

CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA DA GRUTA COLORIDA – PARQUE ESTADUAL DE INTERVALES, SP¹

George Alfredo LONGHITANO¹; Bárbara Nazaré ROCHA²; Sueli ÂNGELO FURLAN³

¹ - Graduação; Geografia/ FFLCH/ USP. georgelonghitano@yahoo.com.br

² - Graduação; Geografia/ FFLCH/ USP. ba_nrocha@yahoo.com.br

³ - Professora doutora; Geografia/ FFLCH/ USP.

Abstract

Caves are unique environments with specific microclimate. The purpose of this study was to make a preliminary characterization of microclimate of Gruta Colorida in Parque Estadual de Intervales. Data about air temperature and relative humidity of the air were collected by using 5 automatic sensors distributed through the cave. There were also done registries with a psychrometer. The cave's microclimate presents high relative humidity, while the air temperature varies according to the entrance distance and human presence.

Key-words: *microclimate, cave, gruta colorida.*

Introdução

O Parque Estadual de Intervales localiza-se na região Sul do Estado de São Paulo, a 270 km da capital, entre os vales dos rios Paranapanema e Ribeira do Iguape. Encontra-se entre 24°12' e 24°25' de latitude Sul e 48°03' e 48°30' de longitude Oeste.

A área representa a maior importância espeleológica das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Situa-se em uma área de formações calcárias revestidas por floresta ombrófila mista, relevo orogênico com serras em forma de crista e escarpas assimétricas (SÃO PAULO, 1994). O clima meridional é permanentemente úmido, caracterizando-se por uma unidade rítmica com entrada de massas polares e passagens de sistemas frontais frequentes, inclusive no verão (MONTEIRO, 1973).

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

Deste modo, as cavernas formam um ambiente único, com entrada de nutrientes dificultada e ausência total de luz nas zonas mais profundas, apresentando um microclima específico e ainda pouquíssimo estudado.

O estudo deste microclima é importante para compreender os fatores limitantes ao desenvolvimento e distribuição espacial da vida no ambiente cavernícola, o desenvolvimento dos

espeleotemas e as alterações causadas pelo turismo. Também pode ajudar no entendimento dos processos de formação das cavernas e das mudanças climáticas globais, através de um estudo combinado com análises mineralógicas dos espeleotemas.

O presente trabalho teve como objetivo fazer a caracterização preliminar do microclima da Gruta Colorida do Parque Estadual de Intervales a fim de fornecer elementos para o entendimento da zonação microclimática no ambiente cavernícola.

Materiais e Métodos

A caverna escolhida para realização do trabalho foi a Gruta Colorida, que é a terceira maior em extensão no Parque e possui acesso considerado fácil. Apresenta três entradas e constitui-se, basicamente, da galeria do rio, além de um conjunto de várias galerias superiores interligadas. A gruta foi cadastrada como SP-129 por Shimada e col. e, posteriormente, por Pisetta e col.. Localiza-se nas coordenadas 24°16'13''S e 48°25'09'' e possui extensão aproximada de 321 metros (SÃO PAULO, 1998).

O procedimento para este estudo deu-se na forma de coletas sistemáticas de dados através de trabalho de campo realizado entre os dias 17 e 19 de dezembro de 2004. Para a obtenção de dados microclimáticos foram utilizados cinco abrigos meteorológicos desenvolvidos por ARMANI (2004), cada um equipado com sensores automáticos de temperatura (precisão 0,1°C e acurácia ±0,2°C) e umidade relativa do ar (precisão 0,1% e acurácia ±2,5%). O 1º abrigo foi instalado fora da caverna, outro na entrada e os outros três na galeria superior seqüencialmente, conforme a distância da boca.

