how

a importância do abrigo como estratégia de proteção contra incêndios florestais (OLIVEIRA; AGUIAR, 2015; SANTOS *et al.* 2021; LOEB; BLAKEY, 2021).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo demonstrar como se comporta o microclima de uma pequena cavidade natural subterrânea ferruginosa diante da ocorrência de um grande evento de incêndio florestal em seu entorno. Desta forma, avaliamos como estes ambientes podem representar uma importante forma de proteção para fauna cavernícola, em especial para uma grande colônia de morcegos.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado em uma pequena caverna localizada no Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais (Figura 1). Esta caverna corresponde a um importante abrigo reprodutivo utilizado por uma grande população de morcegos da espécie *Anoura geoffroyi* (REIS *et al.*, 2022). O Quadrilátero Ferrífero (QF) apresenta litologia propensa para o desenvolvimento de cavernas, geralmente de pequenas dimensões. De acordo com Auler e Piló (2007), em torno de 70% das cavidades no QF apresentam dimensões que estão no intervalo entre 20-30 metros de projeção horizontal.

A caverna MJ_0005 (WGS 84 - 23K 596494E / 7777744N - 1.072 altitude) encontra-se localizada no município de Brumadinho, área metropolitana de Belo Horizonte (Figura 1). Em relação a sua morfologia, ela possui aproximadamente 36 metros de projeção horizontal (PH) e um pequeno curso d'água perene que percorre toda sua extensão. Desenvolvida na formação ferrífera, a caverna apresenta tendência retilínea

these environments can represent an important form of protection for cave fauna, especially for large bat colonies.

METHODOLOGY

*This study was carried out in a small cave located in the Iron Quadrangle, Minas Gerais state (Figure 1). This cave corresponds to an important breeding shelter used by a large *Anoura geoffroyi* bat population (REIS *et al.*, 2022). The Iron Quadrangle's lithology is prone to caves development, which are generally small in size. According to Auler and Piló (2007), around 70% of the Iron Quadrangle's caves are between 20-30 meters in horizontal projection.*

Cave MJ_0005 (WGS 84 - 23K 596494E / 7777744N - 1,072 altitude) is located in the Brumadinho municipality, in Belo Horizonte metropolitan area (Figure 1). In terms of its morphology, it has approximately 36 meters of horizontal projection (HP) and a small perennial watercourse that runs along its entire length. Developed in the ferriferous formation, the cave has a rectilinear trend and is formed by a single simple conduit with some lateral recesses and two entrances. The upstream entrance is approximately 1.30 meters high and 6 meters wide, while the downstream entrance is about 50 cm high and 3 meters wide (Figure 1).

sendo formada por conduto único e simples, com algumas reentrâncias laterais, e duas entradas. A entrada a montante possui aproximadamente 1,30 metros de altura por 6 metros de largura já a entrada a jusante apresenta cerca de 50 cm de altura por 3 metros de largura (Figura 1).

