

IMPLICAÇÕES DO ESTUDO ESPELEOCLIMÁTICO NA GESTÃO DA VISITAÇÃO DA CAVERNA DO DIABO (ELDORADO-SP)

Implications of the speleoclimate study in the management of the tourist use of the Caverna do Diabo (Brazil)

Heros Augusto Santos Lobo

Dr. em Geociências e Meio Ambiente (UNESP, 2011), Universidade Federal de São Carlos, Brasil
heroslobo@ufscar.br

Maria Elina Bichuette

Dra. em Ciências Biológicas (USP, 2003), Universidade Federal de São Carlos, Brasil
lina.cave@gmail.com

William Sallun Filho

Dr. em Geociências (USP, 2005), Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL/SP), Brasil
wsallun@gmail.com

Recebido: 09/08/2023

Aceito: 05/03/2024

Resumo

A Caverna do Diabo é a primeira caverna oficialmente aberta para o turismo no Estado de São Paulo e uma das mais visitadas atualmente. A gestão de seu uso turístico é definida por um Plano de Manejo Espeleológico, o qual traz tanto os limites diários de visitação quanto diretrizes de monitoramento da visitação e do ambiente. De forma a atender as necessidades de detalhamento nos estudos previamente realizados, foi desenvolvida uma pesquisa de monitoramento do espeleoclima da caverna e área adjacente, com aferição de temperatura e umidade relativa do ar. Os resultados foram analisados de forma descritiva e em conjunto com os dados de visitação. Observou-se que as variações do ciclo dioturno no interior da caverna respondem em pouco tempo as variações externas, evidenciando elevada conectividade atmosférica na região monitorada. Os impactos da visitação foram observados somente na temperatura do ar e em apenas um ponto monitorado, com variações de intensidade e permanência pouco significativas. Dentre as conclusões, destacam-se: a recomendação de alteração dos níveis de fragilidade do espeleoclima de um trecho monitorado e, caso seja de interesse da gestão, a rediscussão da capacidade de carga turística dos roteiros de visitação denominados Tradicional e Erectus.

Palavras-chave: Conservação; Ecoturismo; Espeleoturismo; Microclima; Uso Público.

Abstract

Caverna do Diabo is the first cave officially opened for tourism in the State of São Paulo and one of the most visited nowadays. The management of its tourist use is defined by a Speleological Management Plan, which includes daily visitation limits and guidelines for monitoring visitation and the environment. In order to meet the needs for detail in the studies previously carried out, a monitoring of the cave climate and adjacent area was developed, and the temperature and relative humidity of the air were measured. The results were analyzed descriptively and according to visitation data. It was observed that variations in the daytime cycle inside the cave respond to external variations quickly, showing high atmospheric connectivity in the monitored region. The impacts of visitation were observed

only in air temperature in a single monitored point, with insignificant variations in intensity and permanence. The following conclusions stand out: the recommendation to change the fragility of the cave climate of a monitored part and, if it is of interest to the management, the discussion of the established tourist carrying capacity of the Traditional and Erectus tour routes.

Keywords: Conservation; Ecotourism; Show Caves; Microclimate; Tourist Use.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do espeleoclima é mundialmente consagrado para a identificação de impactos da visitação e gestão do uso público em cavernas turísticas (Cigna, 2004), com exemplos referenciais em países como a Eslovênia (Sebela; Turk, 2014), Espanha (Guirado *et al.*, 2014), Estados Unidos (Sebela *et al.*, 2019) e mesmo no Brasil (Lobo *et al.*, 2015; Couto, 2021). Sua principal característica é a possibilidade de identificação de padrões de variação diuturna, por meio do monitoramento de variáveis atmosféricas como a temperatura e a umidade relativa do ar (Cigna, 2002; 2004). Além disso, a possibilidade de identificação de relações de causa e efeito entre a presença humana e as variações nestes parâmetros, permite a adoção de procedimentos de controle no padrão de visitação, tomando por base aspectos como a quantidade de pessoas, o tempo de permanência e mesmo a satisfação dos visitantes (Masutti; Lobo, 2018; Giusti *et al.*, 2019; Enseñat-Soberanis *et al.*, 2020). Outra possibilidade de uso no manejo de cavernas turísticas é a classificação da atmosfera subterrânea (Stoeva; Stoev, 2005; Lobo *et al.*, 2009), base para os estudos de fragilidade do espeleoclima (Lobo *et al.*, 2013). A importância da realização destes estudos já foi evidenciada, tanto sob a ótica da conservação do ambiente quanto pela necessidade de manutenção da sustentabilidade econômica dos empreendimentos espeleoturísticos e trabalhadores a eles vinculados (Araujo, 2019; Chiarini *et al.*, 2022; Gillieson *et al.*, 2022).

Na Caverna do Diabo, oficialmente cadastrada como Gruta da Tapagem, o primeiro estudo para a identificação dos padrões atmosféricos foi feito em seu Plano de Manejo Espeleológico (PME) (Fundação Florestal; Ekos Brasil, 2010). No entanto, o estudo foi realizado com baixa densidade espacial e temporal, apresentando limitações em função das dimensões da caverna e mesmo de sua importância para a conservação e como atrativo turístico.

Partindo do contexto conceitual e de antecedentes de pesquisa apresentado, realizou-se uma pesquisa de campo para obtenção de dados primários com maior densidade espacial e amplitude temporal, com o intuito de contribuir com o refinamento do

estudo de manejo e gestão da caverna. Além disso, a pesquisa realizada corresponde a uma das ações sugeridas no PME, notadamente, em seus programas de Uso Público, Pesquisa e Monitoramento (Fundação Florestal; Ekos Brasil, 2010). O objetivo do estudo realizado foi a revisão dos limites espaciais e de adensamento na visita nos roteiros Tradicional e Erectus da Caverna do Diabo, de forma a trazer contribuições para o seu adequado manejo e conservação.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

O Parque Estadual Caverna do Diabo (PECD) faz parte do Mosaico de Unidades de Conservação do Jacupiranga e está localizado no Vale do Ribeira, sul do Estado de São Paulo, em uma região com os maiores remanescentes de Mata Atlântica no Brasil. O PECD recebe cerca de 40 mil visitantes por ano e abriga a primeira caverna do Estado de São Paulo a ter infraestrutura voltada ao turismo, a Caverna do Diabo.

A Caverna do Diabo está inserida na Serra do André Lopes, em uma faixa de rochas carbonáticas na parte central da Faixa de Dobramentos Ribeira (Fig. 1). Esta faixa carbonática condiciona a ocorrência de sistemas cársticos e cavernas da “Província Espeleológica do Vale do Ribeira” (Karmann; Sanchez, 1979). Estas rochas carbonáticas aflorantes no sudeste de São Paulo e nordeste do Paraná, situam-se no Grupo Açunguí, em faixas de dobramentos estreitas, conferindo grande profundidade aos pacotes rochosos e ocupam apenas 0,06% em área do território nacional, mas com sistemas cársticos bem desenvolvidos e alta concentração de cavernas (Sallun Filho; Karmann, 2012). Auler *et al.* (2001) destacam a presença comum de cavernas com grandes desníveis e menor desenvolvimento horizontal, como a Caverna do Diabo.

A Serra do André Lopes é um planalto carbonático dolomítico desenvolvido no Mármore da Tapagem, uma estrutura estreita e elíptica em planta, alongada na direção NE-SW, com forma de sinclinal em perfil, encaixada entre filitos e xistos. Diferentemente das outras rochas carbonáticas do Vale do Ribeira, na Serra do André Lopes predominam metadolomitos na forma de um alto topográfico, também denominado de Planalto da Tapagem (Campanha *et al.* 1985).

A Serra do André Lopes apresenta entre 330 e 1.010 m de altitude, sendo que a entrada da Caverna do Diabo está a 460 m. O clima da região é de domínio subtropical úmido sem estação seca e apresenta uma média anual de precipitação de 1.600 mm (Alvares *et al.*, 2013).

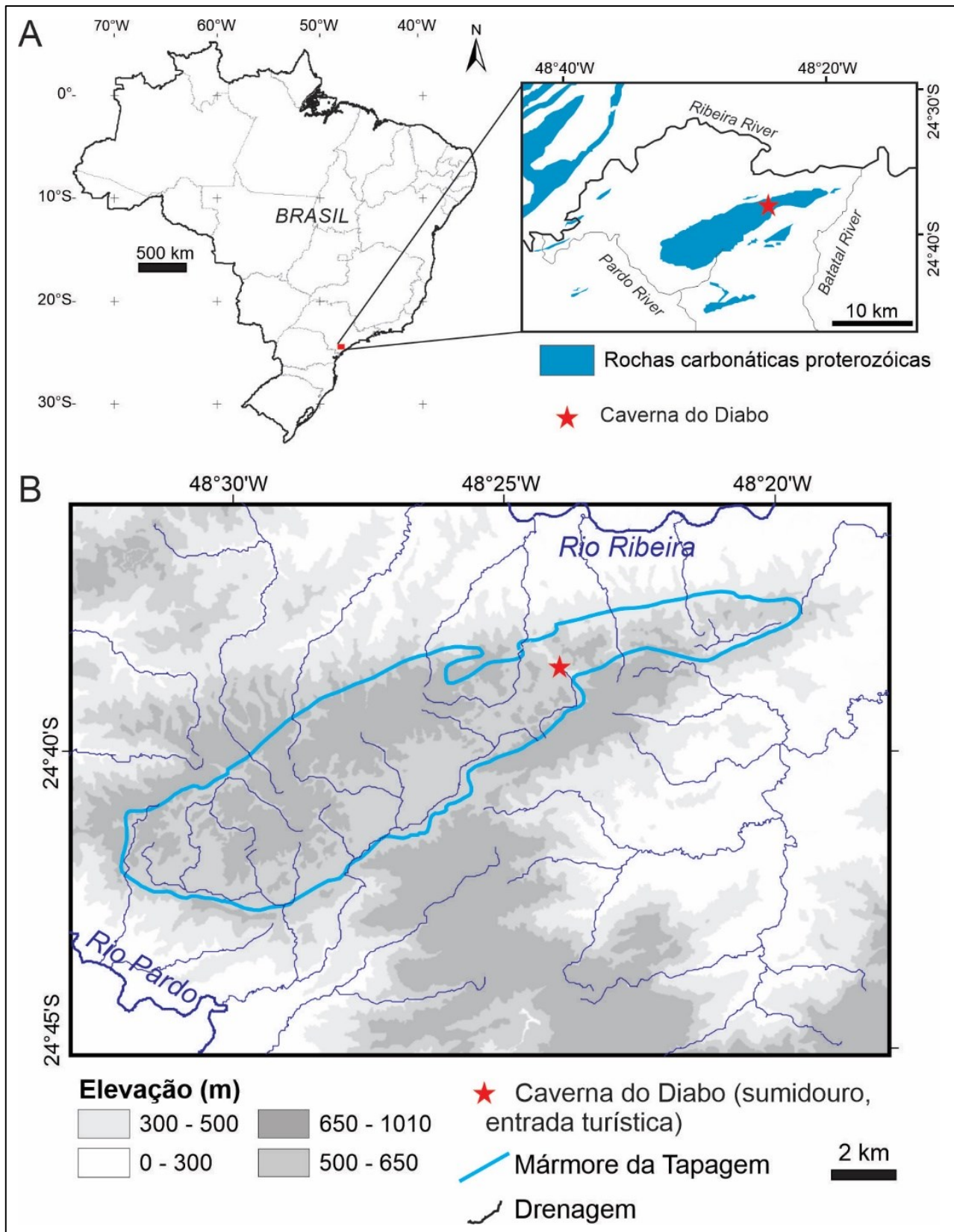


Figura 1 – A: Localização da Caverna do Diabo com as rochas carbonáticas no Sul do Estado de São Paulo (geologia modificada de Campanha, 2002); B: Hipsometria e limite das rochas carbonáticas da Serra do André Lopes e região. **Fonte:** Geologia modificada de Faleiros *et al.* (2012; 2013).

Na região ocorrem poucas cavernas, sendo 22 cavernas das 26 cadastradas, diretamente sobre a Serra do André Lopes. Apenas 11 delas atingem desenvolvimento maior que 100 metros. Vale destacar a Caverna do Diabo, que segundo dados mais recentes (Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas, comunicação pessoal) ultrapassa 8 km de desenvolvimento. Esta caverna inicia-se no vale cego do Rio Tapagem (sumidouro da Caverna do Diabo, setor turístico – Fig. 2), onde águas alogênicas ácidas permitiram a dissolução do mármore dolomítico. Após cruzar drenagens superficiais, alcança o vale fluvial do Rio das Ostras, onde deságua a sua ressurgência (Sallun Filho *et al.*, 2015). A caverna se destaca não só pela sua extensão, mas pelos amplos salões, espeleotemas gigantescos e condutos vadosos (*canyons*) que ultrapassam 70 metros de altura (Sallun Filho *et al.*, 2015). O vale cego do Rio Tapagem é um dos poucos setores de recarga alogênica da Serra, constituída quase que totalmente por rochas carbonáticas (Cordeiro, 2013).

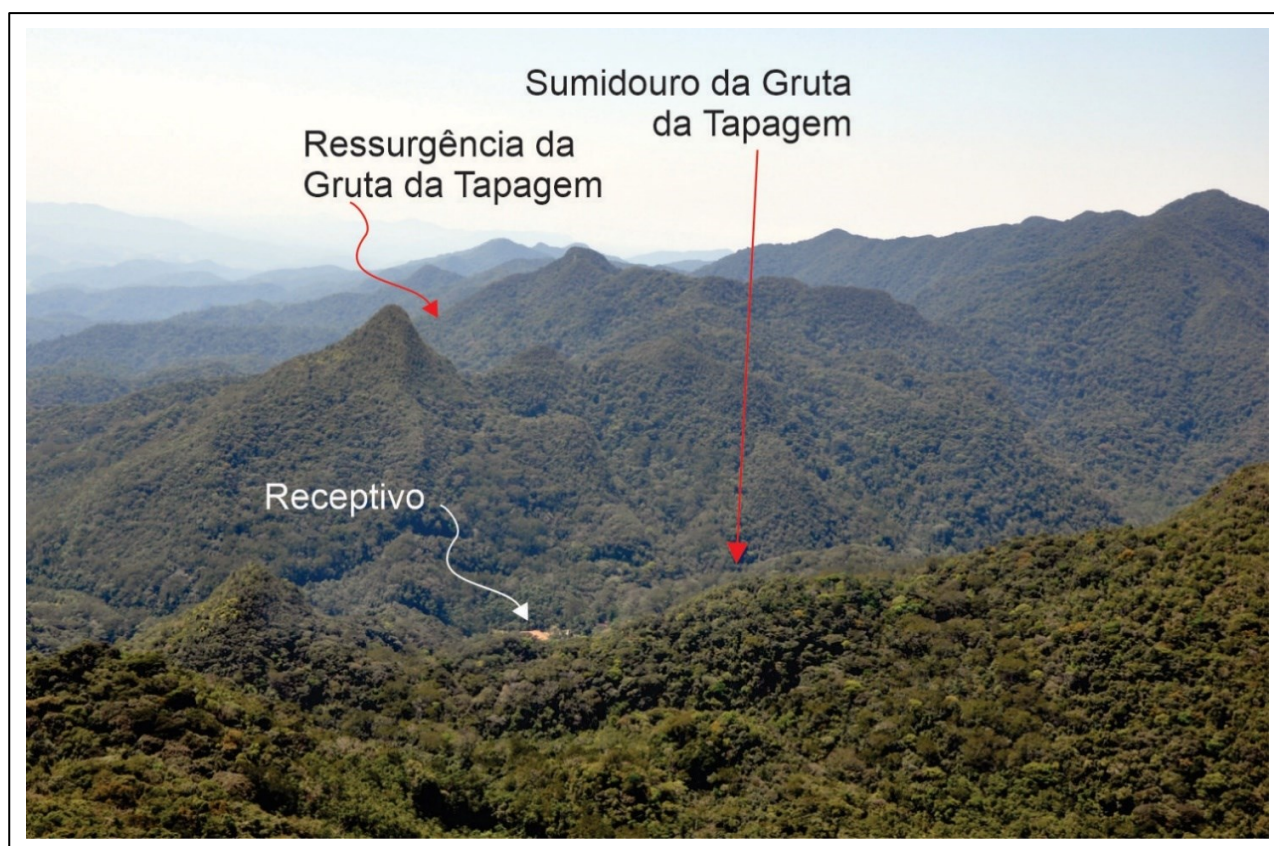


Figura 2 – Fotografia aérea oblíqua do vale cego do Rio Tapagem, sumidouro e entrada da Caverna do Diabo, e o Vale do Rio das Ostras ao fundo. **Foto:** William Sallun Filho.

A visitação na Caverna do Diabo é regida por seu Plano de Manejo Espeleológico (Fundação Florestal; Ekos Brasil, 2010). As visitas aos roteiros Tradicional e Erectus são guiadas, com limites estabelecidos de 1.100 visitas diárias no roteiro Tradicional e 18 no

Salão Erectus. No entanto, dados da gestão evidenciam que tais limites não costumam ser atingidos, sobretudo no roteiro Tradicional. Segundo informações da gestão do Parque Estadual, o fluxo total anual foi de 27.548 (2021) e 31.101 (2022) visitantes, concentrados em finais de semana, feriados e períodos de férias escolares.

3. PROCEDIMENTOS E ETAPAS DE INVESTIGAÇÃO

O monitoramento espeleoclimático foi desenvolvido com termohigrômetros registradores de dados, modelo Testo 175H1. A acurácia dos sensores é de 0,4 °C para temperatura e de 2% para umidade relativa do ar. Uma rede de coleta de dados foi estabelecida (Fig. 3), de forma a cobrir pontos amostrais com distintas situações de variação, sendo: um ponto na área externa – para efeito de comparações das variações naturais observadas, limite e intensidade da interferência da atmosfera adjacente no interior da caverna; quatro pontos no circuito de visitação atual; um ponto no Salão Erectus – roteiro em fase de implantação; e um ponto em área sem visitação, no entorno do circuito turístico nas proximidades da “cara do Diabo”. A Fig. 4 apresenta exemplos dos procedimentos de instalação e coleta de dados nos instrumentos.

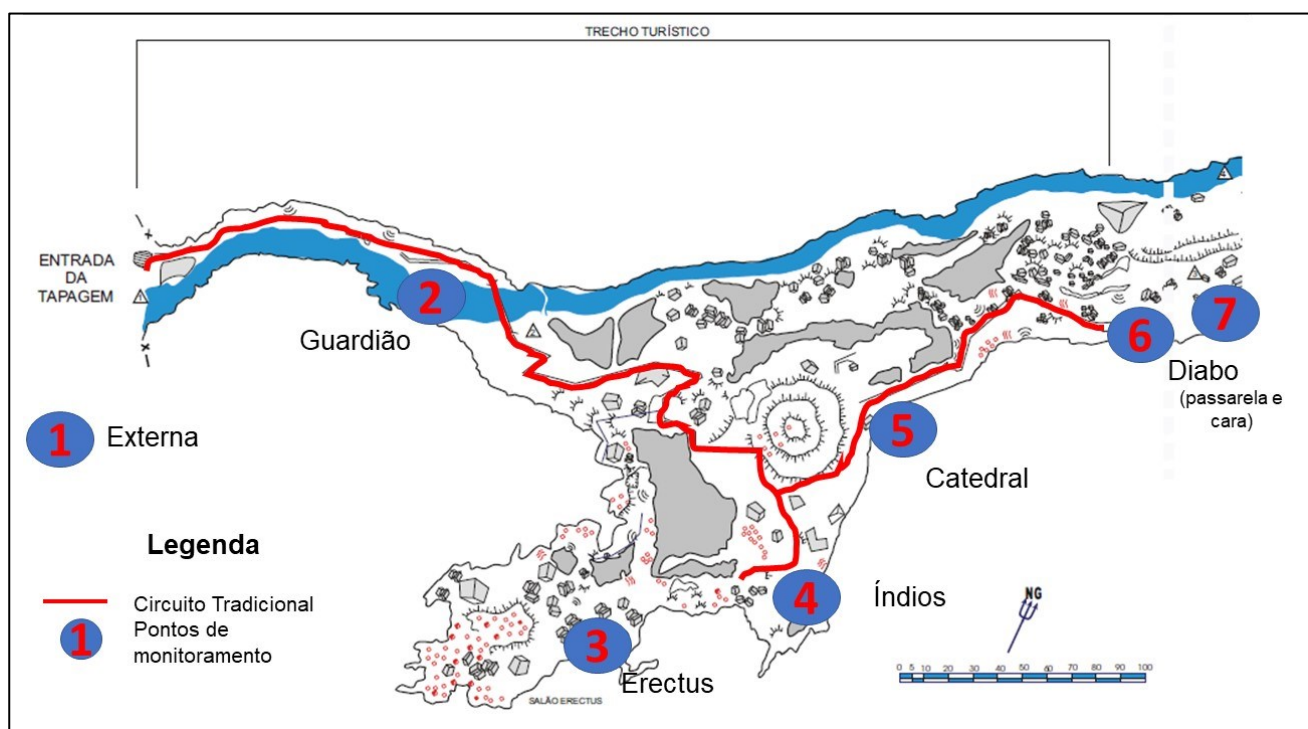


Figura 3 – Posição relativa dos pontos de monitoramento espeleoclimático no trecho turístico da Caverna do Diabo e imediações. **Mapa base:** Fundação Florestal; Ekos Brasil (2010).



Figura 4 – Registros dos procedimentos de instalação e coleta de dados: instalação de termohigrômetro externo (A) e interno (B). Em C, procedimento de *download* de dados para registro, com verificação prévia em campo. **Fotos:** Silmara Zago (A, B) e Guilherme A. Z. Lobo (C).

O monitoramento realizado considerou as variáveis temperatura e umidade relativa do ar, por serem parâmetros consagrados no manejo e gestão de cavernas, conforme Cigna (2002) e Lobo (2012), entre outros. O registro foi feito de forma contínua desde 1º de março de 2021, com intervalo de coleta e registro de dados de 10 minutos em um primeiro

momento, que perdurou até 7 de julho de 2022. Esta resolução temporal permitiu a compreensão do sistema atmosférico (cf. Luetscher; Jeannin, 2004; Lobo *et al.*, 2015) e a análise dos impactos da visita (cf. Zelinka, 2002; Mangin, 2010; Lobo, 2015). Após 7 de julho de 2022, o intervalo de coleta e registro foi reconfigurado para 30 minutos. Cabe ressaltar que o monitoramento continua sendo desenvolvido, para a obtenção de uma série de dados decenal para a Caverna do Diabo.

Além disso, foram também obtidos com a gestão da Caverna do Diabo os dados sobre a quantidade de visitantes nos roteiros Tradicional e Erectus para o ano de 2021. Estes dados permitiram o conhecimento da dinâmica de visita, seguindo os padrões de estudos para a gestão e manejo de cavernas no Brasil (e.g. Fundação Florestal; Ekos Brasil, 2010; Lobo, 2011) e em outros países de referência para o tema no mundo (e.g. Calaforra *et al.*, 2003).

Os dados coletados foram analisados com procedimentos descritivos em dois contextos distintos. Primeiramente, a análise descritiva dos dados atmosféricos permitiu o estudo e classificação de seu padrão espeleoclimático geral. Em seguida, a análise de episódios específicos de variação de temperatura na estação *Diabo_pas* (ponto 6 na Fig. 3) em função dos grupos de visitantes permitiu a identificação dos impactos da presença humana e a verificação de seu retorno ao estado estacionário habitual. As análises foram realizadas tomando como arcabouço conceitual os trabalhos de Calaforra *et al.* (2003), Sebelo; Turk (2014) Lobo (2015) e Lobo *et al.* (2015).

4. RESULTADOS

Considerando o período englobado por este artigo, entre 1º de março de 2021 e 26 de dezembro de 2022, foram obtidos 79.335 registros para cada variável monitorada em cada ponto de coleta com série completa. Algumas séries de dados estão incompletas, em função de problemas experimentados nos termohigrômetros.

A temperatura do ar externa apresentou variações consideráveis no período monitorado, com mínima de 1,2 °C na estação fria e máxima de 33,3 °C na estação quente (Tab. 1). Na porção inicial da caverna (estação *Conduto_lago*), os extremos refletiram de forma atenuada, mas diretamente identificada, com mínima de 9,6 °C e máxima de 20,4 °C, em épocas distintas dos extremos externos. Da região do *Salão Catedral* em diante, estas variações significativas não foram observadas, com mínimas variando entre 18,4 °C e 18,9 °C e máximas entre 19,5 °C e 20,2 °C, nas estações de monitoramento com menor interferência direta da presença humana. O registro de máxima de 23,7 °C na estação

Diabo (pas.) é atribuído à interferência causada pela presença de grupos de visitantes, tema este detalhado na continuidade da análise.

Tabela 1 – Estatística descritiva da temperatura do ar (°C) na Caverna do Diabo.

	Externa	Anfitrião	Índios	Cated. (pas.)	Diabo (pas.)	Diabo (cara)	Erectus
Mínima	1,2	9,6	18,9	18,9	18,7	18,4	18,4
Máxima	33,3	20,4	20,1	20,2	23,7	19,5	20,3
Média	17,53	17,76	19,16	19,21	19,14	18,99	18,98
Moda	17,8	19,8	19,1	19,1	19,0	18,9	19,0

As médias das estações *Externa* e *Anfitrião* são bastante próximas entre si (17,53 °C e 17,76 °C). Na maior parte da área da caverna mais exposta ao circuito tradicional de visitação (*Índios*, *Catedral* e *Diabo_pas*) a média fica um pouco acima dos 19,0 °C, enquanto em trechos mais isolados, fica ligeiramente abaixo dos 19,0 °C. De forma a ilustrar a diferença geral entre a variação térmica governada pelo ciclo diuturno na área externa e sua baixa interferência inferida na área interna, a Fig. 5 traz o padrão gráfico para o mês de julho de 2021.

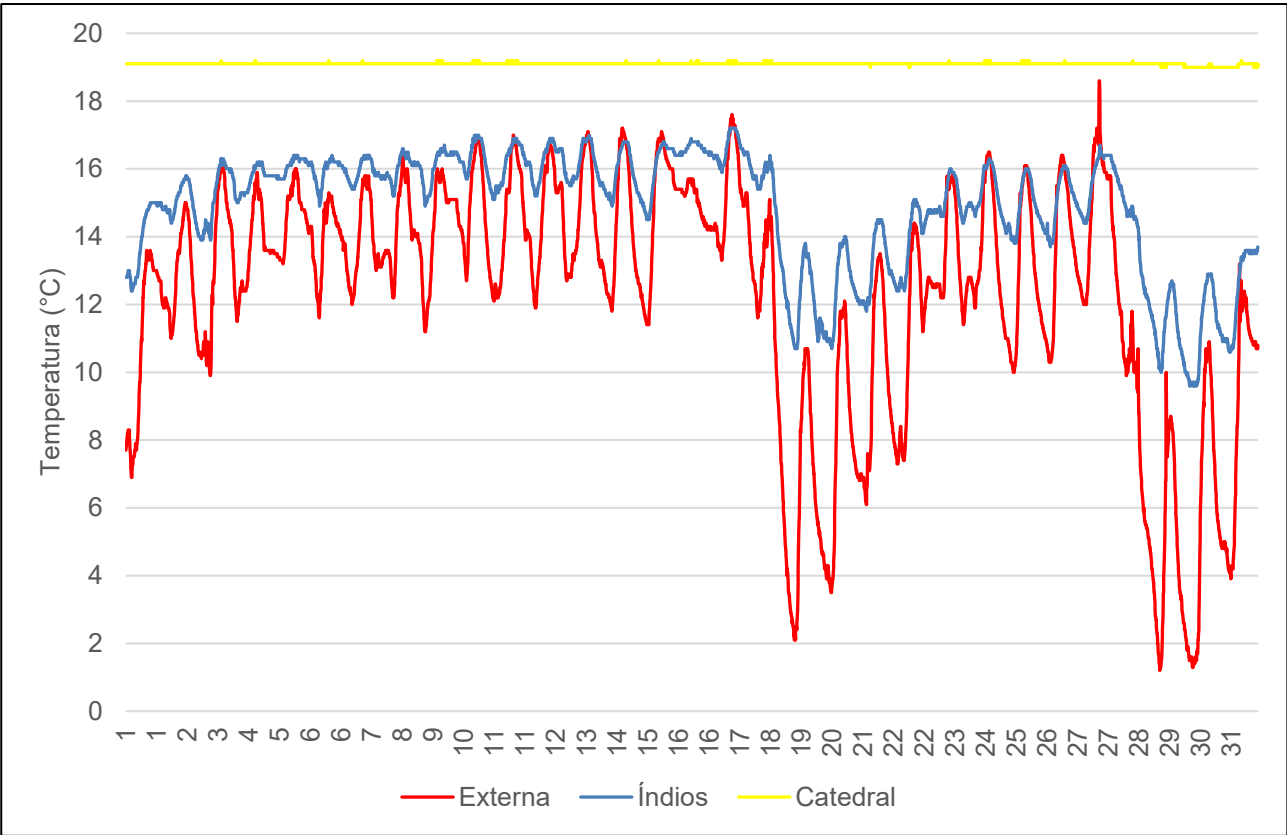


Figura 5 – Variações de temperatura em julho de 2021 nas estações Externa, Índios e Catedral da Caverna do Diabo. **Fonte:** Dados da pesquisa.

Como ilustrado na Fig. 5 e representado na Tab. 1, conclui-se preliminarmente que as variações diretas e mais significativas do meio externo se estendem por algumas dezenas de metros na caverna, evidenciado pela estação *Índios*. Após este trecho, na estação *Catedral*, tais variações não foram observadas com a mesma intensidade – mesmo com a ausência de visitantes. Análises futuras de séries temporais tais como feitas por Lobo (2015) permitirão verificar a frequência de variação das séries e a interpretação de ciclos de variação superiores ao diuturno, o qual é evidente nas estações *Externa* e *Índios*.

Em relação aos dados de umidade relativa do ar, a Tab. 2 traz a estatística descritiva das diferentes estações monitoradas enquanto a Fig. 6 ilustra os resultados do mês de julho de 2021 para as estações *Externa*, *Índios* e *Catedral*.

Tabela 2 – Estatística descritiva da umidade relativa do ar (%) na Caverna do Diabo.

	Externa	Anfitrião	Índios	Cated (pas)	Diabo (pas)	Diabo (cara)	Erectus
Mínima	47,2	74,6	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
Máxima	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
Média	98,97	99,17	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9
Moda	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9

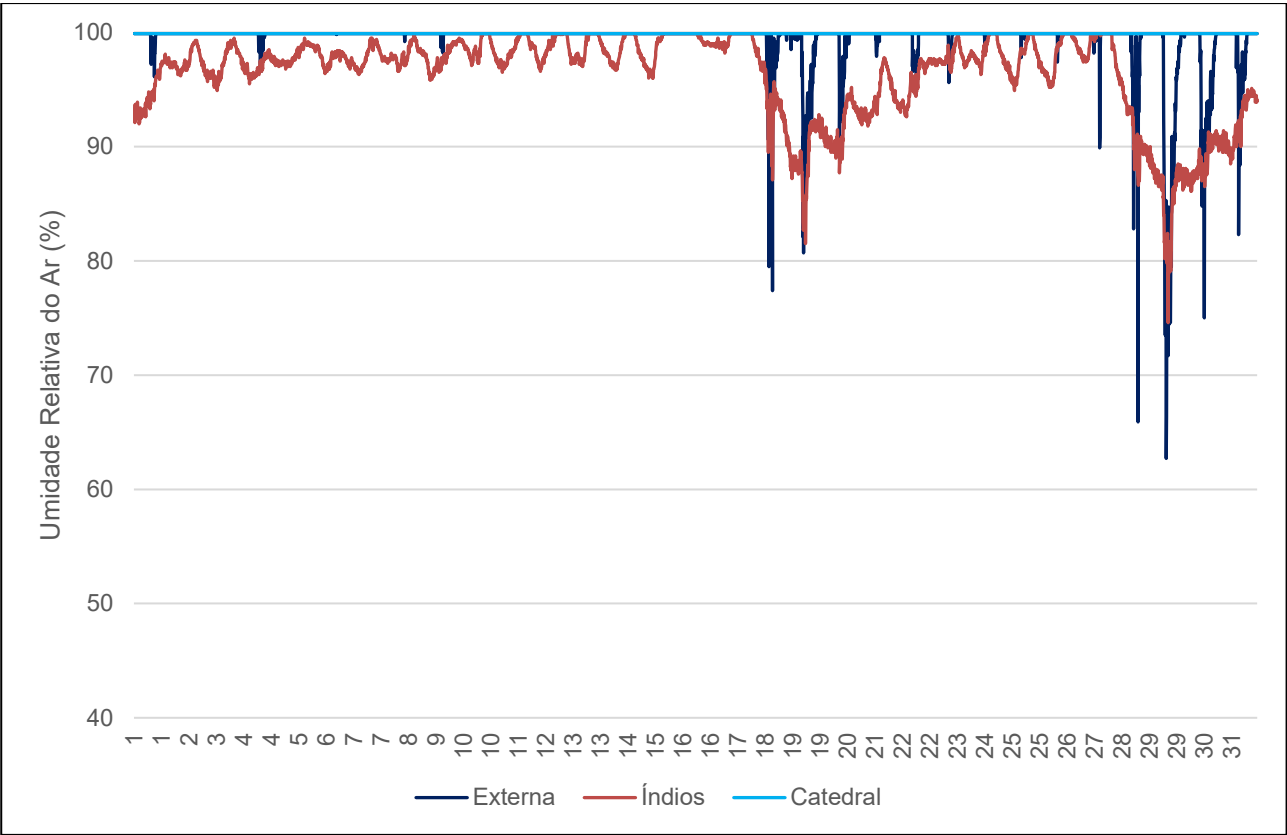


Figura 6 – Variações de umidade relativa do ar em julho de 2021 nas estações *Externa*, *Índios* e *Catedral* da Caverna do Diabo. **Fonte:** Dados da pesquisa.

Assim como em outros estudos de caracterização de espeleoclimas (e.g. Lobo *et al.*, 2015; Couto, 2021), a umidade relativa no interior da caverna tende à saturação (99,9%) e não sofre influência da presença humana.

5. DISCUSSÃO: IMPACTOS DA VISITAÇÃO, ZONEAMENTO E CAPACIDADE DE CARGA TURÍSTICA

A análise parcial dos impactos da visitação foi feita com base no mês de julho de 2021, escolhido tanto pelo extremo de temperaturas mínimas quanto pela expressiva quantidade de visitantes, por ser um mês de férias escolares. Os dados de visitação são apresentados na Fig. 7.

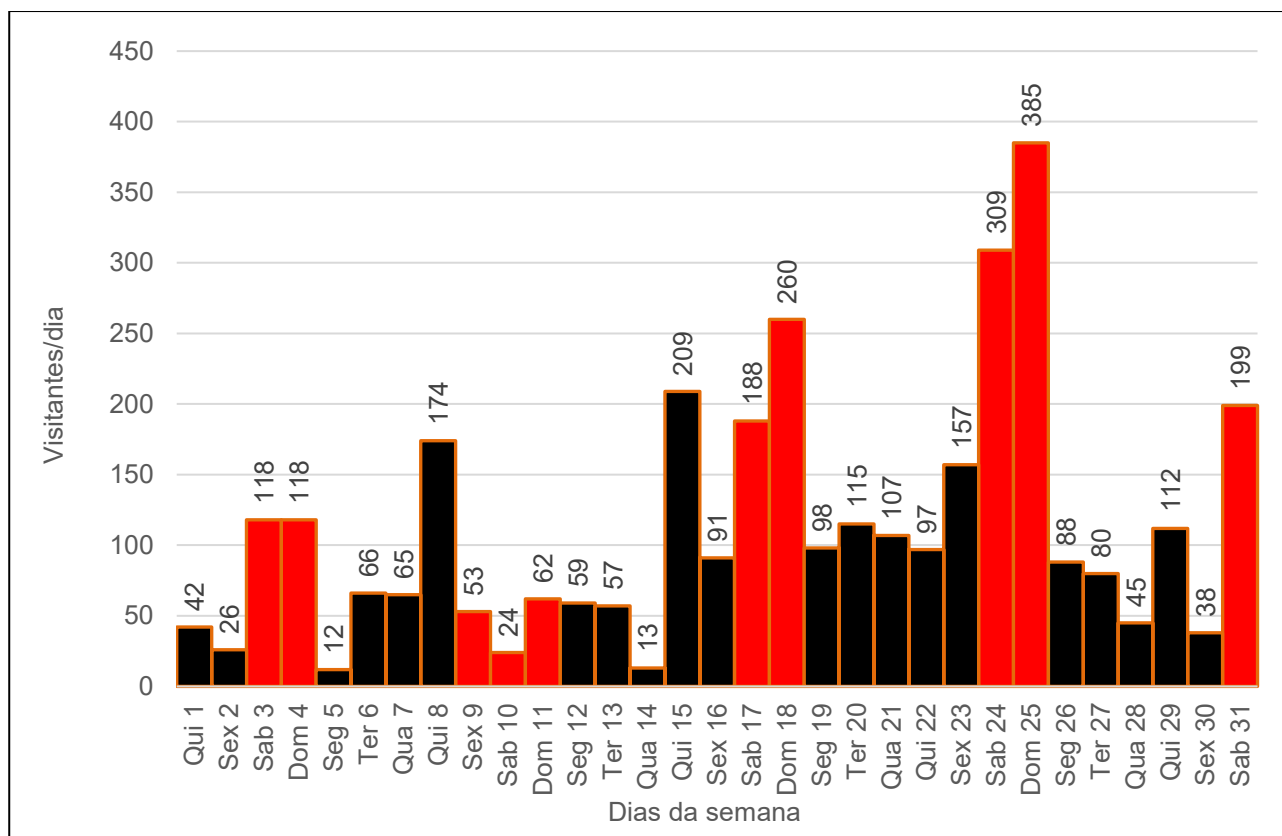


Figura 7 – Total diário de visitantes da Caverna do Diabo em julho de 2021. Dados em vermelho: finais de semana e feriado. **Fonte:** gestão do PECD.

A identificação de um eventual impacto da visitação é passível de observação na temperatura do ar (Cigna, 2002; Lobo, 2012). No entanto, para separar as variações de ordem natural daquelas de origem antrópica, primeiramente os dados foram tratados de forma a se obter as máximas, mínimas, médias e amplitudes diárias das estações *Externa* e *Diabo_pas*, sendo esta última a mais sensível à presença de visitantes. As Figs. 8-11 trazem a síntese destas medidas de tendência central e dispersão. Em seguida, as Figs.

12 e 13 permitem a observação da possível correlação visual entre a presença de visitantes e as variáveis Temp_Máx e Amplitude da estação *Diabo_pas*.

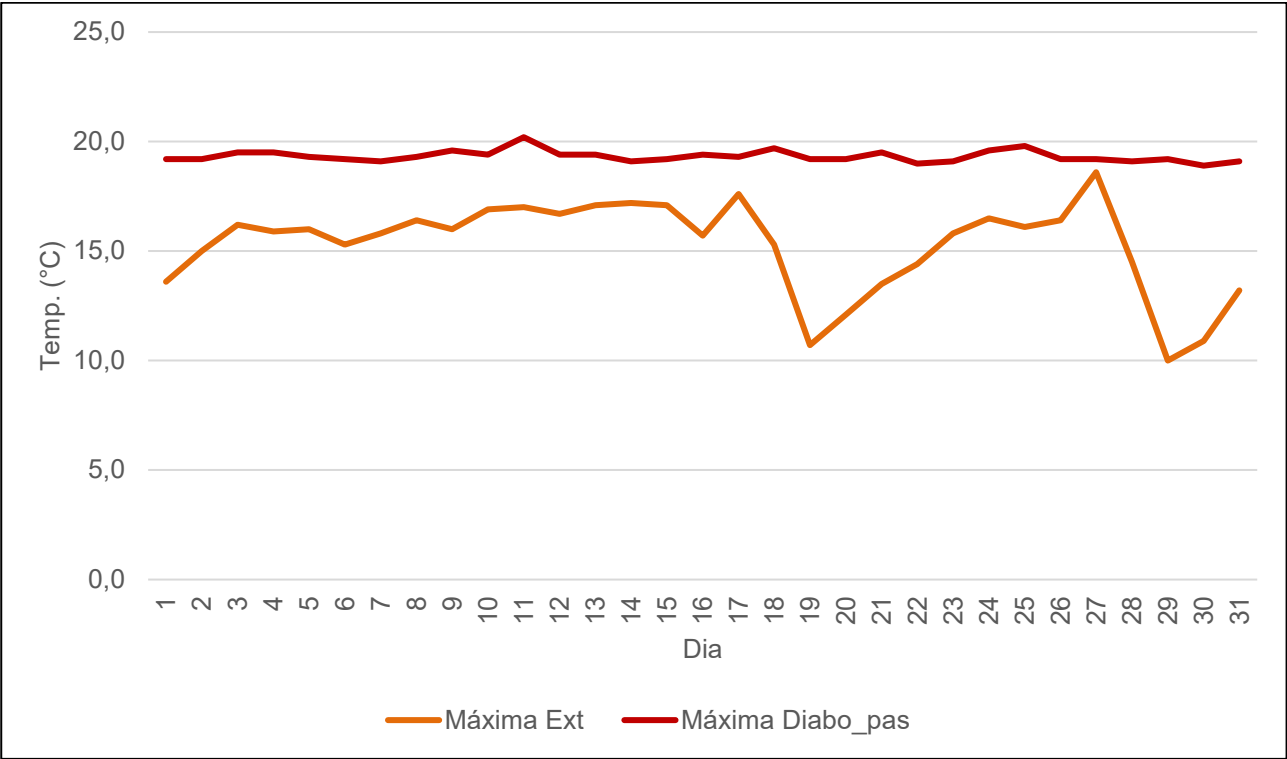


Figura 8 – Máximas diárias das estações *Externa* e *Diabo_pas* (julho/2021).
Fonte: Dados da pesquisa.

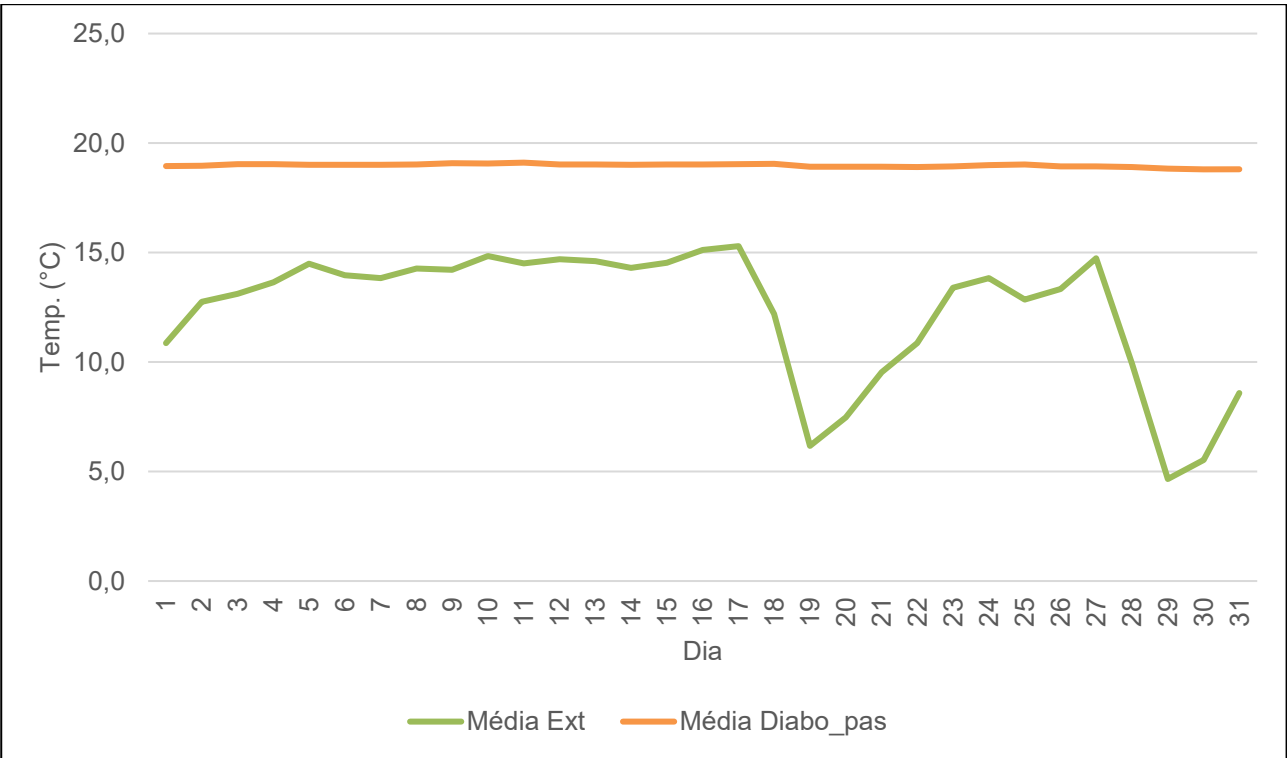


Figura 9 – Médias diárias das estações *Externa* e *Diabo_pas* (julho/2021).
Fonte: Dados da pesquisa.

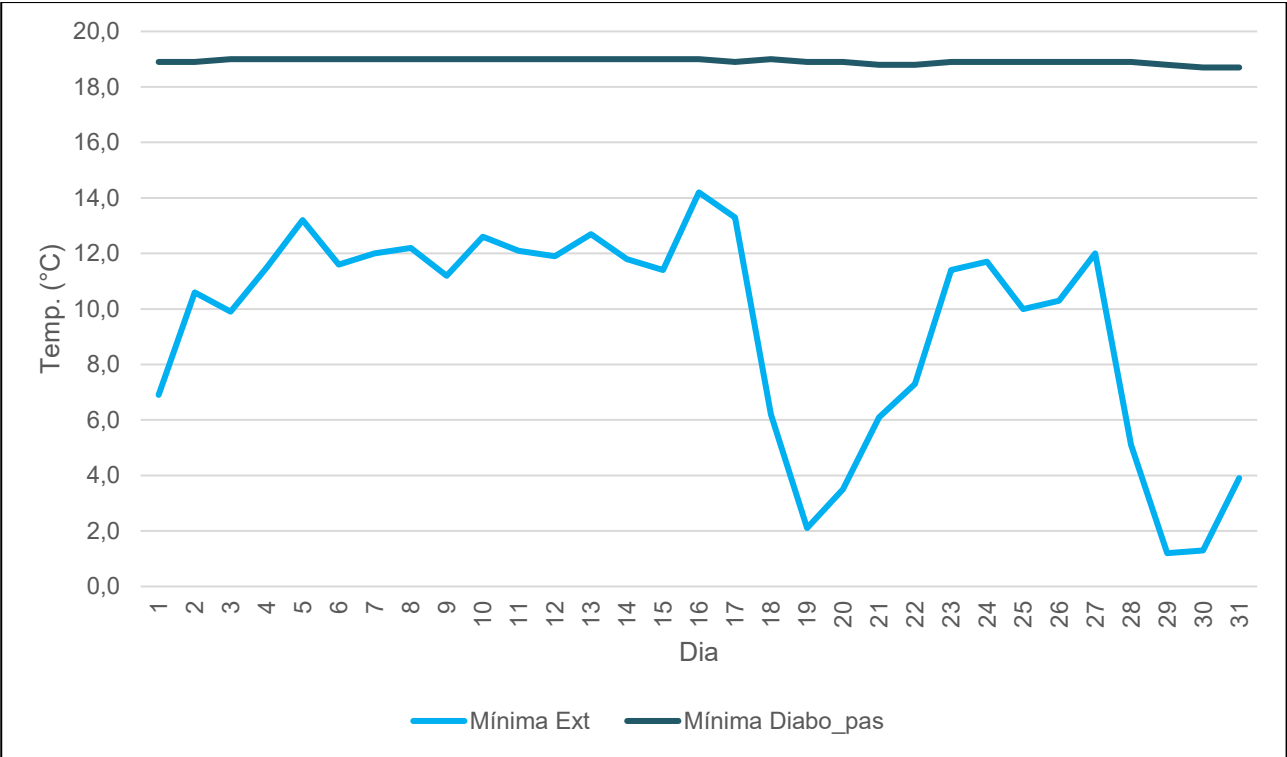


Figura 10 – Mínimas diárias das estações *Externa* e *Diabo_pas* (julho/2021).
Fonte: Dados da pesquisa.

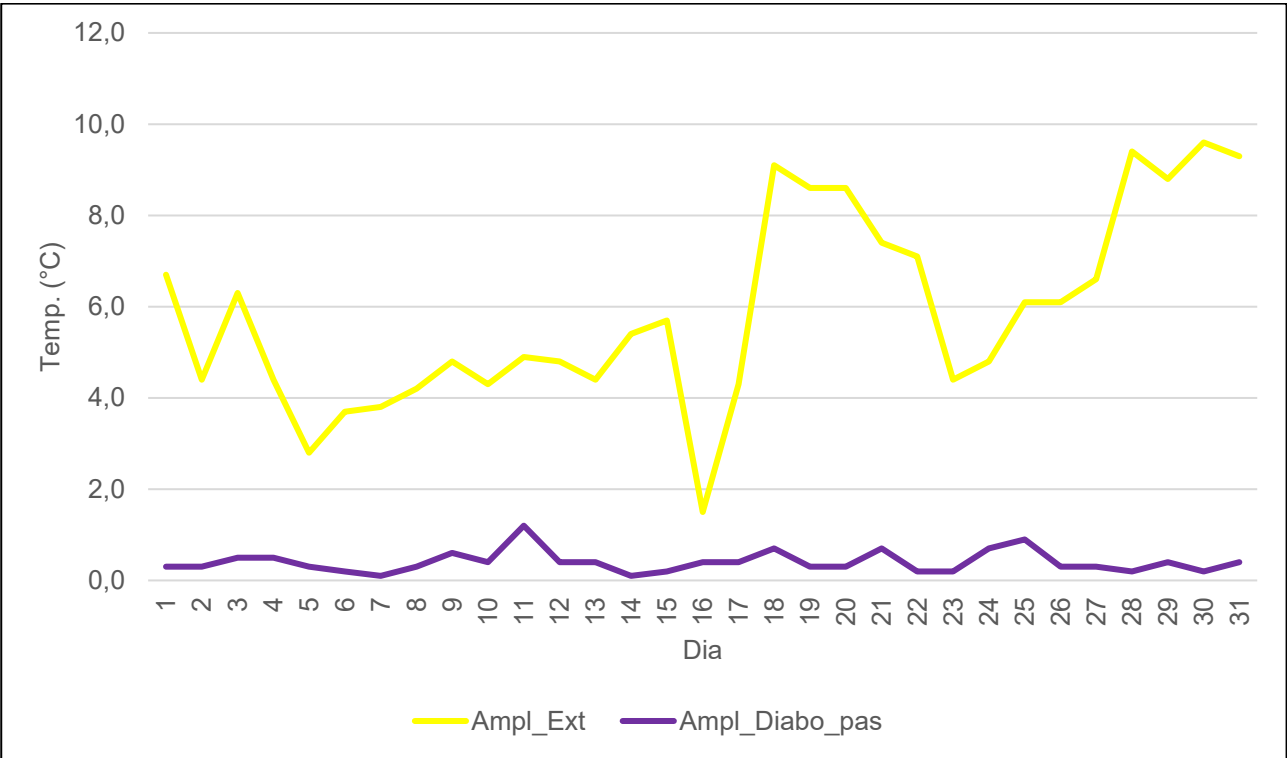


Figura 11 – Amplitudes térmicas diárias das estações *Externa* e *Diabo_pas* (julho/2021).
Fonte: Dados da pesquisa.

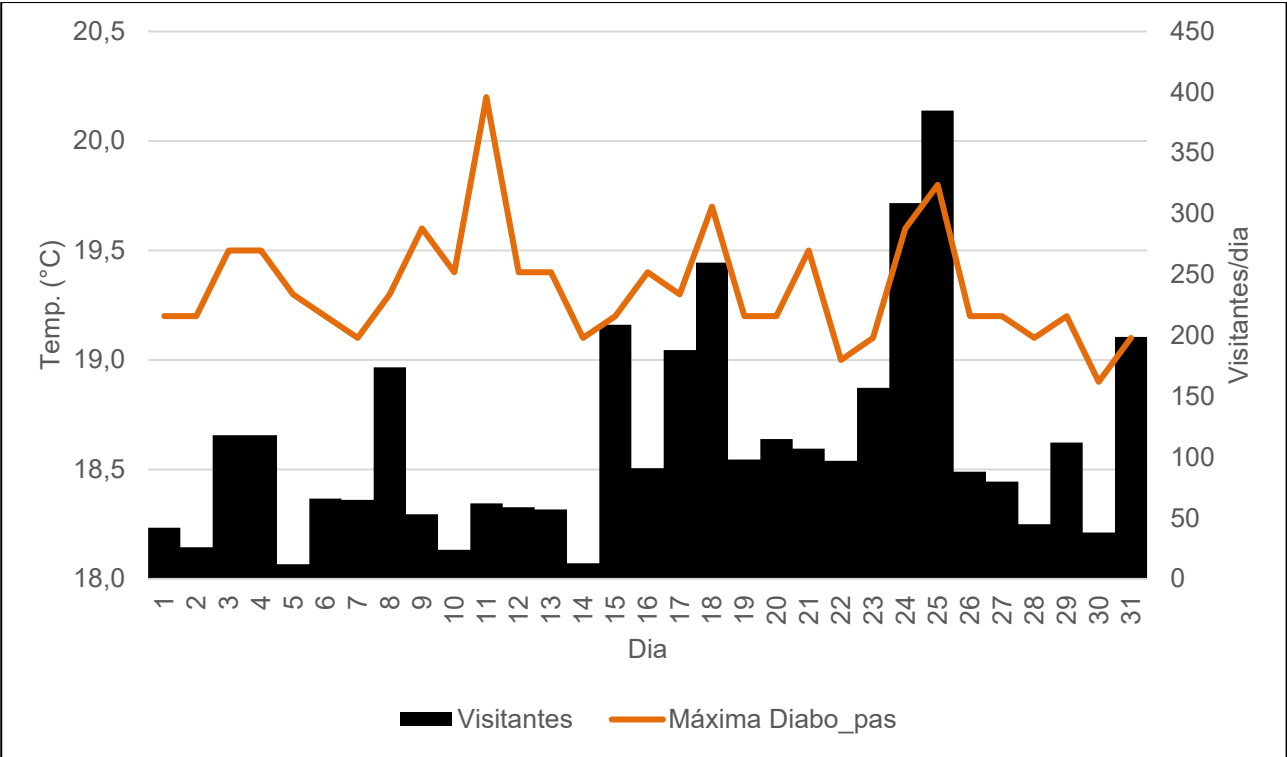


Figura 12 – Máximas diárias da estação *Diabo_pas* e acumulado diário de visitantes (julho/2021). Dados de visitação: gestão do PECD. **Fonte:** Dados da pesquisa.

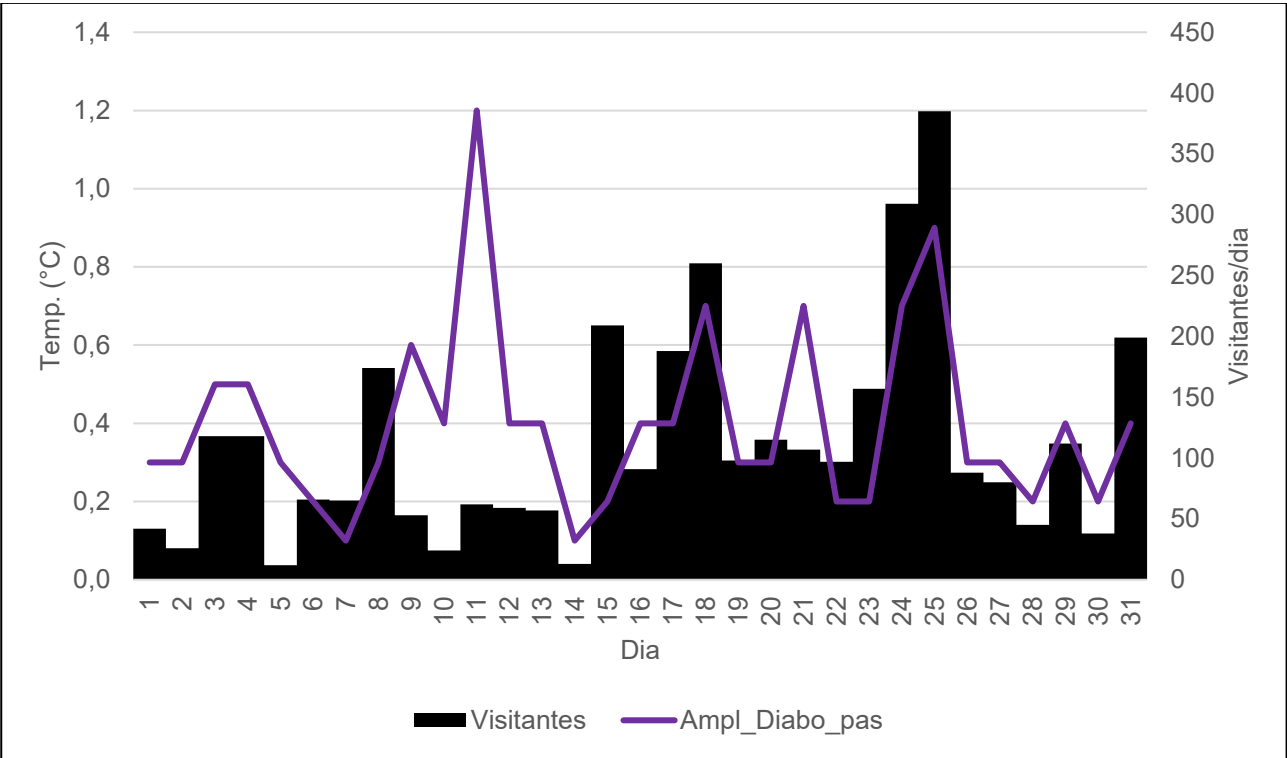


Figura 13 – Amplitudes térmicas diárias da estação *Diabo_pas* e acumulado diário de visitantes (julho/2021). Dados de visitação: gestão do PECD. **Fonte:** Dados da pesquisa.

A análise visual das Figs. 8-11 não apresenta grandes similaridades entre as séries apresentadas. A primeira interpretação para esta situação remete ao zoneamento higrotérmico da caverna (Lobo *et al.*, 2009), que neste caso, sugere um grau baixo de conectividade entre a atmosfera externa adjacente à caverna e seu interior no ponto de registro, a aproximadamente 400 m do pórtico de acesso. Nestes casos, é de se esperar uma divergência entre as séries, tal como apresentado para outra caverna estudada com os mesmos procedimentos, a Santana (Lobo *et al.*, 2009, 2015). De igual forma, e assim como constatado por Lobo (2015) para a caverna de Santana, as Figs. 12 e 13 não apresentam aparente similaridade entre as máximas e amplitudes diárias de temperatura e os acumulados de visitantes.

Por outro lado, ao analisar as séries originais de dados das estações *Diabo_pas* (sujeita às interferências da visitação) e *Diabo_cara* (fora do circuito de visitação, mas na mesma região), nota-se a visível interferência da passagem de grupos na temperatura do ar (Fig. 14).

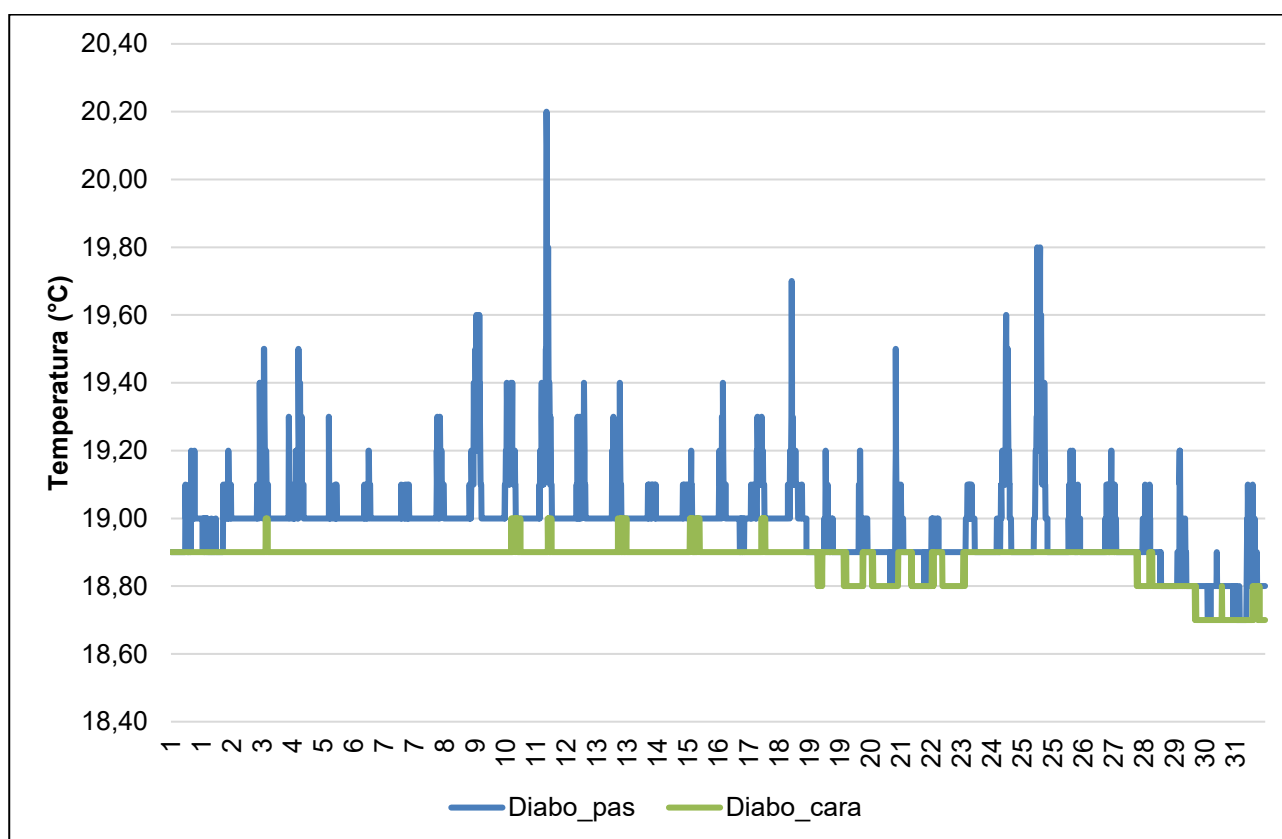


Figura 14 – Variação de temperatura nas estações *Diabo_pas* e *Diabo_cara* (julho/2021).

Fonte: Dados da pesquisa.

Como evidenciado, os picos de temperatura chegaram até 1,2 °C às 15h20min do dia 11 de julho, um domingo com um total de 62 visitantes acumulados na caverna. No entanto, mesmo para este caso extremo, a estabilização da temperatura do ar foi rápida (Fig. 15).

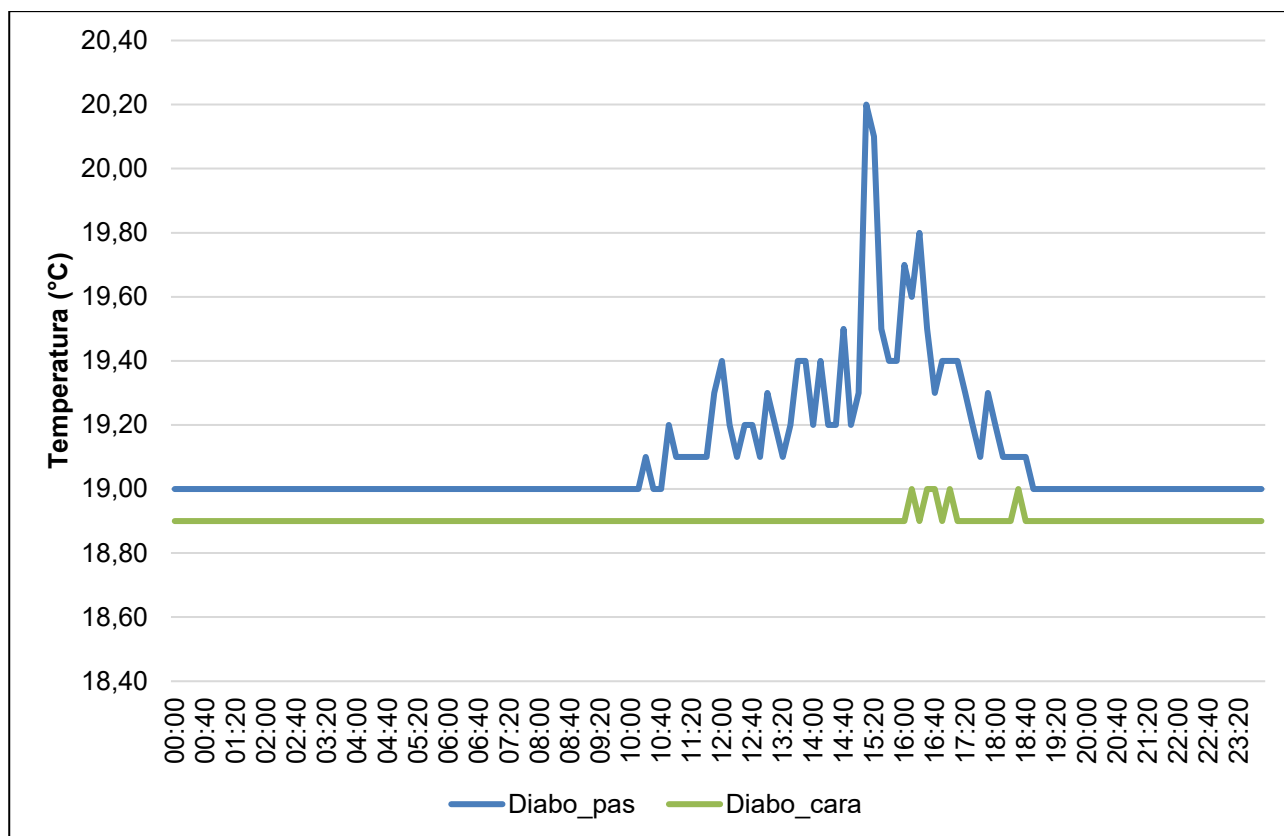


Figura 15 – Variação de temperatura nas estações *Diabo_pas* e *Diabo_cara* no dia 11 de julho de 2021.

Fonte: Dados da pesquisa.

Percebe-se a estabilidade da temperatura em ambas as estações até aproximadamente 10h00min, quando as primeiras excitações começam a aparecer na estação *Diabo_pas*. O pico de maior impacto ocorre às 15h20, mas em menos de 20 min., a temperatura retorna para 19,4 °C. Novos picos ocorrem até o término do horário de visitação e com eventual acumulado térmico, o qual se dissipa totalmente até às 19h00min. Assim, está comprovado que o impacto ocorre – o que era esperado, conforme evidenciado em pesquisas anteriores (e.g. Calaforra *et al.*, 2003, Sebela; Turk, 2014, Lobo, 2015, Lobo *et al.*, 2015) –, mas sua dissipação ocorre dentro da margem de segurança do início da visitação no dia subsequente (Lobo, 2012, 2015). Por fim, testes estatísticos de correlação *r* de Pearson foram feitos entre as séries diárias, para buscar mais evidências das relações gerais entre as variáveis pesquisadas (Tab. 3).

Tabela 3 – Correlação (r de Pearson) entre as variáveis estudadas.

Séries correlacionadas	r Pearson
Máxima Externa x Máxima Diabo_pas	0,356298
Média Externa x Máxima Diabo_pas	0,811294
Máxima Diabo_pas x Visitantes diários	0,344441
Amplitude térmica diária Diabo_pas x Visitantes diários	0,426756

Os coeficientes de correlação evidenciam mais uma vez o que foi constatado graficamente: uma relação baixa entre as máximas das duas estações (0,356298) e entre as máximas e a amplitude térmica da estação *Diabo_pas* e o total de visitantes (0,344441 e 0,426756, respectivamente). No entanto, apresenta um *r* mais elevado entre as médias de ambas as estações, corroborando estudos clássicos sobre caracterização do espeleoclima (Eraso, 1969; Cigna, 2002, 2004).

O estudo de capacidade de carga turística da Caverna do Diabo que consta em seu PME (Fundação Florestal; Ekos Brasil, 2010) foi executado com método desenvolvido especificamente para o estudo das cavernas do Vale do Ribeira, o qual foi publicado posteriormente em Lobo *et al.* (2013). Como parte deste estudo, o monitoramento espeleoclimático que serviu como base para a composição da capacidade de carga havia definido todo o setor visitável da caverna na região do circuito Tradicional como sendo de Fragilidade Baixa, restando o salão Erectus classificado como Fragilidade Alta, a qual é mais restritiva à visitação. O presente estudo corroborou a interpretação inicial para a região do circuito Tradicional com dados mais robustos, consolidando a interpretação anterior. Por outro lado, o detalhamento do estudo no salão Erectus e sua comparação de dados com outro setor monitorado fora do circuito de visitação (*Diabo_cara*), demonstrou elevada similaridade entre suas medidas de estatística descritiva (Tab. 1): mínimas de 18,4 °C em ambos, máximas de 19,5 °C (*Diabo_cara*) e 20,3 °C (*Erectus*), médias de 18,99 °C (*Diabo_cara*) e 18,98 °C (*Erectus*) e, por fim, moda de 18,9 °C (*Diabo_cara*) e 19,0 °C (*Erectus*). Os dados demonstram que a diferença de temperatura entre o Salão Erectus e o restante do ambiente estudado é desprezível, dentro da margem de erro dos sensores e com resolução da ordem de no máximo 0,1 °C. Adicionalmente, a observação dos dados da Fig. 16 (máximas diárias no Erectus e total de visitantes no mesmo salão) permite ampliar a análise na ótica da pressão antrópica.

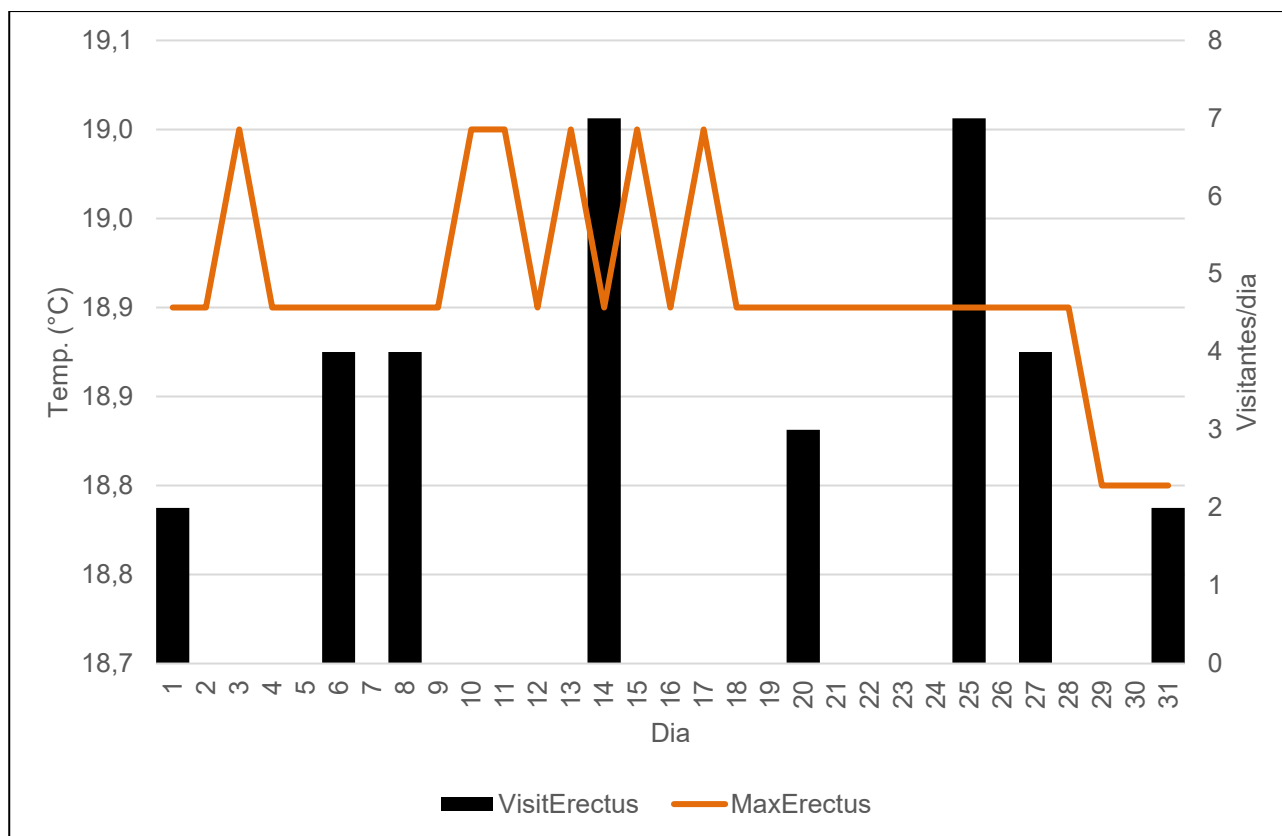


Figura 16 – Máximas diárias e visitantes no salão Erectus (julho/2021). Dados de visitação: gestão do PECD. **Fonte:** Dados da pesquisa.

Assim, com a interpretação dos dados da Tab. 1 e a análise de correlação visual da Fig. 16 – que evidencia ausência de impactos da visitação na temperatura do ar –, não foram encontradas evidências concretas para classificar o espeleoclima deste trecho em uma classe separada do restante. Desta forma, recomenda-se a reclassificação Espeleoclimática do Salão Erectus como sendo de Baixa Fragilidade.

Estes resultados implicam na capacidade de carga da caverna, permitindo duas situações evidentes sob a ótica do espeleoclima:

- I. Abertura de possibilidade de discussão com a gestão e demais *stakeholders* envolvidos com a visitação da Caverna do Diabo sobre a eventual ampliação dos limites diários de visitação propostos no PME. A discussão é sugerida seguindo a premissa do próprio método de Lobo *et al.* (2013), no qual os dados produzidos devem servir como subsídio para a tomada de decisão, não sendo determinísticos. Para tanto, é recomendável que estudos futuros façam testes com quantidades maiores de visitantes (tanto por grupo quanto o total acumulado diário), dado que a capacidade de carga máxima diária não foi atingida em nenhum momento no presente estudo;
- II. Consolidação da possibilidade de visitação no Salão Erectus, tal como proposto em seu Plano de Manejo Espeleológico. Os limites sugeridos no PME são de no máximo 6 visitantes por grupo, sendo um deles o condutor (Fundação Florestal;

Ekos Brasil, 2010, p.139). Os dados coletados correlacionados aos totais de visitantes evidenciaram que este limite é subestimado, podendo ser discutido entre a gestão e *stakeholders* envolvidos com a visita. Sugere-se que sejam adotados critérios de segurança, mobilidade do grupo, cuidados com pisoteamento ou toque em espeleotemas e condições de acesso (Gillieson *et al.*, 2022) como critérios iniciais para a definição do tamanho adequado de visitantes por grupo, bem como do total de grupos por dia.

6. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada permitiu a obtenção das seguintes conclusões:

- I. A temperatura do ar do trecho monitorado possui forte correlação com a temperatura do ar externo;
- II. A umidade relativa do ar torna-se estável na casa dos 99,9% já na porção inicial da caverna, após a estalagmite do Guardiã (Estação 2);
- III. Os impactos da visita aferidos atingiram picos de 1,2 °C. No entanto, o retorno total ao estado estacionário da temperatura do ar ocorre em menos de 6 horas;
- IV. A correlação entre os totais de visitantes diários e as temperaturas máximas diárias ou as amplitudes térmicas diárias é pouco significativa;
- V. Sugere-se a revisão dos níveis de fragilidade do espeleoclima propostos no PME e em Lobo *et al.* (2013), com consequente necessidade de revisão dos níveis de fragilidade média e máxima dos diferentes trechos da caverna. Ressalta-se que tal revisão não afeta, diretamente, os mapas de fragilidade temática de meio físico e fauna subterrânea;
- VI. Sugere-se a discussão sobre a capacidade de carga turística dos roteiros Tradicional e Erectus;
- VII. Sob a ótica do espeleoclima, não há impedimento identificado para a visita do Salão Erectus.

Em todo o mundo, o manejo de cavernas turísticas vem sendo balizado em uma perspectiva conservacionista, pautado pelos adequados limites de uso do espaço e do adensamento na visita (Lobo *et al.*, 2013; Gillieson *et al.*, 2022). Quanto ao espeleoclima, a correta definição destes limites deve levar em conta a relação de causa e efeito entre a presença humana e a variação na temperatura do ar – o parâmetro atmosférico mais responsivo ao uso antrópico. Na Caverna do Diabo, foi possível observar que o uso responsável do ambiente passa pela possibilidade de ampliação dos limites de visita, o que permitiria ampliar a geração de recursos para as comunidades locais (cf. Araujo, 2019; Chiarini *et al.*, 2022), em função de sua dependência com o fluxo de visita do atrativo. Espera-se que o estudo realizado possa embasar discussões sobre a revisão dos limites de visita da caverna. De igual forma, aponta-se a necessidade de estudos

futuros para a continuidade do monitoramento – sobretudo em caso de aumento de roteiros ou mesmo quantidade de visitantes nos roteiros atuais.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos financiamentos (2019/19520-0 de M. E. Bichuette e 2011/10822-2 de W. Sallun Filho). À gestão e aos monitores ambientais do P. E. da Caverna do Diabo. Aos espeleólogos Silmara Zago (UPE), Guilherme A. Z. Lobo (UPE) e Jovenil Ferreira de Souza (GESMAR), pelo apoio nos trabalhos de campo. À Fundação Florestal pela autorização de pesquisa. Ao CNPq pelas bolsas de Produtividade em Pesquisa de H. A. S. Lobo e M. E. Bichuette.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.

ARAUJO, H.R. **Propostas para o desenvolvimento sustentável do espeleoturismo no Brasil**: estudo comparativo com a experiência portuguesa. Tese (Doutorado em Turismo). Lisboa: Universidade de Lisboa, 2019.

AULER, A.S.; RUBBIOLI, E. L.; BRANDI, R. **As Grandes Cavernas do Brasil**. 1. ed. Belo Horizonte: Rona Editora, 2001. 230p.

CALAFORRA, J.M.; FERNÁNDEZ-CORTÉS, A.; SÁNCHEZ-MARTOS, F.; GISBERT, J.; PULIDO-BOSCH, A. Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use. **Environmental Conservation**, v.30, n.2, p.160-167, 2003.

CAMPANHA, G.A.C. **O papel de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira**. Tese de Livre-Docência. Instituto de Geociências, USP. São Paulo. 2002.

CAMPANHA, G.A.C.; GIMENES FILHO, A.; VIERIRA CAETANO, S.I.; ALVES PIRES, F.; LUCAS DANTAS, A.S.; TEIXEIRA, A.L.; DEHIRA, L.K.; HACHIRO, J.; STEFANI, F.L. **Geologia das folhas Iporanga (SG:22-X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG:22-X-B-VI-I)**. São Paulo: PROMINÉRIO/IPT, 1985.

CHIARINI, V.; DUCKECK, J.; WAELE, J. A Global perspective on sustainable show cave tourism. **Geoheritage**, v.14, n.82, 2022.

CIGNA, A. A. Monitoring of caves: conclusions and recommendations. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v.31, n.1, p.175-177. 2002.

CIGNA, A.A. Climate of caves. In: GUNN, J. (Ed.) **Encyclopedia of caves and karst science**. London: Taylor & Francis, 2004. p.467-475.

CORDEIRO, B. M. **Planalto carbonático do André Lopes (SP): geomorfologia cárstica e geoespeleologia da Gruta da Tapagem (Caverna do Diabo)**. Dissertação de Mestrado, IGc-USP, 2013.

COUTO, L.C.O. **ESPELEOCLIMA DA LAPA DE ANTÔNIO PEREIRA (OURO PRETO, MG): monitoramento espeleometeorológico e zoneamento atmosférico cavernícola**. Tese (Doutorado em Tratamento da Informação Espacial), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte: PUCMG, 2021. 309 p.

ENSEÑAT-SOBERANIS, F.; BLANCO-GREGORY, R.; MONDRAGÓN-MEJÍA, J.; SIMOES, N.; MORENO-ACEVEDO, E.; ORTEGA, I. Crowding Standards and willingness to pay at cenotes (sinkholes) of the Yucatan Peninsula: a comparative analysis of local, national and international visitors, **Journal of Ecotourism**, v.19, n.1, p.1-22, 2020.

ERASO, A. La corrosión climática em las cavernas. **Boletín Geológico y minero**, v.80, n.6, p.564-581, 1969.

FALEIROS, F.M.; MORAIS, S.M.; COSTA, V.S. Unidades litoestratigráficas. In: FALEIROS, F.M.; COSTA, V.S. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais da folha Apiaí, SG.22-X-B-V, estados de São Paulo e Paraná**. Escala 1:100.000, São Paulo: CPRM, 2012. 107 p.

FALEIROS, F.M.; MORAIS, S.M.; COSTA, V.S. Unidades litoestratigráficas. In: Faleiros, F.M., Costa, V.S. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais da folha Eldorado, SG.22-X-B-VI, estados de São Paulo e Paraná**. Escala 1:100.000. São Paulo: CPRM, 2013. 128 p.

FUNDAÇÃO FLORESTAL; EKOS BRASIL. **Plano de Manejo Espeleológico da Caverna do Diabo**: Resumo Executivo. São Paulo: Fundação Florestal, 2010. 216 p.

GIUSTI, M.M.; TRAVASSOS, L.E.P.; LOBO, H.A.S. Percepção de lotação e grau de satisfação dos visitantes da Gruta da Lapinha (Parque Estadual do Sumidouro, MG, Brazil). **Caderno de Geografia**, v.29, n.59, p.1139-1160, 2019.

GILLIESON, D.S.; GUNN, J.; AULER, A.; BOLGER, T. (Eds.). **Guidelines for cave and karst protection**. 2.ed. Postojna/Gland: UIS/IUCN, 2022. 112 p.

GUIRADO, E.; GASQUEZ, F.; FERNANDES-CORTES, A.; CALAFORRA, J.M. CaViX: Método simplificado de cálculo de la visitabilidad máxima en cavidades turísticas (aplicación web-cloud). In: Congreso Ibero-Americano de Cuevas Turísticas. **Anais**. Aracena: ACTE, 2014. p.249-255.

KARMANN, I.; SANCHEZ, L.E. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. **Espeleo-Tema**, p. 105-167, 1979.

LOBO, H.A.S. Estudo da dinâmica atmosférica subterrânea na determinação da capacidade de carga turística na caverna de Santana (PETAR, Iporanga-SP). **Tese** (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro. 2011.

LOBO, H.A.S. Espeleoclima e manejo de cavernas: estado-da-arte. **Revista do Departamento de Geografia**, v.23, p.27-54, 2012.

LOBO, H.A.S. Tourist carrying capacity of Santana cave (PETAR-SP, Brazil): A new method based on a critical atmospheric parameter. **Tourism Management Perspectives**, v.16, p.67-75, 2015.

LOBO, H.A.S.; PERINOTTO, J.A.J.; POUDOU, S. Análise de Agrupamentos Aplicada à Variabilidade Térmica da Atmosfera Subterrânea: Contribuição ao Zoneamento Ambiental Microclimático de Cavernas. **Revista de Estudos Ambientais**, v.11, p.22-35, 2009.

LOBO, H.A.S.; BOGGIANI, P.C.; PERINOTTO, J.A.J. Speleoclimate dynamics in Santana Cave (PETAR, São Paulo State, Brazil): general characterization and implications for tourist management. **International Journal of Speleology**, v. 44, p. 61-73, 2015.

LUETSCHER, M.; JEANNIN, P.Y. Temperature distribution in karst systems: the role of air and water fluxes. **Terra Nova**, v.16, n.6, p.344-350, 2004.

MANGIN, A. Cave management, visitation limits and environmental preserving. In: BELLA, P.; GAZIK, P.; VLCEK, L. (Eds.). INTERNATIONAL SHOW CAVES ASSOCIATION CONGRESS, 6, 2010, Liptovsky Mikulas. **Abstracts Excursion Guide**. Liptovsky Mikulas: Slovak Caves Administration, 2010. p.25.

MASUTTI, R.; LOBO, H.A.S. Análise descritiva do perfil e satisfação dos visitantes da Gruta do Lago Azul (Bonito, MS). **Entre-Lugar**, v.9, n.18, 2018. p.86-105.

SALLUN FILHO, W.; CORDEIRO, B.M.; KARMANN, I. Structural and hydrological controls on the development of a river cave in marble (Tapagem Cave, SE Brazil). **International Journal of Speleology**, v. 44, p. 75-90, 2015.

SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. (eds.) **Geologia do Brasil**. São Paulo: Editora Beca, 2012. p. 629-641.

ŠEBELA S.; TURK J. Natural and anthropogenic influences on the year-round temperature dynamics of air and water in Postojna show cave, Slovenia. **Tourism Management**, v.40, p.233-243, 2014.

SEBELA, S.; BAKER, G.; LUKE, B. Cave Temperature and Management Implications in Lehman Caves, Great Basin National Park, USA. **Geoheritage**, 11, p.1163–1175, 2019.

STOEVA, P.; STOEV, A. Cave Air Temperature Response to Climate and Solar and Geomagnetic Activity. **Memorie Della Società Astronomica Italiana**, v. 76, p. 1042-1047. 2005.

ZELINKA, J. Microclimatic research in the Slovakian show caves. **Acta Carsologica**, Ljubljana, v.31, n.1, p.151-163, 2002.