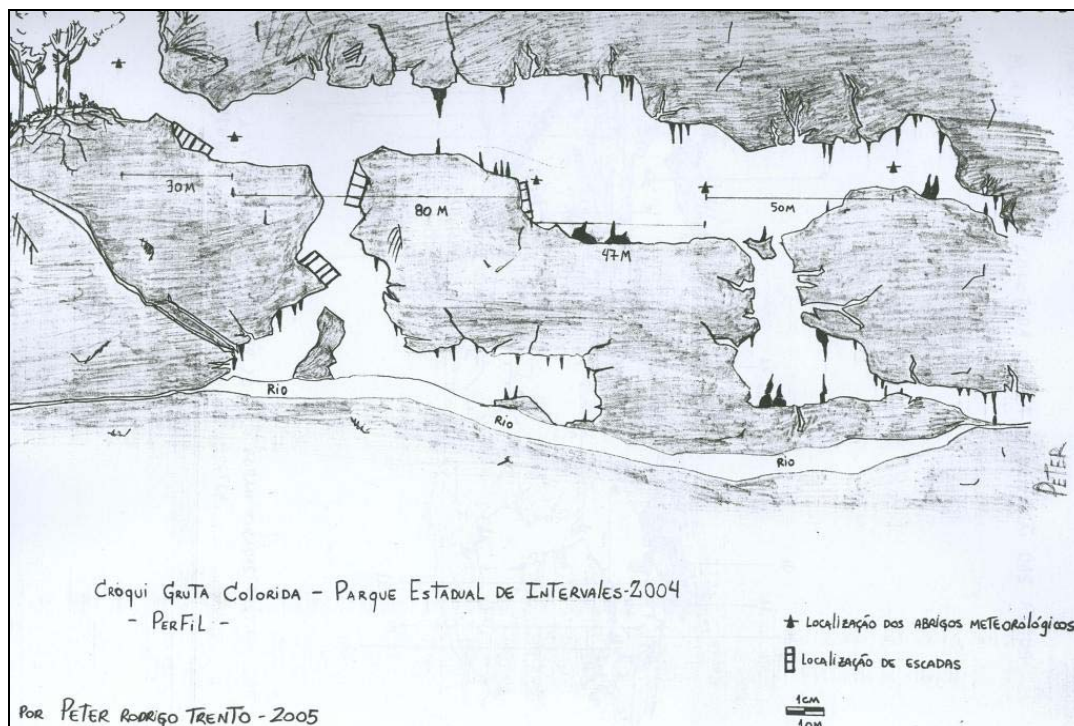


Figura 1: Perfil esquemático da Gruta Colorida com a localização dos postos microclimáticos (TRENTO, P. R.; 2005)

Os abrigos foram instalados por volta das 19:30 horas do dia 17/12/2004 e retirados por volta 14:30 horas do dia 19/12/2004. Foram utilizados os dados a partir das 20:30 horas do dia 17, até às 13:30 horas do dia 19, com a finalidade de que nossas visitas para instalação e retirada dos abrigos fossem amenizadas ou não influenciassem nas medições, que a temperatura do abrigo e dos sensores se adaptasse ao clima da caverna. As medições foram feitas a cada meia hora, durante um período de 41 horas. Os pontos onde foram instalados os abrigos e o perfil da Gruta Colorida podem ser visualizados na figura 1.

Em condições ideais de medição, todos os abrigos deveriam estar com a mesma distância do solo, além de estarem suspensos com todos os lados livres para a circulação de ar. Porém, devido às dificuldades de se instalar os abrigos dentro da caverna, estes não foram instalados de forma perfeita, apresentando alturas um pouco diferentes e podendo estar próximos de paredes.

Para checagem dos dados foram realizadas medições manuais através de conjunto psicrométrico. Os dados obtidos pelo conjunto psicrométrico apresentaram pequenas diferenças em relação aos obtidos pelos sensores automáticos. Houve dificuldade de se ventilar o conjunto e ler a temperatura apropriadamente dentro da caverna, pois as galerias eram estreitas e, na maior parte das vezes, de total ausência de luz. Também foram registrados dados de um fotômetro para

compreensão da disponibilidade energética da caverna e de um barômetro/altímetro.

