

**ESTUDO DO TOPOCLIMA DE CAVERNAS DA PROVÍNCIA ESPELEOLÓGICA ARENÍTICA
ALTAMIRA-ITAITUBA, PARÁ**

José Roberto de Alencar MOREIRA

1

Eleonora TRAJANO

2

Recebido em abril/1991, aceito em maio/1991

Abstract

A short-term topoclimatological study was carried on at Pedra da Cachoeira, Planaltina and Limoeiro sandstone caves, Pará State. These caves have large colonies of bats, mainly Pteronotus parnelli.

The three caves are single-opened, subhorizontal cavities, functionally classified as permanent bidirectional ventilation caves. The expected high relative humidity and reduction of circadian temperature fluctuations were verified. Four meroclimatic zones could be distinguished: saloons near the entrance, with air temperatures nearly following the surface ones; stream galleries, with relative humidity near saturation; dry galleries, with relative humidity high but inferior to the latter; deep galleries, with elevated temperatures due to the bat concentrations and an atmosphere with high contents of gases from bat guano fermentation.

Key-words: topoclimate, bats, sandstone caves, Pará State

Palavras-chave: topoclima, morcegos, cavernas areníticas, Pará

1.. Grupo Espeleológico Paraense, C.P. 1611, 66010 Belém PA, Brasil

2.. Depto Zoologia, Inst. Biociências da USP, C.P.20520, 01498 São Paulo SP, Brasil

1. Introdução

O conhecimento do topo-clima cavernícola - conjunto de fenômenos que caracterizam o estado físico da atmosfera de uma cavidade subterrânea, ou seja, um espaço determinado por certos limites topográficos e tendo uma certa forma (RACOVITA, 1975) - proporciona dados importantes para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas subterrâneos, assim como dos processos físicos e químicos da espeleogênese, formação de espeleotemas, etc.

No entanto, poucos estudos realizados no Brasil enfocam esse aspecto. De um modo geral, os dados disponíveis na literatura referem-se a medidas de temperatura e umidade relativa do ar tomadas por ocasião de trabalhos de exploração, topografia, ou biologia. É o caso das medições realizadas no sistema São Mateus, GO (MILKO, 1984), na gruta de Ubajara, CE (DIAS NETO et al., 1978), em cavernas de Bonito, MS (GODOY, 1986), e em cavernas do Vale do Ribeira, SP (TRAJANO, 1981, 1987).

Trabalhos tendo por objetivo central o estudo do topo-clima cavernícola são muito raros no país. CESAR (1980) iniciou o estudo topoclimático da gruta das Águas Quentes, SP, porém as tabelas e gráficos não foram incluídos na publicação, de modo que os dados empíricos não estão acessíveis.

O presente artigo tem por objetivo contribuir ao conhecimento dos topo-climas cavernícolas brasileiros, analisando os dados referentes às três maiores cavernas conhecidas até o momento na província espeleológica arenítica Altamira-Itaituba. O estudo foi efetuado em outubro de 1988, durante expedição organizada pelo Grupo Espeleológico Paraense (GEP), na qual foram também realizados estudos biológicos (TRAJANO & MOREIRA, 1991) e geológicos.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição da área (GEP, comun. pess.)

A província espeleológica arenítica Altamira-Itaituba localiza-se na porção central do Estado do Pará, às margens do rio Xingu. A cidade mais próxima das cavernas presentemente estudadas, Altamira, dista 455 km em linha reta de Belém, 290 km de Santarém, 435 km de Itaituba e 420 km de Marabá. O acesso para as cavernas Pedra da Cachoeira, Planaltina e Limoeiro situa-se, respectivamente, nos quilômetros 22, 50 e 80 da Rodovia Transamazônica (BR-230).

A região de Altamira apresenta clima tropical úmido de monção (tipo Am, segundo classificação de Köppen), com pluviosidade de 2100 a 2200 mm por ano. A precipitação excessiva durante alguns meses (entre março e maio) compensa a ocorrência de um ou dois meses com precipitações inferiores a 60 mm, no período menos chuvoso compreendido entre agosto e dezembro.

As temperaturas médias anuais estão entre 25 e 26 graus Celsius, médias anuais mínimas, entre 20 e 22 graus C, e as máximas, entre 31 e 32 graus C, determinando um clima dito isotérmico, sem variações sazonais sensíveis. A umidade relativa do ar é bastante elevada, com médias superiores a 80% durante praticamente todo o ano.

As condições climáticas reinantes na área são favoráveis a um intenso processo de intemperismo químico sobre as rochas aflorantes, responsável pelo desenvolvimento de espessa cobertura de solo, com exuberante vegetação do tipo Floresta Equatorial Úmida. Estas características dificultam os trabalhos de prospecção espeleológica, não só pela escassez de afloramentos como também pela difícil penetração através da compacta vegetação. Além disso, o regime pluviométrico dificulta a execução de trabalhos de campo durante quase todo o ano.

2.2. Descrição das cavernas

Segue-se uma breve descrição das cavernas estudadas, com coordenadas geográficas, cota altimétrica (da entrada principal) e município.

Caverna PEDRA DA CACHOEIRA

o o o o

3 18 43'S, 52 20 28'W, 179 m alt. (Altamira, PA) - 842 m de desenvolvimento percorridos por um rio e diversos afluentes, formando diferentes galerias. Apresenta duas entradas (sendo uma delas a ressurgência), que abrem-se em um amplo salão.

Caverna PLANALTINA

o o o o

3 22 30'S, 52 34 18'W, 178 m alt. (Medicilândia, PA) - 1297 m de desenvolvimento. Três entradas, sendo uma a ressurgência do rio e duas em salões superiores. Apresenta um rio principal com dois afluentes que formam galerias. Em sua parte leste, desenvolvem-se diversas galerias secas.

Caverna do LIMOEIRO

o o o o

3 32 20'S, 52 47 07'W, 220 m alt. (Medicilândia, PA) - 1180 m de desenvolvimento. Apresenta duas galerias principais com rio, quatro entradas, sendo três delas próximas (uma ressurgência) e outra no primeiro terço de uma dessas galerias. Próximo à sua entrada principal, localiza-se uma galeria seca com passagens em ambas extremidades. Uma lente de folhelho é encontrada em sua parte média.

2.3. Metodologia

A temperatura e umidade relativa do ar das cavernas de maiores dimensões foram medidas utilizando-se psicrômetro de Assman com precisão de 0,2 graus, posicionado a 20 cm de altura do solo. Os dados foram tomados nos dias 13, 17 e 22 de outubro de 1988, respectivamente nas cavernas Planaltina, Limoeiro e Pedra da Cachoeira. Medidas foram tomadas desde o exterior até as regiões mais profundas, ao longo das galerias mais importantes das cavernas, a intervalos de 4 horas (02:00, 06:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00 hs), com exceção da Pedra da Cachoeira, onde os intervalos foram de 8 horas, a partir das 06:00 hs. Foram feitas comparações com as medidas externas tomadas pelos laboratórios de climatologia das estações experimentais da UEPAE-Belém da EMBRAPA, localizadas nos quilômetros 23 (aproximadamente a 15 km da Pedra da Cachoeira e 35 da Planaltina) e 101 (a 30 km da Limoeiro) da rodovia Transamazônica, nos municípios de Altamira e Medicilândia, respectivamente.

3. Resultados e Discussão

Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, registrados nas três maiores cavernas conhecidas na região de Altamira, são apresentados na Tabela 1, juntamente com os respectivos desvios padrão e informações relativas à distância da entrada principal de cada caverna e à proximidade ou não de água no local de coleta.

Cavernas caracterizam-se pela estabilidade ambiental: são capazes de manter uma temperatura relativamente constante ou variando, diária e anualmente, com amplitude bem inferior à do meio externo. Flutuações moderadas, mas perceptíveis, ocorrem nas regiões contíguas às entradas, que ainda recebem um influência considerável do clima externo ("zona de temperatura variável"). Esta influência diminui conforme aumenta a distância para o exterior, até a região onde a temperatura tende a se estabilizar, apresentando valores em torno da média anual externa ("zona de temperatura constante"). A extensão da zona de temperatura variável depende do clima regional, da configuração das galerias, da distância em relação às entradas, dos processos de condução de calor pelo maciço rochoso (o solo e a cobertura vegetal agindo como atenuadores das oscilações climáticas externas), do número e posicionamento das entradas, da presença de

correntes de água e de ar, etc. A composição destes fatores determina um perfil de temperatura e umidade característico do topoclíma de uma determinada caverna (RACOVITA, 1975).

A partir dos dados apresentados na tabela, pode-se verificar a diminuição na amplitude da variação diária (vide desvios padrão), tanto nos dados de temperatura como de umidade, à medida em que eram coletados a distâncias progressivamente maiores das entradas das cavernas. A amplitude no fundo destas foi de, no máximo, 0,2 graus para a temperatura e 2% para a umidade relativa. Os picos de temperatura externa, verificados geralmente entre as 14:00 e 18:00 hs, poucas vezes refletiram-se diretamente nas medidas internas, salvo nos locais próximos às entradas. Aumentando-se a distância em relação ao exterior, além de se registrar uma menor amplitude de variação das variáveis climáticas, verificou-se também um aumento da temperatura do ar nas três cavernas estudadas (Figura 1).

Face à elevada umidade relativa do ar característica da região epígea (média anual de 82% no km 23 e 85% no km 101 da Transamazônica), a poucos metros das entradas foram observadas medidas próximas da saturação. Uma constatação já esperada foi a maior umidade nos locais próximos à água. Na galeria do Carimbó (Planaltina), que encontrava-se totalmente alagada, o ambiente estava próximo da saturação, com registros entre 99 e 100% de umidade relativa do ar.

Na estação de climatologia do km 23 da Transamazônica, a temperatura média anual para os últimos 10 anos foi de 25,9 graus; para 1988, a média anual foi de 26,0 graus e a do mês de outubro, de 26,9 graus. Em 13 de outubro, dia de coleta na Planaltina, a temperatura média do ar foi de 27,2 graus, enquanto no dia 22, idem para a Pedra da Cachoeira, esta foi de 26,9 graus. No km 101, a temperatura média anual para os últimos 7 anos foi de 25,5 graus, e de 25,4 graus para 1988. Em outubro deste ano, a temperatura média foi de 25,7 graus e, no dia 17, quando foi feita a coleta de dados na Limoeira, de 27,2 graus. Comparando-se a temperatura do ar registrada no trecho distal das três cavernas com as temperaturas médias dos últimos anos e a de 1988, apenas a Pedra da Cachoeira apresentou valores similares, sendo que na Planaltina foram verificadas as maiores diferenças (+ 0,8 e + 0,7 graus). Com relação à temperatura média do mês de outubro, as diferenças foram menores, com exceção da Pedra da Cachoeira (- 1,4 graus, $p < 0,001$). Quando comparadas à temperatura média do dia de coleta, as diferenças foram, com exceção para a Planaltina, relativamente acentuadas (- 1,4 graus para a Pedra da Cachoeira e - 1,3 graus para a Limoeira).

Face à distância entre os trechos mais distais e as entradas das cavernas estudadas, a influência imediata das variações no clima externo é bastante limitada, não devendo ser levada em consideração a temperatura média do dia de coleta de dados para fins de comparação com o topoclíma do fundo dessas cavernas. Em relação à caverna do Limoeiro, não há grande disparidade nos dados e aparentemente a temperatura do fundo acompanha a média externa do mês de outubro. Entretanto, os resultados obtidos na Pedra da Cachoeira e Planaltina são discordantes. A temperatura no fundo da Pedra da Cachoeira parece acompanhar a média externa dos últimos anos, ainda que não seja uma caverna tão profunda quanto a Planaltina, ao passo que esta última parece acompanhar a temperatura externa do mês de coleta.

É interessante notar que cavernas relativamente próximas como essas (distando aproximadamente 25 km), apresentam climas relativamente distintos. Na Pedra da Cachoeira registrou-se 25,5 graus (+ 0,06 graus) a 235 m de sua entrada, enquanto que na Planaltina foram medidas temperaturas de 26,9 graus (+ 0,11 graus) a 190 m (1,4 graus de diferença em relação à Pedra da Cachoeira, $p < 0,001$) e 26,7 graus (+ 0,12 graus) a 260 m (1,2 graus de diferença, $p < 0,001$). Esta diferença pode ser constatada nas distintas curvas apresentadas na Figura 1).

O fundo de cavernas, por apresentar um ambiente estável, permite aos morcegos uma conservação máxima de energia, se as condições topoclimáticas forem favoráveis à sua manutenção. Conforme já mencionado, nas cavernas estudadas são encontradas grandes populações de morcegos, que se concentram nos salões e galerias mais distantes, ocasionando a formação de depósitos de guano de largas proporções. Trabalhos como os de HENSHAW (1960) e HERREID (1963), em cavernas maternidade do Texas, foram os primeiros a evidenciar o efeito das grandes populações de morcegos e da decomposição do guano sobre o topoclíma cavernícola. Na Venezuela, temperaturas de até 40 graus Celsius são registradas em cavernas, devido ao efeito do calor corporal dos morcegos e da fermentação de suas fezes (GALAN & URBANI, 1987). Fenômeno

similar foi descrito para cavernas de Cuba (DECOU, 1981).

Tanto na caverna Planaltina como na do Limoeiro, em galerias que apresentavam divergentes densidades populacionais de morcegos, registraram-se temperaturas discordantes. Galerias como a do Carimbó, na Planaltina, e Limpa, na Limoeiro, que encontravam-se com densidades de morcegos sensivelmente inferiores às apresentadas pelas galerias Venenosa e Suja, nas respectivas cavernas, manifestaram temperaturas significativamente inferiores às destas últimas ($p < 0,001$). Nas três cavernas, nos salões mais distantes, onde encontravam-se os agrupamentos mais numerosos de morcegos, o ar apresentava-se enevoado, sendo que, na Planaltina, os gases tóxicos faziam-se sentir intensamente, conforme já comentado.

Essas evidências, juntamente com o fato da caverna Planaltina apresentar uma densidade de morcegos superior à das outras cavernas e, coincidentemente, registrar as temperaturas mais elevadas ($p < 0,001$), chegando a ser superiores às médias anuais externas ($p < 5$), faz-nos supor que o principal fator regulador da temperatura no fundo dessas cavernas seja o calor corporal dos morcegos, bem como da fermentação dos depósitos de guano no solo.

As cavernas da região de Altamira encontram-se, dentro do esperado, entre as mais quentes do Brasil. Em São Paulo, as cavernas apresentam temperaturas do ar em torno de 18,5 graus nas zonas mais profundas (Trajano, 1981, 1987). Na região de Bonito, MS, foram registrados, em julho, valores entre 17,5 e 23,0 graus (GODOY, 1986). Em Janaúria, MG, médias obtidas em julho estiveram entre 19,8 e 22,3 graus, sendo que as temperaturas raramente atingiram 24 graus (COURA, 1975; SILVA, 1975). Temperaturas do ar medidas na gruta da Igrejinha, MG, estiveram entre 17,6 e 18,6 graus em maio e 15,8 e 18,6 graus em setembro (SALGADO, 1969), e as da gruta do Baú, MG, entre 21 e 23 graus, em maio (KRUGER, 1965).

Valores mais próximos aos de Altamira foram obtidos no sistema São Mateus, GO, onde a temperatura do ar esteve entre 23,0 e 25,0 graus no mês de julho (MILKO, 1984); interessante notar que o valor mais elevado foi verificado na chamada Galeria dos Morcegos. Mesmo na gruta de Ubajara, CE, localizada na mesma faixa de latitude das cavernas de Altamira, as medidas, efetuadas em diferentes ocasiões, foram de um modo geral mais baixas, entre 22,0 e 24,0 graus (REIS, 1969; DIAS NETO et al., 1978), à exceção das verificadas em dezembro/1978 na Sala do Funil, cujas temperaturas foram similares às das grutas estudadas em Altamira.

As diversas entradas de cada caverna estudada em Altamira encontram-se localizadas sempre em um mesmo extremo, sendo possível considerá-las como "grutas de uma só abertura, horizontais", segundo a classificação climática por tipo topográfico proposta por Racovita (1975). Essas grutas ainda enquadrar-se-iam nessa classificação, quanto ao tipo funcional, como "grutas de ventilação bidirecional permanente". Não foram feitas medidas de ventilação nessas cavernas, entretanto acreditamos que o microclima do fundo das mesmas seja de estabilização. Apesar da horizontalidade geral dessas cavernas, há um certo afunilamento ascendente, o que deve auxiliar no acúmulo de ar quente nos salões mais distantes.

Pode-se diferenciar, nas grandes cavernas da região de Altamira, quatro ambientes climaticamente distintos: salões próximos às entradas, com variações de temperatura acompanhando as mudanças do clima externo e umidade do ar já bastante elevada; galerias de rio, com umidade próxima à saturação; galerias secas, abandonadas pelo rio, com umidade elevada mas inferior ao registrado nas anteriores; e galerias do fundo das cavernas, com temperatura elevada pelas grandes populações de morcegos e apresentando o ar carregado de gases provenientes da fermentação do guano.

Agradecimentos

Agradecemos profundamente aos membros do GEP e, em especial, a Roberto Vizeu L. Pinheiro, Clóvis Maurity e Alexandra Krause, pelo indispensável auxílio nos trabalhos de campo e pelo companheirismo, que tornou tão agradável nossa estadia em meio à chuva de carrapatos e nuvens de gases amoniacais.

4. Referências bibliográficas

- CESAR, N.S., Jr. 1980. Estudo meteorológico do Laboratório Subterrâneo. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 14., Belo Horizonte, 1980. Anais, Sociedade Brasileira de Espeleologia. p. 140-7.
- COURA, J.F. 1975. Província Espeleológica de Januária. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 10., Ouro Preto, 1975. Anais, Sociedade Excursionista Espeleológica. p. 41-52.
- DECOU, V. 1981. Quelques aspects de la biospéologie tropicale résultant des expéditions biospéologiques cubano-roumaines à Cuba. In: ORGHIDAN, T. et al. (eds). Résultats des expéditions biospéologiques cubano-roumaines à Cuba. Ed. Acad. Republ. Social. România, Bucaresti.
- DIAS NETO, C.M.; FALZONI, R.; KARMANN, I.; LINO, C.F.; MILKO, P.; SANCHEZ, L.E. 1978. Parque Nacional de Ubajara. Levantamento espeleológico. Sociedade Brasileira de Espeleologia. /Relatório não publicado/
- GALAN, C.; URBANI, F. 1987. El desarrollo de la espeleología y aspectos generales de las áreas cársticas venezolanas. In: DECOU, V. et al. (Ed.). Fauna hipogea y hemiedáfica de Venezuela y de otros países de América del Sur. Ed. Acad. Republ. Social. România. p. 15-22.
- GODOY, N. 1986. Nota sobre a fauna cavernícola de Bonito, MS. Espeleo-Tema, v. 15, p. 79-91
- HENSHAW, R.E. 1960. Responses of free-tailed bats to increases in cave temperature. J. Mammal., v. 41, n. 3, p. 396-8.
- HERREID, C.F. 1963. Temperature regulation of Mexican free-tailed bats in cave habitats J. Mammal., v. 44, n. 4, p. 560-73.
- KRUGER, F.L. 1965. A gruta do Baú. Rev. Esc. Minas, v.24, n.2, p.1-5.
- MILKO, P. 1984. Medidas físicas e químicas - Expedição Goiás 79. Espeleo-Tema, v. 14, p. 116-22.
- RACOVITA, G. 1975. La classification topoclimatique des cavités souterraines. Trav. Inst. Spéol. E. Racovitza, v.14, p. 197-216
- REIS, J.A.V. 1969. Gruta de Ubajara. Espeleologia, Ouro Preto, v. 1, p. 13-5.
- SALGADO, F.S. 1969. Gruta da Igrejinha. Espeleologia, Ouro Preto, v.1, p.25-32.
- SILVA, L.A. 1975. Relatório de excursão - Januária - MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 10., Ouro Preto, 1975. Anais, Sociedade Excursionista Espeleológica. p. 23-40.
- TRAJANO, E., 1981. Padrões de distribuição e movimentos de morcegos cavernícolas no vale do Alto rio Ribeira de Iguape, São Paulo. Sao Paulo. 154 p. Dissertação (Mestrado). Inst. Biociências, Universidade de Sao Paulo.
- TRAJANO, E. 1987. Biologia do bagre cavernícola, Pimelodella kronei, e de seu provável ancestral, Pimelodella transitoria (Siluriformes, Pimelodidae). São Paulo. 211 p. Tese (Doutorado). Instituto de Biociências, Universidade de Sao Paulo.
- TRAJANO, E.; MOREIRA, J.R.A. 1991. Estudo da fauna de cavernas da Província Espeleológica Arentica Altamira-Itaituba, PA. Rev. Bras. Biol., v. 51, n. 1.

Tabela 1. Temperatura e umidade relativa do ar, e respectivos desvios padrão, medidos em outubro/1988 em cavernas da região de Altamira (Pedra da Cachoeira - médias de tres medidas; Planaltina e Limoeiro - médias de seis medidas)

Local	Distância da entrada (m)	Temperatura C	Desvio padrão	U.R. %	Desvio padrão
PEDRA DA CACHOEIRA					
Exterior	-20	24,1	2,89	73,3	7,23
Entrada	15	23,5	1,63	93,7	3,51
Firmamento	65	24,6	0,15	99,3	0,58
Beyond	140	25,2	0,06	99,3	0,58
Angelino	140	25,0	0,00	99,7	0,58
Hun Berto	235	25,5	0,06	99,0	0,00
PLANALTINA					
Entrada	0	23,1	1,43	97,5	1,38
Superior	25	24,3	0,58	94,8	5,46
Kricket	90	25,3	0,23	98,0	0,89
Xuxa	100	25,5	0,08	98,8	0,75
Pseudo 1	95	25,2	0,19	99,0	0,00
Pseudo 2	110	25,5	0,09	99,5	0,55
Carimbó 1	90	25,2	0,13	99,3	0,82
Carimbó 2	150	25,4	0,05	99,8	0,41
Conde	190	26,9	0,11	98,3	0,82
Venerosa	260	26,7	0,12	99,0	0,00
LIMOEIRO					
Exterior	-20	24,1	1,37	95,0	2,83
Entrada 2	15	24,3	0,21	99,0	0,63
Limpa 1	105	24,7	0,05	99,7	0,52
Limpa 2	170	24,8	0,08	99,5	0,55
Entrada 1	0	23,7	0,81	97,7	1,21
Seca 1	40	24,4	0,33	98,5	0,84
Seca 2	90	24,9	0,06	99,3	0,52
Gigante	140	25,1	0,05	99,2	0,41
Folhelho	210	25,6	0,08	99,5	0,55
Suja	295	25,9	0,08	99,0	0,00

Figura 1 Temperatura média do ar ao longo das cavernas

