

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>

MONITORAMENTO TÉRMICO DE *BAT CAVES* NA FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS

THERMAL MONITORING OF BAT CAVES IN THE CARAJÁS NATIONAL FOREST

Narjara Tércia Pimentel

Universidade Federal de Pernambuco
Laboratório de Ciência Aplicada à Conservação
da Biodiversidade, Departamento de Zoologia
E-mail: nanatercia1@yahoo.com.br

Enrico Bernard

Universidade Federal de Pernambuco
Laboratório de Ciência Aplicada à Conservação
da Biodiversidade, Departamento de Zoologia
E-mail: enricob2@gmail.com

RESUMO

Abrigos com populações excepcionais de morcegos são denominados bat caves. Monitorar esse tipo de abrigo pode ser desafiador, dadas as localizações e condições destes ambientes. Entretanto, o monitoramento da temperatura destas cavernas tem sido apontado como um proxy de como os morcegos estão usando esses ambientes. Apresentamos aqui os resultados de um monitoramento térmico detalhado de duas bat caves na Floresta Nacional de Carajás, acompanhado de estimativas das populações de morcegos residentes nestas cavernas, descrição dos padrões diários de saída e retorno dos morcegos nestes abrigos, identificação de possíveis padrões sazonais na flutuação da população residente de morcegos dessas cavernas e identificação das caracterís-

ABSTRACT

Shelters with exceptional bat populations are called bat caves. Monitoring this type of shelter can be challenging, given the locations and conditions of these environments. However, monitoring the temperature of these caves has been pointed out as a proxy for how bats are using these environments. Here the results of a detailed thermal monitoring of two bat caves in the Carajás National Forest are presented, accompanied by estimates of the resident bat populations in these caves. Additionally, a description of the daily patterns of bats leaving and returning to these shelters, identification of possible seasonal patterns in the fluctuation of the resident bat population in these caves and identification of the physical and thermal characteristics preferred by the bats. This thermal monitoring showed that the internal temperatures of

ticas físicas e termais preferidas pelos morcegos. Esse monitoramento térmico apontou que as temperaturas internas destas cavernas são bastante elevadas em relação às temperaturas externas, estando mais associadas à presença de grandes colônias de morcegos do gênero *Pteronotus*. Além disso, observamos um dinamismo nesses ambientes provocados pela movimentação dos morcegos entre os abrigos e variações acentuadas no tamanho das populações em diferentes períodos. O caráter dinâmico observado reforça a necessidade de um monitoramento contínuo e de longo prazo para o melhor entendimento destes abrigos e de suas relações ecológicas. Inventários curtos e esporádicos nesses ambientes inevitavelmente levarão a conclusões equivocadas, com sérias implicações ecológicas, conservacionistas e de licenciamento. Sendo assim, bat caves precisam de um acompanhamento diferenciado em relação ao uso e pressões que experimentam, principalmente frente às alterações e tentativas de flexibilizações que vêm ocorrendo na legislação espeleológica brasileira.

PALAVRAS-CHAVE: *bat caves*, monitoramento térmico, Floresta Nacional de Carajás, gênero *Pteronotus*

INTRODUÇÃO

No Brasil são reconhecidas 182 espécies de morcegos (Garbino *et al.*, 2022). Várias destas espécies refugiam-se em cavernas, que são consideradas abrigos estáveis e protegidos de intempéries, sendo os morcegos alguns dos poucos vertebrados que usam esses abrigos permanentemente (Altringham, 1996). A utilização desses abrigos é vital para a sobrevivência de morcegos e seu sucesso reprodutivo, pois

*these caves are quite high in relation to the external temperatures, and are more associated with the presence of large colonies of bats of the *Pteronotus* genus. Furthermore, a dynamism in these environments was observed, caused by the movement of bats between shelters and marked variations in population size at different times. The dynamic nature observed reinforces the need for continuous, long-term monitoring in order to better understand these shelters and their ecological relationships. Short, sporadic inventories in these environments will inevitably lead to erroneous conclusions, with serious ecological, conservation and licensing implications. As such, bat caves need special monitoring in relation to the use and pressures they experience, especially in the face of the changes and attempts to make Brazilian speleological legislation more flexible.*

KEYWORDS: *bat caves*, thermal monitoring, Carajás National Forest, *Pteronotus* genus.

INTRODUCTION

Brazil is home to 182 bat species (Garbino et al., 2022). Several of these species take refuge in caves, which are considered to be stable shelters protected from the elements, and bats are some of the few vertebrates that use them permanently (Altringham, 1996). The use of these shelters is vital for the survival of bats and their reproductive success, as they provide places for mating, raising young, social interaction, food digestion,

fornecem locais para acasalamento, criação de filhotes, interação social, digestão alimentar, diminuem os custos da termorregulação, além de proteção contra variações climáticas e predadores. Por causa desses fatores, certas espécies de morcegos tendem a formar grandes colônias em ambientes cavernícolas (Altringham, 1996) e/ou viver em coabitação com outras espécies (Kunz, 1982; Trajano, 1985, 1995).

Morcegos detêm os recordes de maiores congregações entre os mamíferos, chegando a situações onde milhões de indivíduos convergem para um único abrigo. Abrigos com populações excepcionais de morcegos são denominados como *bat caves* e/ou *hot caves* (e.g. Ladle *et al.*, 2012). Esses locais são abrigos bastante peculiares, com temperaturas frequentemente ultrapassando os 35°C e umidade relativa do ar quase sempre sendo superior a 90% (Rodríguez-Durán, 1998), tendendo à saturação. Estas elevadas temperaturas são resultado do calor gerado pela presença de milhares de indivíduos e pela decomposição do guano por eles depositado (Peck *et al.*, 1998). Embora excepcionais, *bat caves* são muito pouco conhecidas sob o ponto de vista científico (Ladle *et al.*, 2012; Otálora-Ardila *et al.*, 2019; Pimentel *et al.*, 2022; Piló *et al.*, no prelo).

No Brasil, *bat caves* são conhecidas no Nordeste e na região amazônica (Rocha, 2013; Vargas-Mena *et al.*, 2018; Otálora-Ardila *et al.*, 2019; Pimentel *et al.*, 2022, Piló *et al.*, no prelo). Nesta última, a região de Carajás, no Pará, abriga ao menos seis *bat caves* (ICMBIO, 2017). De fato, no Plano de Pesquisa da Floresta Nacional (FLONA) de Carajás, as *bat caves* são destacadas como prioritárias para investigação. Na FLONA de Carajás já foram identificadas oito famílias, 46 gêneros e 75 espécies de morcegos, sendo que

lower thermoregulation costs, as well as protection against climatic variations and predators. Because of these factors, certain bat species tend to form large colonies in cave environments (Altringham, 1996) and/or live in cohabitation with other species (Kunz, 1982; Trajano, 1985, 1995).

*Bats hold the record for the largest congregations among mammals, reaching situations where millions of individuals converge on a single shelter. Shelters with exceptional bat populations are called bat caves and/or hot caves (e.g. Ladle *et al.*, 2012). These places are very peculiar shelters, with temperatures often exceeding 35°C and relative humidity almost always exceeding 90% (Rodríguez-Durán, 1998), tending towards saturation. These high temperatures are the result of the heat generated by the presence of thousands of individuals and the decomposition of the guano they deposit (Peck *et al.*, 1998). Although exceptional, bat caves are very little known from a scientific point of view (Ladle *et al.*, 2012; Otálora-Ardila *et al.*, 2019; Pimentel *et al.*, 2022; Piló *et al.*, in press).*

*In Brazil, bat caves are known in the Northeast and in the Amazon region (Rocha, 2013; Vargas-Mena *et al.*, 2018; Otálora-Ardila *et al.*, 2019; Pimentel *et al.*, 2022, Piló *et al.*, in press). In the latter, the Carajás region, in Pará, is home to at least six bat caves (ICMBIO, 2017). In fact, in the Research Plan for the Carajás National Forest (Floresta Nacional de Carajás), bat caves are highlighted as a priority for investigation. Eight families, 46 genera and 75 species of bats have already been identified in the Carajás National Forest, 23 of which inhabit caves (Tavares *et al.*, 2012). The caves in the Carajás complex contain characteristics that indicate their high relevance and therefore need to be monitored differently in relation to the use and pressures they experience.*

23 dessas espécies habitavam cavernas (Tavares *et al.*, 2012). As cavernas do complexo de Carajás contêm características que apontam elevada relevância e, portanto, precisam de um acompanhamento diferenciado em relação ao uso e pressões que experimentam.

Pesquisas em *bat caves* do semiárido do Brasil apontam que estes abrigos podem ser extremamente dinâmicos e suas populações de morcegos podem variar muito ao longo do tempo (Otálora-Ardila *et al.* 2019; Pimentel *et al.*, 2022). O dinamismo observado aponta que mesmo visitas mensais padronizadas podem ser insuficientes para detectarem grandes flutuações populacionais, e a maior parte da rica informação sobre estes abrigos é perdida sem um acompanhamento refinado destes ambientes. *Bat caves* exigem assim um monitoramento contínuo e detalhado, pois só desta forma estas nuances e suas peculiaridades podem ser detectadas e contextualizadas. Entretanto, monitorar estes ambientes de forma detalhada e contínua pode ser desafiador, dadas as localizações e condições destes ambientes. Neste sentido, o monitoramento da temperatura destas cavernas tem sido apontado como um *proxy* de como os morcegos estão usando *bat caves* (Otálora-Ardila *et al.*, 2019). Mas, tão importante como entender as flutuações populacionais, é também entender, como as grandes colônias de morcegos podem alterar as características térmicas desses abrigos e se há uma espacialização distinta dessas grandes colônias no interior dessas *bat caves*. Estes aspectos permanecem pouco conhecidos para as *bat caves*, de maneira geral. Elucidá-los pode ser útil para contribuir com várias abordagens, desde o entendimento da ecologia básica das espécies que usam estes abrigos, até para o

Research on bat caves in the semi-arid region of Brazil shows that these shelters can be extremely dynamic and their bat populations can vary greatly over time (Otálora-Ardila et al. 2019; Pimentel et al., 2022). The dynamism observed points out that even standardized monthly visits may be insufficient to detect large population fluctuations, and most of the rich information about these shelters is lost without refined monitoring of these environments. Bat caves therefore require continuous and detailed monitoring, because only in this way can these nuances and their peculiarities be detected and contextualized. However, monitoring in a detailed and continuous manner can be challenging, given the locations and conditions of these environments. In this sense, monitoring the temperature of these caves has been pointed out as a proxy for how bats are using bat caves (Otálora-Ardila et al., 2019). As important as understanding population fluctuations, it is also important to understand how large bat colonies can alter the thermal characteristics of these shelters and whether there is a distinct spatialization of these large colonies within these bat caves. These aspects remain little known for bat caves in general. Elucidating them can be useful in contributing to various approaches, from understanding the basic ecology of species that use these shelters, to developing specific conservation strategies for these cave environments (Brasil, 2017).

In order to contribute to a better understanding of the dynamics of bat caves, as well as estimates of the populations of bats living in these caves and their richness, the results of detailed thermal monitoring of two bat caves in the Carajás National Forest are presented here. In addition to providing basic information essential for characterizing these bat caves, the results allowed to 1) describe the daily patterns of bats leaving and

desenvolvimento de estratégias específicas de conservação destes ambientes cavernícolas (Brasil, 2017).

De forma a contribuir para o melhor entendimento da dinâmica das *bat caves*, além das estimativas das populações de morcegos residentes nestas cavernas e sua riqueza, apresentamos aqui os resultados de um monitoramento térmico detalhado de duas *bat caves* na FLONA de Carajás. Além da produção de informações básicas essenciais para a caracterização destas *bat caves*, os nossos resultados permitiram 1) descrever os padrões diários de saída e retorno dos morcegos nestes abrigos, 2) identificar possíveis padrões sazonais na flutuação da população residente de morcegos dessas cavernas; e 3) identificar características físicas e termais preferidas pelos morcegos. Nesse sentido e assumindo que as grandes colônias de morcegos de fato podem alterar a temperatura de uma caverna, as seguintes hipóteses foram levantadas: 1) Esperava-se que a temperatura da caverna fosse diferente em áreas distintas e correspondente à abundância de morcegos. Assim, áreas com elevada abundância, teriam temperaturas maiores que áreas com baixa abundância ou até mesmo, ausência de morcegos; 2) A movimentação de morcegos dentro da caverna, também iria alterar de forma pontual a temperatura e isso poderia nos indicar períodos de saída e retorno dos morcegos para os abrigos, ou seja, presença e ausência desses indivíduos nas *bat caves*.

returning to these shelters, 2) identify possible seasonal patterns in the fluctuation of the resident bat population in these caves; and 3) identify physical and thermal characteristics preferred by the bats. In this sense, and assuming that large bat colonies can indeed alter the temperature of a cave, the following hypotheses were raised: 1) It was expected that the temperature of the cave would be different in different areas corresponding to the abundance of bats. Thus, areas with a high abundance of bats would have higher temperatures than areas with a low abundance or even an absence of bats; 2) The bats movement within the cave would also alter the temperature in a specific way and this could indicate periods when bats leave and return to the shelters, i.e. the presence and absence of these individuals in the bat caves.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Serra dos Carajás, no sudeste do Pará, a 550 km ao sul da capital Belém, está quase toda inserida na Floresta Nacional de Carajás (Figura 1, que junto a outras áreas protegidas compõe o chamado “Mosaico Carajás”, com cerca de 1.207.000 hectares. São conhecidas localmente como Serra Norte e Serra Sul, dois grandes conjuntos onde estão localizadas as principais jazidas de minério de ferro no interior da FLONA de Carajás (Mota *et al.*, 2018).

MATERIALS AND METHODS

Study Area

The Carajás Ridge (Serra dos Carajás), in southeastern Pará, located 550 km south of the capital Belém, is almost entirely part of the Carajás National Forest (Figure 1), which together with other protected areas makes up the so-called “Carajás Mosaic”, covering around 1,207,000 hectares. They are known locally as Serra Norte and Serra Sul, two large areas where the main iron ore deposits are located within the Carajás National Forest (Mota *et al.*, 2018).

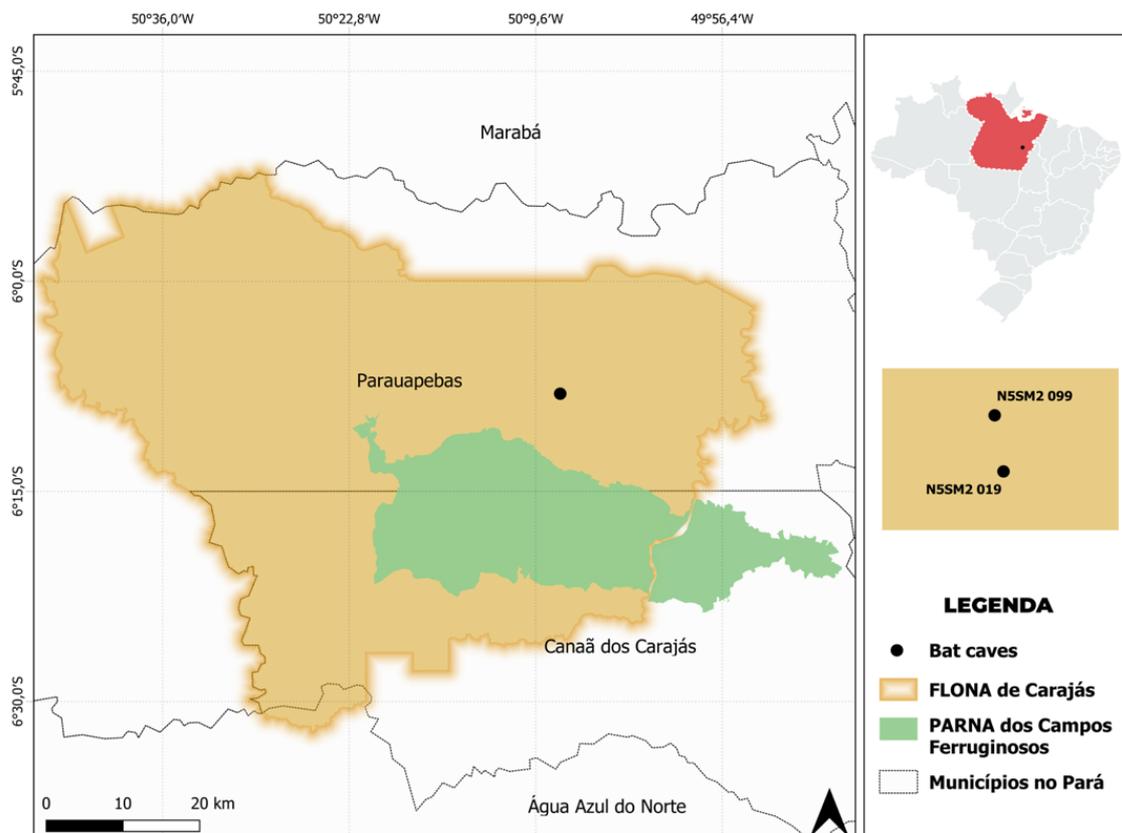


Figura 1 – Mapa de localização das *bat caves* monitoradas, no município de Parauapebas, Pará, Brasil.