Aos dados dos sensores automáticos deve ser creditada maior confiança, pois eles foram testados e calibrados antes da ida ao campo e já foram utilizados anteriormente em outros estudos, obtendo resultados fiéis. Além disso, nos abrigos 01 e 05, foram colocados 2 sensores de temperatura em cada para garantia de obtenção dos dados e para checagem, apresentando ambos dados idênticos.

Resultados e Discussão

O gráfico a seguir (figura 2) apresenta os dados de temperatura do ar (°C) registrados através dos sensores automáticos de temperatura nos cinco pontos:

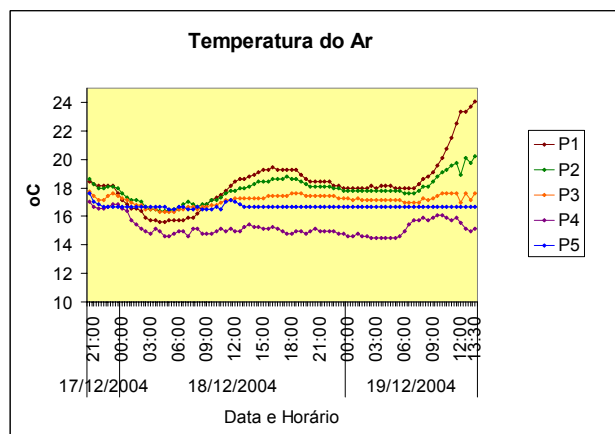


Figura 2: Temperatura do ar (°C) no interior da Gruta Colorida - Org: LONGHITANO, 2005

Os dados obtidos caracterizam o abrigo 01 (figura 3) como o que apresentou maior variação de temperatura, de 15,59°C, até 24,06°C, ou seja, gradiente de 8,47°C. Esta variação pode ser explicada devido à localização do abrigo, em ambiente externo, onde há a interferência direta da radiação solar de onda curta, mesmo com o dossel das árvores.



| | |
|--------------------------|---------------------------------|
| Distância do solo: 1,55m | Data das medições: 18/12 |
| Altitude: 800m | Horário das medições: 10:12hs |
| Pressão: 616mb | Radiação direta: 16.500 luxca |
| Ts: 18,2 °C | Radiação difusa: 1400 luxca |
| Tu: 18,0 °C | UR(segundo o psicrômetro): 100% |

Figura 3: posto microclimático 1 localizado no lado externo da Gruta. - Foto: LONGHITANO, 2004.
Org: LONGHITANO e ROCHA, 2006.

O abrigo 02 (figura 4) foi instalado próximo à boca da gruta, local que a radiação solar atinge, porém, em menor intensidade, por meio predominantemente de radiação difusa. Além desta entrada da caverna ser estreita, há ainda o dossel que barra boa parte da radiação solar direta. Na medição feita pelo fotômetro, esse ponto apresentou valor bem menor do que no ponto 1, demonstrando que a luz realmente chega com menor intensidade.

O gráfico dos dados de temperatura mostrou as curvas seguindo a variação climática do exterior ao longo das 41 horas, mas apresentando uma menor amplitude térmica em relação ao ambiente externo. A temperatura mínima foi de 16,37°C e a máxima de 20,24°C, o que significa um gradiente de 3,87°C. Percebe-se que há um retardamento e amenização das mudanças em relação ao ambiente externo.