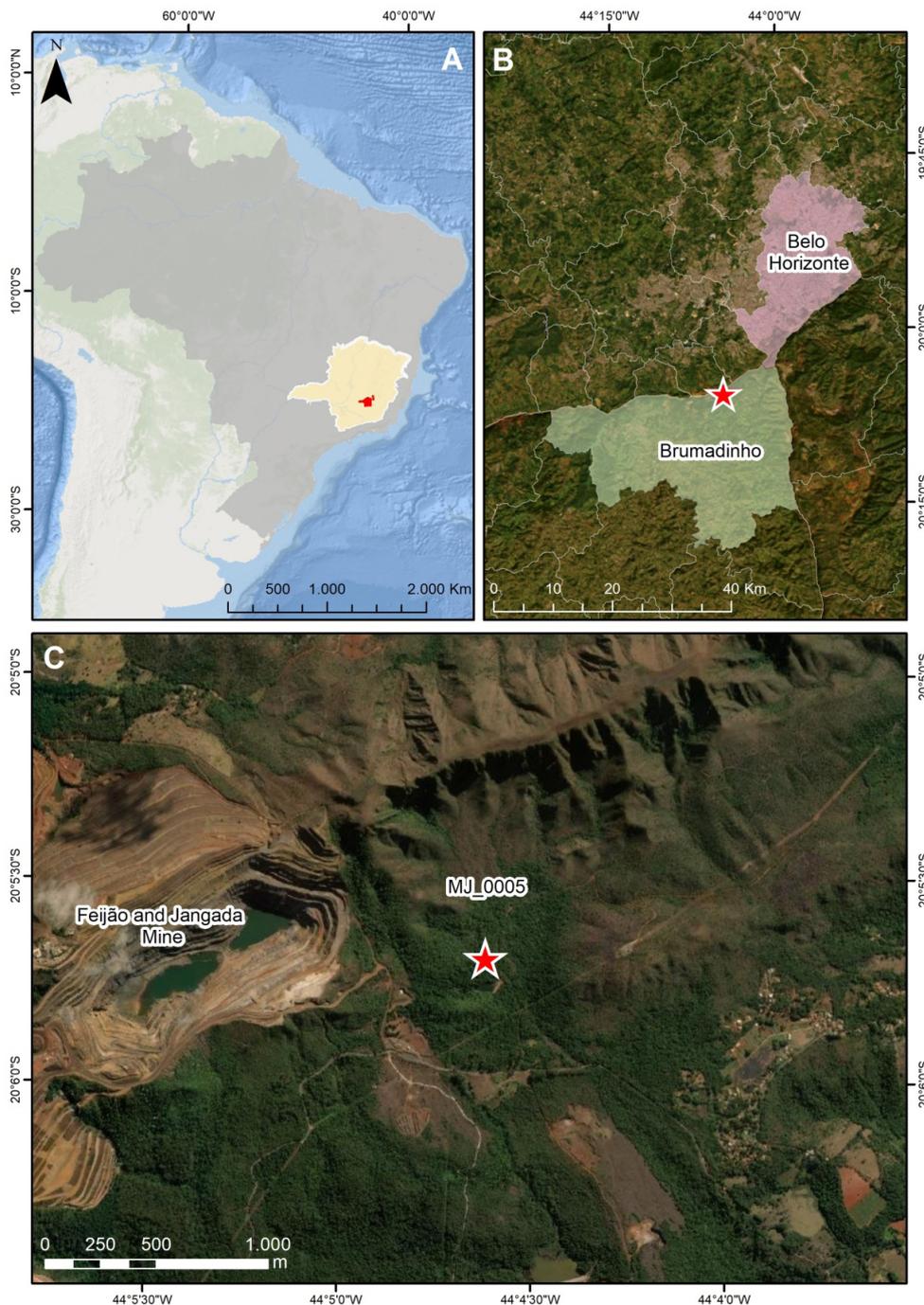


Figura 1 – Mapa com a localização da caverna MJ_0005 em relação ao Quadrilátero Ferrífero e a área metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Figure 1 – Map showing the MJ_0005 cave location in relation to the Iron Quadrangle and the metropolitan area of Belo Horizonte, Minas Gerais.

Coleta de dados

Para a aferição dos dados de temperatura e umidade foram utilizados dois data loggers previamente instalados no interior da caverna para fins de monitoramento, sendo um próximo à colônia de morcegos (L1) e outro na porção mediana da caverna (L2). Para comparar as condições ambientais do interior da caverna com o ambiente epígeo, um terceiro data logger foi instalado no ambiente externo próximo à entrada a jusante (L3) (Figura 2). Os loggers utilizados da marca HOB0, modelo U23-001 (Temperatura, precisão: +/- 0,21°C de 0° a 50°C; Umidade, precisão: +/- 2,5%), foram programados para a coleta de dados de temperatura e umidade em intervalos de 30 minutos, sendo as medições realizadas entre março de 2017 e março de 2018.

Data collection

Two data loggers were previously installed inside the cave to measure temperature and humidity data, for monitoring purposes. One of them was installed near the bat colony (L1) and the other in the middle of the cave (L2). A third data logger was installed in the external environment near the downstream entrance (L3) (Figure 2) to compare the environmental conditions inside the cave with the epigeal environment. The HOB0 data loggers used, model U23-001 (Temperature, accuracy: +/- 0.21°C from 0° to 50°C; Humidity, accuracy: +/- 2.5%), were programmed to collect temperature and humidity data at 30-minute intervals, and measurements were taken between March 2017 and March 2018.

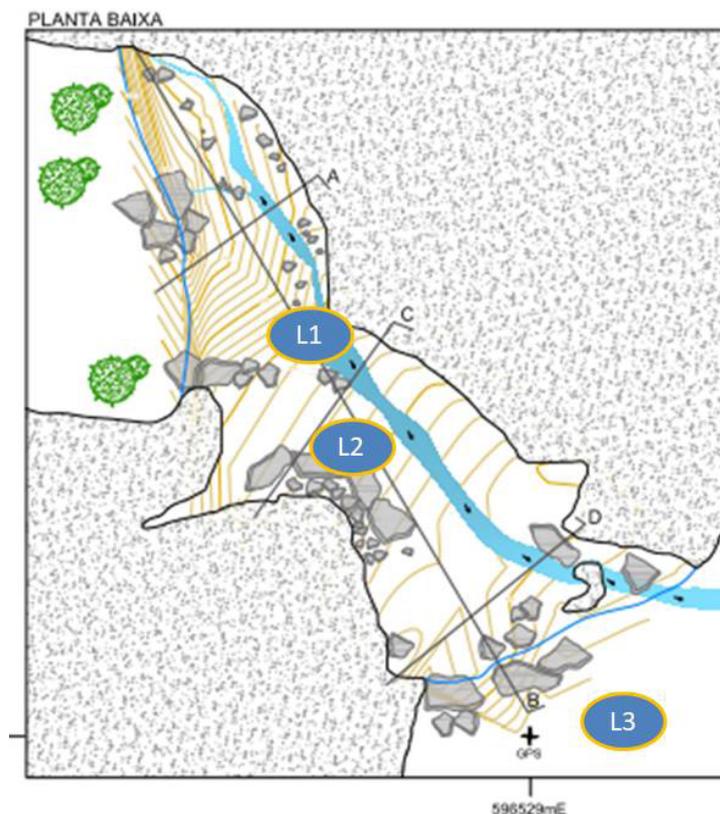


Figura 2 – Planta baixa da caverna indicando a localização de instalação dos data loggers (LN) utilizados no experimento. Fonte: Mapa topográfico elaborado pela VALE S.A. e adaptado pelos autores.

Figure 2 – Cave's floor plan showing the location of the data loggers (LN) used in the experiment. Source: Topographic map prepared by VALE S.A. and adapted by the authors.

Análises dos dados

Para avaliar as condições climáticas dos pontos de amostragem ao longo do ano, os dados de temperatura e umidade no interior da caverna foram comparados entre si e com dados obtidos no ambiente epígeo. Estas variáveis foram comparadas por meio do teste de Wilcoxon (não paramétrico) sendo as análises realizadas nos programas R Project 3.5.1 (2018) considerando nível de significância de 5%.

Para avaliar as condições ambientais do abrigo e como os fatores climáticos no interior da caverna se comportaram no dia do incêndio, médias anuais obtidas nos pontos de amostragem no interior da caverna foram comparados com os dados obtidos no dia do incêndio. Além disso, estas variáveis obtidas no interior da caverna e no ambiente epígeo foram comparadas entre si no momento do ápice do incêndio e ao longo do dia.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Caracterização do microclima anual da caverna

A temperatura média anual da caverna MJ_0005 foi de 18,3°C, sendo as menores temperaturas observadas em julho com 11°C e as maiores temperaturas registradas em dezembro, chegando a 25,3°C. A umidade média anual da caverna MJ_0005 foi de 89% (Tabela 1). O mês de setembro apresentou as menores taxas de umidade, chegando a 37%, tendendo a saturação nos meses da estação úmida (dezembro a março).