Figure 1 – Location map of the *bat caves* monitored in the municipality of Parauapebas, Pará, Brazil.

A região de Carajás detém o maior número de cavidades naturais subterrâneas ferruginosas conhecidas no Brasil. São 1.630 cavidades registradas até o momento, correspondentes a aproximadamente 10% do registro nacional de cavidades (CANIE, 2022) e centenas ainda por inventariar em litologia ferrífera com biospeleogênese, minerais e espeleotemas únicos (Piló *et al.*, no prelo). É nesse cenário que estão inseridas as *bat caves* N5SM2 019 (06°08'10.1"S; 50°07'47.7"W; registro CECAV 007401.01100.15.05536) e N5SM2 099 (06°08'09.2"S , 50°07'47.8"W; registro CECAV 007313.01012.15.05536) (Figura 1).

Segundo Álvares *et al.* (2014), o clima da região é Am, apresentando um clima tropical quente e úmido, com precipitação média anual de ca. 1600 mm, apresentando uma estação chuvosa que pode chegar até a 1300 mm, e um inverno seco com média menor de 320 mm, com a média nos meses mais secos às vezes atingindo menos de 60 mm (Moraes *et al.*, 2005).

Estimativa da abundância de morcegos nas *bat caves*

Para estimar a abundância dos morcegos em cada *bat cave*, foram contados os indivíduos emergindo dos abrigos para forrageio, utilizando uma técnica não invasiva baseada em imagens geradas por uma câmera térmica infravermelho (FLIR, modelo E60). A câmera foi instalada na entrada da caverna e as gravações tiveram início às 18h, com vídeos com duração de 60 a 180 minutos, até que não houvesse mais detecção de morcegos emergindo do abrigo. Os morcegos registrados nas imagens foram contados automaticamente usando um algoritmo de detecção especificamente desen-

*The Carajás region has the largest number of known ferruginous underground natural caves in Brazil. There are 1,630 caves registered to date, corresponding to approximately 10% of the national cave register (CANIE, 2022) and hundreds still to be inventoried in ferriferous lithology with unique biospeleogenesis, minerals and speleothems (Piló *et al.*, in press). It is in this scenario that bat caves N5SM2 019 (06°08'10.1"S; 50°07'47.7"W; CECAV record 007401.01100.15.05536) and N5SM2 099 (06°08'09.2"S , 50°07'47.8"W; CECAV record 007313.01012.15.05536) are located (Figure 1).*

*According to Álvares *et al.* (2014), the region's climate is Am, with a hot and humid tropical climate, with an average annual rainfall of 1600 mm. The rainy season can reach up to 1300 mm, and the dry winter has an average of less than 320 mm, with the driest months sometimes reaching less than 60 mm (Moraes *et al.*, 2005).*

Bat abundance estimation in bat caves

*To estimate bat abundance in each bat cave, individuals emerging from the shelters were counted using a non-invasive technique based on images generated by an infrared thermal camera (FLIR, model E60). The camera was installed at the entrance of the cave and recordings began at 6pm, with videos lasting between 60 and 180 minutes, until no more bats were detected emerging from the shelter. The bats recorded in the images were automatically counted using a detection algorithm specifically developed to track and count bats (Rodrigues *et al.*, 2016). Validations of the algorithm in the laboratory indicated < 6%,*

volvido para rastrear e contar morcegos (Rodrigues *et al.*, 2016). Validações do algoritmo em laboratório indicaram margens de erro < 6%, com uma média de erro de aproximadamente 3% (Otálora-Ardila *et al.*, 2019). Três contagens durante esse projeto, em ambas as cavernas foram realizadas nas seguintes datas: 07 de julho de 2021, 01 de abril de 2022 e 30 de junho de 2022, para a *bat cave* N5SM2 019 e 06 de julho de 2021, 02 de abril de 2022 e 01 de julho de 2023 para a *bat cave* N5SM2 099. Contagens realizadas em 04 e 05 de abril de 2019 por L. B. Piló (no prelo) também foram incorporados, pois elas agregam informações para as mesmas *bat caves* e com os mesmos objetivos desse projeto. Os dados de L. B. Piló (no prelo) foram coletados para outro projeto, intitulado: *Bat caves em cavernas ferríferas da Floresta Nacional de Carajás: aspectos físicos, biológicos e cronológicos*, no qual as duas cavernas desse projeto estavam inseridas, porém, sem relação direta com esse projeto.

Riqueza de espécies das *bat caves*

Para verificar a riqueza de espécies foram realizadas incursões nas cavernas para observação e captura de indivíduos *in situ*, além de captura de indivíduos deixando os abrigos para forrageio no crepúsculo, com redes-de-mão. Os morcegos foram medidos e identificados até o nível específico possível, baseado em chaves de identificação de caracteres externos (Díaz *et al.*, 2016), sendo soltos em seguida. Os morcegos foram capturados e manuseados em campo de acordo com as diretrizes aprovadas pela *American Society of Mammalogists* (Sikes *et al.*, 2019) e com a permissão número 76657-2 (SISBio/ICMBio/MMA). Exemplares-testemunho

margins of error, with an average of approximately 3% (Otálora-Ardila et al., 2019). Three counts were carried out in both caves during this project on the following dates: July 7, 2021, April 1, 2022 and June 30, 2022, for bat cave N5SM2 019 and July 6, 2021, April 2, 2022 and July 1, 2023 for bat cave N5SM2 099. Counts carried out on April 4 and 5, 2019 by L. B. Piló (in press) have also been incorporated, as they add information for the same bat caves and with the same objectives as this project. The data from L. B. Piló (in press) was collected for another project, entitled: Bat caves in ferriferous caves of the Carajás National Forest: physical, biological and chronological aspects, in which the two caves of this project were inserted, but without direct relation to this project.

Species richness of *bat caves*

In order to verify species richness, incursions were made into the caves to observe and capture individuals in situ, as well as capturing individuals leaving the shelters to forage at dusk, using hand nets. The bats were measured and identified to the specific level possible, based on external character identification keys (Díaz et al., 2016), and then released. The bats were captured and handled in accordance with the guidelines approved by the American Society of Mammalogists (Sikes et al., 2019) and with permit number 76657-2 (SISBio/ICMBio/MMA). Witness specimens were collected, following all procedures and current license, and sent to the Mammal Collection of the Federal

foram coletados, seguindo todos os procedimentos e licença vigente, e encaminhados para a Coleção de Mamíferos da Universidade Federal de Pernambuco, em Recife. Gravações bioacústicas, utilizando um gravador de ultrassom *Audiomoth* v1.1.0, também foram utilizadas para refinamento dos dados da riqueza dessas cavernas.

Monitoramento da temperatura das *bat caves*

O monitoramento contínuo das *bat caves* N5SM2 019 e N5SM2 099 teve duração de 12 meses, iniciando-se em julho de 2021. Para essa sessão, também foram incorporados os dados coletados entre abril e setembro de 2019 por L. B. Piló (no prelo), pois também agregam informações para as mesmas *bat caves*. A coleta de dados da temperatura foi realizada com *data loggers* modelos HOBO MX2201 e MX2203, com registros em intervalos de 10 minutos. Cinco *data loggers* foram instalados em cada caverna em 06 de julho de 2021, após a emergência dos morcegos no início da noite e permaneceram gravando até 28 de junho de 2022. Os *data loggers* foram identificados no mapa das cavidades: TRH 01, TRH 02, TRH 03, TRH 04 e TRH 05 (ver Figura 4). A conexão e *download* dos dados destes *data loggers* foram realizadas através de um smartphone, via *bluetooth* e através do *software* HOBOMobile (<https://sigmasensors.com.br/produtos/software-de-analise-de-dados-hoboware>) instalado no aparelho, foram feitas a exportação dos arquivos em formato .csv. As condições nas cavernas se mostraram adversas e alguns *data loggers* apresentaram problemas de funcionamento com interrupção de registro de dados. Os *data loggers* TRH 04 e TRH 05 de N5SM2 019 tiveram seus registros interrompidos em abril de 2022 e março de

University of Pernambuco, in Recife. Bioacoustic recordings, using an Audiomoth v1.1.0 ultrasound recorder, were also used to refine the data on these caves richness.

Bat caves temperature monitoring

The continuous monitoring of bat caves N5SM2 019 and N5SM2 099 started in July 2021 and lasted 12 months. For this session, the data collected between April and September 2019 by L. B. Piló (in press) was also incorporated, as it adds information for the same bat caves. Temperature data was collected using HOBO MX2201 and MX2203 data loggers, recording at 10-minute intervals. Five data loggers were installed in each cave after the bats emerged in the early evening on July 6, 2021, and remained recording until June 28, 2022. The data loggers were identified on the cave map: TRH 01, TRH 02, TRH 03, TRH 04 and TRH 05 (see Figure 4). The data from these data loggers was connected and downloaded using a smartphone via Bluetooth and the HOBOMobile software (<https://sigma-sensors.com.br/produtos/software-de-analise-de-dados-hoboware>) installed on the device was used to export the files in .csv format. The conditions in the caves proved adverse and some of the data loggers malfunctioned, interrupting data recording. The TRH 04 and TRH 05 data loggers in N5SM2 019 had their records interrupted in April 2022 and March 2022, respectively. The latter was replaced by data logger TRH 02. For N5SM2 099, the TRH 01, TRH 02 and TRH 03 data loggers, all installed in the area accessed by entrance 1, had their records interrupted in

2022, respectivamente. Esse último foi substituído pelo *data logger* TRH 02. Para N5SM2 099, os *data loggers* TRH 01, TRH 02 e TRH 03, todos instalados na área acessada pela entrada 1, tiveram seus registros interrompidos em abril de 2022, e dezembro e outubro de 2021, respectivamente. Para gerar os gráficos, foram utilizados o *software* HOBO (<https://sigmasensors.com.br/produtos/software-de-analise-de-dados-hoboware>) e o pacote Microsoft Excel (2016).

RESULTADOS

Abundância e riqueza de espécies de morcegos

A abundância em N5SM2 099 variou de 53.013 (julho de 2022) a 88.464 morcegos (abril de 2022), e em N5SM2 019 de 10.995 (abril de 2019) a 16.199 morcegos (julho de 2022 – Figura 2).

April 2022, December and October 2021, respectively. The HOBO software (<https://sigmasensors.com.br/produtos/software-de-analise-de-dados-hoboware>) and the Microsoft Excel package (2016) were used to generate the graphs.

RESULTS

Abundance and bat species richness

The abundance in N5SM2 099 ranged from 53,013 (July 2022) to 88,464 bats (April 2022), and in N5SM2 019 from 10,995 (April 2019) to 16,199 bats (July 2022 - Figure 2).

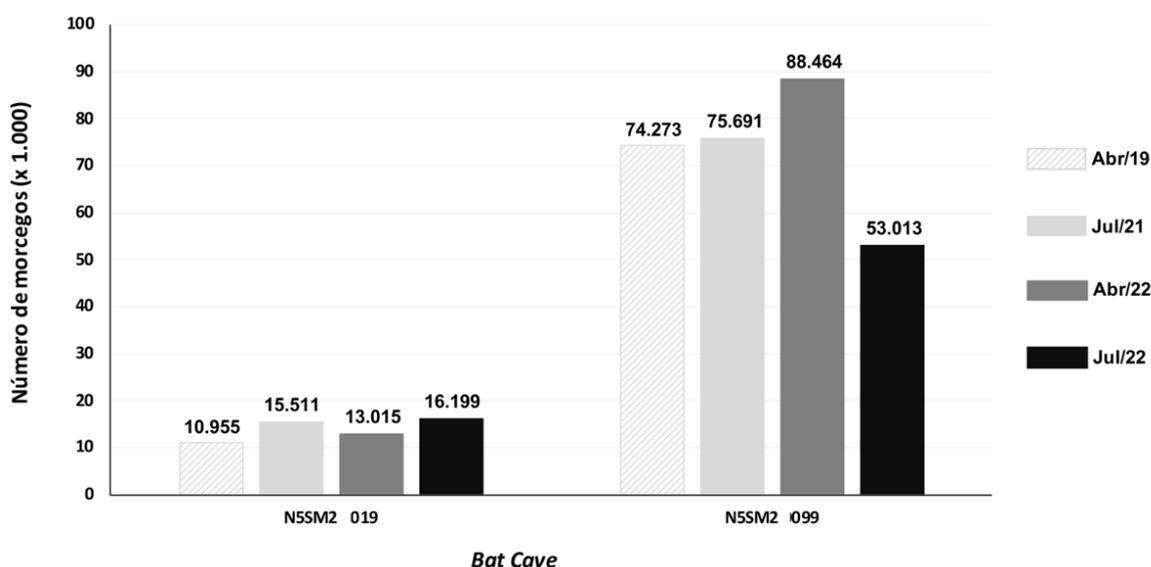


Figura 2 – Abundância de morcegos nas *bat caves* N5SM2 019 e N5SM2 099. As contagens para abril de 2019 referem-se aos dados incorporados de L. B. Piló (no prelo).

Figure 2 – Abundance of bats in bat caves N5SM2 019 and N5SM2 099. The counts for April 2019 refer to the data incorporated from L. B. Piló (in press).

Foram registradas nove espécies utilizando as cavernas amostradas, cinco pertencentes a família Phyllostomidae (*Carollia perspicillata*, *Glossophaga soricina*, *Lampronnycteris brachyotis*, *Phyllostomus hastatus* e *Trachops cirrhosus*) e quatro da família Mormoopidae (*Pteronotus gymnonotus*, *P. personatus*, *P. rubiginosus* e *P. alitonus*) (Figura 3). As espécies estão agrupadas em cinco guildas: insetívora, frugívora, nectarívora-polinívora, onívora e carnívora. Espécimes-testemunho foram coletados para as espécies de *Carollia perspicillata*, *Lampronnycteris brachyotis*, *Pteronotus gymnonotus*, *Pteronotus personatus* e *Pteronotus rubiginosus*/*P. alitonus*.

Nine species were recorded using the sampled caves, five belonging to the Phyllostomidae family (*Carollia perspicillata*, *Glossophaga soricina*, *Lampronnycteris brachyotis*, *Phyllostomus hastatus* and *Trachops cirrhosus*) and four from the Mormoopidae family (*Pteronotus gymnonotus*, *P. personatus*, *P. rubiginosus* and *P. alitonus*) (Figure 3). The species are grouped into five guilds: insectivore, frugivore, nectarivore-pollinivore, omnivore and carnivore. Voucher specimens were collected for the species *Carollia perspicillata*, *Lampronnycteris brachyotis*, *Pteronotus gymnonotus*, *Pteronotus personatus* and *Pteronotus rubiginosus*/*P. alitonus*.

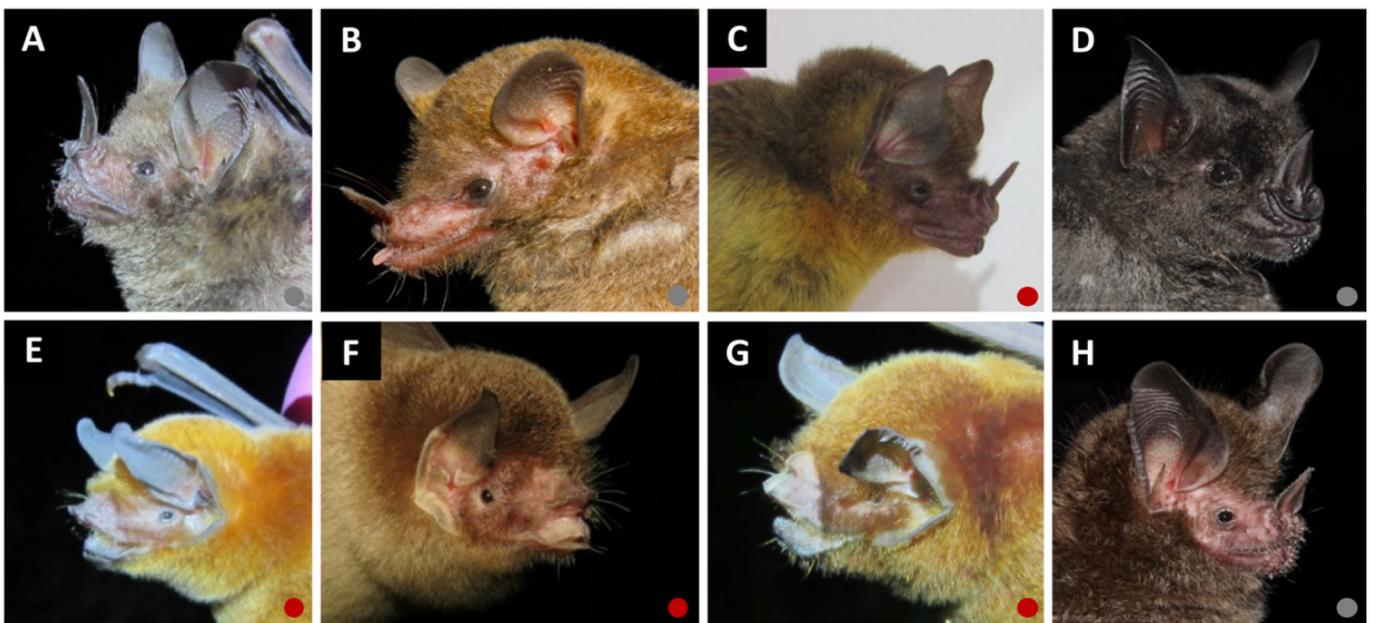


Figura 3 – Espécies registradas e capturadas em ambas as bat caves, na FLONA de Carajás, Pará, durante o monitoramento desse projeto. A – *Carollia perspicillata* (N5SM2 099); B – *Glossophaga soricina* (N5SM2 099); C – *Lampronnycteris brachyotis* (N5SM2 099); D – *Phyllostomus hastatus* (N5SM2 099); E – *Pteronotus gymnonotus* (N5SM2 019 e N5SM2 099); F – *Pteronotus personatus* (N5SM2 019 e N5SM2 099); G – *Pteronotus rubiginosus*/*P. alitonus** (N5SM2 019 e N5SM2 099); H – *Trachops cirrhosus* (N5SM2 099). *Espécies indistinguíveis visualmente (registro de ambas através da acústica). Círculo vermelho indica espécies estritamente cavernícolas e círculo cinza indica espécies cavernícolas oportunistas.

Figure 3 – Species recorded and captured in both bat caves, at Carajás National Forest, Pará, during the monitoring of this project. A – *Carollia perspicillata* (N5SM2 099); B – *Glossophaga soricina* (N5SM2 099); C – *Lampronnycteris brachyotis* (N5SM2 099); D – *Phyllostomus hastatus* (N5SM2 099); E – *Pteronotus gymnonotus* (N5SM2 019 and N5SM2 099); F – *Pteronotus personatus* (N5SM2 019 and N5SM2 099); G – *Pteronotus rubiginosus*/*P. alitonus** (N5SM2 019 and N5SM2 099); H – *Trachops cirrhosus* (N5SM2 099). * Visually indistinguishable species (both recorded acoustically).

Saída e retorno diário dos morcegos e alterações na temperatura das cavernas

O conjunto de filmagens indicou que o horário de saída dos morcegos se inicia por volta das 18h15 e adotamos este como o horário “padrão” de emergência. Para verificar o comportamento da temperatura das cavernas a partir da movimentação de saída dos morcegos, um período de sete dias consecutivos (01 a 07) no mês de agosto de 2021 foi analisado em maior detalhe. Neste período, para N5SM2 019 é possível observar que a temperatura dos “loggers” localizados na porção mais distante da entrada da caverna (TRH 03, TRH 04 e TRH 05) cai após a saída dos morcegos, em quase 1°C (Figura 4A). Um aumento da temperatura destes “loggers” é observado novamente próximo às 06h da manhã seguinte, período quando os morcegos já haviam retornado ao abrigo. Esse aumento na temperatura variou de 0,5°C a 1,0°C. Como não foi possível permanecer na caverna para registrar o retorno dos morcegos, assumimos às 5h30, como horário de retorno, uma vez que houve registro de aumento da temperatura próximo às 6h. Padrão similar é observado nos “loggers” de N5SM2 099 (Figura 4B). Essas alterações confirmam que as temperaturas das cavernas experimentam variações circadianas associadas à movimentação diária de saída dos morcegos para forrageio no final do entardecer, e retorno no final da madrugada.

Bats daily departure and return and changes in cave temperature

All the footage showed that the bats leave at around 6:15 p.m. and it was adopted as the “standard” emergence time. In order to verify the temperature behavior in the caves based on the bats’ exit movements, a period of seven consecutive days (01 to 07) in the month of August 2021 were analyzed in greater detail. During this period, for N5SM2 019 it can be seen that the temperature of the loggers located furthest from the cave entrance (TRH 03, TRH 04 and TRH 05) drops by almost 1°C after the bats leave (Figure 4A). An increase in the temperature of these loggers is observed again around 06:00 the following morning, when the bats have already returned to the shelter. This increase in temperature ranged from 0.5°C to 1.0°C. As it wasn’t possible to stay in the cave to record the bats’ return, 05:30 was assumed as the time of return, since there was a record of a rise in temperature close to 06:00. A similar pattern was observed in the loggers of N5SM2 099 (Figure 4B). These changes confirm that cave temperatures experience variations associated with the daily movement of bats leaving to forage in the late evening and returning in the early morning.

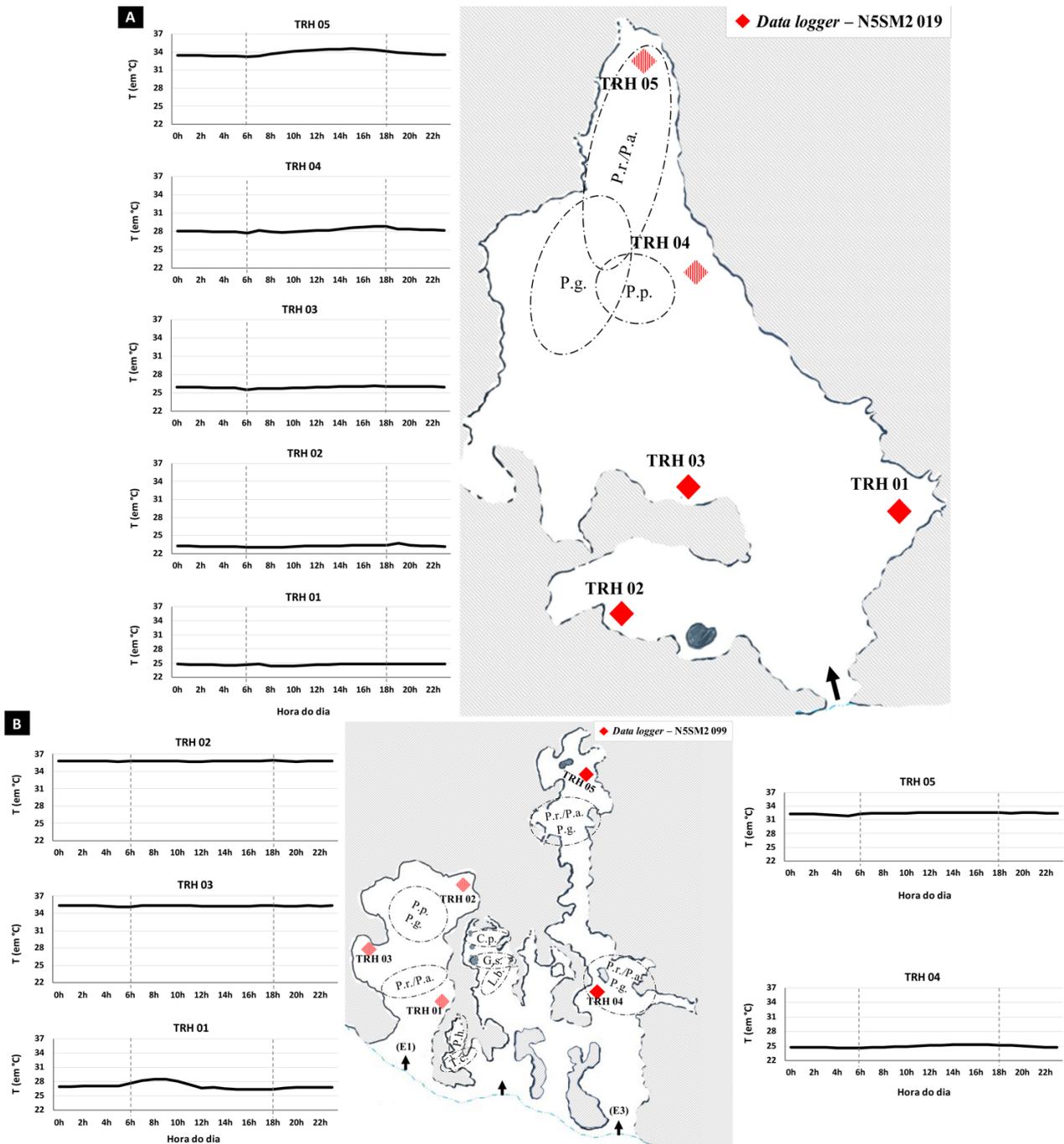


Figura 4 – Esboço das cavernas N5SM2 019 (A – à direita) e N5SM2 099 (B - centro), com indicação do posicionamento dos data loggers de temperatura. A seta indica a(s) entrada(s) da caverna. Os gráficos indicam o registro da média diária da temperatura no período de 01 a 07 de agosto de 2021. A linha tracejada indica o horário de saída e possível retorno dos morcegos ao abrigo. Em (B), à esquerda, registro da média diária da temperatura no período de 01 a 07 de agosto de 2021, para a área acessada pela entrada E1 e à direita, registro da média diária da temperatura no mesmo período, para a área acessada pela entrada E3. A linha tracejada indica a localização das colônias de morcegos presentes nas cavidades: C.p. = *Carollia perspicillata*; G.s. = *Glossophaga soricina*; L.b. = *Lamproncyteris brachyotis*; P.h. = *Phyllostomus hastatus*; P.g. = *Pteronotus gymnonotus*; P.p. = *P. personatus*; P.r./P.a. = *P. rubiginosus/P. alitonus*; T.c. = *Trachops cirrhosus*.

Figure 4 – Sketch of caves N5SM2 019 (A - right) and N5SM2 099 (B - center), indicating the position of the temperature data loggers. The arrow indicates the cave entrance(s). The graphs show the average daily temperature record for the period from August 1 to 7, 2021. The dashed line indicates the time the bats left and possibly returned to the shelter. In (B), on the left, a record of the average daily temperature for the period from August 1 to 7, 2021, for the area accessed by entrance E1 and on the right, a record of the average daily temperature for the same period, for the area accessed by entrance E3. The dashed line indicates the location of the bat colonies present in the cavities: C.p. = *Carollia perspicillata*; G.s. = *Glossophaga soricina*; L.b. = *Lamproncyteris brachyotis*; P.h. = *Phyllostomus hastatus*; P.g. = *Pteronotus gymnonotus*; P.p. = *P. personatus*; P.r./P.a. = *P. rubiginosus/P. alitonus*; T.c. = *Trachops cirrhosus*.

Uma vez constatada que a temperatura da caverna responde à presença/ausência dos morcegos, foi possível utilizar esta variável para inferir outras informações sobre a presença e localização da colônia. A análise da temperatura no mesmo período também aponta diferenças internas dentro das cavernas: as câmaras com temperaturas mais baixas estão próximas à entrada da caverna, e as mais altas na parte final da caverna (ver Figura 6). Em N5SM2 019, quando da saída dos morcegos, por volta das 18h15, as temperaturas das câmaras mais internas e mais quentes diminuíram em quase 1°C, enquanto as temperaturas das câmaras mais próximas às entradas aumentam, possivelmente indicando que antes dos morcegos saírem para forragear eles se concentram nas áreas próximas à entrada e, a partir daí, começam o movimento de saída do abrigo. Por outro lado, quando retornaram ao abrigo há um aumento de temperatura em todas as áreas da caverna (variando de 0,5°C a 1°C), porém maior junto ao *data logger* TRH 05, indicando que esta é a câmara com a maior densidade de indivíduos. Já N5SM2 099 apresenta entradas diferentes e que não se conectam diretamente e se comportam como ambientes distintos, com distintas temperaturas (Figura 4). Nesta caverna, também houve temperaturas mais baixas próximo às entradas e temperaturas mais altas nas áreas mais internas da caverna. Porém, a área da entrada 1 é mais quente que a da entrada 3. Na área acessada pela entrada 1 detectamos uma diminuição abrupta da temperatura nos *data loggers* TRH 02 e TRH 03 em quase 0,5°C, após a saída dos morcegos dos abrigos, e um ligeiro aumento na temperatura da área onde se encontrava o “*logger*” TRH 01. O mesmo comportamento se repetiu nas temperaturas registradas na área acessada pela entrada 3.

Once it was established that the temperature of the cave responds to the presence/absence of bats, it was possible to use this variable to infer other information about the presence and location of the colony. Temperature analysis over the same period also points to internal differences within the caves: the chambers with the lowest temperatures are near the cave entrance, and the highest at the end of the cave (see Figure 6). In N5SM2 019, when the bats left at around 6:15 pm, the temperatures of the innermost and warmest chambers dropped by almost 1°C, while the temperatures of the chambers closest to the entrances increased, possibly indicating that before the bats left to forage, they concentrated in the areas close to the entrance and then began to leave the shelter. On the other hand, when they return to the shelter, there is an increase in temperature in all areas of the cave (ranging from 0.5°C to 1°C), but this is greatest near data logger TRH 05, indicating that this is the chamber with the highest density of individuals. N5SM2 099, however, has different entrances which are not directly connected and behave as separate environments with different temperatures (Figure 4). In this cave, there were also lower temperatures near the entrances and higher temperatures in the inner areas of the cave. However, the area at entrance 1 is warmer than that at entrance 3. In the area accessed by entrance 1, an abrupt decrease in temperature in the TRH 02 and TRH 03 data loggers of almost 0.5°C was detected after the bats left the shelters, and a slight increase in temperature in the area where the TRH 01 logger was located. The same behavior was repeated in the temperatures recorded in the area accessed by entrance 3.

Diferenças de temperatura intra e inter-cavernas

Comparamos as temperaturas entre e dentro as cavernas. Para essa análise, extraímos a média diária da temperatura para ambas, e analisamos as temperaturas mensalmente. De maneira geral, os dados de temperatura foram diferentes para as cavernas. N5SM2 019 apresentou registros de temperatura máxima de 36,89°C, mínima de 22,78°C, média de 27,53°C, com amplitude de 14,11°C (Figura 5A). Para a porção 1 de N5SM2 099 (“loggers” TH01, TH02 e TH03), a temperatura máxima foi de 39,77°C, a mínima de 25,52°C, média de 34,12°C, e amplitude de 14,25°C (Figura 5B). Para a porção 3 (“loggers” TH04 e TH05), a máxima registrada foi de 36,82°C, mínima de 23,77°C, média de 29,52°C e amplitude de 13,05°C (Figura 5B). Quando todos os “loggers” de N5SM2 099 são considerados juntos, esta teve temperatura média de 32,28°C e amplitude de 16,00°C, indicando que esta caverna é mais quente e experimenta maior variação na temperatura em comparação com N5SM2 019 (Figura 5).

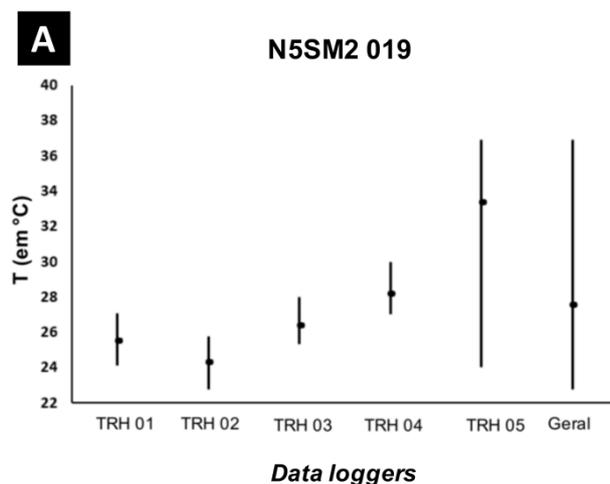


Figura 5 – Temperaturas mínimas, médias e máximas registradas por diferentes data loggers (TH1 a TH5) nas cavernas N5SM2 019 (A) e N5SM2 099 (B), na região de Carajás, Pará, Brasil, entre julho de 2021 e junho de 2022.

Temperature differences within and between caves

The temperatures between and within the caves were compared. For this analysis, the average daily temperature for both was extracted, and analyzed on a monthly basis. In general, the temperature data was different for the caves. N5SM2 019 recorded a maximum temperature of 36.89°C, a minimum of 22.78°C and an average of 27.53°C, with an amplitude of 14.11°C (Figure 5A). For portion 1 of N5SM2 099 (loggers TH01, TH02 and TH03), the maximum temperature was 39.77°C, the minimum was 25.52°C, the average was 34.12°C and the amplitude was 14.25°C (Figure 5B). For portion 3 (loggers TH04 and TH05), the maximum temperature was 36.82°C, the minimum 23.77°C, the average 29.52°C and the amplitude 13.05°C (Figure 5B). When all the loggers in N5SM2 099 are considered together, it had an average temperature of 32.28°C and an amplitude of 16.00°C, indicating that this cave is warmer and experiences greater variation in temperature compared to N5SM2 019 (Figure 5).

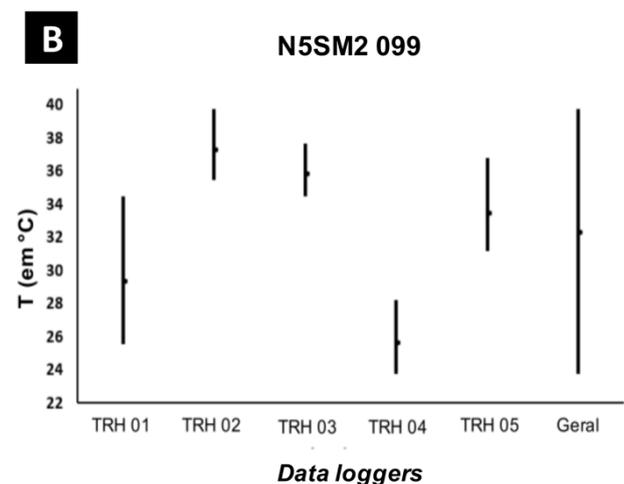


Figure 5 – Minimum, average and maximum temperatures recorded by different data loggers (TH1 to TH5) in caves N5SM2 019 (A) and N5SM2 099 (B), in the Carajás region, Pará, Brazil, between July 2021 and June 2022.

A análise de cada "logger" de cada caverna individualmente entre julho de 2021 e junho de 2022 aponta também diferenças significativas entre as temperaturas das diferentes câmaras de uma mesma caverna. Em N5SM2 019, o data logger TRH 02 registrou a menor média de temperatura (24,3°C; intervalo 22,78°C a 25,74°C), com temperatura variando 0,98°C, em julho/2021, e 1,89°C em janeiro/2022. O "logger" TRH 05 teve a maior média (33,33°C, intervalo 24,02°C a 36,89°C), variando 0,90°C, em maio/2022, e 2,66°C, em novembro/2021. Em N5SM2 099, o "logger" TRH 04 teve a menor média (25,62°C, intervalo 23,77°C a 28,20°C), variando 1,21°C, em junho/2022, e 2,59°C, em janeiro/2022. Nesta caverna, a maior média foi registrada pelo "logger" TRH 02 (37,24°C, intervalo de 35,48°C a 39,77°C), variando 0,68°C, em agosto/2021, e 1,85°C, em outubro/2021.

As diferenças nas temperaturas das câmaras podem ser melhor entendidas quando analisadas em conjunto com informação sobre a presença e composição de espécies nestes espaços. Ao contrário de N5SM2 019, onde quatro espécies de *Pteronotus* coabitavam o mesmo espaço (entre os "loggers" TRH 03 e TRH 05), com predominância de *P. rubiginosus*/*P. alitonus* (Figura 4), em N5SM2 099 havia uma segregação de espécies. Na área acessada pela entrada 1, havia *P. personatus* e *P. gymnonotus* ocupando as câmaras mais internas, com predominância de *P. personatus*, e *P. rubiginosus*/*P. alitonus* mais próximo da entrada, porém em menor abundância. Na área acessada pela entrada 3 havia *P. rubiginosus*/*P. alitonus* e *P. gymnonotus*, com predominância do primeiro em toda a sua extensão. Na área acessada pela entrada central – a menor área da caverna – concentraram-se as outras cinco

Analysis of each logger in each cave between July 2021 and June 2022 also shows significant differences between the temperatures of the different chambers in the same cave. In N5SM2 019, data logger TRH 02 recorded the lowest average temperature (24.3°C; range 22.78°C to 25.74°C), with temperatures varying from 0.98°C in July/2021 to 1.89°C in January/2022. The TRH 05 logger had the highest average (33.33°C, range 24.02°C to 36.89°C), varying by 0.90°C in May/2022 and 2.66°C in November/2021. In N5SM2 099, logger TRH 04 had the lowest average (25.62°C, range 23.77°C to 28.20°C), ranging from 1.21°C in June/2022 to 2.59°C in January/2022. In this cave, the highest average was recorded by logger TRH 02 (37.24°C, range 35.48°C to 39.77°C), ranging from 0.68°C in August/2021 to 1.85°C in October/2021.

*The differences in chamber temperatures can be better understood when analyzed together with information on the presence and composition of species in these spaces. Unlike N5SM2 019, where four *Pteronotus* species cohabited the same space (between loggers TRH 03 and TRH 05), with a predominance of *P. rubiginosus*/*P. alitonus* (Figure 4), in N5SM2 099 there was a segregation of species. In the area accessed by entrance 1, there were *P. personatus* and *P. gymnonotus* occupying the innermost chambers, with a predominance of *P. personatus*, and *P. rubiginosus*/*P. alitonus* closer to the entrance, but in less abundance. In the area accessed by entrance 3 there were *P. rubiginosus*/*P. alitonus* and *P. gymnonotus*, with the former predominating throughout. In the area accessed by the central entrance - the smallest area of the cave - the other five species that were observed using this cave were concentrated (*Carollia perspicillata*, *Glossophaga soricina*, *Lampronnycteris brachyotis*, *Phyllostomus hastatus* and *Trachops cirrhosus*), in much smaller colonies (Figure 4).*

espécies que foram observadas utilizando essa caverna (*Carollia perspicillata*, *Glossophaga soricina*, *Lamproncycteris brachyotis*, *Phyllostomus hastatus* e *Trachops cirrhosus*), em colônias bem menores (Figura 4). Para ambas as cavernas, temperaturas mais elevadas sempre estiveram associadas às porções com a presença de colônias mais numerosas. Nessas mesmas câmaras (câmaras mais internas de ambas as cavernas – N5SM2 019 e nas áreas 1 e 3, da caverna N5SM2 099), no mês de outubro de 2021 observamos colônias maternidade para todas as espécies do gênero *Pteronotus*. Portanto, é plausível afirmar que o aumento da temperatura entre setembro e janeiro coincide com o período reprodutivo de *Pteronotus*, e pode indicar aumento do número de morcegos nas cavernas neste intervalo.

Mobilidade e variações sazonais das colônias inferidas pela temperatura

Uma vez detectadas que variações diárias na temperatura das cavernas estão associadas aos ritmos circadianos de presença ou ausência dos morcegos, agrupamos toda a série de registro de que pudessem indicar movimentos específicos de saída do abrigo, ou variações sazonais. Foram detectadas oscilações abruptas na temperatura em alguns meses em N5SM2 019 (dezembro/2021 e maio/2022; Figura 6) e N5SM2 099 (agosto, setembro e dezembro/2021, e maio/2022; Figura 6), e estes períodos foram analisados em detalhe, com um recorte de dois dias antes e dois dias após às oscilações destacadas (Figuras 7, 8 e 9). Estas oscilações apontam para variações no tamanho ou localização das populações dentro das cavernas, algumas em intervalos de 6 a 7 dias, outras em 24 a 48 horas (Figuras 7, 8 e 9).

For both caves, higher temperatures were always associated with the presence of more numerous colonies portions. In these same chambers (innermost chambers of both caves - N5SM2 019 and in areas 1 and 3 of cave N5SM2 099), in October 2021 maternity colonies for all species of the Pteronotus genus were observed. It is therefore plausible to state that the increase in temperature between September and January coincides with the reproductive period of Pteronotus, and may indicate an increase in the number of bats in the caves during this interval.

Mobility and seasonal variations of colonies inferred by temperature

Once it was detected that daily variations in the temperature of the caves are associated with the circadian rhythms of the bats' presence or absence, the entire series of temperature records from the caves was grouped in search of oscillations that could indicate specific movements out of the shelter, or seasonal variations. Abrupt temperature oscillations were detected in some months in N5SM2 019 (December/2021 and May/2022; Figure 6) and N5SM2 099 (August, September and December/2021, and May/2022; Figure 6), and these periods were analyzed in detail, with a cut-off of two days before and two days after the highlighted oscillations (Figures 7, 8 and 9). These oscillations point to variations in the size or location of the populations within the caves, some at intervals of 6 to 7 days, others in 24 to 48 hours (Figures 7, 8 and 9).

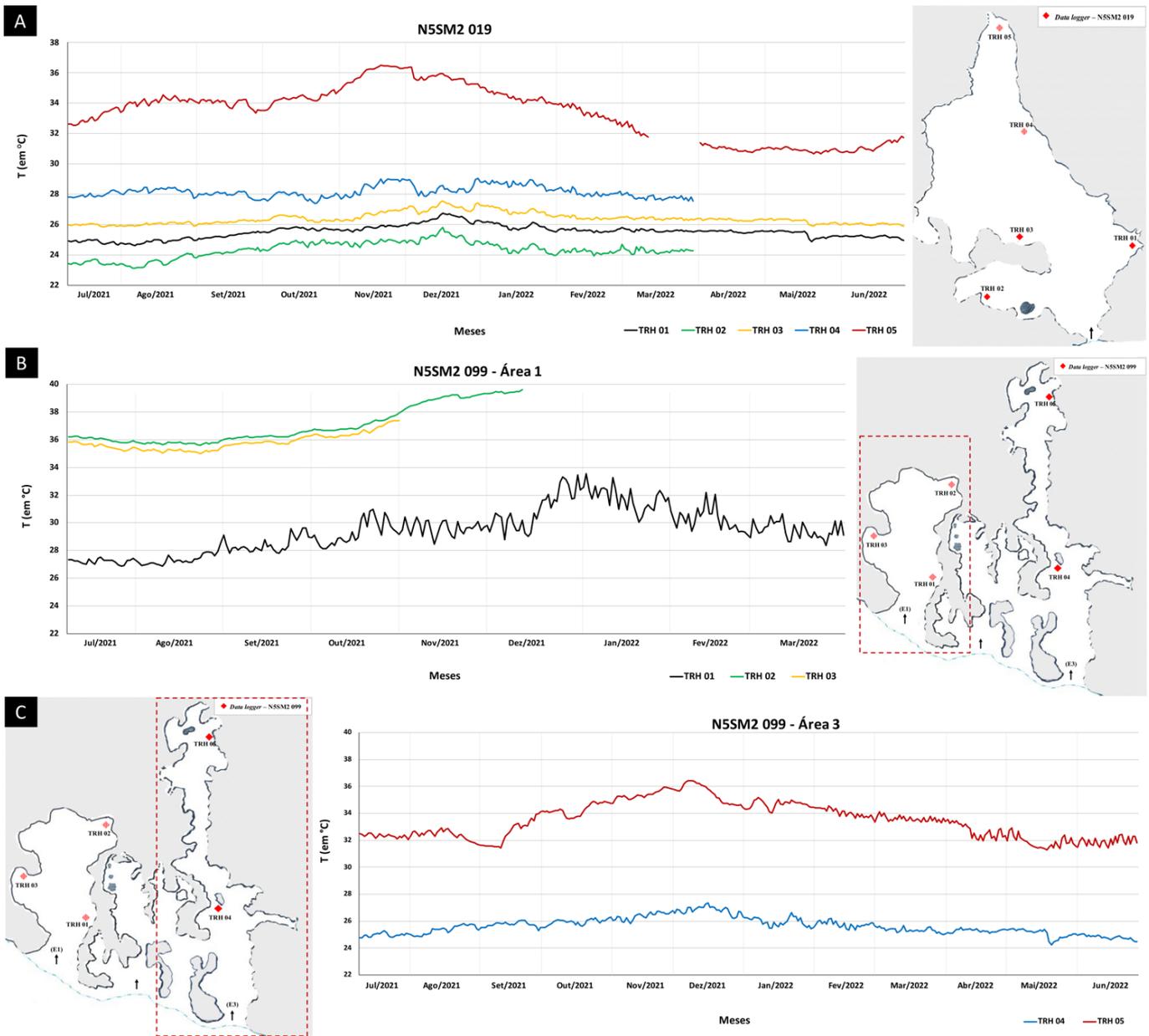
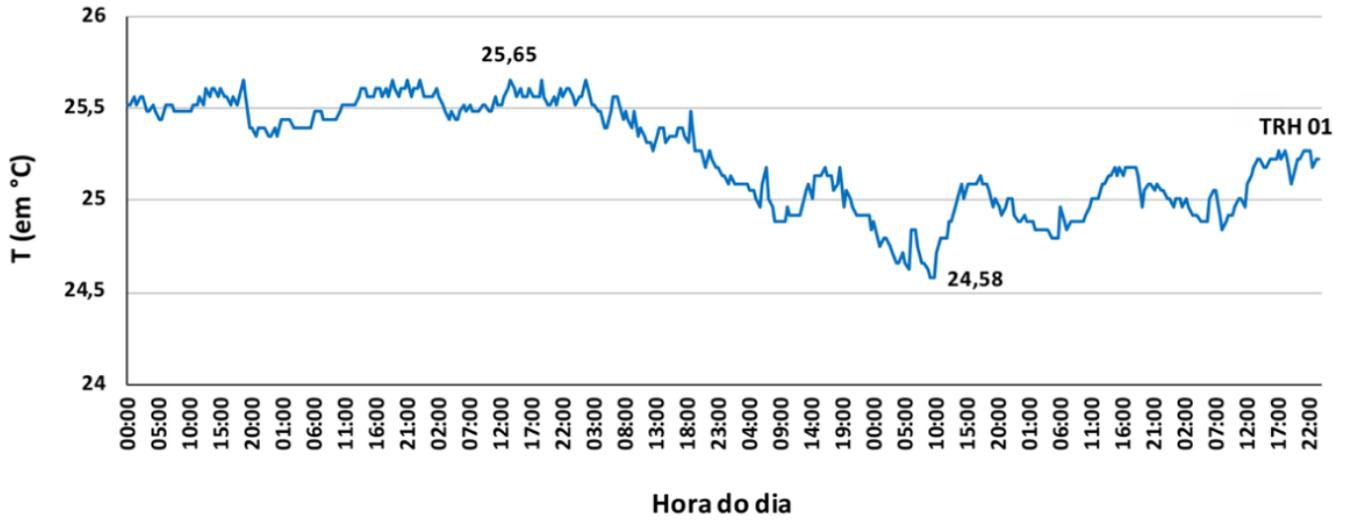


Figura 6 – Média diária da temperatura registrada nas cavernas N5SM2 019 (A) e N5SM2 099, na área acessada pela entrada 1 (B) e área acessada pela entrada 3 (C), nos períodos de julho de 2021 a junho de 2022 (A e C) e julho de 2021 a março de 2022 (B). Em N5SM2 019, após o mês de março não há registros de temperatura para os *data loggers* TRH 04 (substituído pelo TRH 02) (A). Em N5SM2 099, após o mês de outubro de 2021 e março de 2022 não têm registros de temperatura para os *data loggers* TRH 03 e TRH 02, respectivamente, da área 1 (B).

Figure 6 – Average daily temperature recorded in caves N5SM2 019 (A) and N5SM2 099, in the area accessed by entrance 1 (B) and the area accessed by entrance 3 (C), from July 2021 to June 2022 (A and C) and July 2021 to March 2022 (B). In N5SM2 019, after March there are no temperature records for the TRH 04 data loggers (replaced by TRH 02) (A). In N5SM2 099, after October 2021 and March 2022 there are no temperature records for the TRH 03 and TRH 02 data loggers, in area 1 (B).

A**N5SM2 019**

Período apontado: 15/05 A 22/05/2022

**B**

Período apontado: 29/11 A 06/12/2021

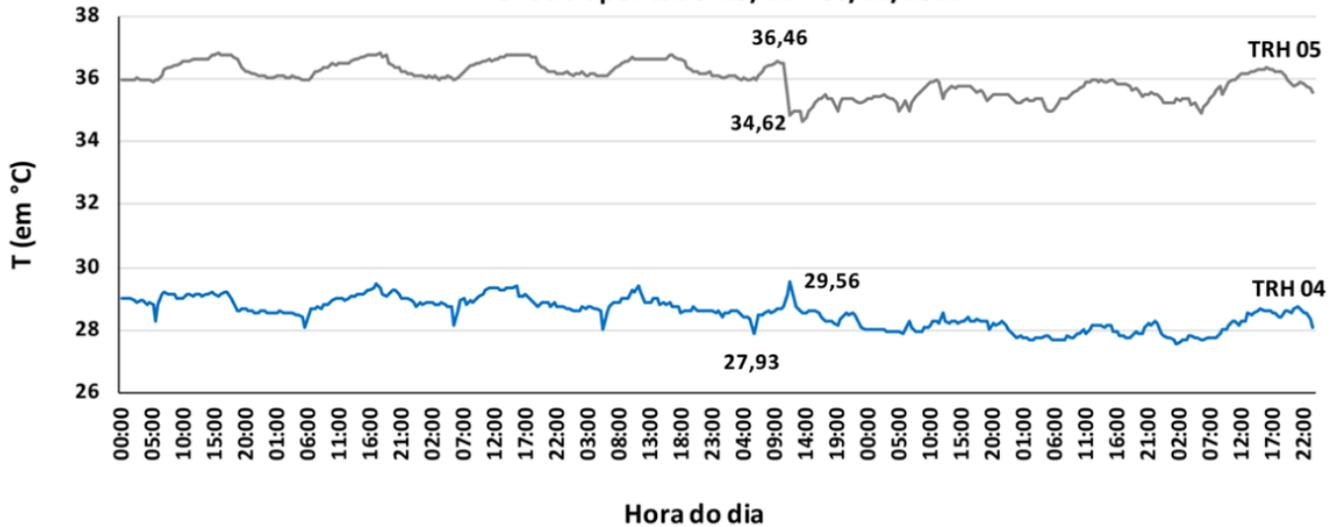


Figura 7 – Variação de cerca de 1°C entre 15 de maio a 22 de maio de 2022 registrada pelo *data logger* TRH 01 (A), e de cerca de 2°C entre 29 de novembro e 06 de dezembro de 2021 nos *data loggers* TRH 04 e TRH 05 (B), todos na caverna N5SM2 019.

Figure 7 – Variation of around 1°C between May 15 and May 22, 2022 recorded by *data logger* TRH 01 (A), and around 2°C between November 29 and December 6, 2021 in *data loggers* TRH 04 and TRH 05 (B), all installed in cave N5SM2 019.

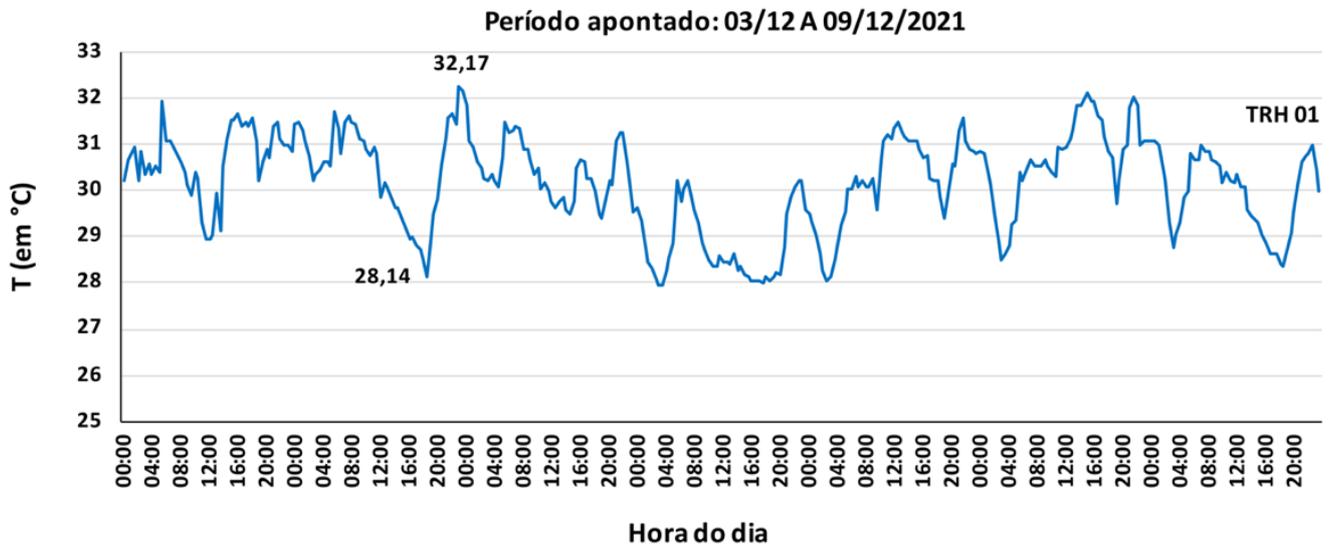
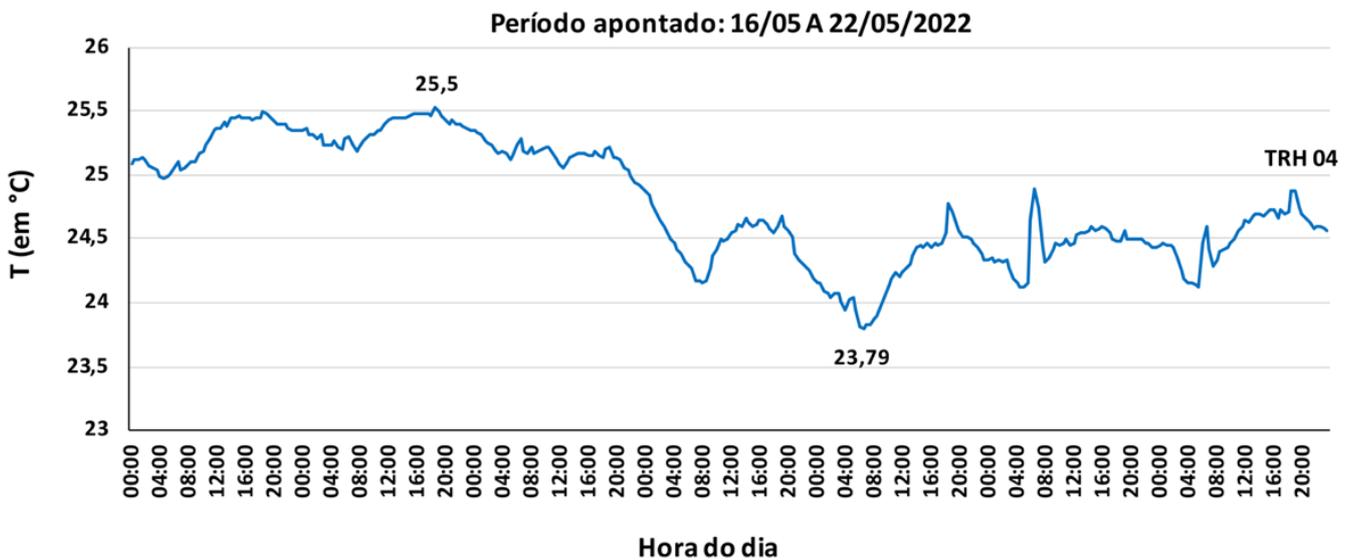
A**N5SM2 099****B**

Figura 8 - Variação de cerca 4°C na temperatura registrada pelo data logger TRH 01, entre 03 de dezembro a 09 de dezembro de 2021 (A), e de cerca de 2°C no data logger TRH 04, entre 16 de maio a 22 de maio de 2022 (B), ambos instalados na caverna N5SM2 099.

Figure 8 - Variation of around 4°C in the temperature recorded by the TRH 01 data logger, between December 3 and December 9, 2021 (A), and around 2°C in the TRH 04 data logger, between May 16 and May 22, 2022 (B), both installed in cave N5SM2 099.

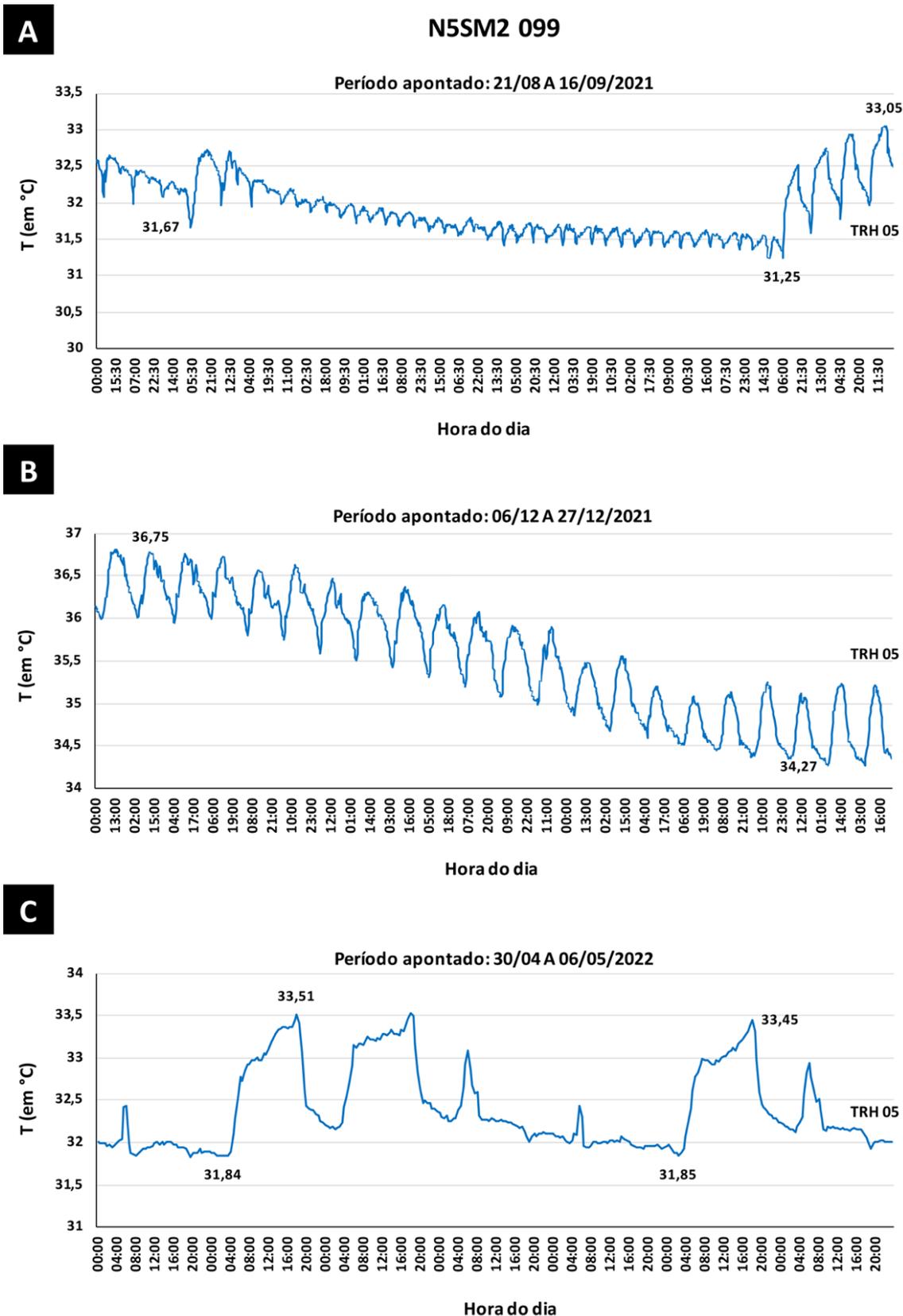


Figura 9 – Variação de cerca de 2°C na temperatura registrada entre 21 de agosto a 16 de setembro de 2021 (A), de cerca de 2,5°C entre 06 de dezembro a 27 de dezembro de 2021 (B), e de cerca de 2°C entre 30 de abril a 06 de maio de 2022 (C), todas registradas pelo data logger TRH 05, instalado na caverna N5SM2 099.

Figure 9 – Variation of around 2°C in the temperature recorded between August 21 and September 16, 2021 (A), around 2.5°C between December 6 and December 27, 2021 (B), and around 2°C between April 30 and May 6, 2022 (C), all recorded by the TRH 05 data logger installed in cave N5SM2 099.

Variações anuais e períodos reprodutivos inferidos pela temperatura

A existência de dados coletados em três anos permitiu a comparação da temperatura para um mesmo período (abril a setembro) entre diferentes anos (2019, 2021 e 2022; Figuras 10 e 11) e foi constatado um padrão semelhante na temperatura entre os anos, que aponta para os períodos reprodutivos nessas cavernas (veja o tópico Diferenças de temperatura intra- e inter-cavernas). Para excluir a possibilidade de influência externa nas flutuações observadas dentro das cavernas, as temperaturas internas e externas foram então comparadas em períodos iguais (15 de janeiro à 15 de fevereiro de 2022; Figuras 12 e 13). Utilizamos os dados de temperatura externa da caverna mais próxima N5SM2 057, distante quase 1 km das nossas *bat caves*. Essa caverna apresenta vegetação do entorno e incidência solar semelhantes às das *bat caves* analisadas. As comparações apontam que, enquanto as temperaturas mais próximas às entradas das cavernas apresentam alguma influência da temperatura externa, as temperaturas das câmaras mais profundas são descoladas das temperaturas externas, confirmando que estas câmaras mais quentes são, de fato, muito mais influenciadas pela presença/ausência dos morcegos.

Annual variations and reproductive periods inferred by temperature

The existence of data collected in three years made it possible to compare the temperature for the same period (April to September) between different years (2019, 2021 and 2022; Figures 10 and 11). A similar pattern in temperature was found between the years, which points to the reproductive periods in these caves (see the topic Intra- and inter-cave temperature differences). To exclude the possibility of external influence on the fluctuations observed inside the caves, the internal and external temperatures were then compared over equal periods (January 15 to February 15, 2022; Figures 12 and 13). The external temperature data from the nearest cave N5SM2 057 was used, which is almost 1 km away from the bat caves. This cave has similar surrounding vegetation and solar incidence to the analyzed bat caves. The comparisons show that, while the temperatures closest to the cave entrances show some influence from the external temperature, the temperatures in the deeper chambers are detached from the external temperatures, confirming that these warmer chambers are, in fact, much more influenced by the presence/absence of bats.

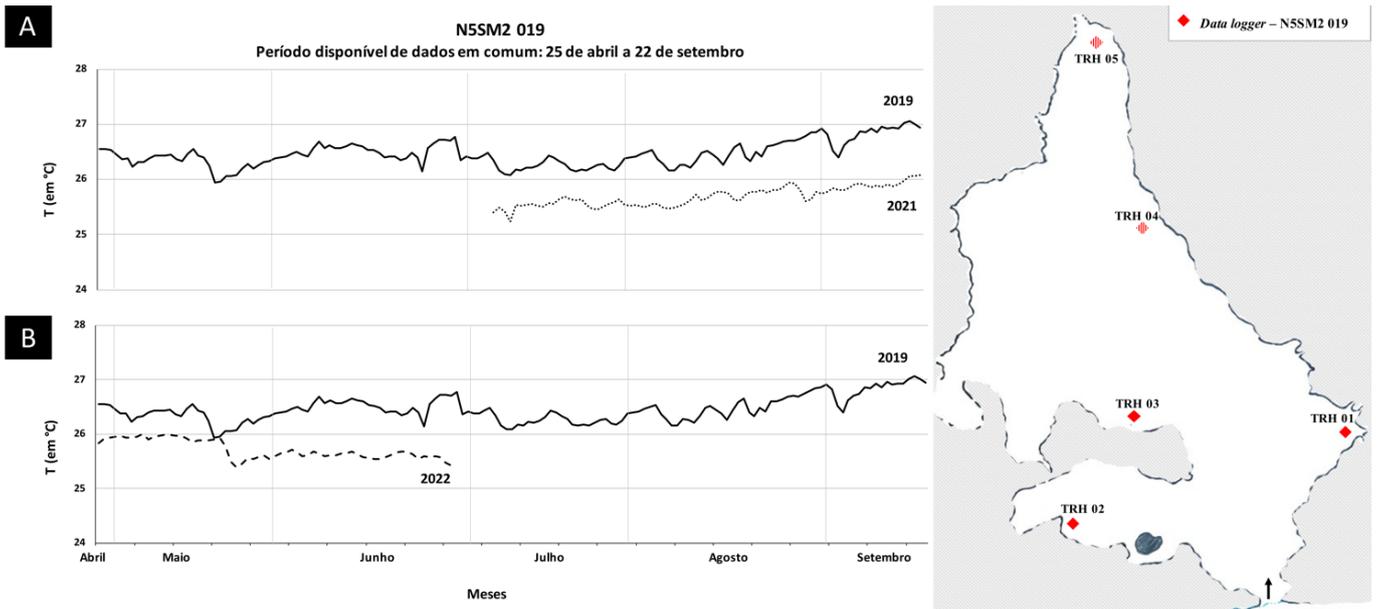


Figura 10 – Comparação da temperatura interna da *bat cave* N5SM2 019, nos anos de 2019 e 2021 (A) e 2019 e 2022 (B), entre os meses de abril e setembro.

Figure 10 – Comparison of the internal temperature of bat cave N5SM2 019, in the years 2019 and 2021 (A) and 2019 and 2022 (B), between the months of April and September.

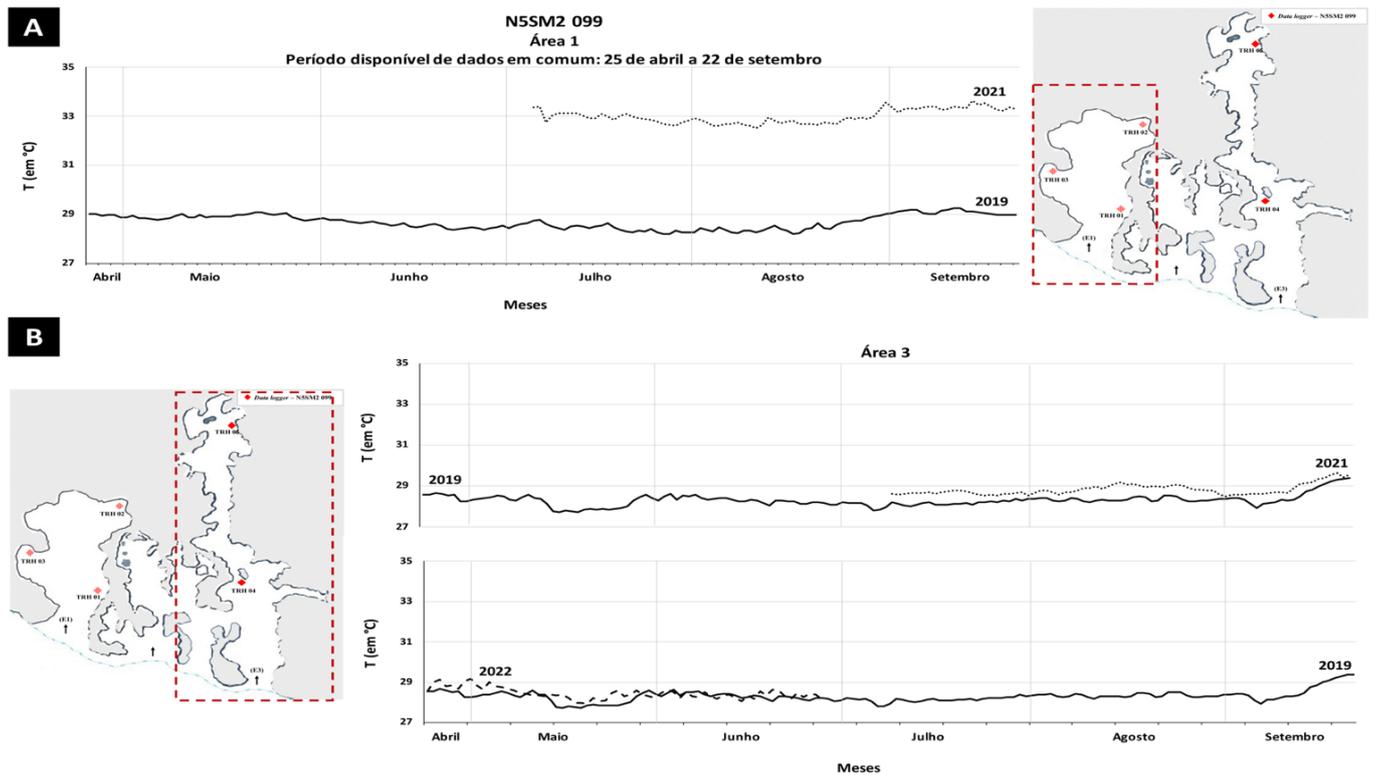


Figura 11 – Média diária da temperatura interna da *bat cave* N5SM2 099 entre os meses de abril e setembro na área acessada pela entrada 1 (A; dados para 2019 e 2021) e área acessada pela entrada 3 (B; dados para 2019, 2021 e 2022).

Figure 11 – Average daily internal temperature of bat cave N5SM2 099 between April and September in the area accessed by entrance 1 (A; data for 2019 and 2021) and the area accessed by entrance 3 (B; data for 2019, 2021 and 2022).

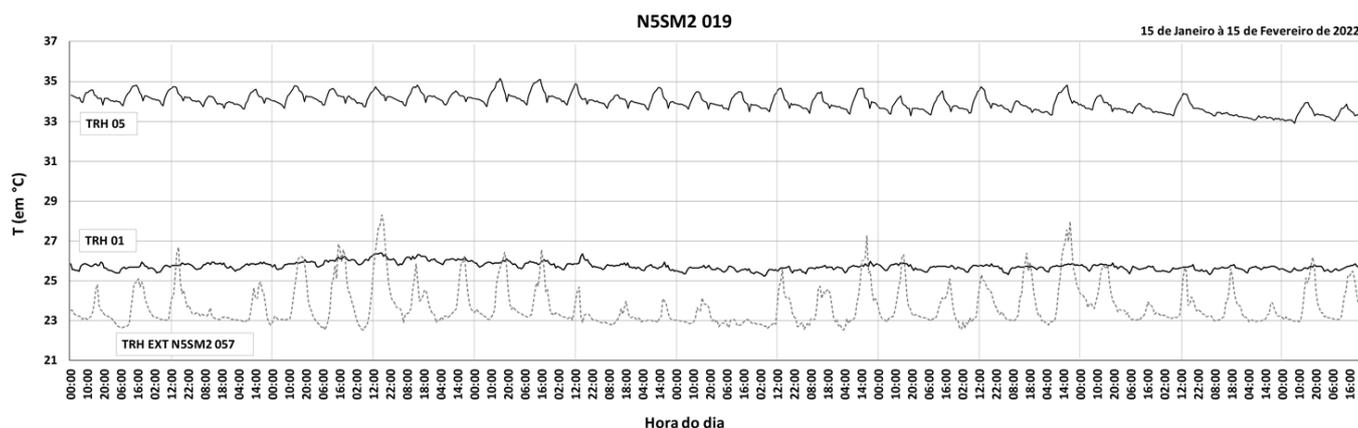


Figura 12 – Temperatura média registrada pelos *data loggers* TRH 01 (próximo à entrada) e TRH 05 (mais interno) na caverna N5SM2 019, e a temperatura média externa (TRH EXT, obtido junto à caverna N5SM2 057), no período de 15 de janeiro à 15 de fevereiro de 2022.

Figure 12 – Average temperature recorded by *data loggers* TRH 01 (near the entrance) and TRH 05 (more internal) in cave N5SM2 019, and the average external temperature (TRH EXT, obtained from cave N5SM2 057), from January 15 to February 15, 2022.

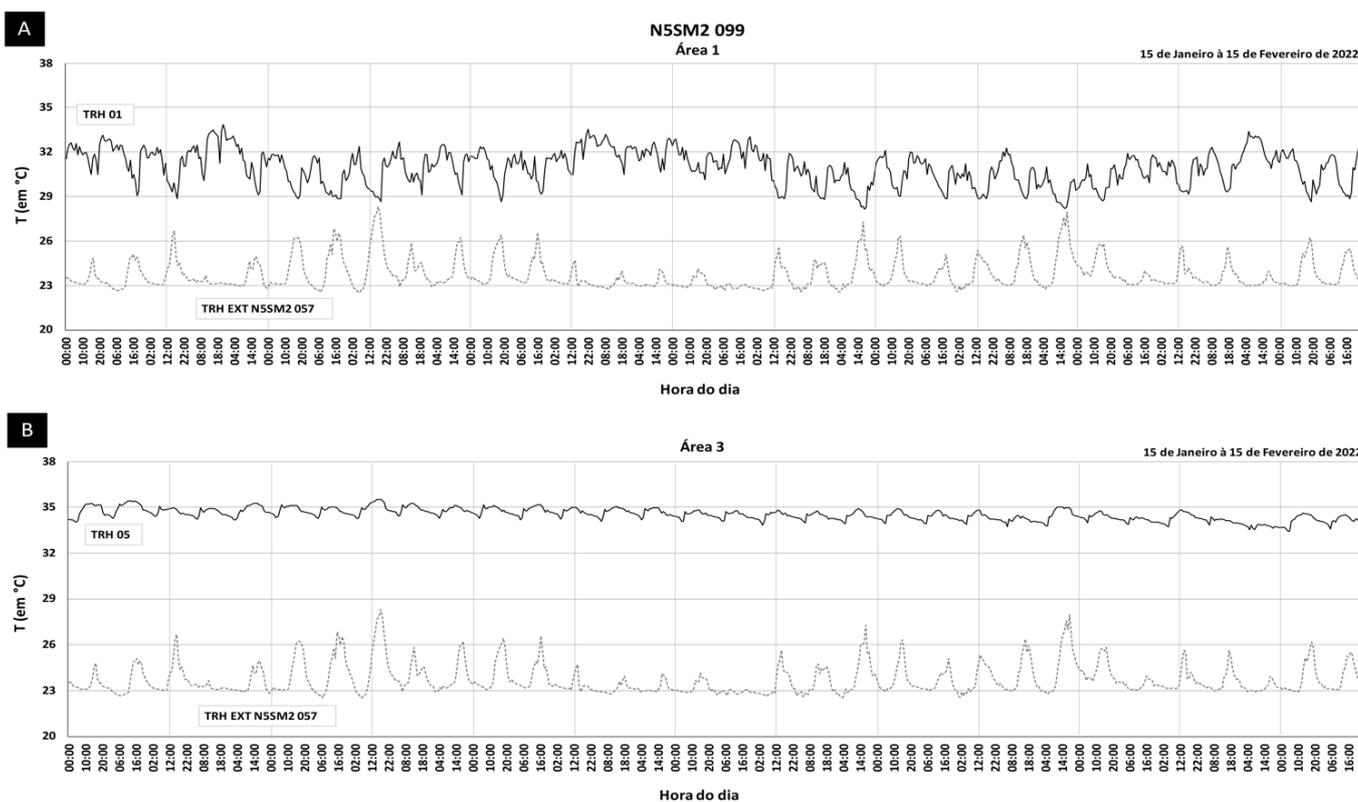


Figura 13 – Temperaturas médias registradas pelo *data logger* TRH 01 (A), instalado na área acessada pela entrada 1, pelo o *data logger* TRH 05 (B), instalado na área acessada pela entrada 3, ambos na caverna N5SM2 099, e a temperatura média externa (TRH EXT, obtido junto à caverna N5SM2 057), no período de 15 de janeiro à 15 de fevereiro de 2022.

Figure 12 – Average temperatures recorded by the TRH 01 *data logger* (A), installed in the area accessed by entrance 1, by the TRH 05 *data logger* (B), installed in the area accessed by entrance 3, both in cave N5SM2 099, and the average external temperature (TRH EXT, obtained from cave N5SM2 057), from January 15 to February 15, 2022.

DISCUSSÃO

Dinamismo das colônias e sazonalidade inferidos pela temperatura

O monitoramento térmico contínuo e de longo prazo em duas cavernas (N5SM2 019 e N5SM2 099) na região de Carajás, estado do Pará, na Amazônia Brasileira, apontou claramente que as temperaturas internas destas cavernas são mais elevadas que as temperaturas externas, e pouco influenciadas por estas últimas, sendo, na verdade, claramente associadas à presença de grandes colônias de morcegos do gênero *Pteronotus*. Estas características permitem apontar que N5SM2 019 e N5SM2 099 são *bat caves/hot caves* (Ladle et al. 2012). *Bat caves* são consideradas abrigos climaticamente mais estáveis comparado ao ambiente externo, porém, destacam-se de outras cavidades exatamente por suas populações excepcionais de morcegos e elevada temperatura interna (De La Cruz, 1992; Ladle et al. 2012). Cavernas desse tipo já foram relatadas na região Neotropical, no México (Dalquest & Hall, 1949), Cuba (Tejedor et al., 2005), Venezuela (De La Cruz, 1992) e na região do Caribe (Rivera-Marchand & Rodríguez-Durán, 2001; Tejedor et al., 2005). No Brasil, há registros de *bat caves* para as regiões Norte (Piló et al., no prelo; este estudo) e Nordeste (Rocha, 2013; Vargas-Mena et al., 2018; Otálora-Ardila et al., 2019; Pimentel et al., 2022).

A temperatura em N5SM2 019 e N5SM2 099 mostrou-se um *proxy* útil para entender o uso desses abrigos, apontando desde padrões circadianos, até sazonais, além de períodos de maior densidade de indivíduos no interior das cavernas, e eventos de mobilidade desses animais dentro das cavernas e entre as cavernas. O monitoramento contínuo e de longo prazo realizado

DISCUSSION

Colony dynamism and seasonality inferred from temperature

Continuous, long-term thermal monitoring in two caves (N5SM2 019 and N5SM2 099) in the Carajás region, Pará state, in the Brazilian Amazon, has clearly shown that the internal temperatures of these caves are higher than the external temperatures. They are little influenced by the latter, and are in fact clearly associated with the presence of large colonies of Pteronotus genus bats. These characteristics suggest that N5SM2 019 and N5SM2 099 are bat caves/hot caves (Ladle et al. 2012). Bat caves are considered to be climatically more stable shelters compared to the external environment, but they stand out from other caves precisely because of their exceptional bat populations and high internal temperature (De La Cruz, 1992; Ladle et al. 2012). Caves of this type have already been reported in the Neotropics, in Mexico (Dalquest & Hall, 1949), Cuba (Tejedor et al., 2005), Venezuela (De La Cruz, 1992) and the Caribbean (Rivera-Marchand & Rodríguez-Durán, 2001; Tejedor et al., 2005). In Brazil, there are records of bat caves for the North (Piló et al., in press; this study) and Northeast regions (Rocha, 2013; Vargas-Mena et al., 2018; Otálora-Ardila et al., 2019; Pimentel et al., 2022).

The temperature in N5SM2 019 and N5SM2 099 proved to be a useful proxy for understanding the use of these shelters, pointing to daily and seasonal patterns, as well as periods of higher density of individuals inside the caves, and mobility events of these animals within and between caves. The continuous and long-term monitoring carried out in these bat caves has enabled a more detailed reconstruction of the thermal signature for these

nessas *bat caves* possibilitou uma reconstrução mais detalhada da assinatura térmica para esses ambientes, ressaltando o caráter dinâmico e bastante peculiar destas cavernas. Apesar de estarem muito próximas uma da outra (~50 metros), estas cavernas apresentam temperaturas internas que se comportaram de forma completamente independente. As temperaturas em ambas são heterogêneas dentro e entre si, com temperaturas mais baixas próximo à entrada, com pouca influência da temperatura externa, e temperaturas mais elevadas nas partes mais internas dessas cavernas, onde estão localizadas colônias mais numerosas de morcegos. Assim, a temperatura não somente é alterada diariamente pela saída dos morcegos para o forrageio ao anoitecer e retorno próximo ao amanhecer, mas também pela quantidade de morcegos e pelas áreas de preferências deles dentro da caverna. Esse gradiente de temperatura pôde ser observado com maior nitidez em N5SM2 019. Variações na temperatura de diferentes partes das cavernas podem determinar as áreas preferidas para a ocupação das espécies e de grandes colônias (Barros *et al.*, 2020), incluindo a existência de câmaras específicas que funcionam como maternidades para os morcegos do gênero *Pteronotus*.

A quantidade de morcegos utilizando essas *bat caves* também se mostrou heterogênea e dinâmica ao longo do tempo, variando de ~11.000 a ~16.000 em N5SM2 019, e de ~53.000 a ~88.500 em N5SM2 099. Evidências – como o aumento significativo da temperatura entre setembro e janeiro – podem indicar que essas oscilações estão associadas aos períodos reprodutivos das espécies que usam estas cavernas, e parecem se repetir anualmente (dados para 2019, 2021 e 2022), apontando para uma possível sazonalidade

*environments, highlighting the dynamic and quite peculiar character of these caves. Despite being very close to each other (~50 meters), these caves have internal temperatures that behave completely independently. The temperatures in both caves are heterogeneous within and between each other, with lower temperatures near the entrance, with little influence from the outside temperature, and higher temperatures in the innermost parts of the caves, where the most numerous bat colonies are located. Therefore, the temperature is not only altered daily by bats leaving to forage at dusk and returning at dawn, but also by the number of bats and their preferred areas within the cave. This temperature gradient could be seen most clearly in N5SM2 019. Variations in the temperature of different parts of the caves can determine the preferred areas for the occupation of species and large colonies (Barros *et al.*, 2020), including the existence of specific chambers that function as maternity wards for bats of the *Pteronotus* genus.*

*The number of bats using these bat caves was also heterogeneous and dynamic over time, ranging from ~11,000 to ~16,000 in N5SM2 019, and from ~53,000 to ~88,500 in N5SM2 099. Evidence, such as the significant increase in temperature between September and January, may indicate that these oscillations are associated with the reproductive periods of the species that use these caves, and seem to be repeated annually (data for 2019, 2021 and 2022), which points to a possible seasonality in these bat caves. This increase in the cave's thermal signature may indicate reproductive periods and therefore a greater abundance of individuals using these shelters. These data coincide with breeding periods reported in the literature for *P. gymnonotus* and even *P. personatus*, reporting breeding seasons occurring at different times of the year throughout their geographical range (Deleva & Chaverri, 2018;*

dade nessas *bat caves*. Esse aumento na assinatura térmica da caverna pode indicar períodos reprodutivos e, portanto, de maior abundância de indivíduos utilizando esses abrigos. Esses dados coincidem com períodos reprodutivos reportados na literatura para *P. gymnonotus* e até *P. personatus*, reportando estações de reprodução ocorrendo em diferentes épocas do ano em toda a sua faixa geográfica (Deleva & Chaverri, 2018; Pavan & Tavares, 2020). Baseado nos dados de temperatura, estimamos que o período reprodutivo em N5SM2 019 e N5SM2 099 deve ocorrer entre setembro e janeiro, com picos populacionais entre novembro e o começo de janeiro.

Seleção de microhabitats dentro das cavernas

Morcegos cavernícolas selecionam diferentes atributos relacionados às características físicas e ambientais existentes na caverna (Brunet & Medellín, 2001). Enquanto a presença de algumas espécies é associada ao tamanho da caverna, para outras a complexidade, disponibilidade de diferentes microhabitats (como cúpulas, buracos e fraturas), ou as condições microclimáticas (temperatura, umidade ou luminosidade) são variáveis mais determinantes (Phelps *et al.*, 2016; Barros *et al.*, 2020). Porém, para algumas espécies de morcegos a relação com o abrigo é ainda mais importante, uma vez que estas podem formar grandes colônias com dezenas ou até centenas de milhares de indivíduos e dependerem da caverna para a manutenção de suas populações (Rodríguez-Durán, 2009). Esse parece ser o caso das grandes colônias de *Pteronotus* presentes nas *bat caves* aqui estudadas. Estudos apontam que para *P. gymnonotus* e *P. personatus*, principalmente, as condi-

Pavan & Tavares, 2020). Based on the temperature data, it is estimated that the breeding period in N5SM2 019 and N5SM2 099 should occur between September and January, with population peaks between November and early January.

Cave microhabitat selection

Cave bats select different attributes related to the physical and environmental characteristics of the cave (Brunet & Medellín, 2001). While the presence of some species is associated with the size of the cave, for others the complexity, availability of different microhabitats (such as domes, holes and fractures), or microclimatic conditions (temperature, humidity or luminosity) are more determining variables (Phelps et al., 2016; Barros et al., 2020). However, for some bat species, the relationship with shelter is even more important, since they can form large colonies with tens or even hundreds of thousands of individuals and depend on the cave to maintain their populations (Rodríguez-Durán, 2009). This seems to be the case with the large colonies of Pteronotus present in the bat caves studied here. Studies show that, for P. gymnonotus and P. personatus in particular, the microclimatic conditions in the caves have a direct influence on post-natal development

ções microclimáticas nas cavernas têm influência direta sobre o desenvolvimento pós-natal e o recrutamento da prole (Rocha, 2013; Pavan & Tavares, 2020).

Detectamos que em N5SM2 019 as espécies coabitavam no mesmo espaço, parecendo não haver preferência na ocupação e uso do ambiente. Porém, em N5SM2 099 houve segregação evidente entre as espécies do gênero *Pteronotus* e entre as demais espécies presentes. Barros *et al.* (2022) identificaram que grandes colônias de *Pteronotus* estavam relacionadas as características de estabilidade ambiental e teto, e a presença de tais colônias influenciava na variação de temperatura no interior das cavernas. Mais além, estes autores mostraram que espécies diferentes de *Pteronotus* mostraram preferência por diferentes características climáticas e de teto combinadas. Mesmo não sendo possível uma análise mais aprofundada nesse projeto, sobre as preferências físicas dentro das cavernas para a seleção pelos morcegos, ficou evidenciado que os diferentes microhabitats existentes em N5SM2 099 podem estar contribuindo para a segregação de espécies de *Pteronotus* observadas, bem como para as demais espécies dessa caverna. Para *P. rubiginosus*/*P. alitonus* não foram encontradas na literatura atributos determinantes para o seu uso e ocupação em determinada área da caverna. Entretanto, de forma geral, os morcegos não toleram baixas temperaturas, uma vez que possuem baixas taxas de metabolismo basal (Rodríguez-Dúran, 2009).

P. gymnonotus e *P. peronotus* são espécies caracterizadas por reduzido cuidado parental. Os neonatos ficam em berçários separados de suas mães na maior parte do dia e o desenvolvimento dos pelos nesses filhotes é tardio, iniciando-se

and offspring recruitment (Rocha, 2013; Pavan & Tavares, 2020).

It was detected that in N5SM2 019 the species cohabited in the same space, and there seemed to be no preference in the occupation and use of the environment. However, in N5SM2 099 there was clear segregation between the species of the Pteronotus genus and between the other species present. Barros et al. (2022) identified that large Pteronotus colonies were related to environmental stability and ceiling characteristics, and the presence of such colonies influenced the temperature variation inside the caves. Furthermore, these authors showed that different Pteronotus species showed a preference for different climatic and ceiling characteristics combined. Although it was not possible to carry out a more in-depth analysis of the physical preferences within the caves for selection by the bats, it was clear that the different microhabitats in N5SM2 099 may be contributing to the segregation of the observed Pteronotus species as well as to the other species in this cave. For P. rubiginosus/P. alitonus, no determinant attributes were found in the literature for their use and occupation in a given area of the cave. However, in general, Mormoopidae bats do not tolerate low temperatures, since they have low basal metabolism rates (Rodríguez-Dúran, 2009).

P. gymnonotus and P. peronotus are species characterized by reduced parental care. The neonates stay in separate nurseries from their mothers for most of the day and the fur development in these offspring is late, beginning only in the fifth week after birth (Rocha, 2013). These factors may explain the need to shelter in caves with high environmental stability, as well as justifying the presence of these large colonies in the innermost portions, as also identified here. In fact, species of the Pteronotus genus are classified as strictly cave-

apenas na quinta semana após o nascimento (Rocha, 2013). Tais fatores podem explicar a necessidade de se abrigar em cavernas com elevada estabilidade ambiental, além de justificar a presença dessas grandes colônias nas porções mais internas, como também identificado aqui. De fato, espécies do gênero *Pteronotus* são classificadas como estritamente cavernícolas, pois são dependentes da caverna para completar seu ciclo de vida (Pavan & Tavares, 2020). A seleção de abrigos específicos relacionados a padrões reprodutivos e populacionais já foram reportados também para *Pteronotus fulvus* e *P. mesoamericanus*, no México (Hernández-Aguilar & Santos-Moreno, 2020).

Implicações das *bat caves* da FLONA de Carajás

Bat caves podem frequentemente abrigar populações com mais de 100.000 morcegos, e entender a dinâmica em cavernas com populações excepcionais em relação à abundância, bem como quais características favorecem a ocorrência de colônias com milhares de indivíduos, pode servir como um direcionamento para outros estudos referentes à identificação de áreas e cavernas prioritárias para inventários e/ou monitoramento, e ainda como base para estratégias de conservação (Phelps et al., 2016).

Apesar da alta riqueza de espécies de morcegos reportadas para a FLONA de Carajás (Tavares et al., 2012), são insuficientes os estudos comparativos de ecologia que avaliem a distribuição dessas comunidades nos diferentes ecossistemas da FLONA de Carajás, incluindo cavernas, e mais especificamente *bat caves*. Há espécies de morcegos muito sensíveis às alterações na disponibilidade de abrigo e alimento e, por isso, esse

-dwelling, as they are dependent on the cave to complete their life cycle (Pavan & Tavares, 2020). The selection of specific shelters related to reproductive and population patterns has also been reported for Pteronotus fulvus and P. mesoamericanus in Mexico (Hernández-Aguilar & Santos-Moreno, 2020).

Bat caves implications on Carajás National Forest

Bat caves can often harbor populations of more than 100,000 bats. Understanding the dynamics in caves with exceptional abundance populations, as well as which characteristics favor the occurrence of colonies with thousands of individuals, can serve as a guide for other studies regarding the identification of priority areas and caves for inventories and/or monitoring, and also as a basis for conservation strategies (Phelps et al., 2016).

Despite the high bat species richness reported for the Carajás National Forest (Tavares et al., 2012), there are insufficient comparative ecology studies evaluating the distribution of these communities in the different ecosystems of the Carajás National Forest, including caves, and more specifically bat caves. There are bat species that are very sensitive to changes in the availability of shelter and food. For this reason, this group can be considered a good indicator of environmental quality. However, determining the living area, habitat and abundance

grupo pode ser considerado um bom indicador de qualidade ambiental. No entanto, a determinação da área de vida, hábitat e da abundância desses mamíferos encontrados na FLONA são as principais lacunas que limitam o conhecimento da atuação desses animais nos processos de manutenção dos ecossistemas locais, como também limita ou mesmo induz a erros na inferência de seu grau de ameaça (Tavares *et al.*, 2012). A determinação dos padrões de deslocamento e das áreas de vida são importantes principalmente, para as espécies registradas em cavidades e das com potencial para usar esses ambientes (Tavares *et al.*, 2012). As espécies registradas nas *bat caves* aqui estudadas cumprem esses requisitos.

As espécies de áreas onde a mineração é prevista demandam estudos mais detalhados sobre sua distribuição e abundância e de comportamento perante os impactos por vezes difusos, da mineração. São espécies reconhecidamente sob ameaça no cenário de perda do seu ecossistema (Tavares *et al.*, 2012). Tavares *et al.* (2012) já identificaram 75 espécies de morcegos na FLONA de Carajás, sendo que 23 dessas espécies habitavam cavernas. No Brasil, 73 das 182 espécies de morcegos conhecidas para o país usam cavernas como abrigos principais ou alternativos (Torres & Bichuette, 2019; Leal & Bernard, 2021; Garbino *et al.*, 2022). A diversidade de microhabitats pode contribuir para aumentar a riqueza de morcegos nos abrigos (Brunet & Medellín, 2001; Phelps *et al.*, 2016; Barros *et al.*, 2020). Nossos registros corroboram esses estudos, visto que N5SM2 099 além de apresentar maior diversidade de microhabitats, também apresentou maior riqueza de espécies em relação a N5SM2 019. Mesmo com a proximidade entre as entradas dessas cavernas (menos de 50 m),

of these mammals found in the National Forest are the main gaps that limit knowledge of these animals role in the maintenance processes of local ecosystems, as well as limiting or even leading to errors in inferring their degree of threat (Tavares et al., 2012). Determining movement patterns and home ranges is especially important for species recorded in caves and those with the potential to use these environments (Tavares et al., 2012). The species recorded in the bat caves studied here meet these requirements.

Species from areas where mining is planned require more detailed studies of their distribution and abundance, as well as their behavior in the face of the sometimes diffuse impacts of mining. These are species that are known to be under threat in the event of their ecosystem loss (Tavares et al., 2012). Tavares et al. (2012) have already identified 75 bat species in the Carajás National Forest, 23 of which inhabit caves. In Brazil, 73 of the 182 bat species known for the country use caves as their main or alternative shelters (Torres & Bichuette, 2019; Leal & Bernard, 2021; Garbino et al., 2022). The diversity of microhabitats can contribute to increasing the richness of bats in shelters (Brunet & Medellín, 2001; Phelps et al., 2016; Barros et al., 2020). The records corroborate these studies, as N5SM2 099 not only had a greater diversity of microhabitats, but also a higher species richness than N5SM2 019. Even with the proximity between the entrances to these caves, there were species that were only recorded in the first cave.

Cave bats are often considered to be faithful to their shelters, but a colony can alternate in the use of these shelters (Altringham, 1996). In certain cases, movement between shelters can cause marked variations in population size over different periods (Stepanian & Wainwright, 2018). These sharp fluc-

houve espécies que só foram registradas na primeira caverna.

Morcegos cavernícolas são frequentemente considerados fiéis aos seus abrigos, mas, uma colônia pode se alternar na utilização desses abrigos (Altringham, 1996). Em determinados casos, a movimentação entre abrigos pode provocar variações acentuadas no tamanho da população em diferentes períodos (Stepanian & Wainwright, 2018). Essas flutuações acentuadas reforçam o caráter dinâmico de alguns abrigos. Durante o monitoramento aqui apresentado registramos que a abundância de morcegos variou inter- e intra-cavernas. Para N5SM2 019 e N5SM2 099 as variações na abundância estão relacionadas à presença de colônias de morcegos da família Mormoopidae. Esta família é conhecida por formarem grandes congregações (Rocha, 2013; Tavares *et al.*, 2012; Deleva & Chaverri, 2018; Vargas-Mena *et al.*, 2018; Pimentel *et al.*, 2022). O caráter dinâmico observado é uma clara mensagem sobre a necessidade de monitoramento contínuo e de longo prazo para o melhor entendimento destes abrigos e de suas relações ecológicas (Otálora-Ardila *et al.* 2019). Inventários curtos e muito esporádicos inevitavelmente levarão a conclusões equivocadas sobre abrigos como estes, com sérias implicações ecológicas, conservacionistas e de licenciamento.

Com as amostragens realizadas não foi possível inferir se esses morcegos estão transitando entre essas cavernas apenas ou se estão utilizando outros abrigos. A marcação/recaptura maciça de indivíduos é necessária para responder a este questionamento. Porém, a possibilidade de trânsito entre as cavernas é bastante plausível (vide Leal & Bernard, 2021). Na macro região de Carajás há registros de outras cavernas que se

tuations reinforce the dynamic nature of some shelters. During the monitoring presented here, it was recorded that bat abundance varied between and within caves. For N5SM2 019 and N5SM2 099 the variations in abundance are related to the presence of bat colonies from the Mormoopidae family. This family is known for forming large congregations (Rocha, 2013; Tavares et al., 2012; Deleva & Chaverri, 2018; Vargas-Mena et al., 2018; Pimentel et al., 2022). The dynamic nature observed is a clear message about the need for continuous and long-term monitoring to better understand these shelters and their ecological relationships (Otálora-Ardila et al. 2019). Short and very sporadic inventories will inevitably lead to erroneous conclusions, with serious ecological, conservation and licensing implications.

With the sampling carried out, it was not possible to infer whether these bats are only transiting between these caves or whether they are using other shelters. Massive marking/recapture of individuals is necessary to answer this question. However, the possibility of transit between caves is quite plausible (see Leal & Bernard, 2021). In the Carajás macro-region, there are records of other caves that are configured as bat caves and which therefore present suitable conditions for the establishment of these large colonies of Pteronotus genus bats (Piló et al., in press). Monitoring these caves, with the marking of individuals, should be considered a priority and is highly recommended.

The bat caves in this study are located in areas with intense mineral exploitation, whose expansion is quite advanced and therefore requires greater attention. The exceptional nature of these caves gives them the degree of maximum ecological relevance (Brazil, 2017), and so they should be treated like such for environmental licensing purposes. Information

configuram como *bat caves* e que, portanto, apresentam condições adequadas para o estabelecimento dessas grandes colônias de morcegos do gênero *Pteronotus* (Piló *et al.*, no prelo). O monitoramento destas cavernas, com a marcação de indivíduos, deve ser considerado prioritário e é altamente recomendado.

As *bat caves* desse estudo encontram-se em áreas com intensa exploração mineral, cuja expansão encontra-se bastante avançada e, portanto, requer uma atenção maior. O caráter excepcional destas cavernas lhes confere o grau de máxima relevância ecológica (Brasil, 2017), e assim elas devem ser tratadas para fins de licenciamento ambiental. De maneira geral, as informações sobre as *bat caves* ainda são incipientes no Brasil, sendo fundamental o fomento de estudos sobre esses ambientes, especialmente quando elas se encontram em situações que envolvam atividades de licenciamento ambiental. Sendo assim, *bat caves* precisam de um acompanhamento diferenciado em relação ao uso e pressões que experimentam, principalmente frente às alterações e tentativas de flexibilizações que vêm ocorrendo na legislação espeleológica brasileira (vide Ferreira *et al.*, 2022).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Luís Beethoven Piló (*in memorian*) pelos dados compartilhados. Agradecemos a Vale S.A., representada pela Gerência de Espeleologia do setor Norte e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), por permitirem acesso às áreas amostradas e por fornecerem apoio logístico para a realização do trabalho, além da concessão das autorizações para a pesquisa. Ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e

on bat caves is still incipient in Brazil, and it is essential to promote studies on these environments, especially when they are in situations involving environmental licensing activities. As such, bat caves need special monitoring in relation to the use and pressures they experience, especially in the face of the changes and attempts to make Brazilian speleological legislation more flexible (see Ferreira et al., 2022).

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Luís Beethoven Piló (in memorian) for the data he shared. We would like to thank Vale S.A., represented by the Northern Sector Speleology Management, and the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio), for allowing access to the areas sampled and for providing logistical support for the work, as well as granting the research permits. To the Brazilian Institute for Development and Sustain-

Sustentabilidade (IABS), através do Termo de Compromisso de Compensação Espeleológica (TCCE Nº 1/2018) pelo financiamento da pesquisa e ao Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (CEPAN) pela gestão e administração dos recursos financeiros.

ability (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade - IABS), through the Speleological Compensation Commitment Term (TCCE No. 1/2018) for funding the research and to the Northeast Environmental Research Center (Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste - CEPAN) for managing and administering the financial resources.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS / BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

ALTRINGHAM, J. D. Bats, biology and behaviour. *Oxford University Press*, Oxford, 262p, 1996.

ÁLVARES, A. C.; STAPE, J. S.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, P. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2014.

BARROS, J. S. P.; BERNARD, E.; FERREIRA, R.L. 2020. Ecological preferences of neotropical cave bats in roost site selection and their implications for conservation. *Basic and Applied Ecology*, v. 45, p. 31-41, 2020.

BARROS, J. S. P. *Seleção e uso de cavernas por morcegos e suas implicações para a classificação de relevância destes ambientes*. 2022. 188 f. Tese (Doutorado em Biologia Animal) – Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

BRASIL. MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Instrução Normativa Nº 2, de 30 de agosto de 2017*. Define a metodologia para classificação do grau de relevância das cavidades naturais subterrâneas. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=137302.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

BRUNET, A. K.; MEDELLIN, R. A. The species-area relationship in bat assemblages of tropical caves. *Journal of Mammalogy*, v. 82, n. 4, p. 1114-1122, 2001.

CANIE. CADASTRO NACIONAL DE INFORMAÇÕES ESPELEOLÓGICAS. *Banco de dados do patrimônio espeleológico nacional*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. 2022. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>>. Acesso em: 29 dez. 2022.

DALQUEST, W. W.; HALL, E. R. Five bats new to the known fauna of Mexico. *Journal of Mammalogy*, v. 30, p. 424-427, 1949.

DE LA CRUZ, J. 1992. Bioecologia de las grutas de calor. *Mundos Subterráneos*, v. 3, p. 7-22, 1992.

DELEVA, S.; CHAVERRI, G. Diversity and conservation of cave-dwelling bats in the Brunca Region of Costa Rica. *Diversity*, v. 10, p. 1-15, 2018.

- DÍAZ, M. M.; SOLARI, S.; AGUIRRE, L. F.; AGUIAR, L. M. S.; BARQUEZ, R. B. 2016. *Clave de identificación de los murciélagos de Sudamérica*. 2016. 160 p. Publicación Especial nº 2, PCMA (Programa de Conservación de Murciélagos de Argentina), Argentina.
- FERREIRA, R. L.; BERNARD, E.; CRUZ, F. W. C. Jr.; PILÓ, L. B.; CALUX, A.; SOUZA-SILVA, M. BARLOW, J.; POMPEU, P. S.; CARDOSO, P. *et al.* Brazilian cave heritage under siege. *Science*, v. 375, n. 6586, p. 1238-1239, 2022.
- GARBINO, G. S.; BRANDÃO, M. V.; TAVARES, V. C. First confirmed records of Godman's Long-tailed Bat, *Choeroniscus godmani* (Thomas, 1903) (Chiroptera, Phyllostomidae), from Brazil and Panama. *Check List*, v. 18, n. 3, p. 493-499, 2022.
- HERNÁNDEZ-AGUILAR, I.; SANTOS-MORENO, A. Reproduction and population dynamics of cave-dwelling bats in Costa of Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, v. 68, n. 3, p. 785-802, 2020.
- ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Plano de Pesquisa – *Geossistemas Ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás*. Diretoria de Pesquisa, Avaliação e Monitoramento da Biodiversidade. 82 p. Inédito, 2017.
- KUNZ, T. H. Roosting ecology. In: KUNZ, T. H (Ed.). *Ecology of bats*. Plenum Press. New York & London, 1982.
- LADLE, R. J.; FIRMINO, J. V.; MALHADO, A. C.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Unexplored diversity and conservation potential of neotropical hot caves. *Conservation Biology*, v. 26, n. 6, p. 978-982, 2012.
- LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Morcegos cavernícolas do carste arenítico do Parque Nacional do Catimbau, nordeste do Brasil. *Mastozoología Neotropical*, v. 28, n. 2, p. 001-053, 2021.
- MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L. M.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, v. 35, p. 207-214, 2005.
- MOTA, N. F. O.; WATANABE, M. T. C.; ZAPPI, D. C.; HIURA, A. L.; PALLOS, J.; VIVEROS, R. S.; GIULIETTI, A. M.; VIANA, P. L. Cangas da Amazônia: a vegetação única de Carajás evidenciada pela lista de fanerógamas. *Rodriguésia*, v. 69, p. 1435-1488, 2018.
- OTÁLORA-ARDILA, A.; TORRES, J. M.; BARBIER, E.; PIMENTEL, N. T.; LEAL, E. S. B.; BERNARD, E. Thermally-Assisted Monitoring of Bat Abundance in an Exceptional Cave in Brazil's Caatinga Drylands. *Acta Chiropterologica*, v. 21, n. 2, p. 411-423, 2019.
- PAVAN, A. C.; TAVARES, V. C. *Pteronotus gymnonotus* (Chiroptera: Mormoopidae). *Mammalian Species*, v.52, p. 40-48, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/mspecies/seaa003>>. Acesso em: 16 dez. 2022.
- PECK, S. B.; RUIZ-BALIÚ, A. E.; GONZÁLEZ, G. F. G. The cave inhabiting beetles of Cuba (Insecta: Coleoptera): diversity, distribution and ecology. *Journal of Caves and Karst Studies*, v. 60, n. 3, p. 156-165, 1998.
- PHELPS, K.; JOSE, R.; LABONITE, M.; KINGSTON, T. Correlates of cave-roosting bat diversity as an effective tool to identify priority caves. *Biological Conservation*, v. 201, p. 201-209, 2016.

- PIMENTEL, N. T.; ROCHA, P. A.; PEDROSO, M. A.; BERNARD, E. *Estimates of insect consumption and guano input in bat caves in Brazil. Mammal Research*, v. 67, n. 10, p. 355-366, 2022.
- RIVERA-MARCHAND, B.; RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Preliminary observations on the renal adaptations of bats roosting in hot caves in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, v. 37, p. 272-274, 2001.
- ROCHA, P. A. *Quiróptero fauna cavernícola: composição, estrutura de comunidade, distribuição geográfica*. 2013. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- RODRIGUES, E.; TEXEIRA, J. M.; TEICHRIEB, V.; BERNARD, E. 2016. Multi-objective Tracking Applied to Bat Populations. In: XVIII SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY (SVR), 2016, Gramado. *Anais do Congresso*, Gramado, 2016, p. 155.
- RODRIGUEZ-DURÁN, A. Nonrandom aggregations and distribution of cave-dwelling bats in Puerto Rico. *Journal of Mammalogy*, v. 79, n. 1, p. 141-146, 1998.
- RODRÍGUEZ-DURÁN, A. Bat assemblages in the West Indies: the role of caves. In: FLEMING, T. H.; RACEY, P. A. (Eds). *Island bats: evolution, ecology and conservation*. Chicago: University of Chicago Press, 2009. p. 265-280.
- SIKES, R. S.; TRACY, A. T., JOHN, A. B. II American Society of Mammalogists: levantando os padrões para supervisão ética e apropriada da pesquisa da vida selvagem. , v. 100, n. 3, p. 763-773, 2019.
- STEPANIAN, P. M.; WAINWRIGHT, C. E. Ongoing changes in migration phenology and winter residency at Bracken Bat Cave. *Global Change Biology*, v. 24, n. 7, p. 3266-3275, 2018.
- TAVARES, V. C. Morcegos. In: MARTINS, F. D *et al.* (Eds.). *Fauna da Floresta Nacional de Carajás: estudos sobre vertebrados terrestres*. São Paulo: Nitro Imagens, 2012. p. 162-179.
- TEJEDOR, A.; TAVARES, V. C.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, D. New records of hot cave bats from Cuba and the Dominican Republic. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*, v. 39, p. 10-15, 2005.
- TORRES, D. F.; BICHUETTE, M. E. Morcegos cavernícolas depositados na Coleção Científica do Laboratório de Estudos Subterrâneos, UFSCar. *Espeleo -Tema*, v.29, n.1, p. 105-119, 2019.
- TRAJANO, E. Ecologia de populações de morcegos cavernícolas em uma região cárstica do Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 2, n. 5, p. 255-320, 1985.
- TRAJANO, E. *Protecting caves for the bats or bats for the caves? Chiroptera Neotropical*, v. 1, n. 2, p. 19-21, 1995.
- VARGAS-MENA, J. C.; CORDERO-SCHMIDT, E.; BENTO, D. M., RODRIGUEZ-HERRERA, B.; MEDELLÍN, R. A.; VENTICINQUE, E. M. *Diversity of cave bats in the Brazilian tropical dry forest of Rio Grande do Norte state. Mastozoologia Neotropical*, v. 25, p. 199-212, 2018.