Neste ponto (abrigo 2) a radiação solar se apresenta de forma pouco influente. O ar é um péssimo condutor de calor por condução. A convecção, que é a transferência de calor dentro de um fluido através de movimentos do próprio fluido, ocorre dentro da caverna, porém, também de forma

comprometida, já que existem barreiras para a circulação do ar. Todos estes fatores contribuem para o abrandamento da amplitude térmica, explicando esta ocorrência no gráfico.



| | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Distância do solo: 1m | UR(segundo o psicrômetro): 95% |
| Distância do abrigo 01: 30m | Data: 18/12 |
| Altitude: 797m | Horário das medições: 10:20 |
| Pressão: 617mb | Radiação direta: 5,5 luxca |
| Ts: 18,9 °C | Radiação difusa: 0,53 luxca |
| Tu: 18,2 °C | |

Figura 4: posto microclimático 2 localizado na entrada da Gruta Colorida. - Foto: LONGHITANO, 2004.
Org: LONGHITANO e ROCHA, 2006.

O abrigo 3 (figura 5) foi instalado na parte central da caverna, onde ainda há entrada de luz, embora muito pouca. Destaca-se que o fotômetro não registrou luz.

Este ponto apresentou a linha de temperatura quase retilínea, mostrando a tendência de variação diária através de curvas ainda mais tênues e maior retardamento das variações em relação aos pontos 1 e 2, além de valor médio menor.

A mínima registrada foi de 16,33°C e a máxima foi de 17,76°C, valor de temperatura inicial que foi influenciado pela temperatura que o abrigo estava quando se encontrava fora da gruta num ambiente mais quente. A amplitude foi de apenas 1,43°C.

Esta característica é justificada pelas mesmas do ponto anterior. O ponto onde foi instalado é mais longe da entrada principal da caverna, demorando ainda mais para que as variações diárias, devidas à radiação solar, afetem o microclima do ambiente. Soma-se ainda o papel da água

De maneira geral, a água possui a característica de demorar mais para se aquecer e para se resfriar (calor específico maior) do que as rochas. Levando em conta que as cavernas são formadas normalmente devido ao fluxo de água, e que passa um córrego na galeria inferior da gruta,

pode se afirmar que este também atua no microclima do ambiente da caverna, como moderador da amplitude térmica, ao receber e transmitir calor mais vagarosamente que o solo. Desta forma, não apenas os rios, mas os diferentes substratos (lagos, bancos de argila, solo arenoso, as paredes rochosas, etc) exercem influência sobre o ambiente e microclima de uma caverna.



| | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Distância do solo: 1,20m | UR(segundo o psicrômetro): 100% |
| Distância do abrigo 02: 80m | Data: 18/12 |
| Altitude: 795m | Horário das medições: 10:30h |
| Pressão: 616mb | Radiação direta: 0 luxca |
| Ts: 18,4 °C | Radiação difusa: 0 luxca |
| Tu: 18,2 °C | |

Figura 5: posto microclimático 3 localizado na parte central da caverna. - Foto: LONGHITANO, 2004.
Org: LONGHITANO e ROCHA, 2006.

O abrigo 4 (figura 6) foi instalado já em uma zona totalmente afótica.

O gráfico de temperatura apresenta comportamento curioso, pois mostra uma média bem menor do que os outros e possui maior amplitude térmica do que os dados obtidos pelo sensor no abrigo 3. A máxima foi de 17,01°C, a mínima de 14,48°C apresentando amplitude, portanto de 2,49°C.

Essa variação maior é devido ao fato do abrigo 4 estar localizado justamente no meio de um duto de ar, conforme pode ser visto na foto e no croqui de perfil. Com isto, a circulação de ar afeta de modo mais direto o microclima neste ponto. O abrigo 3 localiza-se no meio de uma galeria mais ampla, onde a circulação de ar, por ter maior espaço, não ocorre tão intensamente. O mesmo volume de ar para passar pelo duto, de diâmetro bem menor, deve passar de forma mais rápida, causando maior interferência.

Sobre a temperatura registrada ser menor neste ponto, dois aspectos contribuem. Um é da tendência de quanto mais interior o ponto, menor a temperatura para a época de registro dos dados

(dezembro).