Data analysis

The temperature and humidity data inside the cave were compared with each other and with data obtained in the epigean environment to assess the climatic sampling points conditions throughout the year. These variables were compared using the Wilcoxon test (non-parametric) and the analyses were carried out in the R Project 3.5.1 (2018) program, considering a significance level of 5%.

Annual averages obtained at the sampling points inside the cave were compared with the data obtained on the day of the fire to assess the environmental conditions of the shelter and how the climatic factors inside the cave behaved on that day. In addition, these variables obtained inside the cave and in the epigean environment were compared with each other at the fire's apex and throughout the day.

RESULTS AND DISCUSSION

Cave's annual microclimate characterization

The average annual temperature in MJ_0005 cave was 18.3°C, with the lowest temperatures observed in July at 11°C and the highest temperatures recorded in December, reaching 25.3°C. The average annual humidity in cave MJ_0005 was 89% (Table 1). The month of September showed the lowest humidity rates, reaching 37%, tending towards saturation in the wet season months (December to March).

Tabela 1 - Dados das médias anuais de temperatura e umidade de cada ponto amostral (C° = Temperatura; UR % = Umidade relativa do ar).

CAVERNA	Local da Colônia (L1)		Meio da caverna (L2)		Ambiente externo (L3)	
	C °	UR%	C °	UR%	C °	UR%
MJ_0005	18,9	87,8	18,3	89,1	18,7	87,9

Table 1 - Annual average temperature and humidity data for each sampling point (C° = Temperature; RH % = Relative humidity).

CAVE	Colony site (L1)		Middle of the cave (L2)		External environment (L3)	
	C °	RH%	C °	RH%	C °	RH%
MJ_0005	18,9	87,8	18,3	89,1	18,7	87,9

Observamos temperaturas médias significativamente mais elevadas quando comparamos os dados do *logger* instalado próximo à colônia (x 18,9°) em relação ao *logger* instalado no meio da caverna (x 18,3°) e do *logger* instalado no ambiente externo (x 18,7°) (Tabela 2). A temperatura do ambiente externo ((x)18,7°) se mostrou significativamente maior que a temperatura do meio da caverna (x 18,3°) (Tabela 2).

Significantly higher average temperatures were observed when the data from the logger installed near the colony (x 18.9°) was compared to the logger installed in the middle of the cave (x 18.3°) and the logger installed outside (x 18.7°) (Table 2). The external environment's temperature ((x)18.7°) was significantly higher than the temperature in the middle of the cave (x 18.3°) (Table 2).

Tabela 2 - Dados das médias anuais de temperatura e umidade de cada ponto amostral (C° = Temperatura; UR % = Umidade relativa do ar).

Locais de mediação de temperatura		MJ_0005	
L1	-	L2	W = 159; p < 2,2e-16
L1	-	L3	W = 148; p = 2,737e-13
L3	-	L2	W = 151; p < 2,2e-16

Table 2 – Average temperature values comparison between monitoring points.

Locais de mediação de temperatura			MJ_0005
L1	-	L2	W = 159; p < 2,2e-16
L1	-	L3	W = 148; p = 2,737e-13
L3	-	L2	W = 151; p < 2,2e-16

Com relação à umidade, a caverna MJ_0005 apresentou umidade significativamente menor no ponto junto à colônia (x 87,8%) quando comparado com o meio da caverna (x 89,1%) e ambiente externo (x 87,9%). Neste caso o meio da caverna apresentou umidade significativamente maior que o ponto do ambiente externo (Tabela 3).

Regarding humidity, MJ_0005 cave showed significantly lower humidity at the point next to the colony (x 87.8%) when compared to the middle of the cave (x 89.1%) and the external environment (x 87.9%). In this case, the middle of the cave had significantly higher humidity than the external environment (Table 3).

Tabela 3 – Comparação dos valores médios de umidade relativa do ar entre os locais de monitoramento.

Locais de mediação de temperatura			MJ_0005
L1	-	L2	W = 120, p < 2.2e-16
L1	-	L3	W = 133, p < 2.2e-16
L3	-	L2	W = 129, p < 2.2e-16

Table 3 – Average relative humidity values comparison between monitoring sites.

Temperature measurement sites			MJ_0005
L1	-	L2	W = 120, p < 2.2e-16
L1	-	L3	W = 133, p < 2.2e-16
L3	-	L2	W = 129, p < 2.2e-16

Caracterização do microclima da caverna no dia do incêndio

Todos os anos, a região do Quadrilátero Ferrífero é atingida por inúmeros incêndios florestais, em sua maioria de origem antrópica. Da mesma forma, a região da Serra do Rola Moça, local onde se encontra localizada a caverna MJ_0005, também sofre com estes distúrbios. Durante o ano de 2017, inúmeros incêndios foram observados na região, sendo que no dia 18 de setembro 2017, observamos que na área de estudo um incêndio de grandes proporções atingiu o local onde se encontra localizada a caverna MJ_0005 e todo seu entorno (Figura 3).

Cave's microclimate characterization on the day of the fire

Every year, the Iron Quadrangle region is hit by numerous forest fires, most of which are of anthropogenic origin. Similarly, the Serra do Rola Moça region, where MJ_0005 cave is located, also suffers from these disturbances. During 2017, numerous fires were observed in the region, and on September 18, 2017, a major fire in the study area hit the site of the MJ_0005 cave and all its surroundings (Figure 3).

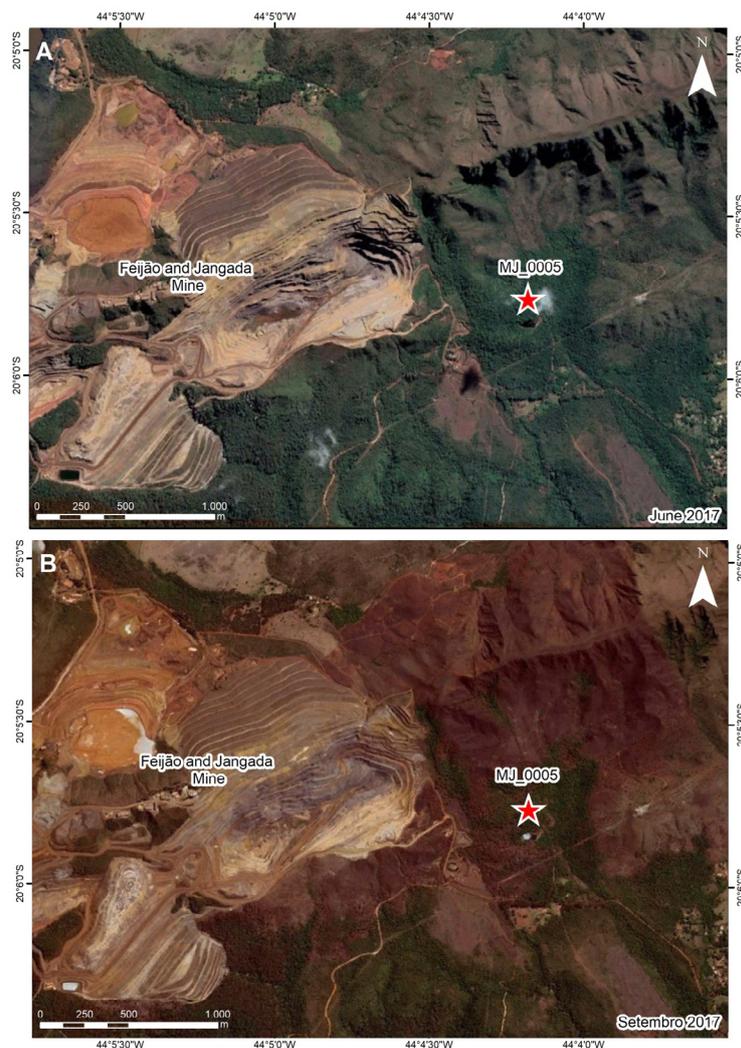


Figura 3 – A) Imagem da área onde está localizada a caverna MJ_0005 antes do incêndio; B) Área onde está localizada a caverna MJ_0005 e seu entorno após o incêndio.

Figure 3 – A) Image of the area where MJ_0005 cave is located before the fire; B) Area where MJ_0005 cave is located and its surroundings after the fire.

No dia do incêndio, a temperatura média do ambiente externo ($\times 22,6^{\circ}\text{C}$) apresentou-se expressivamente maior que as temperaturas médias da porção intermediária da caverna ($\times 18,3^{\circ}\text{C}$) e do ponto onde se encontra a colônia de morcegos ($\times 18,6^{\circ}\text{C}$) (Tabela 4) (Figura 4).

On the day of the fire, the external environment's average temperature ($\times 22.6^{\circ}\text{C}$) was significantly higher than the average temperatures in the middle part of the cave ($\times 18.3^{\circ}\text{C}$) and at the bat colony location ($\times 18.6^{\circ}\text{C}$) (Table 4) (Figure 4).



Figura 4 – A-B) Imagens da entrada a montante da caverna MJ_0005; C) Entrada a jusante, D) Entorno da caverna (imagens realizadas sete dias após o incêndio: 25/11/2017).

Figure 4 – A-B) Images of the upstream entrance to MJ_0005 cave; C) Downstream entrance, D) Cave surroundings (images taken seven days after the fire: 25/11/2017).

Tabela 4 – Médias de temperatura e umidade registradas em cada ponto amostral (C° = Temperatura; UR % = Umidade relativa do ar) no dia do incêndio.

CAVERNA	Local da Colônia (L1)		Meio da caverna (L2)		Ambiente externo (L3)	
	C°	UR%	C°	UR%	C°	UR%
MJ_0005	18,6	72,3	18,3	76	22,6	57

Table 4 – Temperature and humidity averages recorded at each sampling point (C° = Temperature; RH % = Relative humidity) on the day of the fire.

CAVE	Colony site (L1)		Middle of the cave (L2)		External environment (L3)	
	C °	RH%	C °	RH%	C °	RH%
MJ_0005	18,6	72,3	18,3	76	22,6	57

De acordo com os dados de temperatura e umidade registrados pelo *logger* instalado no ambiente epígeo (L3), o fogo se aproximou da caverna por volta das 5h30 da manhã e permaneceu neste ponto por aproximadamente duas horas (Anexo1). Por volta de 6h do dia do incêndio, a temperatura registrada próxima à caverna ultrapassou 46°C. A umidade baixou drasticamente, atingindo suas menores taxas às 6h00 horas da manhã no ambiente externo (20,7%) (Tabela 5).

According to the temperature and humidity data recorded by the logger installed in the epigeal environment (L3), the fire approached the cave at around 5.30 a.m. and remained at this point for approximately two hours (Appendix 1). At around 6 a.m. on the day of the fire, the temperature recorded near the cave exceeded 46°C. Humidity dropped dramatically, reaching its lowest levels at 6 a.m. in the external environment (20.7%) (Table 5).

Tabela 5 – Valores de temperatura e umidade registrados próximo ao horário do incêndio. Temp = Temperatura; umid = Umidade.

HORA	COLÔNIA (L1)		MEIO (L2)		EXTERNO (L3)	
	Temp	Umid	Temp	Umid	Temp	Umid
05h00	17,0	90,0	16,4	91,4	16,9	78,6
05h30	16,7	86,9	16,2	89,8	33,3	44,1
06h00	16,8	86,0	16,2	88,6	46,1	20,7
06h30	16,8	86,7	16,3	88,4	34,2	34,4
07h00	16,9	85,9	16,5	88,6	26,8	46,8
07h30	17,1	86,0	16,7	88,7	24,5	51,7
08h00	17,3	85,1	16,9	85,0	22,9	58,4

Table 5 – *Temperature and humidity values recorded around the time of the fire. Temp = Temperature; humid = Humidity.*

TIME	COLONY (L1)		MIDDLE (L2)		EXTERNAL (L3)	
	Temp	Humid	Temp	Humid	Temp	Humid
05h00	17,0	90,0	16,4	91,4	16,9	78,6
05h30	16,7	86,9	16,2	89,8	33,3	44,1
06h00	16,8	86,0	16,2	88,6	46,1	20,7
06h30	16,8	86,7	16,3	88,4	34,2	34,4
07h00	16,9	85,9	16,5	88,6	26,8	46,8
07h30	17,1	86,0	16,7	88,7	24,5	51,7
08h00	17,3	85,1	16,9	85,0	22,9	58,4

Vale ressaltar que quando comparadas as temperaturas registradas no dia do incêndio no ponto de amostragem L3 com as médias anuais podemos observar temperatura expressivamente maiores que as médias anuais. Da mesma forma, com relação à umidade relativa do ar, os valores observados no ponto L3 no dia do incêndio são significativamente menores que a média anual na área de estudo. No entanto, quando avaliada a temperatura e a umidade nos pontos da colônia (L1) e na porção intermediária da caverna (L2) não são observadas variações expressivas quando comparadas às médias anuais com os dados obtidos no dia do incêndio.

Considerando que o incêndio se aproximou da área onde está localizada a caverna entre 5h30 e 6h da manhã, a temperatura registrada na porção intermediária da caverna era de 16,4°C, enquanto no ponto onde se encontra a colônia de morcegos a temperatura era de 17,0°C e o *logger* instalado no ambiente externo registrava 33,3°C. Mesmo no momento em que o *logger*

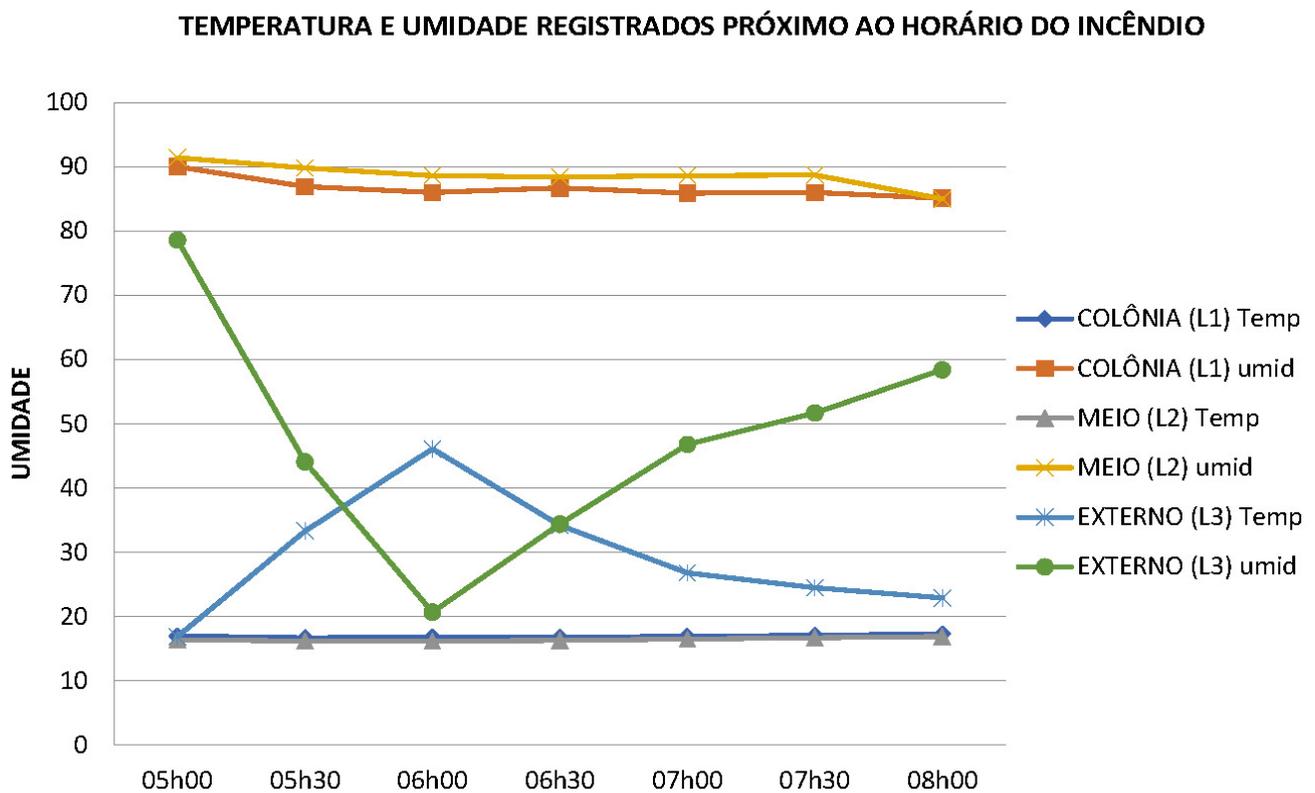
It is worth noting that when the temperatures recorded on the day of the fire at sampling point L3 are compared with the annual averages, significantly higher temperatures than the annual averages are observed. Similarly, regarding relative humidity, the values observed at point L3 on the day of the fire are significantly lower than the annual average in the study area. However, when evaluating the temperature and humidity at the colony points (L1) and in the middle of the cave (L2), there were no significant variations when comparing the annual averages with the data obtained on the day of the fire.

Considering that the fire approached the area where the cave is located between 5:30 and 6:00 a.m., the temperature recorded in the middle of the cave was 16.4°C, while at the bat colony location the temperature was 17.0°C and the logger installed outside recorded 33.3°C. Even when the external logger showed the highest temperature (46.1°C), the data observed near the colony and in the middle of the cave were lower than the annual

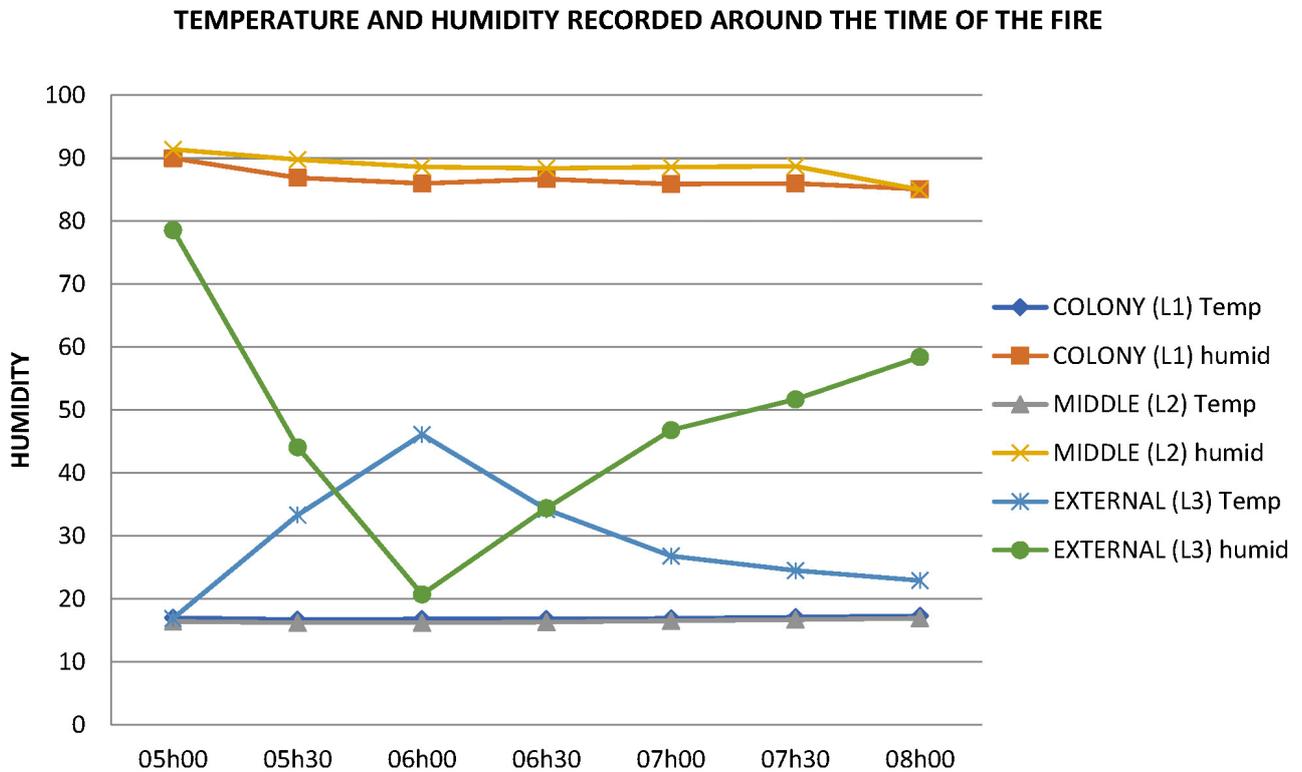
externo apresentou o maior valor de temperatura (46,1°C), os dados observados próximos à colônia e no centro da caverna são inferiores às médias anuais apresentadas. O mesmo padrão de comportamento apresentado pode ser observado quando avaliada a umidade no ponto da colônia e no meio da caverna, já que não foram registradas variações expressivas deste parâmetro no dia do incêndio (Gráfico 1).

averages shown. The same behavior pattern can be observed when evaluating the humidity at the colony's point and in the middle of the cave, since there were no significant variations in this parameter on the day of the fire (Graph 1).

Gráfico 1 – Valores de temperatura e umidade registrados próximo ao horário do incêndio. Temp = Temperatura; umid = Umidade.



Graph 1 – Temperature and humidity values recorded around the time of the fire. Temp = Temperature; humid = Humidity.



Sabidamente a caverna MJ_0005 é utilizada por uma colônia de *A. geoffroyi* como abrigo reprodutivo (REIS *et al.*, 2022). Nos primeiros meses do ano (janeiro a junho), a população é composta majoritariamente por indivíduos machos adultos. A partir de junho, ocorre a chegada das fêmeas ao abrigo, momento no qual a razão sexual se aproxima de 1:1. De agosto até outubro, a colônia passa a ser composta majoritariamente por fêmeas. Este momento corresponde ao período reprodutivo (cópulas e gestação) da população. Entre novembro e dezembro, as fêmeas ainda prenhes abandonam o abrigo. Este comportamento de segregação sexual dificulta inferências a respeito de uma eventual diminuição do número de indivíduos da caverna após o incêndio, uma vez que

*MJ_0005 cave is known to be used by an *A. geoffroyi* colony as a breeding shelter (REIS *et al.*, 2022). In the first few months of the year (January to June), the population is mainly made up of adult males. From June onwards, females arrive at the shelter, at which point the sex ratio approaches 1:1. From August until October, the colony is mostly made up of females. This time corresponds to the reproductive period (copulations and pregnancy) of the population. Between November and December, the still-pregnant females leave the shelter. This sexual segregation behavior makes it difficult to infer a possible decrease in the number of individuals in the cave after the fire, since there is already a natural decline in the months following the reproductive period. Even so, the estimated annual average number of individuals in MJ_0005 cave is*

naturalmente já ocorre um declínio natural nos meses que sucedem o período reprodutivo. Ainda assim, a estimativa da média anual do número de indivíduos na caverna MJ_0005 é de 3.653 morcegos e o número estimado observado para o mês de setembro logo após o incêndio foi de 3.983 (REIS *et al.*, 2022). Sendo assim, estudos de longa duração são necessários para o entendimento dos impactos causados pelos incêndios ao longo dos anos.

Finalmente pelos dados apresentados, podemos inferir que mesmo cavernas de pequenas dimensões podem representar abrigos importantes para a fauna cavernícola durante a ocorrência de incêndios florestais, sendo este inclusive um dos fatores que podem contribuir para a escolha do abrigo por estas espécies. Diferente de outros abrigos naturais comumente utilizados por morcegos como folhagens, troncos e pequenas fissuras nas rochas, a caverna MJ_0005 possibilitou a permanência e a sobrevivência da colônia na caverna mesmo durante oscilações expressivas de temperatura e umidade no ambiente epígeo. Desta forma, torna-se evidente que estes abrigos também podem representar refúgios importantes para a fauna em locais onde a incidência de distúrbios ambientais como os incêndios ocorrem de maneira constante, sendo, portanto um aspecto importante a ser avaliado em estudos de relevância espeleológica em regiões onde a disponibilidade de cavernas é restrita.

3,653 bats and the estimated number observed for the month of September, shortly after the fire was 3,983 (REIS et al., 2022). Therefore, long-term studies are necessary to understand the impacts caused by fires over the years.

Finally, from the presented data, it can be inferred that even small caves can be important shelters for cave fauna during forest fires, and that this is one of the factors that can contribute to the choice of shelter by these species. Unlike other natural shelters commonly used by bats, such as foliage, logs and small cracks in rocks, MJ_0005 cave allowed the colony to survive and remain in the cave even during significant fluctuations in temperature and humidity in the epigeal environment. Thus, it is clear that these shelters can also represent important refuges for fauna in places where environmental disturbances such as fires constantly occurs, and are therefore an important aspect to be evaluated in studies of speleological relevance in regions where the availability of caves is restricted.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a VALE S.A, representada pela Gerencia de Espeleologia por permitir o acesso até o local onde a caverna MJ-0005 está localizada e pelo apoio logístico. Agradecemos ao William Demétrio pela dedicação durante o estudo e ao Leopoldo Bernardi pelo incentivo para a elaboração do manuscrito. Somos gratos ao Fred Lott e ao Observatório Espeleológico pela realização de imagens aérea da área de estudo e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ICMBio pela licença concedida.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank VALE S.A., represented by the Speleology Department, for allowing us access to the MJ_0005 cave site location and for their logistical support. We would also like to thank William Demétrio for his dedication during the study as well as Leopoldo Bernardi for encouraging us to write the manuscript. We are grateful to Fred Lott and the Speleological Observatory (Observatório Espeleológico) for taking aerial images of the study area and to the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ICMBio) for the license granted.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS / BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

AULER, A.S; PILÓ, L.B. Aspectos morfológicos e evolução de cavernas em minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, 2, São Paulo. *Caderno de Resumos*. São Paulo: IG-USP, p. 8, 2007.

BAHIA, G, R.; FERREIRA, R. L. Influência das características físicoquímicas e da matéria orgânica de depósitos recentes de guano de morcego na riqueza e diversidade de invertebrados de uma caverna calcária. *Revista Brasileira de Zootecias*, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 168-180, 2005.

FERREIRA, R. L.; MARTINS, R. P.; YANEGA, D. Ecology of bat guano arthropod communities in a Brazilian dry cave. *Ecotropica*, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 105-116, 2000.

FOX, B.J. Fire and mammalian secondary succession in an Australian coastal heath. *Ecology* 63, p.1332-1341. 1982.

GARBINO, G. S. T.; GREGORIN, R.; LIMA LOUREIRO, I. P. L.; MORAS, L. M.; MORATELLI, R.; NOGUEIRA, M. R.; PAVAN, A. C.; TAVARES, V. C.; PERACCHI, A. L. *Updated checklist of Brazilian bats: versão 2020*. [S.I.]: Comitê da Lista de Morcegos do Brasil: Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros, 2020. Disponível em: <https://www.sbeq.net/lista-de-especies>. Acesso em: 04 out. 2020.

GNASPINI, P.; TRAJANO, E. Guano communities in tropical caves. In: WILKENS, H.; CULVER, D. C.; HUMPHREYS, W. F. (eds.). *Subterranean Ecosystems*. Amsterdam: Elsevier, p. 251- 268. 2000.

KUNZ, T. H. Roosting ecology. In: KUNZ, T. H. (ed.). *Ecology of bats*. New York; London: Plenum Press, 1982.

KUNZ, T. H.; LUMSDEN, L. F. Ecology of cavity and foliage roosting bats. In: KUNZ, T. H.; FENTON, M. B. (eds.). *Bat Ecology*. Chicago: The University of Chicago Press, 2003.

SUSAN C. LOEB, S.C.; BLAKEY, R.V. Bats and fire: a global review. *Fire Ecology*. 2021.

OLIVEIRA, H.F.; AGUIAR, L.M.S. The response of bats (Mammalia: Chiroptera) to an incidental fire on a gallery forest at a Neotropical savanna. *Biota Neotropica*. 2015.

ANEXO

Dados de temperatura e umidade relativa do ar registrado no dia do incêndio.

HORA	COLÔNIA (L1)		MEIO (L2)		EXTERNO (L3)	
	Temp	Umid	Temp	Umid	Temp	Umid
00:00	17,5	82,1	17,2	83,6	18,1	72,6
00:30	17,6	75,4	17,3	80,5	18,2	70,3
01:00	17,5	75,0	17,2	79,9	18,1	70,8
01:30	17,5	78,8	17,3	79,8	18,1	70,8
02:00	17,4	75,1	17,1	80,2	18,0	69,2
02:30	17,2	84,3	16,9	85,7	17,8	74,5
03:00	17,2	83,2	16,9	84,8	17,8	73,2
03:30	16,8	86,9	16,6	87,5	17,3	76,8
04:00	16,7	87,6	16,4	88,5	17,1	79,9
04:30	16,9	85,8	16,5	89,8	17,1	83,0
05:00	17,0	90,0	16,4	91,4	16,9	78,6
05:30	16,7	86,9	16,2	89,8	33,3	44,1
06:00	16,8	86,0	16,2	88,6	46,1	20,7
06:30	16,8	86,7	16,3	88,4	34,2	34,4
07:00	16,9	85,9	16,5	88,6	26,8	46,8
07:30	17,1	86,0	16,7	88,7	24,5	51,7
08:00	17,3	85,1	16,9	85,0	22,9	58,4
08:30	18,1	81,9	17,7	85,5	23,5	56,4
09:00	18,7	76,9	18,4	80,8	23,4	56,6
09:30	18,6	77,3	18,3	80,7	22,8	58,8
10:00	19,0	71,7	18,8	75,4	23,3	52,5
10:30	18,9	75,1	18,7	75,8	22,8	56,4
11:00	19,4	70,0	19,3	72,7	23,4	53,2
11:30	19,7	65,3	19,4	67,8	23,7	50,4

HORA	COLÔNIA (L1)		MEIO (L2)		EXTERNO (L3)	
	Temp	Umid	Temp	Umid	Temp	Umid
12:00	20,2	65,9	20,1	68,9	24,6	48,2
12:30	20,6	61,9	20,5	68,6	24,9	45,6
13:00	20,8	64,8	20,6	67,4	25,0	46,4
13:30	21,0	62,1	20,7	65,0	24,8	48,7
14:00	21,2	59,2	20,8	62,2	24,9	46,6
14:30	21,1	54,9	20,8	59,3	24,6	44,1
15:00	21,0	55,5	20,6	61,0	24,3	44,4
15:30	20,8	57,6	20,4	64,2	24,1	45,3
16:00	20,5	56,1	19,9	61,9	23,8	46,7
16:30	20,7	54,5	20,2	61,4	23,6	46,8
17:00	20,5	55,4	20,1	60,5	23,2	47,4
17:30	20,1	58,1	19,6	65,1	22,7	51,7
18:00	19,7	61,6	19,3	67,9	22,3	52,8
18:30	19,5	64,4	19,2	68,3	21,9	52,5
19:00	19,1	68,3	18,9	72,6	21,4	56,1
19:30	18,9	68,0	18,6	73,0	21,1	57,3
20:00	18,7	69,4	18,4	74,2	20,7	60,4
20:30	18,5	68,1	18,1	72,7	20,4	61,3
21:00	18,4	67,5	18,1	71,8	20,1	60,6
21:30	18,1	72,1	17,7	79,3	19,8	61,8
22:00	18,0	76,8	17,7	79,6	19,7	64,4
22:30	17,9	68,6	17,7	74,9	19,6	60,2
23:00	17,9	70,1	17,6	73,8	19,4	62,3
23:30	17,7	70,2	17,4	76,5	19,3	63,3

ANNEX

Temperature and relative humidity data recorded on the day of the fire.

TIME	COLONY (L1)		MIDDLE (L2)		EXTERNAL (L3)	
	Temp	Humid	Temp	Humid	Temp	Humid
00:00	17,5	82,1	17,2	83,6	18,1	72,6
00:30	17,6	75,4	17,3	80,5	18,2	70,3
01:00	17,5	75,0	17,2	79,9	18,1	70,8
01:30	17,5	78,8	17,3	79,8	18,1	70,8
02:00	17,4	75,1	17,1	80,2	18,0	69,2
02:30	17,2	84,3	16,9	85,7	17,8	74,5
03:00	17,2	83,2	16,9	84,8	17,8	73,2
03:30	16,8	86,9	16,6	87,5	17,3	76,8
04:00	16,7	87,6	16,4	88,5	17,1	79,9
04:30	16,9	85,8	16,5	89,8	17,1	83,0
05:00	17,0	90,0	16,4	91,4	16,9	78,6
05:30	16,7	86,9	16,2	89,8	33,3	44,1
06:00	16,8	86,0	16,2	88,6	46,1	20,7
06:30	16,8	86,7	16,3	88,4	34,2	34,4
07:00	16,9	85,9	16,5	88,6	26,8	46,8
07:30	17,1	86,0	16,7	88,7	24,5	51,7
08:00	17,3	85,1	16,9	85,0	22,9	58,4
08:30	18,1	81,9	17,7	85,5	23,5	56,4
09:00	18,7	76,9	18,4	80,8	23,4	56,6
09:30	18,6	77,3	18,3	80,7	22,8	58,8
10:00	19,0	71,7	18,8	75,4	23,3	52,5
10:30	18,9	75,1	18,7	75,8	22,8	56,4
11:00	19,4	70,0	19,3	72,7	23,4	53,2
11:30	19,7	65,3	19,4	67,8	23,7	50,4

TIME	COLONY (L1)		MIDDLE (L2)		EXTERNAL (L3)	
	Temp	Humid	Temp	Humid	Temp	Humid
12:00	20,2	65,9	20,1	68,9	24,6	48,2
12:30	20,6	61,9	20,5	68,6	24,9	45,6
13:00	20,8	64,8	20,6	67,4	25,0	46,4
13:30	21,0	62,1	20,7	65,0	24,8	48,7
14:00	21,2	59,2	20,8	62,2	24,9	46,6
14:30	21,1	54,9	20,8	59,3	24,6	44,1
15:00	21,0	55,5	20,6	61,0	24,3	44,4
15:30	20,8	57,6	20,4	64,2	24,1	45,3
16:00	20,5	56,1	19,9	61,9	23,8	46,7
16:30	20,7	54,5	20,2	61,4	23,6	46,8
17:00	20,5	55,4	20,1	60,5	23,2	47,4
17:30	20,1	58,1	19,6	65,1	22,7	51,7
18:00	19,7	61,6	19,3	67,9	22,3	52,8
18:30	19,5	64,4	19,2	68,3	21,9	52,5
19:00	19,1	68,3	18,9	72,6	21,4	56,1
19:30	18,9	68,0	18,6	73,0	21,1	57,3
20:00	18,7	69,4	18,4	74,2	20,7	60,4
20:30	18,5	68,1	18,1	72,7	20,4	61,3
21:00	18,4	67,5	18,1	71,8	20,1	60,6
21:30	18,1	72,1	17,7	79,3	19,8	61,8
22:00	18,0	76,8	17,7	79,6	19,7	64,4
22:30	17,9	68,6	17,7	74,9	19,6	60,2
23:00	17,9	70,1	17,6	73,8	19,4	62,3
23:30	17,7	70,2	17,4	76,5	19,3	63,3