Outro fator, é que por estar localizado próximo ao solo, também numa altitude mais baixa em relação aos outros abrigos e no meio de um duto de ar, devido ao efeito da convecção, este ponto apresenta temperatura menor. O ar frio é mais denso que o quente, e tende a descer forçando o ar mais quente e menos denso a subir. “A movimentação do ar é consequência da diferença de densidade entre o ar exterior e o ar subterrâneo, determinado pela temperatura das massas gasosas. A diferença de altitude e latitude também ocasiona tal circulação” (LINO, 2001).

Portanto, o abrigo 4 estaria num local de fluxo de ar mais frio, num chamado “tubo de vento”, devido a sua localização baixa. A situação deve se inverter durante o inverno, com o sentido do vento sendo contrário (GÈZE, 1968) e provavelmente a temperatura do ar também seria maior que nos outros pontos.

É importante ressaltar que seriam necessários estudos mais aprofundados, com amostragem de dados correspondendo a um período maior e que, o uso do anemômetro ajudaria a definir a circulação do ar.



| | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| Distância do solo: 0,70m | UR (segundo o psicrômetro): 90% |
| Distância do abrigo 03: 42m | Data: 18/12 |
| Altitude: 790 | Horário das medições: 10:36 |
| Pressão: 617mb | Radiação direta: 0 |
| Ts: 18,0 °C | Radiação difusa: 0 |
| Tu: 16,8 °C | |

Figura 6: posto microclimático 4 localizado em acesso para galeria inferior. - Foto: LONGHITANO, 2004.
Org: LONGHITANO e ROCHA, 2006.

O abrigo 5 (figura 7) foi instalado, na parte mais interior da gruta Colorida, no final da galeria superior, conforme pode ser visto no croqui.

A temperatura manteve-se constante durante todo o tempo em 16,7°C, apenas elevando-se a partir das 11:00h do dia 18/12/2004, atingindo 17,2°C às

11:30h e em seguida retornando ao valor de 16,7°C às 13:00h.

Embora a acurácia do sensor de temperatura seja de $\pm 0,20^{\circ}\text{C}$ e a precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$, a variação pode ser atribuída à entrada e permanência de nosso grupo na gruta (a medição manual neste ponto foi realizada às 10h e 50min), pois o ambiente no entorno do abrigo 5 caracteriza-se por ser distante da entrada, em um corredor estreito e sem saída, totalmente escuro. Portanto, a circulação de ar é fortemente dificultada e a variação diária do tempo no ambiente externo não foi notada, apresentando sempre temperatura constante.

No caso, um grupo de 15 pessoas que não permaneceu mais de 1 hora dentro da gruta, foi responsável por elevação de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$, levando cerca de 1:30h para a temperatura se estabilizar. As fontes de calor são os iluminadores de carbureto, utilizados por duas das pessoas, e os próprios corpos humanos.

É importante ressaltar que grupos maiores realizam explorações nas cavernas por períodos de tempo mais longos e com maior frequência dependendo da época do ano, o que deve agravar este aumento. Logo, a influência da presença humana deve ser levada em consideração para o planejamento e determinação do suporte de visitação das cavernas.



| | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Distância do solo: 0,85m | UR(segundo o psicrômetro): 95% |
| Distância do abrigo 04: 50m | Data: 18/12 |
| Altitude: 790 | Horário das medições: 10:50 |
| Pressão: 617mb | Radiação direta: 0 |
| Ts: 18,2 °C | Radiação difusa: 0 |
| Tu: 17,9 °C | |

Figura 7: posto microclimático 5 – Final da galeria superior. - Foto: LONGHITANO, 2004.
Org: LONGHITANO e ROCHA, 2006.

Segundo ALEY (1997), os maiores danos nas cavernas são produzidos pelas mudanças no microclima, principalmente decorrente das

visitações turísticas. GILLIESON (1996) aponta as alterações microclimáticas decorrentes do turismo em cavernas. O alargamento de corredores altera a circulação e a iluminação eleva a temperatura do ar e permite, aliado à respiração humana, o aumento na taxa de CO_2 e crescimento de algas. O aumento do gás carbônico pode afetar o equilíbrio químico dos espeleotemas, enquanto a elevação de 1°C na temperatura do ar resulta em um aumento de oito vezes na capacidade de concentração de vapor d'água, diminuindo a umidade relativa do ar. Destaca-se que o ambiente cavernícola já é geralmente rico em dióxido de carbono, proveniente da precipitação da calcita e da decomposição de matéria orgânica que normalmente é trazida do exterior e é acumulada nas partes mais baixas.

Sobre a umidade relativa do ar, os dados registrados pelos sensores automáticos apresentaram total constância. Foi registrado durante todas as medições e em todos os pontos o valor de 100% de umidade relativa do ar, o que representa que o ar esteve sempre saturado.

O ambiente de caverna é por natureza úmido, sendo normalmente sua própria gênese relacionada a processos hidrológicos. O clima da região é úmido devido à proximidade do oceano. Até o ambiente em que o posto 1 foi instalado, na floresta ombrófila mista, mais especificamente próximo a um fundo de vale, é um ambiente muito úmido, pois tanto o solo como a vegetação retém umidade. Os dias anteriores e os próprios dias das medições foram também bastante úmidos, com chuva em vários períodos. Portanto, todos esses fatores justificam a saturação do ar verificada nos dados.

A condensação do vapor d'água nas paredes rochosas, decorrente da diferença de temperatura entre o ar saturado de umidade (mais quente) e a rocha (mais fria), pode ser constatado na Gruta Colorida.

Sobre as medidas de pressão efetuadas, nada pode ser concluído, pois nesta escala a variação é muito pequena, além de que seriam necessários barógrafos que medissem a pressão em cada ponto sincronizadamente, assim como os sensores, para talvez então poder ser extraído algum dado importante influente na circulação.

Segundo a classificação em zonas (LINO e ALLIEVI, 1980) ocorrem 3 níveis diferenciados, denominados zonas, que são definidas em função da interação do ambiente interno da caverna com o externo.

Zona I (entrada) – é aquela onde a luz incide direta ou indiretamente e a temperatura e a umidade relativa acompanham as variações externas.

Zona II (penumbra) – são os locais onde há

ausência de luz total ou então apenas incidência indireta, existindo, no entanto, variações da temperatura e umidade por força das correntes de ar entre os meios externo e interno.

Zona III (afótica) – é marcada pelas trevas permanentes, pela amenidade e constância da temperatura, sendo a umidade relativa muito elevada, geralmente entre 90% e 100%.

No caso da gruta Colorida, segundo características microclimáticas identificadas, o ponto onde se localiza o abrigo 2 pode ser classificado como pertencente à zona I. Os locais onde se localizam os abrigos 3 e 4 classificados como pertencentes à zona II e o ponto 5 à zona III.

CARVALHO (1994) afirma que “as perturbações da atmosfera secundária são plenamente assimiladas, embora em algumas ocasiões com um certo atraso. As maiores variações são observadas próximo das aberturas de saída e de entrada da caverna, enquanto que nas áreas mais interiores estas variações apresentaram menores amplitudes”.

Embora em grutas diferentes e tendo grande diferença de amostragem de dados, tais estudos convergem com os resultados deste, apresentando alta UR do ar, variação de temperatura maior em locais próximos às aberturas e atraso na assimilação das mudanças do tempo exterior.

Uma análise geral do gráfico de temperatura do ar (figura 2) revela esta tendência.

No gráfico é notado um decréscimo bem no começo das medições, este é provavelmente relativo não apenas à tendência diária, mas também devido a um período de adaptação dos abrigos, já que eles estavam anteriormente em locais mais quentes e, portanto, mais aquecidos do que o ambiente cavernícola.

Este gráfico também apresenta uma variação no final das linhas dos pontos 2, 3 e 4 incomum, com alternâncias consideráveis de temperatura num relativo curto espaço de tempo. Provavelmente são

devidas ou à alternância de nebulosidade, ou de correntes de ar.

Para que essa e outras dúvidas colocadas durante este trabalho talvez pudessem ser respondidas, seria necessária uma amostragem maior de dados, num período também maior, e durante várias épocas do ano.

A obtenção de dados como direção, sentido e intensidade do vento através de anemôgrafos também seriam de grande utilidade, já que como pode ser percebido, a circulação de ar dentro da gruta é um dos principais mecanismos de transmissão de calor.

Considerações Finais

Embora vários aspectos pudessem ser implantados para contribuir para melhor compreensão da dinâmica do microclima de cavernas, entende-se que o trabalho obteve êxito em seus objetivos.

O microclima da gruta pode ser caracterizado como apresentando alta UR do ar, variação de temperatura maior em locais próximos às aberturas e atraso na assimilação das mudanças do tempo exterior. Também foi detectada variação na temperatura em um dos pontos em decorrência de visita humana.

Considerando-se que ainda são poucos os estudos do microclima de cavernas, este trabalho deve servir de incentivo a futuras pesquisas sobre este ambiente tão interessante.

Deve-se lembrar que “cada caverna é única, em função de sua localização, dimensão e morfologia interna, entre outros fatores (...) e tais condições ambientais não são estáticas e sofrem alterações ao longo do tempo, dentro do contexto maior da dinâmica climática do planeta” (LINO, 2001). O microclima, por ser bastante influenciado pela circulação do ar, possui particularidades de acordo com as configurações de cada caverna.

Bibliografia

- AB’SABER, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê editorial, 2003. 159p.
- ALEY, T. De volta à primeira casa: o mundo subterrâneo das cavernas In: *Ciência e Futuro 1997*. São Paulo: Ed. Melhoramentos, 1997.
- ARMANI, G. *Interações entre a atmosfera e a superfície terrestre: variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP, 2004*. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 198f.
- AULER, Augusto Sarreiro. *Espeleologia*. Tese de doutorado.



- BEANCO, S. M. *O ambiente das Cavernas*. São Paulo: moderna, Coleção Viramundo, 2000.
- CARVALHO, S. M. Estudo de microclima subterrâneo: o exemplo da Gruta Olhos D'água – Castro (PR). In: ZAVATTINI, J. A. *Estudos do clima no Brasil*. São Paulo: Alínea editora, 2004. p. 212-213.
- GEZÈ, B. *La Espeleologia Científica*. Col. Microcosmo. Barcelona: Ed. Martinez Roca, 1968.
- GILLIESON, D. *Caves: processes, development, management*. Blackwell, 1996. 324p
- LINO, C. F. *Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo*. São Paulo: Gaia, 2001.
- LINO, C. F. e ALLIEVI, J. *Cavernas Brasileiras*. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1980. 168p.
- MONTEIRO, C. A. de F. *A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo*. Atlas. São Paulo, Instituto de Geografia/USP, 1973. 129p.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. e SENTELHAS, P. C.. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- ROCHA, B. N., LONGHITANO, G. A. e ÂNGELO FURLAN, S. Levantamento climático-faunístico da Gruta Colorida do Parque Estadual de Intervalos. In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de Biometeorologia*. Ribeirão Preto, 2006
- SÃO PAULO (Estado). *Intervalos: fundação para a conservação e a produção florestal do Estado de São Paulo*. São Paulo: A Fundação, 1994. 240p.
- SÃO PAULO (Estado). *PARQUE ESTADUAL INTERVALOS - Plano de Gestão Ambiental, Fase I*. 232 p., 1998.
- VIANA JUNIOR, O. *Hidroquímica, hidrologia e geoquímica isotópica (O e H) da fácies de percolação vadosa autogênica, Caverna Santana, município de Iporanga, Estado de São Paulo*. Dissertação (mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências/ USP, 2002. 113p.

ⁱ Trabalho apresentado no XI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica