

ESPELEO-TEMA

VOL. 19 ISSN: 0102-4701 2007

Revista dedicada ao estudo das cavernas e carste
Journal dedicated to the study of cave and karst

Publicação da Sociedade Brasileira de Espeleologia
Publication of the Brazilian Speleological Society

Diretoria para o biênio outubro/2005 – junho/2007
Bureau for the period of October, 2005 to June, 2007

Presidente / *President*: Nivaldo Colzato
Vice-presidente / *Vicepresident*: Carmen Viana
1º Secretário / *1st Secretary*: Rodrigo Faiad
2º Secretário / *2nd Secretary*: Ricardo Perez
Tesoureiro / *Treasure*: Rogério Henry B. Magalhães

Comitê Científico / *Scientific Commitee*

Dr. Álvaro Banucci Júnior, Fundação de Apoio e Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia - FUNDECT/MS, Brasil
Dr. Jadson Luís Rebelo Porto, Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Brasil
Drª. Niéde Guidon, Museu do Homem Americano, Brasil
Drª. Odete Silveira, Universidade Federal do Pará - UFPa, Brasil
Dr. Roberto Vizeu Lima Pinheiro, Grupo Espeleológico Paraense – GEP / Universidade Federal do Pará - UFPa, Brasil
Dr. Rodrigo Lopes Ferreira, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Brasil
Drª. Solange Guimarães, UNESP/ Rio Claro – Geografia, Brasil
Drª. Soraya Ayub, AKAKOR Geographical Exploring onlus - Itália
Dr. Valter Gama de Avelar, Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Brasil

Conselho Editorial / *Editorial Commitee*

Bárbara Eveline Pires Fonseca Rodrigues
Heros Augusto Santos Lobo
Jadson Luís Rebelo Porto
Linda Gentry El-Dash
Luís Afonso Vaz de Figueiredo
Marcelo Augusto Rasteiro
Nivaldo Colzato
Rubens Hardt

Diagramação / *Layout*

API Design – Tel + 55 19 3867-2502 – Jaguariúna-SP – Brasil

Impressão e Acabamento / *Printing and Finishing*

Gráfica Mundo – Tel + 55 19 3454-7708 – Limeira-SP – Brasil

Capa / *Cover*

Abrigo da Glória (Itirapina-SP – Brasil) e seu padrão estrutural. Esboço modificado de COLLET, 1980.
Abrigo da Glória Cave (Itirapina-SP – Brazil) and structural pattern. Modified from COLLET, 1980).

ÍNDICE / CONTENTS

ARTIGOS / ARTICLES

- AYUB, S. - Aplicação de rhodamina-wt no estudo hidrológico de sistemas cársticos em Iporanga, estado de São Paulo.
Use of Rhodamine-WT in the study of Hydrology of Karst systems in Iporanga, state of São Paulo, Brazil..... 1
- RIBEIRO, L.F. B; RIBEIRO, M.C. - Controle Morfoestrutural e Morfotectônico das Cavernas, Tocas e Abrigos de Ipeúna e Itirapina, SP, Brasil. *Morphostructural and Morphotectonic Control of Caves, Smaller Cavities and Rock Shelters of Ipeúna and Itirapina, São Paulo state, Brazil*..... 15
- MARCONI, S.S.; FERREIRA, R.L.; BERNARDI, L.F.O.; MARTINS, R.P. – Importação e processamento de detritos orgânicos em uma caverna Calcária. *Importation and Processing of Organic Detritus in Limestone Cave*..... 31
- SPOLADORE, A. & COTTAS, L.R. - Geologia e Controle Estrutural de Cavernas Areníticas em São Jerônimo da Serra – PR, Brasil. *Geology and Structural Control of Sandstone Caves in São Jerônimo da Serra (Paraná State, Brazil)*..... 47
- BERNARDI, L.F.O.; FERREIRA, R.L. & MARTINS, R.P - Aspectos da Ecologia de Uma População de Lasiodora Sp. (Aranae:theraphosidae) em Caverna Granítica. *Ecological Aspects of a Population of Lasiodora sp. (Aranae:theraphosidae) in Granite Cave*..... 65

Um agradecimento especial dos Editores a Linda Gentry El-Dash, pela versão em inglês dos artigos das páginas 1, 15, 31 e 65.

The editors would like to thank Linda Gentry El-Dash for the translation of the articles on pages 1, 15, 31 and 65 into English.

EDITORIAL

A Revista Espeleo-Tema é a publicação científica da Sociedade, e como tal se propõe à divulgação de artigos e trabalhos de cientistas e pesquisadores dos mais variados ramos temáticos da espeleologia.

A última edição desta revista foi em 1997. Muitos obstáculos apareceram e contribuíram para que esta obra ficasse adormecida. Isso não significou que os espeleólogos brasileiros também estiveram dormentes, mas possibilitou o amadurecimento da comunidade científica e de pesquisadores brasileiros; deu o tempo necessário para a qualificação de estudantes em mestres e doutores de várias áreas correlatas da espeleologia; ocupou-se mais espaços de divulgações na mídia nacional em vários enfoques, tanto em denúncias de destruição de Patrimônio Espeleológico Brasileiro, quanto na produção de reportagens sobre cavernas de um modo geral; os primeiros livros do tema apareceram nas livrarias; e, principalmente, ampliaram-se as descobertas de novas cavernas ou novas galerias de cavernas já cadastradas (o CNC Brasil, cadastro de cavernas da SBE, ultrapassou 4.300 registros, com destaque aos 107 km de desenvolvimento da Toca da Boa Vista, na Bahia, e aos 670,6 m de desnível do Abismo Guy Collet, na Amazônia).

Passados dez anos, as atividades da espeleologia nacional tornaram-se mais exigentes, novos equipamentos de segurança e iluminação foram desenvolvidos e/ou aperfeiçoados; instituições de pesquisa ampliaram seu envolvimento nos estudos cavernícolas; as universidades se fizeram mais presentes. Embora a política preservacionista brasileira ande na contramão, o Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (CECAV), criado no Ministério do Meio Ambiente pela provocação da Sociedade, já completou dez anos de trabalhos. Destacam-se, também, o envolvimento de novas gerações de interessados nos estudos e nas aventuras espeleológicas. Fato marcante da última década da nossa espeleologia foi a realização do 14º Congresso Internacional de Espeleologia – SPELEOBRAZIL 2001, que concentrou a comunidade científica da espeleologia internacional em Brasília e ajudou a alavancar a espeleologia brasileira.

Esta edição nasceu da predisposição de manter viva a chama do conhecimento espeleológico, de retomar os debates, de dar conhecimento de novas descobertas e divulgar as conquistas que a ciência espeleológica vem alcançando.

Esperamos que esta chama não apenas se mantenha acesa, mas que se intensifique a cada dia.

Conselho Editorial

EDITORIAL

The journal ESPELEO-TEMA is a scientific publication of the Brazilian Speleological Society, and as such, promotes the divulgation of the work of scientists and researchers in all of the myriad areas related to speleology.

The last edition of this journal was published in 1997. It has lain dormant for a variety of reasons, but Brazilian speleologists have not been asleep. This period has allowed time for the maturation of the speleological community, and many have had time to complete academic degrees, including master's and doctoral degrees, in various areas related to speleology. The first books on the topic have appeared in the bookstores, and the discovery of new caves and large chambers of already-known caves has continued unabated. In the CNC (the Brazilian National Register of Caves of the SBE) more than 4,300 caves are registered. The mapped length of the Toca da Boa Vista cave in Bahia has reached 107 km, and the depth of the Abismo Guy Collet pit in the Amazon has been determined to be 670,6 meters.

In these ten years, national speleological activities have become more demanding, new safety equipment and kinds of lighting have been developed and/or perfected; research institutes and universities have increased their involvement in the study of caves. Although public policies for the preservation of the environment have not advanced much, the National Center for the Study, Protection and Management of Caves (CECAV), created in the Ministry of the Environment after massive campaigning by the SBE, has completed ten years of work. A new generation of people interested in the study of caves and speleological adventures has arisen.

During the decade, the SBE realized the 13th International Congress of Speleology in Brasilia – Speleobrazil 2001 –, an event which brought the international scientific and speleological communities of the world together in Brasilia and gave a much-needed visibility to Brazilian speleology.

This issue of the SPELEO-TEMA was born from the desire to maintain alight the flame of speleological knowledge, providing information about new discoveries and the conquests of the science of speleology.

We hope that flame will not only stay alight, but that it will grow from day to day.

Editorial Committee

APLICAÇÃO DE RHODAMINA-WT NO ESTUDO HIDROLÓGICO DE SISTEMAS CÁRSTICOS EM IPORANGA, ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

USE OF RHODAMINE-WT IN THE STUDY OF HYDROLOGY OF KARST SYSTEMS IN IPORANGA, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

Soraya Ayub

AKAKOR GEOGRAPHICAL EXPLORING Onlus
Casella Postale 23827 - Lierna (LC) - Itália
e-mail: soraya_ayub@hotmail.com; akakor@tin.it

RESUMO

A pesquisa apresentada neste artigo fez parte da dissertação de mestrado de AYUB (1998). A determinação de parâmetros hidráulicos de aquíferos presentes em maciços carstificados que em geral são carbonáticos requer o uso de métodos diretos, principalmente no caso de estudos locais. Métodos baseados na utilização de corantes traçadores fluorescentes têm comprovado ser um grande auxílio, em muitos casos. Os resultados que são apresentados neste trabalho foram obtidos de três sistemas cársticos: Pérolas Santana, Córrego Sumido Grilo e Córrego Consteca Zezo (município de Iporanga, Estado de São Paulo).

Palavras chave: rhodamina wt, estudo hidrológico, sistemas cársticos, corantes traçadores fluorescentes.

ABSTRACT

The research presented in this paper constitutes part of a master's thesis (AYUB, 1998). The determination of hydraulic parameters of karst systems, and of carbonate rock aquifers in general, requires the use of direct methods, especially in the case of local studies. For these purposes, methods based on the use of artificial tracers have proved to be of great value in most cases. The experimental results presented here were obtained from three Brazilian karst systems: Pérolas-Santana, Córrego Sumido-Grilo, and Córrego Consteca-Zezo, all in the municipality of Iporanga in the state of São Paulo, Brazil.

Key Words: rhodamine-wt, hidrological study, karstic systems, artificial tracers.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Uma característica importante que os aquíferos cársticos apresentam é que as bacias de drenagem superficial não correspondem exatamente aos sistemas de drenagem subterrânea, tornando assim complexa a delimitação de suas áreas de recarga.

Para se resolver problemas hidrogeológicos de ordem local, em maciços carbonáticos, como por exemplo fugas d'água em barragens ou minas com inundações, pesquisas detalhadas sobre as características da rede de drenagem subterrânea são muito importantes e necessárias. Valores disponíveis sobre parâmetros hidráulicos e informações geológicas em escala regional podem apresentar aplicações limitadas, quando o estudo é local, devido à heterogeneidade dos maciços carbonáticos onde se localiza o aquífero em questão, não sendo possível tantas vezes aplicar métodos tradicionais de estudo qualitativo e quantitativo usados para aquíferos porosos essencialmente homogêneos.

A utilização de corantes traçadores fluorescentes, para a determinação das características hidrogeológicas em maciços carstificados, é de grande auxílio, uma vez que fornece como resultado a variação da concentração do corante traçador versus o seu tempo de percurso, junto a ressurgência do sistema estudado, através de curvas de recuperação de sua massa. Este método tem comprovado ser um grande auxílio para a obtenção de características

de sistemas hidrológicos como: (1) carga e recarga de água, (2) vazão, (3) reserva de água superficial, (4) tempo de residência da água subterrânea, (5) velocidade do fluxo subterrâneo, etc.

A presente pesquisa teve como objetivo, demarcar e estudar os sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo, Zezo e a bacia de escoamento superficial do rio Furnas através da utilização do corante traçador fluorescente rhodamina-wt. Com isso, pretende-se resolver questões hidráulicas como a delimitação das conexões entre as drenagens subterrâneas pertencentes a cada sistema estudado e a ligação destas com drenagens superficiais, bem como a verificação das áreas de captação de cada sistema (ver Figuras 1 e 2).

Escolheu-se utilizar o corante traçador fluorescente rhodamina-wt, principalmente por ser fotoquimicamente estável e por apresentar uma alta sensibilidade (0,1 ppb) e devido às características da área de estudo (pHs básicos entre 7,0 e 8,5 e baixa suspensão de sedimentos finos em períodos de estiagem).

2. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo é abrangida pelos mapas topográficos V11, V12, U11, U12 e W11 do DAEE (1957), todos em escala 1:10.000, situados no extremo sul do Estado de São Paulo, Vale do Alto Ribeira (figura 3.1).

As bacias hidrográficas estudadas envolvem uma área de aproximadamente 24,2 km².

O acesso à área poder ser feito a partir da capital do Estado de São Paulo, através da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116) até Jacupiranga. A partir daí toma-se uma estrada secundária até a cidade de Iporanga. Em Iporanga toma-se a estrada de terra que liga a cidade à cidade de Apiaí (SP-165). A área pode ser também atingida através da Rodovia Presidente Castelo Branco (SP-280) até a saída 129-B onde toma-se a SP-250 em direção a Apiaí. Nesta localidade toma-se a SP-165 em direção a Iporanga.

Os acessos aos pontos estudados da área é realizado por trilhas ou caminhos que partem da estrada SP-165.

3. FISIOGRAFIA E ASPECTOS GEOLÓGICOS

Na área estudada predomina um padrão geral de serras alongadas, com cristas retilíneas, entremeadas por relevos menos elevados. O relevo na área estudada é montanhoso, apresentando altitudes mais elevadas nos metassedimentos terrígenos, chegando a mais de 1.000 m na Serra da Boa Vista. É mais rebaixado nos vales existentes entre as Serras da Boa Vista, Gurutuba, da Biquinha e da Onça Parda, onde ocorrem essencialmente

metacalcários, sobre os quais, desenvolve-se relevo cárstico, apresentando dolinas, sumidouros, ressurgências e cavernas. Na superfície cárstica as altitudes médias encontram-se em torno de 700 m, tendo seus limites demarcados por sumidouros e ressurgências (KARMANN, 1994).

Os rios (rio Roncador, rio Furnas e córrego Grande) formados pelas ressurgências dos sistemas estudados (Pérolas-Santana, Grilo e Zezo respectivamente) representam tributários da margem direita do rio Betari, que por sua vez, é afluente da margem esquerda do alto a médio curso do rio Ribeira, no município de Iporanga (SP).

Os sumidouros destes sistemas localizam-se em altitudes que variam de 550 a 750 metros enquanto que suas respectivas ressurgências estão próximas do nível do rio Betari, cerca de 250 a 300 metros.

Os sistemas investigados perfazem cerca de 10 km de condutos mapeados que concentram-se nas proximidades dos sumidouros e das ressurgências.

Foram três os sistemas investigados:

Sistema Pérolas-Santana: este sistema apresenta seu sumidouro principal no córrego dos Mendes, à 150 metros da entrada da gruta das Pérolas e sua ressurgência junto à entrada da caverna de Santana. É constituído pelas cavernas Pérolas, Tobias, Laje Branca e Santana.

Sistema Grilo: constituído pela gruta do Grilo, importante surgência de água subterrânea e principal

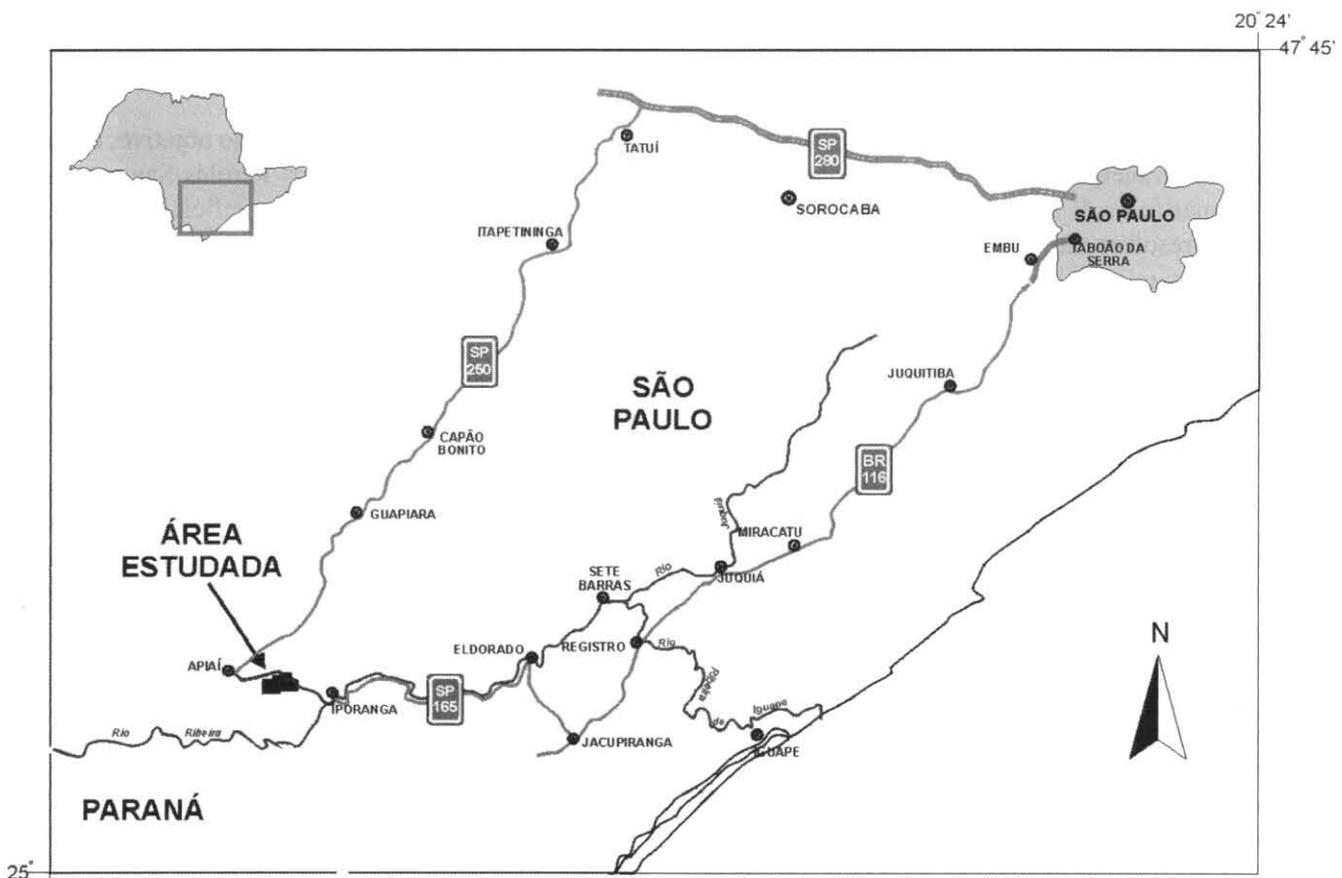


Figura 1: Localização da área.
Figure 1: Location area.

afluente do córrego Furnas. Sua área de captação e seu principal sumidouro encontram-se no córrego Sumido.

Sistema Zezo: seu principal sumidouro situa-se no córrego Consteca, apresenta sua ressurgência principal na gruta do Zezo e um sumidouro secundário próximo à nascente do rio Furnas. AYUB (1998) comprovou vazamentos para o sistema Griloe para o sistema Pérolas-Santana.

Os sistemas Pérolas-Santana, Grilo e Zezo são do tipo misto. Devido ao rebaixamento topográfico das superfícies carbonáticas em relação às rochas não calcárias circundantes, ocorre importante injeção de água alogênica em relação à recarga autogênica no aquífero cárstico do sistema Grilo.

Os sistemas cársticos investigados desenvolvem-se em calcarenitos e/ou calcilitos impuros, predominantemente calcíticos, cinza escuros, com intercalações de calcioxistos, metassilitos e filitos definidos por PIRES (1988), correspondentes às Formações Bairro da Serra e Mina de Furnas de CAMPANHA *et al* (1985, 1986). Na porção intermediária da seqüência são comuns camadas de filitos homogêneos e de calcioxistos.

4. APLICAÇÃO DA RHODAMINA-WT NO SISTEMA CÁRSTICO PÉROLAS-SANTANA

A rhodamina-wt utilizada nesta pesquisa é fabricada pela Formulabs e é apresentada na forma de tabletes (flocos), com 16% em peso. As amostras coletadas nas ressurgências numa primeira fase foram através de carvão ativo para testes qualitativos analisadas no espectrofluorímetro Perkin-Elmer MPF-2A. Numa segunda fase, para os testes quantitativos, foram coletadas amostras da água das ressurgências e analisadas no espectrofluorímetro Turner TD-700, utilizando-se filtros que permitiam passar somente o comprimento de onda da luz da rhodamina-wt.

Na primeira fase da pesquisa utilizou-se carvão ativo em amostras que eram coletadas em horários predeterminados e transportadas para o laboratório analítico do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para sua eluição e conseqüente extração da rhodamina-wt. O eluente utilizado foi a combinação de 50% de l-propanol, 25% de NH₄OH + 25% água destilada.

Os primeiros testes de troca de captosres no sistema cárstico Pérolas-Santana foram realizados no período de julho de 1996. Foram injetados 3,00 g/l (num total de 20 l) de rhodamina-wt no sumidouro principal da bacia, localizado a cerca de 150 m à montante da entrada da gruta Pérolas sendo conhecido como córrego dos Mendes.

Foram verificados os ramos direito (ponto 2, figura 2) e esquerdo (ponto 3) da drenagem da gruta Pérolas, a drenagem da gruta Tobias (ponto 4), a drenagem no fundo da caverna Laje Branca (ponto 5), os ramos direito (ponto 6) e esquerdo (ponto 7) do fundo da caverna de Santana (Figura 6), assim como, a sua ressurgência (ponto 10). Para este teste os valores de vazão, veloci-

dade e nível da água foram respectivamente: $Q = 0,2863$ m³/s, $V = 0,2323$ m/s e 19,0 cm.

Os dois ramos tributários da drenagem no início da gruta Pérolas pertencem ao córrego dos Mendes. Verificou-se que o traçador percorreu uma distancia de 150 m (distância do sumidouro do sistema Pérolas-Santana aos ramos da gruta Pérolas). Observando-se a figura 3 verifica-se que o ramo esquerdo apresenta um atraso de 80 minutos da chegada da rhodamina-wt, em relação ao ramo direito, o que sugere um fluxo mais lento de suas águas ou uma extensão maior do percurso do traçador.

A caverna Laje Branca apresentou teste negativo não comprovando ligação entre as suas águas com as das cavernas Pérolas e Tobias. Comprovou-se passagem do corante traçador no ramo Menezes e no ponto da régua na caverna de Santana. Conseqüentemente, comprovou-se sua passagem pela ressurgência do sistema, uma vez que o ponto amostrado localiza-se a apenas 150 m da entrada da caverna de Santana.

Foi realizado um teste para monitorar o trecho Pérolas-Tobias, em março de 1997, usando-se uma concentração de rhodamina-wt de 5,00 g/l, com o objetivo de detalhar o intervalo.

O nível da água foi medido em 26,0 cm equivalendo a uma vazão de 0,480 m³/s (KARMANN, 1994). Quando é possível medir diretamente a concentração de rhodamina-wt no fluxo de água amostrado, é possível quantificar a dispersão hidrodinâmica deste traçador, podendo-se obter a relação concentração versus tempo. Neste procedimento, a massa de traçador fluorescente deve ser suficiente para que não sofra uma dispersão hidrodinâmica abaixo do ponto de detecção do espectrofluorímetro (0,02 PPB). A velocidade média do fluxo da água na ressurgência do sistema foi medida resultando em 0,1893 m/s.

A figura 4 apresenta os resultados de um monitoramento da concentração de rhodamina-wt versus tempo, obtido na drenagem subterrânea da gruta Tobias.

Ao observarmos alguns aspectos deste teste, verificamos que a dispersão hidrodinâmica do corante traçador é rápida no trecho Pérolas-Tobias, que apresenta 2100 metros. Após 8 horas da injeção da rhodamina-wt fez-se a primeira coleta com resultado negativo. Entende-se como resultado negativo aquele em que não houve detecção do traçador no intervalo preestabelecido devido a baixa sensibilidade dos padrões utilizados para o teste ou do aparelho ou não passagem do traçador no ponto amostrado. Coletou-se uma segunda amostra 9 horas depois, com resultado de 0,31 ppb (0,31 . 10⁻⁶ g/l). O pico máximo para a concentração do corante traçador foi de 2,07 ppb (2,07 . 10⁻⁶ g/l). O conjunto de padrões utilizados neste teste formou o intervalo de 0,09 a 80,00 ppb com um ponto intermediário de 10,00 ppb.

O trecho Pérolas-salão Ester (caverna de Santana, figura 6) foi monitorado em abril de 1997, injetando-se uma solução com 15,0 g/l de rhodamina-wt no sumidouro principal. O nível da água na caverna de Santana durante este período foi de 24,0 cm correspondente a va-

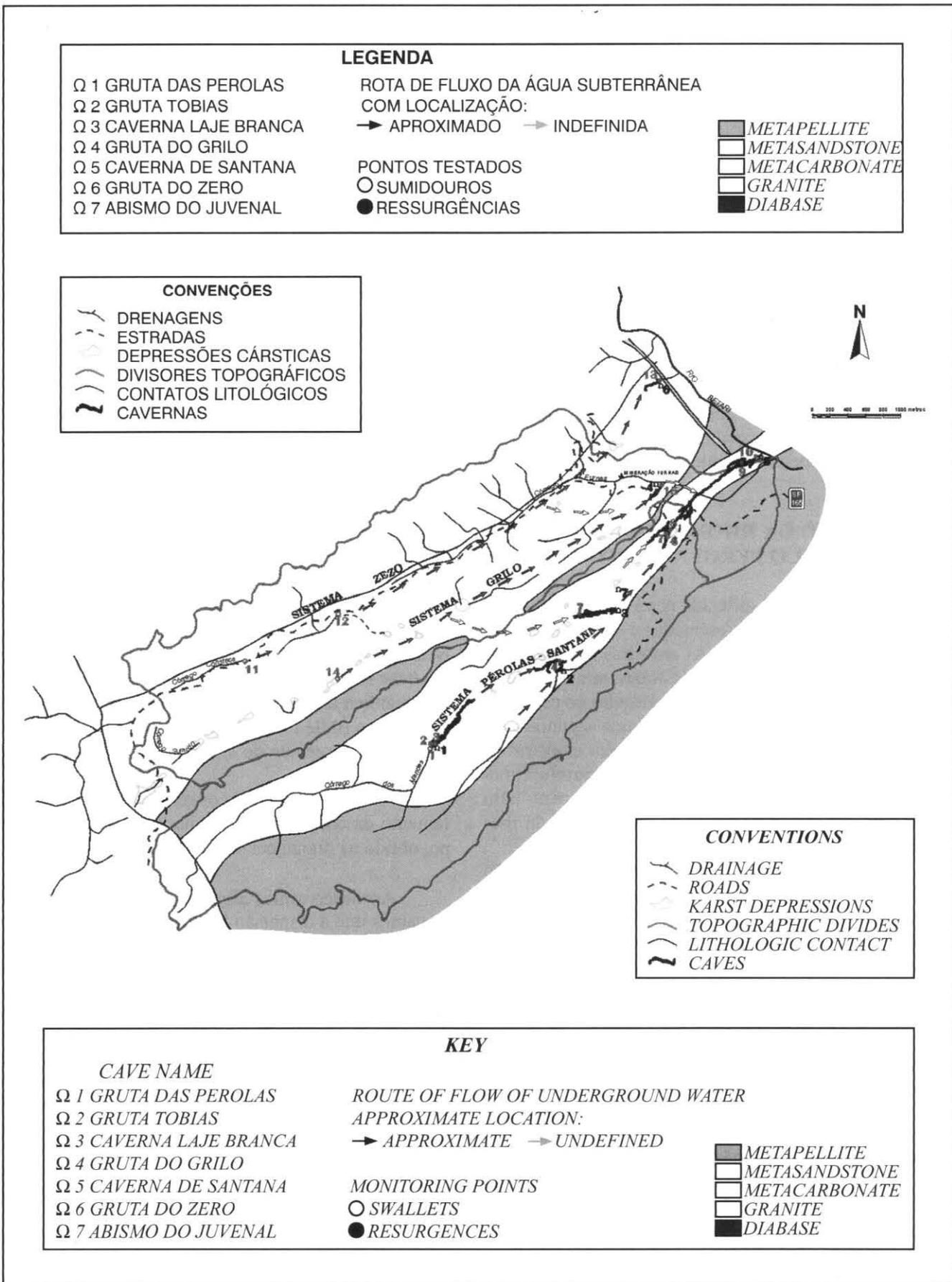


Figura 2. Mapa Hidrográfico dos sistemas cársticos Pérolas Santana, Grilo e Zezo (AYUB 1998)
 Figure 2. Hydrographic map of Pérolas-Santana, Grilo and Zezo karst systems (AYUB, 1998)

ção $Q = 0,4524 \text{ m}^3/\text{s}$ e medidas de velocidade média do fluxo resultando em $V = 0,2361 \text{ m/s}$.

Ao observarmos a figura 5, verificamos que a rhodamina-wt inicia sua passagem no salão Ester às 45:00 horas, em pequenas quantidades, tendo um grande aumento a partir de 48:00 horas e apresentando seu pico máximo às 49:00 horas. Mantém-se uma elevada concentração até às 54:30 horas, quando inicia-se sua diminuição, mantendo-se muito baixa no intervalo de 56:30 até 59:30 horas. Verifica-se assim que a passagem do corante traçador ocorre através de uma “mancha”, num intervalo de cerca de 7 horas. Cabe ressaltar que não foram realizadas coletas anteriores às 45:00 horas (primeira amostragem), não se tratando, portanto, de um valor mínimo de tempo de percurso da rhodamina-wt, para o trecho verificado.

5. PADRÃO MORFOLÓGICO DA REDE DE CONDUTOS DO SISTEMA CÁRSTICO PÉROLAS-SANTANA

Curvas que relacionam a variação da concentração do traçador com o tempo de percurso, num ponto do fluxo, permitem interpretar características gerais do padrão morfológico da rede de condutos de sistemas cársticos (ODGEN e PEARCE, 1984; JONES, 1984b; BÖGLI, 1980).

O gráfico ilustrado pela figura 7.A, por exemplo, representa uma situação de conduto simples, tipo 1, onde a “mancha” do traçador possui um máximo de concentração no centro, diminuindo simetricamente, tanto para o seu início como para o fim, refletindo um gráfico de

concentração versus tempo de percurso da rhodamina-wt semelhante a uma gaussiana padrão. Existe um outro tipo de situação, também interpretado como de conduto simples, tipo 2 (figura 7.B), onde traçador possui uma concentração maior no início da mancha (refletindo uma rápida elevação da curva) seguida pelo decréscimo lento ao longo da cauda. O tipo 1 corresponde a fluxos lentos e menos turbulentos (tendendo a laminar) enquanto que o tipo 2 é correlacionado a fluxos relativamente mais rápidos e turbulentos.

Por outro lado, se o conduto apresentar representamentos de água, formando “lagos” ou reservatórios (figura 7.C, tipo 3), haverá uma alteração no regime de fluxo. Neste caso, a concentração versus tempo atinge um valor máximo, permanecendo nesta concentração por um intervalo de tempo, caracterizando um “patamar” de concentração constante. Isto ocorre devido à homogeneização do corante, durante o represamento, no reservatório, antes de continuar o escoamento pelo conduto simples.

Um quarto caso também pode ocorrer, ilustrado pela figura 7.D, onde o sistema apresenta ramificação em duas rotas de fluxo da água, com extensões diferentes, ou velocidades diferentes. No caso apresentado pela figura 7.D, tipo 4, os dois condutos são simples, mas possuem comprimentos diferentes, onde um dos ramos representa um “atalho” para o fluxo da água. A variação da concentração versus tempo, neste caso, irá refletir a passagem de duas “manchas” do traçador apresentando um padrão bimodal de curvas, ou seja, a concentração do corante traçador de um dos condutos não chega a decrescer totalmente quando começa a ser detectada no outro conduto.

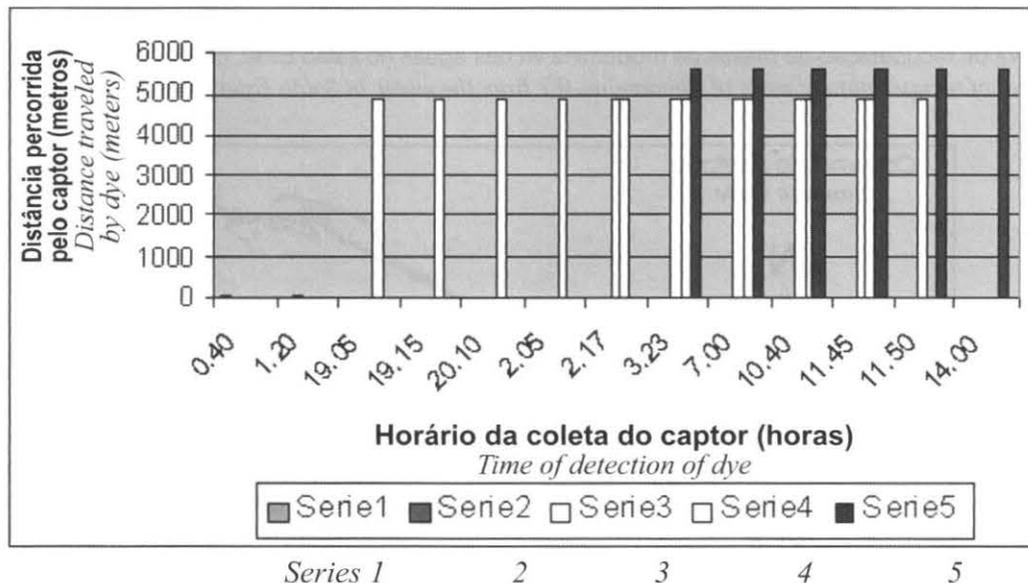


Figura 3 Pontos testados no sistema cárstico Pérolas Santana

- Série 1 Ramo direito Gruta Pérolas
- Série 2 Ramo esquerdo Gruta Pérolas
- Série 3 - Ramo Menezes, Gruta Santana
- Série 4 - Ramo das Lontras, Gruta Santana (Testes negativos)
- Série 5 - Régua, Caverna Santana

Figure 3. Points monitored in Pérolas-Santana karst system

- Series 1 - Right branch in Pérolas Cave
- Series 2 - Left branch in Pérolas Cave
- Series 3 - Menezes branch, Santana Cave
- Series 4 - Lontras branch, Santana Cave (negative results)
- Series 5 - Depth meter, Santana Cave

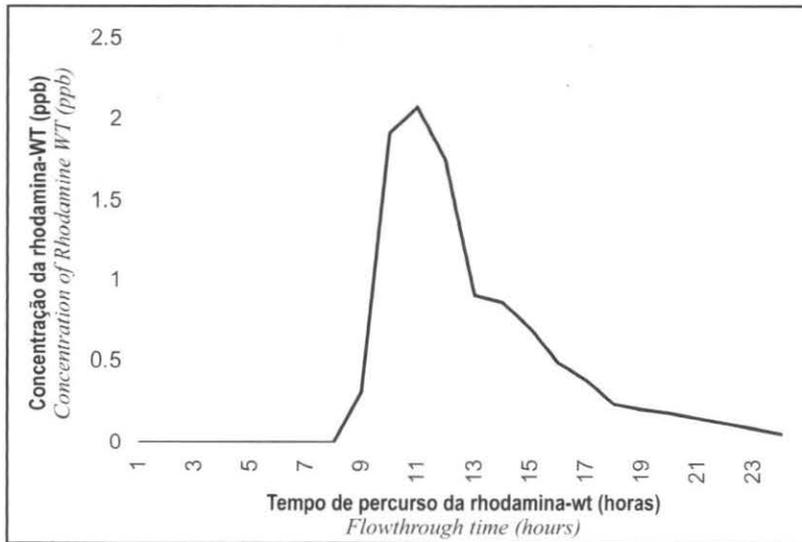


Figura 4 Curva de recuperação de massa de rhodamina wt para a gruta Tobias no sistema cárstico Pérolas Santana (AYUB, 1998)

Figure 4. Curve for recuperation of mass of Rhodamine WT in Tobias cave in Pérolas-Santana karst system (AYUB, 1998)

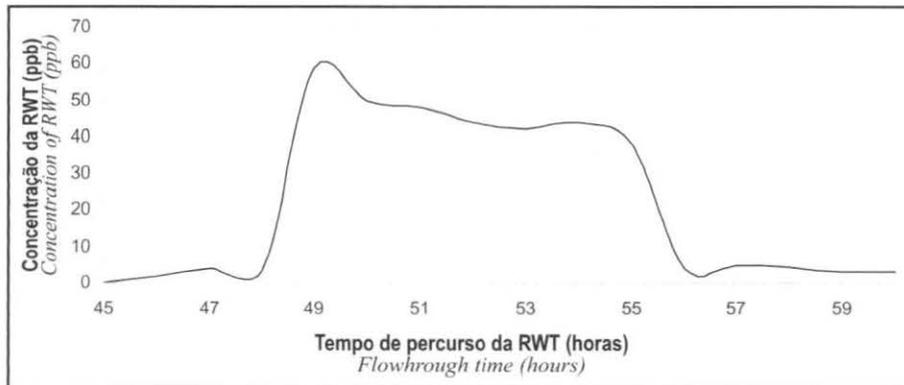


Figura 5 Curva de recuperação de massa de rhodamina wt das águas no salão Ester, caverna de Santana (AYUB, 1998)

Figure 5. Curve of recuperation of mass of Rhodamine-WT from the water in Salão Ester, Santana Cave (AYUB, 1998)

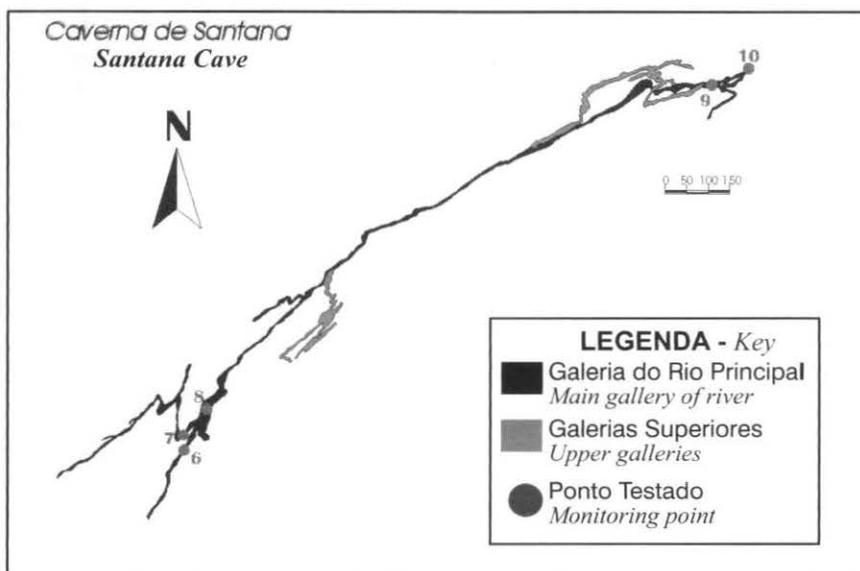


Figure 6. Pontos testados na Caverna de Santana. Projeção esquemática planta da caverna. Adaptado da base planimétrica de LEPINE (1993)

Figure 6. Points tested in the Santana Cave. Schematic projection of the cave; adapted from LEPINE (1993).

Já no caso da figura 7.E, tipo 5, a situação é de dois condutos com um represamento em um deles, apresentando curvas distintas, pois primeiro passa a “mancha” de rhodamina-wt inteiramente antes de começar a passar a outra. Observa-se que a mancha mais lenta apresenta um pequeno pico na sua curva de recuperação de massa do corante traçador correspondente ao represamento localizado em seu percurso. STANTON e SMART (1981) chamam este fenômeno de oxbow (laço de boi) em fluxos subterrâneos causados por atrasos na chegada do traçador fluorescente na ressurgência do sistema cárstico estudado.

Segundo os autores, é muito difícil que um traçador fluorescente apresente uma única curva de recuperação de massa para uma ressurgência do sistema estudado. Normalmente, o que ocorre é o aparecimento de curvas semelhantes e repetitivas à primeira, com picos máximos de intensidade de fluorescência progressivamente menores que a primeira e, com os valores do tempo de percurso progressivamente maiores que o primeiro. Ao observarmos o gráfico da figura 7.D, tipo 5, verificamos uma pequena elevação da curva no intervalo de 53:20 à 54:40 horas. Pode-se associar esta pequena elevação a um “laço de boi”, ou seja, algum represamento da água na rota de fluxo água do sistema Pérolas-Santana.

Vale lembrar que os modelos de fluxos apresentados aqui correspondem a exemplos dos casos extremos teóricos (*end members*). Em condições reais, os sistemas de condutos tendem a seguir combinações destes casos extremos, produzindo situações superpostas de condutos simples e complexos (com ramificações), com ou sem reservatórios. Portanto, modelos de gráficos simples, como os apresentados nas figuras 7.A, B, C, D e E dificilmente serão representativos de sistemas cársticos observados na natureza, uma vez que os mesmos, na sua maior parte, apresentam morfologia complexa.

A figura 4, apresenta a curva de recuperação de massa de rhodamina-wt para a gruta Tobias e mostra ascensão e diminuição muito rápidas da “mancha”, concluindo que se trata de um conduto freático simples e que também apresenta um gradiente hidráulico bastante alto. Estas características fazem com que o gráfico não apresente uma curva simétrica, assemelhando-se com curvas do tipo 2 (figura 7.B, tipo 2).

Já a figura 6 apresenta um gráfico de recuperação de massa de rhodamina-wt para o salão Ester (caverna de Santana), com uma tendência a um patamar (concentração decrescendo lentamente entre 50:00 e 53:00 horas) e uma feição semelhante a um “laço de boi”, entre 53:30 a 55:00 horas. Interpreta-se esta curva como sendo consequência da presença de represamentos ao longo da rota de fluxo. O gráfico de recuperação de massa para o Salão Ester pode ser interpretado como uma combinação dos tipos 3 e 4 (figuras 7.C e D).

As curvas de recuperação de massa de rhodamina-wt obtidas para o sistema Pérolas-Santana permitem

interpretar dois segmentos de sua rota de fluxo, com padrões morfológicos distintos. O primeiro, do sumidouro até o rio subterrâneo da gruta Tobias, com curva típica de conduto simples e fluxo turbulento, e o segundo, da gruta Tobias até o salão Ester da caverna de Santana, onde a curva é típica de conduto com ramificações e represamentos.

Vale lembrar ainda, que, para um conhecimento total de um sistema cárstico do ponto de vista hidrológico, são necessários meses de monitoramento de suas ressurgências com ensaios em variados regimes de vazão. Desta forma, obtém-se resultados mais representativos das características morfológicas do sistema cárstico estudado.

6. RESULTADOS QUALITATIVOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO NOS SISTEMAS CÁRSTICOS GRILLO E ZEZO

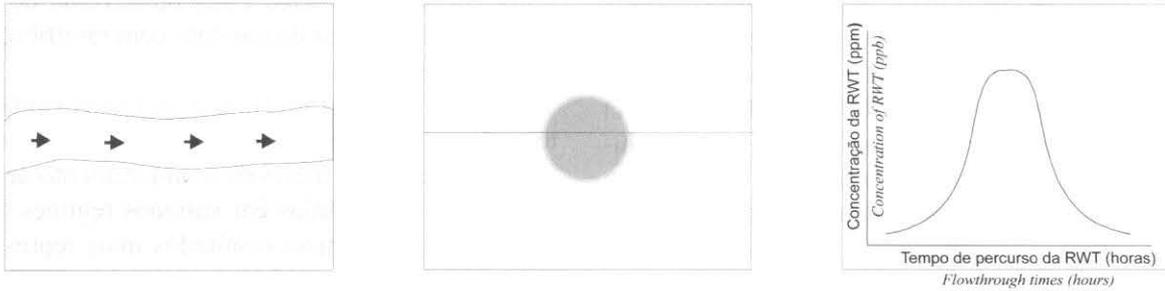
Para a determinação de conexões nos sistemas cársticos Grilo e Zezo e bacia de escoamento superficial do rio Furnas foram colocados captosres nas ressurgências das grutas Grilo e Zezo, com realização de testes qualitativos com a rhodamina-wt. Verificou-se que as águas da drenagem monitorada (córrego Constela) ressurgem nas grutas Zezo e Grilo, sugerindo uma conexão de um sistema para o outro (ver Figura 2).

Verificou-se que o leito do rio Furnas apresenta escoamento superficial tendendo a zero, ou seja, da sua cabeceira a estrada principal que liga Ipiranga a Apiaí ele é seco e quando chove as águas meteóricas infiltram-se rapidamente. Existe fluxo constante somente no afluente onde foi injetada a rhodamina-wt. O rio Furnas volta a ser perene na área da Mineração Furnas, onde quase todo seu escoamento superficial é proveniente da ressurgência da gruta Grilo, a qual é um afluente subterrâneo do rio Furnas. O rio Furnas, em superfície, cruza a caverna de Santana, onde existe a possibilidade de alguma infiltração na caverna.

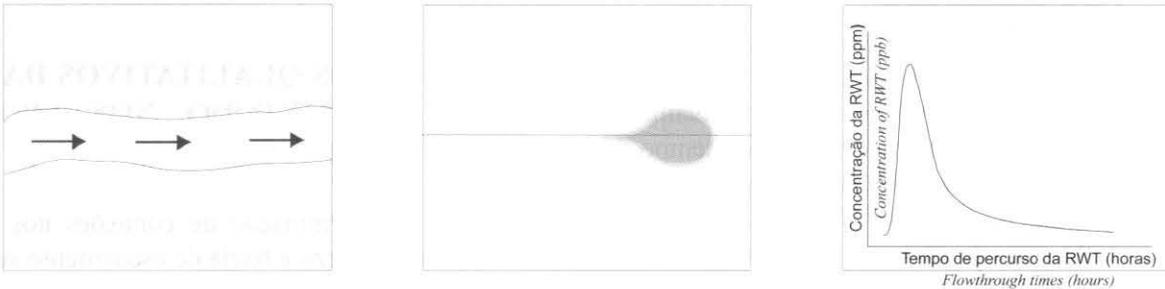
Descobriu-se que o córrego Consteca representa um possível sumidouro do sistema cárstico Zezo e, como aconteceu no teste anterior, poderia haver um outro vazamento deste sistema para o sistema Grilo. Foram injetados 4,0 g/l de rhodamina-wt no córrego Consteca, confirmando-se que representa o sumidouro principal do sistema Zezo, apresentando, também, um vazamento para o sistema Grilo. É interessante notar que a rhodamina-wt chegou nas ressurgências (grutas Zezo e Grilo) num curto período de tempo, indicando que a morfologia dos condutos de ambos os sistemas possivelmente seja de condutos simples (tipo 1 ou tipo 2).

Comprovou-se que o córrego Sumido é o sumidouro principal do sistema Grilo e que a rota de fluxo do sistema possui conexão hidráulica com o sistema Pérolas-Santana.

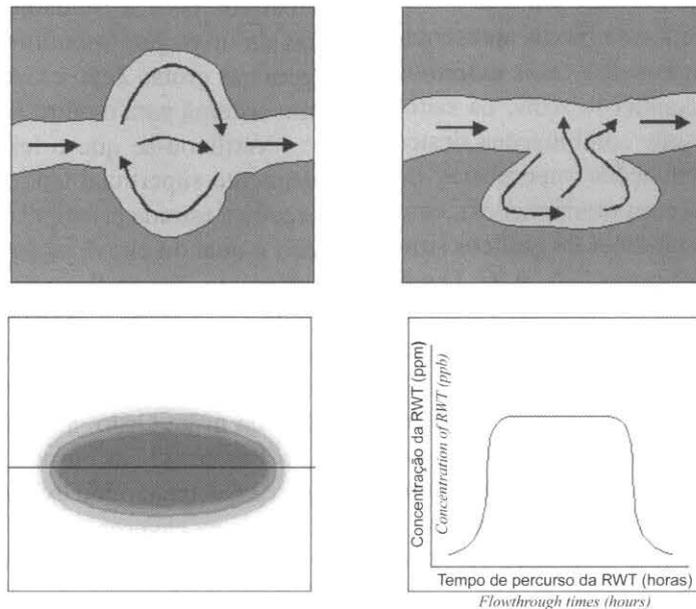
A. Tipo - Type 1



B. Tipo - Type 2



C. Tipo - Type 3



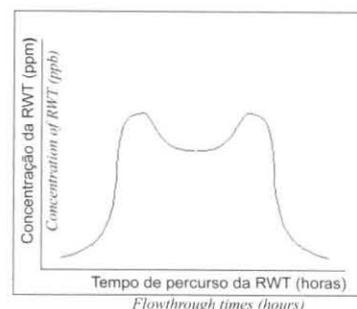
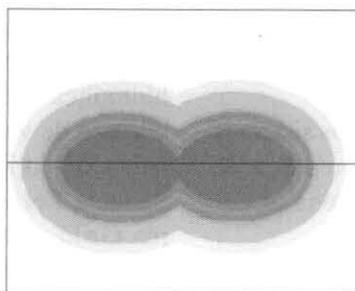
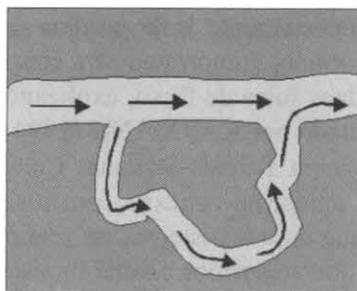
C) Sistema cárstico de conduto com reservatório
 C) Karst system with reservoir alongside the conduit

Figura 7 Representação esquemática dos padrões morfológicos de condutos interpretados a partir das curvas de recuperação de massa de RWT. Representa se, para cada tipo, um esquema de conduto, a mancha de RWT, com anéis de isoconcentração e os gráficos correspondentes.

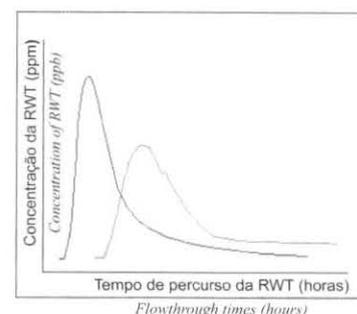
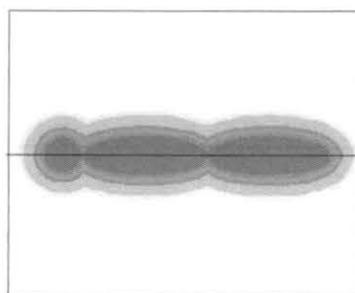
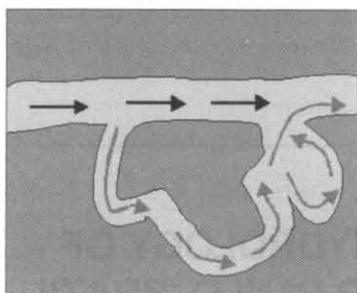
A. Sistema cárstico de conduto simples, com fluxo de água tendendo a laminar.
 B. Sistema cárstico de conduto simples, com fluxo de água turbulento (AYUB 1996).

Figure 7. Schematic representation of morphological patterns of conduits, as interpreted from the curves tracing recuperation of the mass of Rhodamine-WT. For each, a schematic drawing of the shape of the conduit, the outline of the spot of Rhodamine-WT (complete with rings indicating isoconcentrations) and the corresponding graph is provided: A) Karst system with simple conduit and a tendency to laminar flow B) Karst system with simple conduit, but with turbulent flow of the water.

D. Tipo - Type 4



E. Tipo - Type 5



Continuação da figura 7. D) Sistema cárstico de conduto com ramificação em alça, onde há diferença de tempo de percurso.

E) Sistema cárstico de conduto com ramificação em alça e represamento, onde há diferença de tempo de percurso.

Continuation of Figure 7. D) Karst system with a branched loop, leading to two distinct flowthrough times. E) Karst system with branched conduit forming a loop and a reservoir, with different flowthrough times for each branch.

7. CONCLUSÕES

A presente pesquisa possibilitou desenvolver a metodologia de aplicação de técnicas fluorimétricas em sistemas cársticos junto ao grupo de trabalhos em geologia do carste do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), inicialmente com o treinamento da técnica em laboratório analítico do IGc-USP, e posteriormente aplicada em campo, nos sistemas cársticos de Iporanga.

Com base nos trabalhos anteriores de BÖGLI (1980), STANTON e SMART (1981), ODGEN e PEARCE (1984) e JONES (1984b), foi possível contribuir na interpretação de curvas de recuperação de massa de rhodamina-wt, visando relacionar características destas curvas com padrões morfológicos dos condutos do sistema cárstico estudado.

A aplicação do método fluorimétrico nos sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo solucionou as seguintes questões referentes à conexões hidráulicas:

1. comprovou-se que o sistema cárstico Pérolas-Santana é constituído pela drenagem subterrânea que passa pelas cavernas Pérolas, Tobias e Santana. Na gruta Pérolas os dois ramos à montante do seu rio subterrâneo apresentam águas tributárias do córrego dos Mendes onde ocorre o sumidouro principal do sistema. O sistema todo é percorrido pelo traçador no intervalo de 44 a

51:20 horas, para a vazão de 0,384 m³/s (KARMANN, 1994). O trecho Pérolas-Tobias é percorrido pelo traçador entre 8 e 9:00 horas, para a vazão de 0,480 m³/s (KARMANN, 1994). A curva de recuperação de massa de rhodamina-wt para a gruta Tobias assemelha-se a uma curva do tipo 2, segundo a classificação das curvas em função da morfologia dos condutos de sistemas cársticos. A caverna de Santana apresenta o seu ramo direito (Menezes) com contribuição das águas do córrego dos Mendes, ao contrário do ramo esquerdo (das Lontras) onde não foi comprovada a passagem do traçador. A curva de recuperação de massa de rhodamina-wt do rio Roncador assemelha-se às curvas do tipo 3 e 4.

2. o sistema Grilo é demarcado pelo seu sumidouro principal, córrego Sumido, e pela sua principal ressurgência na gruta Grilo.

3. o sistema Zezo é demarcado pelo seu sumidouro principal, córrego Consteca, por um sumidouro secundário, afluente do rio Furnas, e pela ressurgência na gruta Zezo.

4. o rio Furnas, apresenta um escoamento superficial que tende a 0, até encontrar com as águas da ressurgência da gruta Grilo, próximo a mineração Furnas.

5. comprovou-se vazamentos do sistema Zezo para o sistema Grilo. Num primeiro teste foi detectado o corante traçador em menos de 49:30 horas na ressurgência da gruta Grilo. Num teste posterior, onde a rho-

damina-wt foi injetada no Córrego Consteca, o corante traçador foi detectado na ressurgência da gruta Grilo em menos de 48:00 horas.

6. comprovou-se a conexão entre o sistema Grilo e o sistema Pérolas-Santana.

7. as conexões entre as rotas de fluxo dos sistemas Zezo, Grilo e Pérolas-Santana sugerem a presença de sistemas distributários, onde um sumidouro possui conexões com mais de uma ressurgência.

8. até o presente trabalho, considerava-se os sistemas Grilo e Pérolas-Santana hidraulicamente isolados por uma camada de metapelitos, conforme representado nos mapas geológicos da área, como o de CAMPANHA et al (1987). KARMANN (1994) sugere uma possível conexão entre estes sistemas cársticos, com base numa

avaliação do balanço hídrico da bacia do sistema Pérolas-Santana, indicando possíveis discontinuidades na camada pelítica que supostamente isola os dois sistemas. Com o resultado obtido, comprovou-se a conexão hidráulica entre estas duas rotas de fluxo, explicando o excesso de vazão detectado por KARMANN (1994) no balanço hídrico do sistema Pérolas-Santana. Como o Sistema Zezo também apresenta conexão com o sistema Grilo, conclui-se que os três sistemas na realidade são um sistema único que sugerimos chamá-lo sistema Furnas-Santana.

8. REFERÊNCIAS (Vide pag. 14)

USE OF RHODAMINE WT IN THE STUDY OF HYDROLOGY OF KARST SYSTEMS IN IPORANGA, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

1. INTRODUCTION AND OBJECTIVES

One important characteristic of karst aquifers is that surface drainage does not exactly coincide with underground drainage systems; this makes it difficult to identify areas of recharge.

To deal with local hydrogeological problems in carbonate massifs, such as water loss from dammed reservoirs or flooded mines, it is necessary to undertake detailed research about the underground drainage network involved. The information available about hydraulic parameters, as well as that about the geology on a regional scale, may be of limited use for a specific local situation, due to the heterogeneous nature of the massif and the exact location, since traditional qualitative and quantitative methods were designed to deal with essentially homogeneously porous aquifers.

The use of fluorescent tracer dyes for the determination of the hydrogeologic characteristics of karstified massifs can be of great help, since dye concentration can be correlated with the flowthrough time required to reach the resurgence, using a graph to indicate mass of dye recuperated after pre determined periods of time. This method has proved to be useful for understanding various characteristics of a hydrological system, including 1) charge and recharge of the water in the system, 2) discharge, 3) surface water reserves, 4) underground residence time of water, and 5) speed of underground flow.

The present research was designed to investigate the karst systems of Pérolas Santana, Grilo, and Zezo, as well as the surface drainage basin of the Furnas River, and to trace the underground drainage patterns of each system; it also identified connections between these systems and verified the catchment basins of the

overall system by using the fluorescent dye Rhodamine WT as a tracer (Figures 1 and 2).

Rhodamine WT was chosen due to its photochemical stability and extreme sensitivity (0.1 ppb), as well as the characteristics of the study area (basic pH between 7.0 and 8.5 and limited suspension of fine sediments during dry periods).

2. LOCATION OF AREA

The area of study, portrayed by topographical maps V11, V12, U11, U12, and W11 of the DAEE (1957; scale 1:10,000), is located in the extreme southern part of the state of São Paulo in the valley of the upper Ribeira River (Figure 3.1). The hydrographic basins studied encompass an area of approximately 24.2 km². The area is reached by the Régis Bittencourt highway (BR-116) from São Paulo to Jacupiranga; from there, a secondary road leads to Iporanga, and then a dirt road in the direction of Apiai (SP-165). The area is also accessible by taking the President Castelo Branco highway (SP 280) to exit 129-B and then following SP-250 to Apiai. From Apiai, the route follows SP-165 in the direction of Iporanga. Access to the points studied involves trails and paths originating from SP-165.

3. PHYSIOGEOGRAPHICAL AND GEOLOGIC ASPECTS

In the area studied, the landscape involves a general pattern of elongated mountain ranges with straight linear crests surrounding geologic features of lower altitude. This mountainous area reveals terrigenous

metasediments at altitudes reaching 1000 meters in the Boa Vista mountain range, with the lower land in the valleys formed between the Boa Vista, Gurutuba, da Biquinha and Onça Parda ranges basically consisting of metacarbonates in which karst features have developed: dolines, swallets, resurgences and caves. The average altitude of the karst surfaces reaches approximately 700 meters; the boundaries of these are marked by swallets and resurgences (KARMANN, 1994).

The rivers (Roncador, Furnas, and Córrego Grande) formed by the systems studied (Pérolas Santana, Grilo and Zezo, respectively) are tributaries of the right bank of the Betari River, which is in turn a tributary of the left bank of the mid to upper course of the Ribeira River, in the municipality of Iporanga (SP).

The swallets of these systems are located at altitudes ranging from 550 to 750 meters, with the respective resurgences located close to the level of the Betari River, at an altitude of approximately 250-300 meters.

The systems investigated encompass approximately 10 km of mapped conduits, concentrated in the vicinity of the swallets and resurgences.

Three systems were investigated:

Pérolas Santana system. The main swallet of this system is on the Mendes creek, 150 meters from the entrance of the Pérolas cave and its resurgence at the entrance of the Santana cave. The system includes four caves: Pérolas, Tobias, Laje Branca, and Santana.

Grilo system. This system consists mainly of the underground stream flowing through the Grilo cave; this is the main tributary of the Furnas creek. The surface drainage area is that of the Sumido Creek, on which the main swallet is located.

Zezo system. The main swallet of this system is located on the Consteca Creek, with the main resurgence located in the Zezo cave; a secondary swallet is located close to the spring of the Furnas River. AYUB (1998) identified overflow from the Grilo system to the Pérolas Santana system.

The three systems are interconnected. The lower altitude topography of the carbonate surfaces in relation to the surrounding non carbonate rocks results in the important contribution of allogenic water to the recharge of the karst aquifer of the Grilo system.

The karst systems investigated developed in impure dark grey calcareous sandstone and/or calcilutites intercalated with calcareous schists, metasilites and phyllites, as defined by PIRES (1988); these correspond to the Bairro da Serra and Mina de Furnas Formations (CAMPANHA et al, 1985; 1986). In the central part of the sequence are found layers of homogeneous pelrites and calcareous schists.

4. USE OF RHODAMINE WT IN PÉROLAS SANTANA KARST SYSTEM

The Rhodamine WT used in this research was produced by Formulabs; it comes in the form of tablets (particles) and accounts for 16% by weight. The samples collected by active carbon dye detectors at the resurgences in the first phase were analyzed in a

Perkin Elmer MPF 2A spectrofluorimeter for qualitative evaluation. In the second, quantitative, phase, the samples were collected from the resurgences and analyzed in a Turner TD-700 spectrofluorimeter using filters limiting the passage of light to the wavelength of the Rhodamine WT.

During the first phase, samples were collected at pre determined times and transported to the analytic laboratory of the Geosciences Institute of the University of São Paulo for elution and subsequent extraction of the Rhodamine WT. The eluent used consisted of a combination of 50% l-propanol, 25% NH₄OH and 25% distilled water.

The first tests were conducted in July of 1996. Twenty liters (containing 3.00 g/l Rhodamine WT) were injected into the main swallet of the basin, located some 150 meters upstream from the entrance to the Pérolas cave, in what is known as Mendes Creek.

Detection points investigating the arrival of the dye were the right and left branches of the underground creek inside the Pérolas cave (Figure 2, points 2 and 3, respectively), the resurgence of the Tobias cave (point 4), and the entrance of the water at the back of the Laje Branca cave (point 5), as well as the right and left branches entering the Santana cave (Figure 6, Points 6 and 7, respectively) and point 10 at the resurgence. For this test, the discharge (Q), speed (V) and water level were 0.2863 m³/s, 0.2323 m/s, and 19.0 cm, respectively.

The two branches entering the Pérolas cave constitute a continuation of Mendes Creek. The tracer dye traveled a distance of 150 m (distance from the swallet of the Pérolas Santana system to the branches of the creek in the interior of the Pérolas cave). Figure 3 shows that the Rhodamine WT took 80 minutes longer to arrive at the left branch, which suggests a slower flow of water or a longer path.

The Laje Branca cave provided negative results for the test, proving there is no connection between the water entering it and that in the Pérolas and Tobias caves. The tracer dye did reach the Menezes branch entering the back of the Santana Cave, however, as well as the point where the depth meter is located near its entrance. Consequently, it was proved that the dye passed through the system to the resurgence, since the final point sampled is located only 150 meters from the entrance (resurgence) of the Santana cave.

Another test using a concentration of 5.00 g/l of Rhodamine WT was used to monitor the Pérolas Tobias portion of the aquifer in March of 1997.

The water level was measured at 26.0 cm, which is equivalent to a discharge of 0.480 m³/s (KARMANN, 1994). When it is possible to measure the concentration of Rhodamine WT directly in the flowing water sampled, it is possible to quantify the hydrodynamic dispersion of the tracer, thus obtaining the ratio of concentration to time. For this procedure, the mass of the fluorescent tracer must be enough for it to be detected by a spectrofluorimeter (0.02 ppb). The average speed of flow of the water at the resurgence of the system was measured to be 0.1893 m/s.

Figure 4 shows the results of the monitoring of

the ratio of concentration of Rhodamine WT/flowthrough time obtained for the underground drainage of the Tobias cave.

By observing certain aspects of this test, we were able to verify that the hydrodynamic dispersion of the tracer dye is rapid along this stretch from the Pérolas Cave to the Tobias Cave, a distance of 2100 meters. After eight hours, no Rhodamine WT had been detected at the collection point. This could be the result of a low sensitivity of the standard used for the test or of the apparatus, but it seems that the tracer had not yet reached the monitoring point. A second sample was collected 9 hours later, and it did reveal the presence of 0.31 ppb of the dye (0.31×10^{-6} g/l). The concentration of tracing dye reached a peak of 2.07 ppb (2.07×10^{-6} g/l). The set of values used to standardize this test encompass the interval from 0.09 to 80.00 ppb, with an intermediate point of 10.00 ppb.

The stretch between the Pérolas cave and the Salão Ester (in the Santana cave, Figure 6) was monitored in April of 1997 by injecting a solution of 15.0 g/l of Rhodamine WT into the main swallet. The level of the water in the Santana cave at this time was 24.0 cm, corresponding to a discharge of 0.4525 m³/s, with an average speed of flow of $V = 0.2361$ m/s.

Figure 5 shows that the Rhodamine-WT entered Salão Ester after 45 hours, but in low quantities; a large increase occurred after 48 hours, and the peak was reached after 49 hours. An elevated concentration was then maintained until 54.5 hours, at which time the quantity started to decrease; it remained very low from 56.5 to 59.5 hours. It can thus be seen that the passage of most of the tracing dye involved a period of about 7 hours. Since no collection was made prior to the first measurement 45 hours after injection, no minimum time for passage could be determined for this stretch of the aquifer.

5. MORPHOLOGICAL PATTERN OF THE NETWORK OF CONDUITS OF THE PÉROLAS SANTANA KARST SYSTEM

Curves relating variation in dye concentration to flowthrough time at a single point in the system make it possible to interpret general characteristics of the morphological pattern of the network of conduits of that karst system (ODGEN and PEARCE, 1984; JONES, 1984b; BÖGLI, 1980).

The graph in Figure 7A, for example, represents the situation of a simple (Type 1) conduit, where the spot of tracer has a maximum concentration in the center, and decreases symmetrically in all directions; this pattern resembles a Gaussian curve. There is another situation also involving a simple conduit (Type 2; Figure 7B) where the tracer has a greater concentration at the front of the spot (reflecting a rapid elevation of the curve), followed by a slow decrease along the tail. Type 1 curves correspond to slow, less turbulent flows (tending to laminar flows) while Type 2 curves are related to relatively more rapid and turbulent flows.

On the other hand, if the conduit has constrictions,

the water will back up, forming "lakes" or reservoirs (Fig. 7C); this will result in a change in the pattern of through flow. In this case, the curve of concentration vs. time will achieve a maximum value and remain at this level for a certain interval of time (constant concentration level). This occurs due to the homogenization of the dye during the time spent in the reservoir prior to the continuation of its flow through the simple conduit.

A fourth case is illustrated in Figure 7D, with the system branching into two routes, each involving either a different length or a different speed of flow. In this case, the two conduits are both simple (Figure 7D, Type 4), but one is longer than the other, with one of the branches representing a shortcut for the flow of water. The variation in concentration vs time in this case will reflect the passage of two spots of tracer, i.e., a bimodal curve, since the concentration of the tracing dye in the first of the conduits has not totally evacuated the passage when that flowing through the second conduit arrives.

For caves such as that illustrated in Figure 7E, Type 5, with two conduits, and a reservoir alongside one of them, two distinct curves are generated, since the first spot of Rhodamine WT has passed completely before the second appears. It can be seen that the slower spot reveals a small peak on the curve showing recuperation of the mass of the tracing dye, which corresponds to the residence time in the reservoir beside the conduit. STANTON and SMART (1981) call this phenomenon an oxbow in underground flows; it causes a delay in the arrival of the fluorescent tracer at the resurgence of the karst system.

According to STANTON and SMART (1981), it is very difficult to get a single curve for the recuperation of the mass of a fluorescent tracer dye at a resurgence of a system. Normally, what happens is that curves similar to that in 7A are observed, with a series of peaks of intensity of fluorescence, each one lower than the one before, but with gradually increasing flowthrough times. The graph in Figure 7D, Type 5, shows a small elevation of the curve during the interval from 53.2 and 54.4 hours, which can be associated with an oxbow in the Pérolas Santana system, i.e., a backing up of the water along the route of flow.

It is worth remembering that the flow models presented here correspond to theoretical end members. Under real conditions, the systems of conduits tend to involve various combinations of these extreme cases, producing situations which combine both simple and complex (branched) conduits, both with and without reservoirs. Therefore, simple graphs, such as those presented for the models in Figures 7 A, B, C, D and E, are unlikely to be found exactly in naturally occurring karst systems, since the morphology is generally more complex.

Figure 4 presents the curve for the recuperation of the mass of Rhodamine WT for the Tobias cave, with a rapid increase and subsequent decrease in the dimensions of the spot, suggesting that the conduit is a simple freatic conduit with a large hydraulic gradient (and consequent turbulent flow). This is seen in the skewed curve obtained, similar to what is seen for the model of

Type 2 conduits (Figure 7B).

Figure 6 provides the curve for the recuperation of the mass of the Rhodamine WT for the Salão Ester (Santana cave), showing a tendency to form a plateau (very gradual decrease in concentration during the period from 50 to 53 hours) and a feature resembling an oxbow from 53.5 to 55 hours. This part of the curve was interpreted as the consequence of the presence of water backup along the route of flow. The graph for the recuperation of the mass of the dye for Salão Ester can thus be interpreted as a combination of the third and fourth types of flowthrough (Fig. 7C and D).

The curves for the recuperation of Rhodamine WT obtained for the Pérolas Santana system thus suggest the presence of two distinct segments, each with unique morphological patterns in the route of flow. The first, from the swallet to the underground creek in the Tobias cave, reveals a curve typical of a simple conduit with turbulent flow, while the second, from the Tobias cave to Salão Ester in the Santana cave, shows a curve typical of a conduit with branching and constrictions and the backing up of water in reservoirs.

Although the complete picture of the hydrologic system of a karst system would require months of monitoring of resurgences, and independent tests involving various levels of discharge in the system, the results reported here are considered to represent the typical flowthrough and, consequently, the basic morphology of the karst system involved.

6. QUALITATIVE RESULTS OF THE USE OF THE METHOD IN THE GRILLO AND ZEZO KARST SYSTEMS

To identify possible connections between the Grilo and Zezo karst systems and between them and the surface drainage of the Rio Furnas, dye detectors were placed in the resurgences of the Grilo and Zezo caves, and qualitative tests of Rhodamine WT were made.

The Consteca creek was found to lead to a possible swallet of the Zezo karst system; moreover, there may be a diversion of water into the Grilo system. Rhodamine-WT (4.0 g/l) was injected into the Consteca creek, and the results confirmed that it leads to the main swallet of the Zezo system, but that there is also a connection with the Grilo system (Figure 2). It is interesting to note that the Rhodamine WT arrived at the resurgences in the Zezo and Grilo caves in a short period of time, indicating that the morphology of the conduits of the two systems may involve simple conduits (Type 1 or 2).

The Sumido creek proved to be the main swallet of the Grilo system; moreover, there is a hydraulic connection between the route of flow of this system and the Pérolas Santana system.

The Furnas River provides practically no surface drainage, i.e., it is dry from its head to the main road linking Iporanga to Apiaí, and when it rains, the rainwater infiltrates rapidly. The only perennial flow is found in the tributary where the Rhodamine WT was injected. The Furnas River does return to the status of a perennial river in the area of the Furnas quarry, however, with almost all

of the surface drainage coming from the resurgence of the Grilo cave, so that the underground creek involved is actually a tributary of the Furnas River. On the surface, the Furnas River flows across the top of Santana Cave, and it is possible that some infiltration takes place into this cave and the Pérolas Santana system.

7. CONCLUSIONS

This study helped test the use of fluorimetric techniques in karst systems. Initially the methodology was trained in the analytical laboratory of the Institute of Geosciences of the University of São Paulo, and then applied in the field in the karst systems of Iporanga.

Given the previous work of BÖGLI (1980), STANTON and SMALL (1981), ODGEN and PEARCE (1984), and JONES (1984b), it was possible to interpret the curves of the recuperation of the mass of Rhodamine WT and relate the characteristics of these curves to the morphological patterns of the conduits in the karst system studied.

The use of the fluorimetric method in the karst systems of Pérolas Santana, Grilo and Zezo resolved the following issues about hydraulic connections:

1. It proved that the karst system of Pérolas Santana is constituted by an underground drainage system encompassing the flow of water through the caves of Pérolas, Tobias and Santana. In the Pérolas Cave, the two branches of the underground creek are linked to Mendes creek, where the main swallet of the system is located. The system as a whole was traversed by the tracer in a period of 44 to 51.3 hours, at a discharge rate of 0.384 m³/s (KARMANN, 1994). Passing through the Pérolas Tobias stretch requires from 8 to 9 hours at a discharge rate of 0.480 m³/s (KARMANN, 1994). The curve for the recuperation of Rhodamine WT in the Tobias cave is of Type 2, in the classification linking recuperation curves to the morphology of the conduits of karst systems. In the Santana cave, it was shown that the right branch (Menezes) receives water from Mendes Creek, although the left branch (das Lontras) did not reveal the presence of the tracer. The curve for the recuperation of Rhodamine WT in the Roncador River was similar to that of a combination of what would be expected for Types 3 and 4.

2. The Grilo system is delimited by its main swallet, on the Sumido creek and by the main resurgence in the Grilo cave.

3. The Zezo system is delimited by the main swallet on the Consteca creek and a secondary swallet from a tributary of the Furnas River, as well as by the resurgence in the Zezo cave.

4. The Furnas River has practically no surface drainage until it meets with the resurgence waters of the Grilo cave near the Furnas quarry.

5. Connections between the Zezo and Grilo systems were identified. The first test detected the presence of the tracing dye in less than 49.5 hours at the resurgence of the Grilo cave. In a later test, when the Rhodamine WT was injected into the Consteca creek, the dye was detected in the resurgence in Grilo cave in less than 48 hours.

6. A connection between the Grilo and Pérolas-Santana systems was identified.

7. The connections between the routes of flow of the Zezo, Grilo and Pérolas Santana systems suggest the presence of systems of distribution, with a single swallet being connected to more than one resurgence.

8. Although in the past the Grilo and Pérolas Santana systems were considered to be hydraulically isolated by a layer of metapellites, as suggested on the geological maps of the area, such as that of CAMPANHA et al. (1987), KARMANN (1994) suggested a possible connection between the two systems on the basis of

an evaluation of the hydric balance of the basin of the Pérolas Santana system and hypothesized possible discontinuities in the pelitic layer supposedly isolating the two systems.

The results obtained here prove this connection between the two routes of flow and provide an explanation for the excess in discharge of the Pérolas Santana system detected by KARMANN (1994). Since the Zezo system is also connected to the Grilo system, it has been concluded here that the three systems are actually a single system, which we suggest calling the Furnas Santana system.

8. BIBLIOGRAPHY

AYUB, S. (1998). **Aplicação do corante traçador fluorescente rodamina-wt no estudo hidrológico e hidrogeológico dos sistemas cársticos Pérolas-Santana, Grilo e Zezo, município de Iporanga, estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 104 p..

BÖGLI, A. (1980). **Karst hydrology and physical speology**. Berlin, Springer Verlag, 284 p..

CAMPANHA, G. A. C.; BISTRICHI, C. A. & ALMEIDA, M. A. (1987). Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Apiaí. **Atas... Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia**, 3, SBG, Curitiba, 2:725-742.

JONES, W. K. (1984b). Analysis and interpretation of data from dye tracer tests in karst areas. **National Speleological Society Bulletin**, 46:41-47.

KARMANN, I. (1994). **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do Alto Vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 228 p..

OGDEN, A. E.; PEARCE, E. W. (1984). A comparison between fluorescent dye and amorphous silica for groundwater tracing. **National Speleological Society Bulletin**, 46:36-40.

STANTON, W. I.; SMART, P. L. (1981). Repeated dye traces of underground streams in the Mendip Hills, Somerset. **Proceedings University Bristol Speleological Society**, 16(1):47-58.

CONTROLE MORFOESTRUTURAL E MORFOTECTÔNICO DAS CAVERNAS, TOCAS, ABRIGOS DE IPEÚNA E ITIRAPINA-SP, BRASIL

MORPHOSTRUCTURAL AND MORPHOTECTONIC CONTROL OF CAVES, SMALLER CAVITIES AND ROCK SHELTERS OF IPEÚNA AND ITIRAPINA, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Luiz Felipe Brandini Ribeiro (1)

Marli Carina Siqueira Ribeiro (2)

(1) Prof. Dr. Geomorfologia UNESP-Rio Claro/SP - SBE: nº1063
Av. 1A – 915-Cidade Nova Rio Claro-SP. CEP:13506 -785
e-mail: lfbrvm@yahoo.com.br

(2) Doutoranda em Geologia Regional e
Laboratório de Traços de Fissão e Cronometria
Av. 1A – 915- Cidade Nova Rio Claro-SP. CEP:13506 -785
e-mail: marlicarina@yahoo.com.br

RESUMO

As cavernas, tocas e abrigos da região de Itaqueri da Serra, Ipéuna, São Pedro e áreas adjacentes, são constituídas em sua maioria por arenitos e raras ocorrências em lateritas. Sua origem se dá por percolação de água e abatimento do teto. Entretanto sua origem e evolução mostram se fortemente controladas pela morfoestrutura associada a reativação de falhamentos e por uma complexa interação entre fraturas e planos de estratificações cruzadas. Neste artigo foram estudadas várias cavernas, representativas de diversas regiões da Cuesta. Entre elas as cavernas conhecidas do Fazendão, Paredão, Boca do Sapo, e Abrigo da Glória (na Serra de Itirapina); os abrigos do Roncador (Analândia SP), Santo Urbano (Corumbataí SP), Rochedo (Itirapina SP), Abrigo da Chuva (Itirapina SP) e as tocas: Toca do Ninho, Toca do Bauru, Toca do Morcego (Itirapina). Foram utilizadas metodologias modernas de análise estrutural e plotagem das principais direções morfológicas, como condutos, fraturas e sets de cruzadas, mostrando que existe uma interrelação entre o desenvolvimento das cavernas e o controle tectônico. As cavidades apresentaram direções preferenciais de condutos, falhas, fraturas com orientação (N30), (N280) e (N30-50) e algumas tocas apresentaram condutos principais orientados para (N270-285). Estas direções foram correlacionadas com os grandes alinhamentos de caráter regional, e mostraram que estão controladas pelas reativações da falha de Areado e Jacutinga, abaixo da bacia do Paraná, soerguimentos e processos tectônicos relacionados. Assim foi possível "datar" a provável formação e deformação das cavidades, onde as cavernas mais antigas são as mais labirínticas, as tocas e abrigos são mais recentes.

Palavras chave: Controle Estrutural; Espeleogênese, Pseudocarste..

ABSTRACT

The caves, smaller cavities and rock shelters of the Itaqueri mountain range, Ipeúna, São Pedro, and adjacent areas, are formed largely in sandstone, with rare caves in iron-rich laterite; these are formed by the percolation of water and the breakdown of the roof. The origin and evolution are shown to be strongly controlled by morphostructure and triggered by the reactivation of ancient faults and the complex interaction between fractures and cross lamination planes. In this article, various caves representative of the mentioned region were studied, including the caves known as Fazendão, Paredão, Boca do Sapo, and Abrigo da Glória (in the Itirapina Mountain range); the rock shelters of Roncador (in Analândia), Santo Urbano (in Corumbataí), da Chuva (in Itirapina), and do Rochedo (Itirapina), as well as the smaller cavities (tocas) do Ninho, do Bauru, and do Morcego (all located in Itirapina). Modern methods of structural analysis and mapping of the principal direction of morphological development (such as conduits, joints, and cross lamination) show an interrelationship between cave development and tectonic control. The cavities presented preferential orientation of conduits, faults and joints in directions of N30, N280 and N30-50, with that of some of the smaller cavities revealing an orientation to the WNW of N270-285; these directions correlate with regional alignments, apparently controlled by the reactivation of the Areado and Jacutinga faults beneath the Paraná Basin involving uplifting and related tectonic processes. It is thus possible to "date" the probable formation and deformation of the cavities, with the older caves tending to constitute mazes, while rock shelters and the smaller cavities are of more recent origin.

Key Words: Structural Control; Speleogenesis, Pseudokarst

1. INTRODUÇÃO

Em rochas areníticas e lateríticas, o padrão de fraturamento, as juntas e as falhas são um fator importante na formação de uma caverna e de uma toca, principalmente na extensão de condutos, e em abrigos, no pré-controle da alteração e erosão formando feições únicas e com pouca extensão, do tipo de *Tafoni* em rochas graníticas, pequenas cavidades (TWIDALE, 1973; WRAY, 1997; TWIDALE, 2005). Existem exceções, como é o caso da caverna das Bromélias, em Minas Gerais, que é de grande extensão (CORREA NETO & CORREA, 1994).

As cavernas em arenito foram formadas pelo resultado da infiltração e escoamento das águas superficiais (“run-off”) nas proximidades das escarpas e percolação e infiltração de águas nos planos de falha, fraturas e encontros de sets de cruzadas, com a conseqüente remoção e dissolução do material, por vezes formando espeleotemas de carbonato de cálcio em planos de fratura (WERNICK *et al*, 1976; VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). Depois de um alargamento inicial, a caverna se desenvolve por “arenisation” e em seguida por “piping”, primeiro de poucos centímetros, depois metros. Os níveis de escoamento lateral das águas de infiltração podem ser, possivelmente, controlados por níveis mais permeáveis no arenito (encontro de sets de cruzadas), estes, às vezes marcados por níveis mais argilosos (explica a deposição de areia úmida em alguns salões) e por fim a queda de blocos (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994; RIBEIRO *et al*, 1994).

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área localiza-se nas proximidades dos municípios de Rio Claro, São Pedro, Ipeúna e Analândia, no centro sul do estado de São Paulo (Figura 1). As cavidades estão localizadas nas vertentes das Serras de Santana, Itaqueri e São Pedro que por sua vez pertencem à feição geomorfológica Cuestas (composta por arenito e basalto) (Figura 1).

3. GEOLOGIA REGIONAL

A geologia onde estão localizadas as cavidades é representada basicamente, da base para o topo, pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, que compõem o Grupo São Bento, evidenciando uma sedimentação exclusivamente continental, em clima árido a semi-árido, encerrada por amplo vulcanismo basáltico, durante o Mesozóico (Figura 1); particularmente acima dos basaltos ocorrem os conglomerados da base do Grupo Bauru, Formação Itaqueri (onde ocorre a Toca do Piping, próximo a São Pedro).

FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

Esta formação é constituída por um pacote de espessos corpos de arenito esbranquiçado, amarelado e avermelhado, de granulometria fina a média, com finas intercalações de siltito e argilito, e, localmente com níveis conglomeráticos. Apresentam estratificações cruzadas de grande e de médio porte (SCHOBENHAUS, 1984). Regionalmente aflora nas regiões de Rio Claro, Ipeúna, Corumbataí, Charqueada e São Pedro (Figura 1). As tocas de Analândia e Corumbataí estão localizadas na Formação Pirambóia.

FORMAÇÃO BOTUCATU

Esta formação foi definida por CAMPOS (1889 *apud* SCHOBENHAUS, 1984), constituída de arenitos vermelhos a rosados, bimodais, de granulometria fina a média, muito silicificado, com estratificação cruzada de grande e médio porte. Suas características indicam deposição eólica em ambiente desértico, com contribuição de sedimentação fluvial na parte basal (SCHNEIDER *et al*, 1974). Diversos autores atribuem uma idade Jurássica baseada em correlações estratigráficas (Figura 1). A maioria das cavernas estudadas se localiza nesta formação.

FORMAÇÃO SERRA GERAL

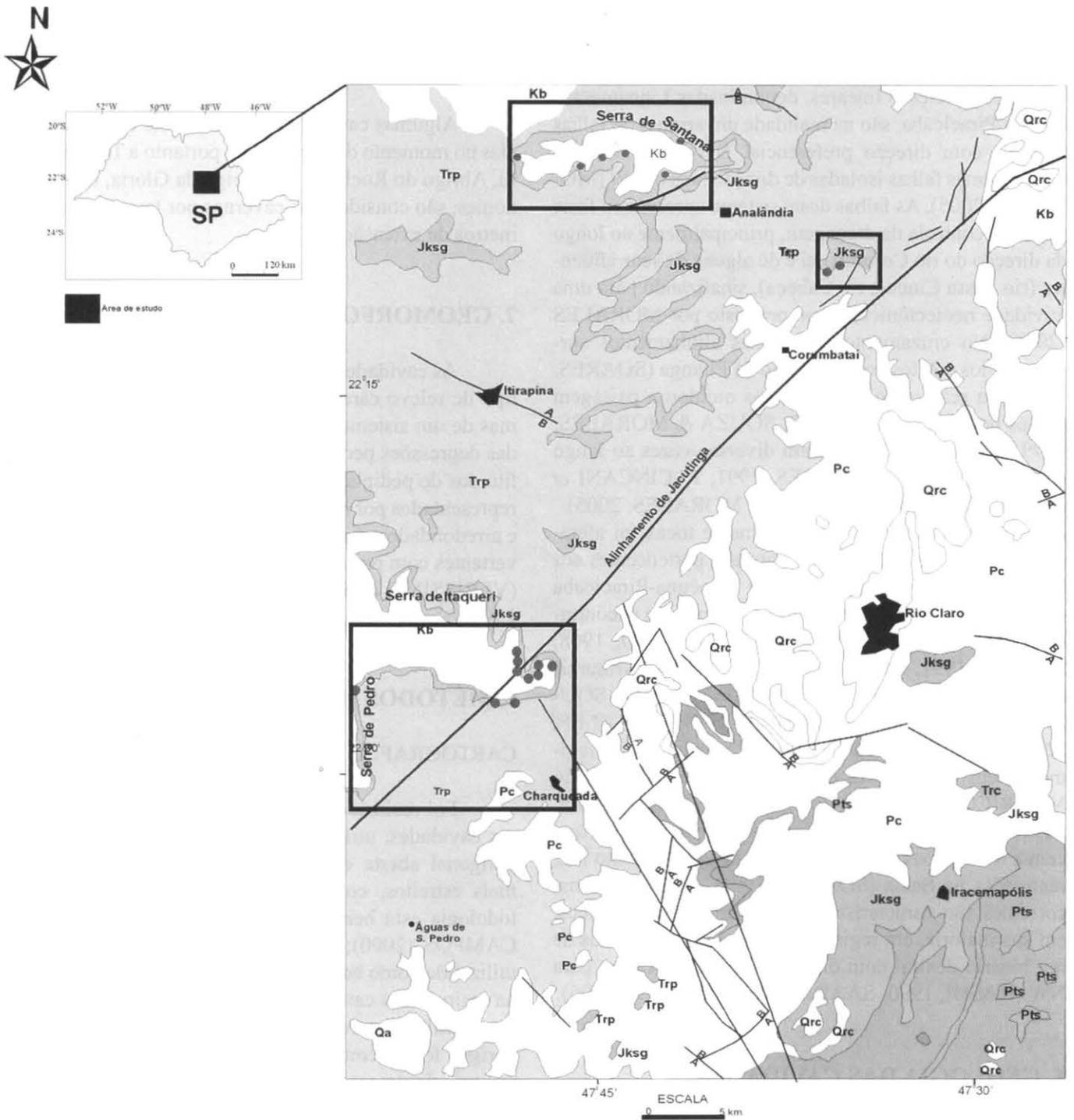
É constituída de basaltos e diabásios, foi definida por (WHITE, 1908 *apud* SCHOBENHAUS, 1984), apresenta-se em pequenos seixos e matacões com vestígios de acebolamento e fraturas conchoidais, indicando alto grau de intemperismo. Sua textura é afanítica, muitas vezes confundido com o arenito. Encontram-se cristais de quartzo subédricos e calcedônia. Dados radiométricos existentes indicam idade oscilante entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior (CORDANI & VANDOROS, 1967). Existem poucas cavernas no basalto.

GRUPO BAURU - FORMAÇÃO ITAQUERI

A Formação Itaqueri é constituída pela alternância de bancos de arenito silicificado e com crostas ferruginosas, lamitos e conglomerados, indicando um sistema de leques aluviais, representando um ambiente de alta energia e sugerindo condições de clima semi-árido (ZAINÉ, 1996; SCHNEIDER, 1974). A caverna Toca do Piping é formada nestas crostas ferruginosas (RIBEIRO *et al*, 1999).

4. ESTRUTURAS REGIONAIS

A bacia do Paraná é marcada por um padrão de



LEGENDA - KEY

	Localização das cavernas, tocas e abrigos Location of caves, smaller cavities and rock shelters	CENOZÓICO - CENOZOIC	PALEOZÓICO - PALEOZOIC
	Cidades - Cities	QUATERNÁRIO - QUATERNARY	GRUPO PASSA DOIS - PASSA DOIS GROUP
		Qa Quaternário - Quaternary	Pc Formação Corumbatai - Corumbatai Formation
		Qrc Formação Rio Claro - Rio Claro Formation	Pl Formação Corumbatai - Corumbatai Formation
		MESOZÓICO - MESOZOIC	GRUPO TUBARÃO - TUBARÃO GROUP
		Kb Formação Bauru - Bauru Formation	Pts Formação Corumbatai - Corumbatai Formation
		GRUPO SÃO BENTO - SÃO BENTO GROUP	Cpi GRUPO ITARARÉ - ITARARÉ GROUP
		Jksg Formação Serra Geral - Serra Geral Formation	
		Jkb Formação Botucatu - Botucatu Formation	
		Trp Formação Pirambóia - Pirambóia Formation	

Figura 1: Localização das cavernas, tocas e abrigos estudados neste trabalho e os principais alinhamentos e falhamentos.
Figure 1: Location of caves, smaller cavities and rock shelters studied and the main alignments and fractures

feições lineares em forma de “X”, dividido em 3 direções principais NW-SE, NE-SW e E-W, sendo a maioria a continuação das diversas falhas reativadas sob a Bacia (ZÁLAN *et al*, 1987).

Estas feições lineares, denominadas Lineamentos Ipeúna-Piracicaba, são na realidade um arranjo de falhas normais com direção preferencial NW-SE e NE-SW, com algumas falhas isoladas de direção N-S e E-W (MORALES, 2005). As falhas deste sistema apresentam forte papel no controle de drenagem, principalmente ao longo da direção do rio Corumbataí e de alguns de seus afluentes (rio Passa Cinco e rio Cabeça), sinalizando para uma atividade neotectônica, como proposto por MORALES (2005). No cruzamento entre estes alinhamentos surgem domos e Altos como o domo de Pitanga (SOARES, 1974) e a reativação dessas falhas moldou a paisagem desses domos (SOUZA, 1997; SOUZA & MORALES, 1999). Essas falhas reativaram diversas vezes ao longo do tempo geológico (SOARES, 1991; FACINCANI *et al*, 2001; RICCOMINI *et al*, 1996; MORALES, 2005). A região onde se situam as cavernas e tocas foi afetada por falhas transcorrentes e normais, pertencentes aos lineamentos de Areado, Jacutinga e Ipeúna-Piracicaba descritos e comentados por muitos autores que encontraram evidências geomorfológicas (PENTEADO, 1968; SOARES, 1991; FACINCANI *et al*, 2001) e estruturais (RIBEIRO *et al*, 1994; RICCOMINI *et al*, 1996; SOUZA, 1997; SOUZA & MORALES, 1999; MORALES, 2005). As falhas de caráter normal pertencem ao regime distensivo da época da abertura continental (= 126 Ma) (RICCOMINI *et al*, 1996; SOUZA & MORALES, 1999; MORALES, 2005). Essas falhas também pertencem a reativações de antigas zonas de cisalhamento NE, reativadas na Bacia (SOARES, 1991). As falhas transcorrentes são características de eventos neotectônicos, em sua maioria, em regime sinistral que são reflexos de um binário dextral com direções de maior esforço para NW (HASUI, 1990; SAADI, 1993; MORALES, 2005).

5. GEOLOGIA DAS CAVIDADES

As maiorias das cavidades ocorrem nos sedimentos da formação Botucatu, salvo a toca do Piping que se situa na formação Itaqueri. A maioria das cavidades apresenta estruturas em abóbada, indicativas de um plano de falha central, com constantes quedas de bloco (RIBEIRO *et al*, 1994, 1997; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001).

A caverna do Fazendão e abrigo da Glória e a caverna do Paredão são controladas por mais de uma interação de falhas. Estas obedecem ao padrão de fraturamento de RIDELL, onde a interação de duas ou mais falhas interagem em uma rede complexa de fraturas, onde, em cada fratura aparece um conduto da caverna (RIBEIRO *et al*, 1994; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001;

RIBEIRO *et al*, 2005).

6. NOMENCLATURA DAS CAVIDADES

Algumas cavernas possuem nome que foi dado a elas no momento da exploração, portanto a Toca do Bauru, Abrigo do Rochedo e o Abrigo da Glória, apesar dos nomes, são consideradas cavernas por terem mais de 15 metros de extensão.

7. GEOMORFOLOGIA

As cavidades se encontram no relevo das Cuestas, tipo de relevo caracterizado como um conjunto de formas de um sistema complementar de relevo nas bordas das depressões periféricas. Na área os relevos são constituídos de pediplanos sustentados por maciços básicos, representados por morros testemunhos, topos aplainados e arredondados. As principais cavernas localizam-se nas vertentes com perfis retilíneos e nas escarpas festonadas (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994; RIBEIRO *et al*, 1994).

8. MÉTODOS UTILIZADOS

CARTOGRAFIA

Foi realizado mapeamento em detalhe das diversas cavidades, utilizando o método do eixo centrado e poligonal aberta e ramificada ao longo dos condutos mais estreitos, com algumas modificações. Esta metodologia está bem representada em RODRÍGUEZ & CAMPOS (2000); e posterior mapeamento de detalhe utilizando como base as topografias feitas anteriormente na maioria das cavidades. No levantamento topográfico foram utilizados trena, bússola e clinômetro. Somente os abrigos foram compilados de mapeamentos já existentes, principalmente utilizando os trabalhos de COLLET (1980; 1982 a, b).

ANÁLISE ESTRUTURAL

Foi realizada análise estrutural por reconhecimento *in situ* de falhas e estrias, e sentido do movimento; reconhecimento da direção dos sets das estratificações cruzadas, fraturas preenchidas, direções preferenciais dos condutos principais e, quando possível, dos túneis secundários, envolvendo a utilização sistemática da moderna análise estrutural.

Os dados obtidos foram plotados utilizando o software Daisy 3 (WISE *et al*, 1985; SALVINI *et al*, 1999), para análise de paleotensão e plotados em estereogramas Schmidt- Lambert, semi esfera inferior e em diagramas

de roseta. A interação de fraturas e falhas foi possível correlacioná-las com padrões de Riedel em algumas cavernas, como foi proposto por MONTEIRO & RIBEIRO (1999).

Foram levantadas feições da tectônica regional para estabelecer uma correlação com os eventos regionais. As cavernas estudadas foram consideradas com 15 m (ou mais) de desenvolvimento horizontal: Caverna do Fazendão, Caverna do Paredão, Abrigo da Glória, Toca do Bauru (Figuras 2, 3, 4).

As tocas foram consideradas com menos de 15 m de desenvolvimento horizontal, sendo elas: Toca do Ninho, Toca do Morcego. Os abrigos foram considerados como de desenvolvimento horizontal até 8-10 m, consistindo de uma fenda aberta sem desenvolvimento de corredores. Neste trabalho foram considerados o Abrigo do Roncador (Analândia-SP) e o Abrigo Santo Urbano (Corumbataí-SP).

9. RESULTADOS

ESPELEOTEMAS E FRATURAS

Nas cavernas da área, existem inúmeras fraturas preenchidas de espeleotemas relacionados à percolação de fluidos. Foram descritas crostas de sílica na forma de couve-flor, pequenas estalactites, estruturas em caixa de ovos (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). Na caverna do Fazendão e na caverna do Paredão, ocorrem ao longo de fraturas com direção NS, presença de estalactites de ferro (RIBEIRO *et al*, 2005). São encontradas também mudanças da coloração devido à presença de ferro ao longo das fraturas distribuídas nas cavernas, com direções diversas (NS, NW e NE). A Tabela 1 mostra a direção preferencial de alguns espeleotemas medidos, somente em 4 cavernas.

GEOLOGIA ESTRUTURAL DAS CAVIDADES

Estudos efetuados nas cavernas, tocas e cavidades da Serra de Itaqueri, Analândia, Ipeúna e São Pedro mostraram um controle estrutural e estratigráfico marcante, com orientações preferenciais para NS, NE e NW (raras vezes para E-W) (Tabela 2).

As cavidades apresentaram falhas, fraturas e grandes descontinuidades (planos de falha sem estrias) com orientação norte-nordeste (N30), as cavernas apresentaram orientações de seus condutos principais para noroeste (N280) e nordeste (N30-50) e algumas tocas apresentaram condutos principais orientados para oeste/noroeste (N270-285). Estas direções foram correlacionadas com os grandes alinhamentos de caráter regional. As orientações regionais NE e NNE estão controladas pelos lineamentos NE que caracterizam reativações da falha de Areado e Jacutinga, abaixo da bacia do Paraná. A orientação para NW nas grandes cavernas e algumas tocas está ligada ao controle das manifestações intraplaca atualmente vigente e ao controle dos planos das es-

truturas estratigráficas primárias (sets das estratificações cruzadas da área e o truncamento entre elas). Algumas cavernas, na Serra de São Pedro, possuem extensões para NW e EW, com falhas nestas direções, o qual estão pré-controladas por zonas de fraqueza morfoestruturais, onde a forma do relevo (cornija e o front de escarpa) condiciona zonas de fraqueza que favorecem a dissolução e a formação das cavernas.

As cavernas mais antigas e labirínticas possuem um controle estrutural bem marcante. Neste contexto destacamos aqui a Caverna do Fazendão (Figuras 2 e 3) onde os trabalhos estruturais já foram mapeados e interpretados. As outras cavidades ainda estão em trabalho de interpretação, contudo seus esboços estão representados nas figuras 4 e 5.

O corredor principal da caverna do Fazendão está controlado por uma falha transcorrente de caráter dextral, como já reconhecido por VERÍSSIMO & SPOLADORE (1994), sendo parte do salão da Baleia também controlada por esta falha e por uma outra mais adiante, definindo um binário completo. Muitos corredores internos e o "gostosinho", obedecem a fraturas T (tração), sintéticas X e R e antitéticas R' do padrão de fraturamento de Riedell (Figura 2). As fraturas T condicionam também a queda de blocos da caverna, que pode ser observado próximo ao Salão da Baleia e o corredor principal da entrada.

A Gruta do Paredão (Figura 4), situada na frente da gruta do Fazendão, foi originada pela mesma falha principal da Gruta do Fazendão. Seguindo-se para o outro lado da colina, encontra-se a Toca do Ninho, também controlada pela mesma descontinuidade (Figura 6), este controle parece ser um constante no controle estrutural da área. Este controle estrutural também aparece na caverna Abrigo da Glória (Figura 5).

As falhas e fraturas parecem controlar e delimitar a queda dos blocos (Figuras 2, 5 e 6), a incidência de espeleotemas de "couve flor" aparece em grande quantidade próximo a estas fraturas (exudação de sílica e de carbonato de cálcio). Seu controle estratigráfico é de difícil reconhecimento, aparecendo somente em casos isolados.

ASSOCIAÇÃO COM A TECTÔNICA REGIONAL

Observando a Tabela 2, podemos concluir que as cavidades possuem um controle estrutural e estratigráfico bem marcante. Este controle coincide com os grandes alinhamentos estruturais de direções NE, NS e NW, caracterizados em sua maioria por reativações de zonas de cisalhamento durante o Fanerozóico sob a forma de falhas.

Em um contexto geral, estes alinhamentos foram ativos, dentro e fora da Bacia do Paraná, seja no controle de unidades sedimentares, de soerguimentos e subsidências, dos focos de magmatismo alcalino, de altos estruturais ou de acúmulos de hidrocarbonetos, apresentando

intensa atividade recorrente durante o Fanerozóico e relatado por muitos autores (HASUI, 1990; RICCOMINI, 1995; RIBEIRO *et al*, 2005; RIBEIRO *et al*, 2005; MORALES, 2005).

IDADE PROVÁVEL

A Tabela 3 mostra os principais eventos tectônicos regionais. Comparando os resultados mostrados na Tabela 2, podemos estimar possíveis idades para as cavidades encontradas na área. Cabe destacar aqui que as cavernas mais labirínticas (Caverna do Fazendão, Abrigo do Rochedo, Caverna dos Óculos), podem ser mais antigas com fases de reativação (relaxamento e abertura de fraturas) ao longo do tempo, sendo estas reativações nem sempre tectônicas e sim devido a infiltrações e percolações de fluidos (principalmente em atividades mais recentes). Os eventos neotectônicos apenas controlam

quedas de blocos (*landslides*) em abrigos e tocas (nunca originando cavernas).

10. CONCLUSÕES

Podemos concluir que as cavidades estudadas possuem um controle estrutural marcante na sua formação e as cavernas de orientação NE podem ser mais antigas e são mais labirínticas. Estas cavernas de orientação NE também possuem fraturas preenchidas possivelmente relacionadas às reativações ao longo do tempo geológico.

As cavidades mais recentes são aquelas com direções preferências EW, fato comprovado pela toca do Piping em São Pedro (por estar em rochas lateríticas alteradas da formação Itaqueri do período Cretáceo). E os abrigos, por mostrarem blocos de rochas com evidências de *landslides*.

Nome da Caverna <i>Name of cavity</i>	Couve Flor (impregnação de carbonato de cálcio e sílica) <i>Coralloids impregnation with calcium carbonate and silica</i>	Estalactites de Ferro NS, NW e NE <i>Stalactites of Iron</i>	Fraturas com mudanças de cor <i>Joints showing color changes</i>
Caverna do Fazendão	Percolam fraturas com direção NW, NS e EW. <i>Percolation through joints (NW, NS and EW)</i>	Percolam fraturas com direção NE e NW. <i>Percolation through joints (NE and NW)</i>	Fraturas e planos de cruzadas para NS e NW <i>Joints and cross bedding(NS and NW)</i>
Caverna do Paredão	Percolam Fraturas N e NW. <i>Percolation through joints (N and NW)</i>	Percolam fraturas Com direção NS <i>Percolation through joints (NS)</i>	Fraturas com direção NE <i>Joints in NE direction</i>
Toca do Ninho	Percolam fraturas EW <i>Percolation through joints (EW)</i>	Raras, não foi possível a medida. <i>Rare; measurement impossible</i>	Fraturas com direção NE <i>Joints with NE direction</i>
Abrigo Santo Urbano	Percolam fraturas EW <i>Percolation through joints (EW)</i>	Não tem <i>Non existent</i>	Fraturas NS <i>NS joints</i>

Tabela 1: Características e direções preferenciais de espeleotemas relacionadas às fraturas e falhas.

Table 1. Characteristics and preferential direction of speleothems, joints and faults.

Nome da Cavidade <i>Name of cavity</i>	Direção das Fraturas <i>Direction of joints</i>	Direção do conduto da caverna <i>Direction of cave conduits</i>	Direções regionais (Coincidentes) <i>Regional orientation</i>	Direção do plano da Cruzada <i>Orientation of cross-bedding</i>
Caverna do Fazendão SP -170	Padrão Complexo NE (N30 -40) Fraturas secundárias NW <i>Complex pattern Secondary joints</i>	Principal NE (N30) Condutos secundários para NW <i>Main NE orientation (N30) Secondary conduits to NW</i>	Alinhamento de Areado e Jacutinga NE (N30 -40) <i>Alignment of Areado and Jacutinga</i>	NW NW (possível controle pelos planos de cruzadas)
Caverna do Paredão	NE (NE30)	NE (NE 30)		Possible control by reactivation surface of cross- bedding
Caverna Abrigo da Glória	Padrão Complexo NW (N280 - 300) <i>Complex pattern</i>	NS e NE (N45)		
Caverna Abrigo do Rochedo	Padrão Complexo NW (N280) <i>Complex pattern</i>	NW (N280 -corredor principal) e EW (N263) Corredor secundário <i>NW (Main corridor N280) EW (secondary corridor N263)</i>	Alinhamento do Rio Passa Cinco (Neotectônico?) <i>Alignment of Rio Passa Cinco (neotectonic)</i>	—
Caverna Boca do Sapo	NE (N40) NW (290)	NW (corredor principal) (<i>Main corridor</i>)		—
Toca do Ninho	NE (N45)	NE	Jacutinga	NW
Toca do Bauru	NE, NW.	NW	Alinhamento do Rio Passa Cinco (Neotectônico?). <i>Alignment of Rio Passa Cinco (neotectonic)</i>	—
Toca da chuva	NW, NS.	NW		Não tem <i>None</i>
Toca do morcego		NW		Não tem <i>None</i>
Toca do Piping	NS, NE, EW.	EW	Evidências de neotectônica Direção descrita por diversos autores <i>Neotectonic evidence Orientation already described by various authors</i>	Não tem (Caverna em Laterita) <i>None (cave in laterite)</i>
Abrigo Santo Urbano	N, NE (N8 - 20)	EW		NE
Abrigo do Roncador	N, NE (N10- 30)	EW (NW)		NE

Tabela 2: Características estruturais de cada cavidade.

Table 2: Structural characteristics of each cavity

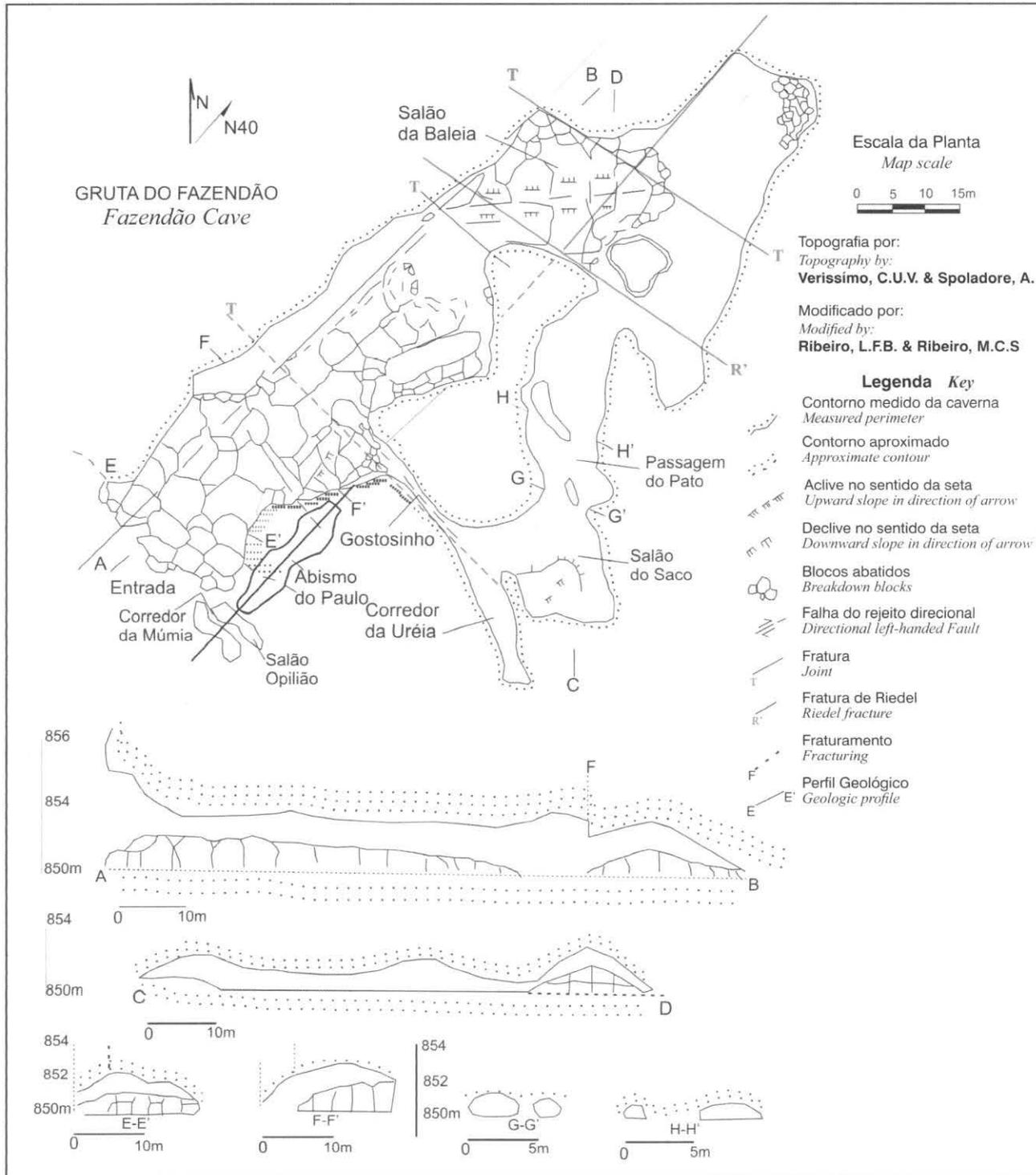


Figura 2: Esboço da Caverna do Fazendão e seu controle estrutural.

Figure 2: Preliminary sketch of Fazendão Cave and structural control.



Figura 3: falha no corredor principal da caverna do Fazendão (SP-170), ângulo de visada oblíquo (sentido NW SE de dentro para fora da caverna perfil A B da Figura 2).

Figure 3: Fault in main corridor of Fazenda Cave (taken from oblique angle, direction NW-SE from inside to outside of cave (profile A-B in Figure 2))

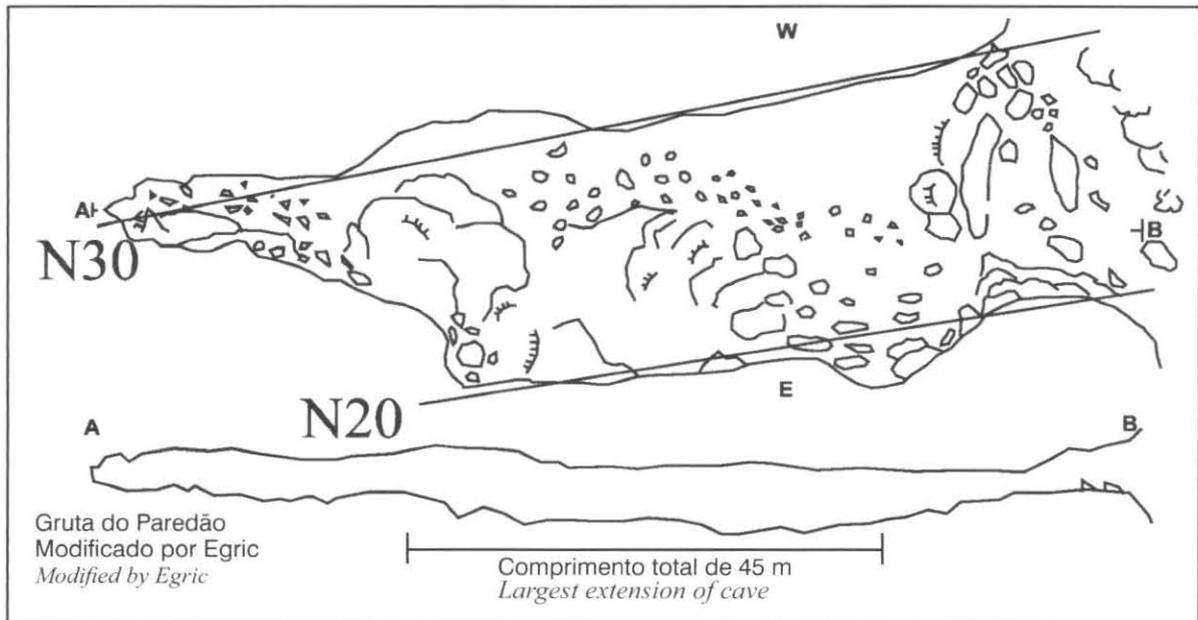


Figura 4: Caverna do Paredão e seu controle estrutural.

Figure 4: Paredão cave and structural control.

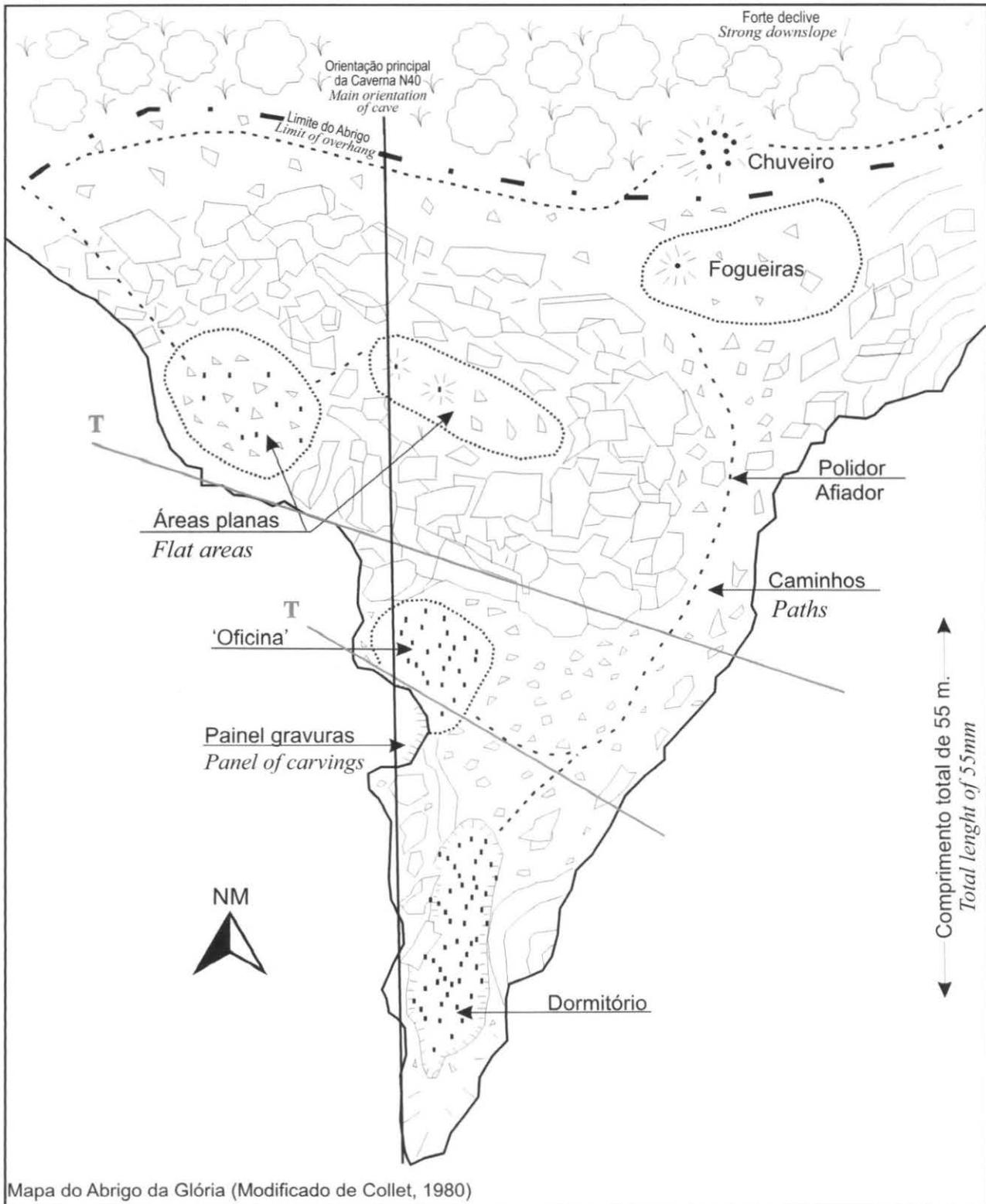


Figura 5: Caverna Abrigo da Glória e seu padrão estrutural (esboços modificados de COLLET, 1980).

Figure 5: Abrigo da Glória Cave and structural pattern (modified from COLLET, 1980).

IDADE <i>Age</i>	BACIA DO PARANÁ (Eventos Tectônicos) <i>Paraná Basin (tectonic events)</i>	EMBASAMENTO CRISTALINO (Eventos Tectônicos) <i>Crystalline base (Tectonic events)</i>	Cavidades Encontradas Possíveis idades <i>Cavities and possible ages</i>
Pleistoceno <i>Pleistocene</i>	Soerguimentos Compressão NW <i>Uplifts NW compression</i>	Soerguimento contínuo e lento <i>Slow, continuous uplifting</i>	Toca do Piping; Abrigo Santo Urbano ; Abrigo do Roncador Deformação da maioria das cavidades <i>deformation</i>
Plioceno <i>Pliocene</i>	Compressão NE/SW Falhamentos na Formação Itaqueri <i>NE/SW compression faults in Itaqueri Formation</i>	Falhas normais Deformação afetando as Bacias Terciárias <i>Normal faults; deformation affecting Tertiary basins</i>	Toca da Chuva Toca do Morcego Toca do Bauru Deformação da maioria das cavidades <i>Deformation of most cavities</i>
loceno		-----	
Oligoceno <i>Oligocene</i>	Reativação de falhas NE <i>Reactivation of NE faults</i>	Soerguimento <i>Uplifting</i>	Provável origem das cavernas com direção NE <i>Probable origin of caves with NE orientacion</i>
Eoceno <i>Eocene</i>	-----	Soerguimento <i>Uplifting</i>	Caverna do Fazendão; Caverna do Rochedo, Toca da Boa Vista; Caverna dos olhos; Abrigo da Glória; (Paredão?)
Paleoceno <i>Paleocene</i>	Extensão NNW/SSE <i>NNW/SSE extension</i>	-----	
Cretáceo Superior <i>Upper cretaceous</i>		Soerguimento Serra do Mar <i>Uplifting of Serra do Mar</i>	???
Cretáceo inferior <i>Lower Cretaceous</i>	Abertura continental <i>Separation of continents</i>	Soerguimento dômico <i>Dome uplifting</i>	

Tabela 3: Eventos tectônicos regionais e as possíveis idades das cavidades (Modificado de RIBEIRO, 2003).

Table 3: Regional tectonic events and possible age of cavities (Modified from Ribeiro, 2003)



Figura 6: Falha principal controlando o conduto principal da Toca do ninho, ângulo de visada de SW NE.

Figure 6: Main fault controlling main conduit of Toca do Ninho, taken from SW to NE

11. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos acesores da Sociedade Brasileira de Espeleologia-SBE pela revisão do manuscrito; ao Ângelo Spoladore pelas idéias do trabalho.

12. REFERÊNCIAS

(Vide pag. 29)

MORPHOSTRUCTURAL AND MORPHOTECTONIC CONTROL OF CAVES, SMALLER CAVITIES AND ROCK SHELTERS OF IPEÚNA AND ITIRAPINA SÃO PAULO STATE, BRAZIL

1. INTRODUCTION

In sandstone and laterite, the fracture pattern of joints and faults constitutes an important element in the formation of caves, especially in relation to the extension of the conduits, since this pattern constrains alterations and erosion, thus giving rise to unique features, although generally of short extension, such as those of the Tafoni type in granite rocks (TWIDALE et al, 1996; WRAY, 1997; TWIDALE, 2005). Rare exceptions include the cave of Bromélias, in Minas Gerais, which is quite large (CORREA NETO et al, 1994).

Sandstone caves are formed as the result of infiltration and superficial runoff of water near escarpments, combined with the percolation and infiltration of water into the planes of faults, joints and cross lamination, with the consequent removal and dissolution of material. Once caves are formed, such infiltration can lead to the formation of speleothems of calcium carbonate along the fracture planes (WERNICK, et al, 1976; VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). After initial widening of a conduit, a sandstone cave develops by arenisation, followed by pipping, initially for a few centimeters, and later for meters. Lateral run off of the infiltrated water may be controlled by the level of permeability of the sandstone (intersection of cross laminations), since this intersection is at times marked by the presence of clay (which can explain the deposition of damp sand in some rooms) and eventually the breakdown of the roof (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994; RIBEIRO et al, 1994).

2. LOCATION OF AREA

The area studied is located near the cities of Rio Claro, São Pedro, Ipeúna, and Analândia, in the south central portion of the state of São Paulo (Fig. 1). The cavities are located in the slopes and escarpments of the cuestas of the Santana, Itaqueri and São Pedro mountain ranges (Figure 1).

3. REGIONAL GEOLOGY

The geology of the area where the cavities are located is represented basically, from bottom to top, by the three formations (Pirambóia, Botucatu and Serra Geral) of the São Bento Group. These reveal exclusively continental sedimentation in an arid or semi arid climate, terminated by wide spread basaltic vulcanism during the Mesozoic (Figure 1a); above the basalt one finds the conglomerates of the Itaqueri Formation of the Bauru Group, in which the smaller cavity of do Piping (near São Pedro) is found.

PIRAMBÓIA FORMATION

This formation consists of a package of thick, whitish, yellowish and reddish, fine to medium grained sandstone bodies with thin intercalated layers of siltite and clay with localized layers of conglomerates. Large and medium sized cross lamination is present (SCHOBENHAUS, 1984). Outcrops of this formation are found in the area around Rio Claro, Ipeuna, Corumbatai, Charqueada and São Pedro (Figure 1). The smaller cavities near Analândia and Corumbataí are located in the Pi

rambóia Formation.

BOTUCATU FORMATION

This formation was defined by CAMPOS (1889, apud SCHOBENHAUS, 1984). It consists of red to rosy bimodal sandstone of fine to medium granulometry. It is highly silicified, with medium to large sized cross lamination. These characteristics suggest eolic deposition in a desert environment, with the addition of fluvial sedimentation at the base (SCHNEIDER et al, 1974). On the basis of stratigraphic correlations, various authors consider the formation to date to the Jurassic (Figure 1). Most of the caves studied are located in this formation.

SERRA GERAL FORMATION

This formation, consisting of basalt and diabase rocks, was defined by WHITE (1908, apud SCHOBENHAUS, 1984). It consists of small pebbles to boulders, with vestiges of 'onion' layering and conchoid fractures, indicating a high degree of weathering. The rocks present are of very fine grained, with a texture which is not visible to the naked eye, often confused with sandstone. They contain subhedral quartz and calcedonia crystals. Radiation dating suggests an age oscillating between the Upper Jurassic and the Lower Cretaceous (CORDANI & VANDOROS, 1967). Few caves are formed in this basalt.

BAURU GROUP – ITAQUERI FORMATION

The Itaqueri Formation is constituted by the alternation of silicified sandstone banks and ferruginous crusts, lamitos and conglomerates, indicating a system of aluvial deltas formed in a high energy environment, probably in a semi-arid climate (ZAINÉ, 1996; SCHNEIDER, 1974). The smaller cavity of do Piping is found in these iron (ferruginous) crusts (RIBEIRO et al, 1999).

4. REGIONAL STRUCTURE

The Paraná Basin is marked by linear features in the form of an "X", running in three main directions: NW-SE, NE SW, and E W, with most of these constituting the continuation of reactivated faults located beneath the basin (ZALAN et al, 1987).

These linear features, known as the Ipeúna Piracicaba Lineament, are actually an array of normal faults in a preferential NW SE and NE SW direction, with isolated N-S and E-W faults (MORALES, 2005). The faults in this system play a major role in the control of drainage, especially along the Corumbataí River and some of its tributaries (Passo Cinco and Cabeça Rivers). They indicate recent tectonic activity, as proposed by MORALES (2005). At the intersections of the alignments, domes and hummocks (high points), such as the Pitanga Dome have formed (SOARES, 1974), and the reactivation of these faults has molded the shape of these domes (SOUZA & MORALES, 1999).

The region where the caves and smaller cavities are located was affected by both normal and strike slip faults of the Areado, Jacutinga and Ipeúna-Piracicaba

lineaments, and it has been described and discussed by various authors on the basis of both geomorphological evidence (PENTEADO, 1975; SOARES, 1991; FACIN CANI et al, 2001) and structural evidence (RIBEIRO et al, 1994; RICCOMINI et al, 1996; SOUZA, 1997; SOUZA AND MORALES, 1999; MORALES, 2005). The normal faults result from the period of the separation of the continents (= 126 Ma) (RICCOMINI et al, 1996; SOUZA & MORALES, 1999; MORALES, 2005), and are also linked to the reactivation of ancient NE shear zones in the Basin (SOARES, 1991). The strike slip faults are characteristic of neotectonic events, basically in a left handed regime, reflecting right – handed binarity, with the direction of greatest force to the NW (HASUI, 1990; SAADI, 1993; MORALES, 2005).

5. GEOLOGY OF CAVES

Most of the cavities are found in the sediments of the Botucatu Formation, except for the smaller cavity of do Piping, located in the Itaqueri Formation. Most of them reveal arched structures, indicative of a central fault plane with constant breakdown of blocks (RIBEIRO et al, 1994, 1997; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001).

The caves of Fazendão, Paredão, and Abrigo da Glória are controlled by a pattern of Riedel fracturing, with the interaction of two or more faults interacting in a complex network of fractures, and each one giving rise to one of the conduits of the cave (RIBEIRO et al, 1994; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001; RIBEIRO et al, 2005)

6. CAVE NAMES

The names of the cavities are generally those given at the time of the initial exploration. Hence, despite the names of Toca do Bauru, Abrigo do Rochedo and Abrigo da Glória, these cavities have more than 15 meters of horizontal development and are actually caves.

7. GEOMORPHOLOGY

The cavities are found on the slopes of the Cuestas, a landscape consisting a set of features characteristic of the relief accompanying the borders of peripheral depressions. In this area, the features consist of pediplains supported by basic massifs, still represented by inselbergs and flattened and rounded tops. The main cavities have rectilinear profiles and are located in the slopes and hanging escarpments (VERÍSSIMO & SPO LADORE, 1994; RIBEIRO et al, 1994).

8. METHODOLOGY CARTOGRAPHY

Detailed mapping of the various cavities was conducted, using a central axis and open polygons, with branching indicating the narrower passages, although with some modifications. The method used is typical of that used by RODRIGUEZ & CAMPOS (2000). Later

mapping of details was based on previous maps for most of the cavities. The topographic survey involved the use of measuring tape, compass, and clinometer.

Previous mapping of the rock shelters was used, especially the work of COLLET (1980; 1982 a, b).

STRUCTURAL ANALYSIS

Structural analysis involved in situ recognition of faults, striations, and direction of movement; the system of modern structural analysis was used to identify the direction of cross bedding, filling of fractures, and preferential main passage development, as well as that of secondary tunnels, when possible.

The data obtained were plotted using Daisy 3 software (WISE et al, 1985; SALVINI et al, 1999) for the analysis of paleotension and then plotted in Schmidt Lambert stereograms, lower hemisphere and rose diagrams. The interaction of joints and faults made it possible to correlate them with Riedel shears in some of the caves, as proposed by MONTEIRO & RIBEIRO (1999).

Regional tectonic features were surveyed to establish a correlation with regional events. For this study, caves were defined as cavities with 15 m or more of horizontal development: Caverna do Fazendão, Caverna do Paredão, Abrigo da Glória, Toca do Bauru (Figures 2, 3 and 4). The smaller cavities had less than 15 m of development: Toca do Ninho and Toca do Morcego. The rock shelters had a horizontal development of 8 to 10 m, consisting of an open fissure without the development of passages. The rock shelters considered were the Abrigo do Roncador (Analândia SP) and the Abrigo Santo Urbano (Corumbataí SP).

9. RESULTS

SPELEOTHEMS AND JOINTS

In the caves in the area, there are numerous joints filled with speleothems, related to the percolation of fluids. Past work has described coralloid silica crusts, small stalactites, and small boxwork structures (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). In the Fazendão and Paredão caves, along the NS joints, stalactites of iron have formed (RIBEIRO et al, 2005). Color changes due to the presence of iron along the joints in the cave also occur in various directions (NS, NW and NE). Table 1 shows the preferential direction of some of the speleothems found in four of the cavities.

The caves and smaller cavities of the Itaqueri, Analândia, Ipeúna and São Pedro mountain ranges show marked structural and stratigraphic control, with preferential orientations to the NS, NE and NW (rarely from E W) (Table 2).

The cavities have faults, joints, and large discontinuities (fault planes without striation) with a north northeast orientation (N30); the main conduits of the caves run to the northwest (N280) and northeast (N30-50), while some of the smaller cavities have main conduits oriented to the west/northwest (N270-285). These directions are correlated with the major regional NE

alignments. The regional NE and NNE orientations are controlled by the NE lineaments which characterize reactivation of the Areado and Jacutinga fault underneath the Paraná Basin. The NW orientation found in the large caves and some of the smaller cavities is linked to the control of present day interplate manifestations and the control of primary structural stratigraphic planes (cross bedding and reactivation surface). Some caves in the São Pedro mountain range have extensions to the NW and EW along faults in these directions, which are pre controlled by zones of morphostructure weakness, in which the features of the landscape (cornice and face of the escarpment) condition zones of weakness favoring dissolution and the formation of caves – wash and gullying and the dissection (Ribeiro & Ribeiro, 2007).

The oldest maze caves have a strongly marked structural control. In this context, the Fazendão Cave (Figures 2 and 3) is unique, with the structural work already mapped and interpreted. The other caves are still being interpreted, although the drafts are shown in Figures 4 and 5.

The main corridor of the Fazendão Cave is controlled by a strike slip fault of a right handed nature, as already recognized by VERÍSSIMO & SPOLADORE (1994), with part of the whale room also controlled by this fault, as well as another further on, defining the right – handed binary of faults controlled by Riedel shearing. Many of the internal corridors and the “gostoso” passage follow a T-fracture (traction), synthetic X and R and antithetic R' of Riedel shearing (Figure 2). T fractures also condition the breakdown of boulders in the cave, which can be observed near the room of the Whale and the main corridor leading from the entrance.

The “Gruta do Paredão” (Figures 3 and 4), located in front of the cave do Fazendão, also arose along this same fault. Following it to the other side of the hill, one finds the smaller cavity “Toca do Ninho”, also controlled by the same discontinuity (Figure 6); this control seems to be a constant in the structural control of the area. The structural control also appears in the cave “Abrigo da Glória” (Figure 5).

The faults and joints seem to control and limit the fall of boulders (Figures 2, 5 and 6), and the existence of coralloid speleothems, which occur in large quantities near these fractures (exudation of silica and calcium carbonate). It is difficult to find stratigraphic control, which occurs only in isolated cases.

ASSOCIATION WITH REGIONAL TECTONICS

Table 2 shows that the cavities are subject to clear structural and stratigraphic control. This control coincides with the large structural alignments of NE, NS and NW orientations, largely due to reactivation of shear zones in the form of faults during the Phanerozoic.

In general, these alignments were active both in the Paraná Basin and outside it, and they were involved in the control of sedimentary units, of uplifting and subsidence of the alkaline magnetism, of structural high points, and of the accumulation of hydrocarbonates; they were intensively active at various times during the Phanerozoic, and have been reported by various au

thors (HASUL, 1990; RICCOMINI, 1995; RIBEIRO et al, 2005; RIBERIO et al, 2005; MORALES, 2005).
PROBABLE AGE

Table 3 shows the main regional tectonic events. Comparison with the results shown in Table 2 makes it possible to estimate the age of the cavities found in the area. It should be noted that the maze caves (Fazendão, Abrigo do Rochedo, Caverna dos Óculos) may be older, revealing phases of reactivation and dissolution (relaxation and opening of fractures) over the years. These reactivations were not always due to tectonic activity, but rather to infiltration and the percolation of fluids (especially the more recent activity). Neotectonic events merely control breakdown in rock shelters and the smaller cavities (never in caves).

10. CONCLUSIONS

It can be concluded that the cavities studied re

12. BIBLIOGRAPHY

- COLLET, G.C. (1980). **Sondagens no Abrigo da Glória**. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, Depto de arqueologia, 26 p.. (relatório).
- _____ (1982a). **Abrigo do Roncador, Analândia – SP**. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, Depto. de Arqueologia, 9 p.. (Relatório).
- _____ (1982b). **Abrigo do Santo Urbano, Corumbataí – SP**. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, Depto. de Arqueologia, 9 p.. (Relatório).
- CORRÊA-NETO, A.V.; CÔRREA, A.A.S. (1994). Uma introdução as cavernas em quartzito. **O Carste**, Belo Horizonte, 6(7):43-45.
- MONTEIRO, R.C. & RIBEIRO, L.F.B. (2001) Speleogenesis of sandstone caves: some considerations applied to the Serra do Itaqueri speleological province, São Paulo State, Brazil. **Proceedings - 13th International Congress of Speleology; 4th Speleological Congress of Latin America and the Caribbean; 26th Brazilian Congress of Speleology**, Brasília, July, pp. 93-94.
- MORALES, N. (2005). **Neotectônica em ambiente intraplaca: exemplos da região sudeste do Brasil**. Texto de livre docência em Geologia Estrutural e Geotectônica, UNESP, Rio Claro, 200 p..
- RIBEIRO, L.F.B.; HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, M.C.S.; HADLER NETO, J.C.; S. TELLO, C.A.; IUNES, P.J.; FRANCO, A.B. & GODOY, D.F. (2005). Thermotectonic and fault dynamic analysis of Precambrian basement and tectonic constraints within the Parana basin. **Radiation Measurements**, 39(6):669-673.
- RIBEIRO, L.F.B. (2003). **Morfotectônica da região centro-leste do estado de São Paulo e áreas adjacentes de Minas Gerais: termocronologia & paleotensões**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 256 p..
- RIBEIRO, L.F.B.; VANDEROOST, F.J. & MONTEIRO, R.C.. (1994). O controle neotectônico das cavernas da Serra de Itaqueri. **Boletim de Resumos Expandidos - 38º Congresso Brasileiro de Geologia**, Balneário, 1: 397-400.

veal a marked structural control in their formation, with the caves oriented to the NE probably being older and showing development as a maze. These caves with a NE orientation also reveal filled joints, possibly related to reactivation throughout geologic time.

The more recent cavities are those with a preferential EW orientation, a fact proved by the smaller cavity of do Piping in São Pedro (given that the host rock is altered laterite from the Cretaceous Itaqueri Formation) and the rock shelters, in which the presence of boulders suggests breakdown.

11. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the assistance of the editors of the SBE for the review of the manuscript and Angelo Spoladore for his helpful suggestions.

- RIBEIRO, L.F.B.; MONTEIRO, R.C.; ROLDAN, A.A. & REATO, M.P. (1997). Caracterização estrutural e espeleogênese das cavernas de ipéuna e itaqueri da serra SP. **Atas... Simpósio de Geologia do Sudeste**, 5, Penedo/Itatiaia, pp.35-37.
- RIBEIRO, L.F.B.; MONTEIRO, R.C.; SIQUEIRA, M.C.; FERNANDES, R.E. (1999). Caverna em Laterita: Um estudo de caso na formação Itaqueri – São Pedro, SP. **Boletim de resumos - Simpósio de Geologia do Sudeste**, 6, pp.105.
- RODRÍGUEZ, J.C. & CAMPOS, M.C. (2000) **Manual de iniciación a la espeleología**. Espanha, Federación española de espeleología, 63 p..
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H; TOMMASI, E; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. **Anais... Congresso Brasileiro de Geologia**, 28, SBG, Porto Alegre, pp. 41–65.
- SALVINI, F.; BILLI, A. & WISE, D.U. (1999). Strike-slip fault-propagation cleavage in carbonate rocks: the Mattinata Fault Zone, Southern Apennines, Italy. **Journal of Structural Geology**, 21:1731-1749.
- SOARES, P.C. (1991). **Tectônica sin-sedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles**. Tese de professor Titular, UFPR, 148 p..
- SOARES, P.C. (1974). Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. **Anais... Congresso Brasileiro de Geologia**, 28, Porto Alegre, 4:107-121.
- SOUSA, M.O.L. (1997). **Caracterização estrutural do Domo de Pitanga**. Dissertação de Mestrado, IGCE, UNESP, Campus de Rio Claro, 116 p..
- SOUSA, M.O.L. & MORALES, N. (1999). Evolução Tectônica do alto estrutural de Pitanga – SP. **Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos – SNET**, 7, Lençóis, pp.40–42.
- TWIDALE, C.R. (2005). Lineage as a factor in landscape analysis. **Physical Geography**, 26(1):23-51.
- VERISSIMO, C.U.V. & SPOLADORE, A. 1994. Gruta do Fazendão (SP-170): considerações geológicas e genéticas. **Espeleo-Tema**, SBE, 17:7-7.
- WERNICK, E.; PASTORE, E.L. & PIRES NETO, A.F. (1973). Cavernas em arenito. **Notícia Geomorfológica**, 13(26):55-67.
- WISE D.U., FUNICIELLO R., PAROTTO M. & SALVINI F., (1985). Topographic lineament swarms: Clues to their origin from domain analysis of Italy. **Geological Society of America Bulletin**, U.S.A., 96:952-967.
- WRAY, R.A.L. (1997). A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. **Earth Sciences Reviews**, 42:137– 60.
- ZAINE, J.E. (1994). **Geologia da formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP, Rio Claro, 90 p..
- ZAINE, M.F. (1996). **Patrimônios naturais da região de Rio Claro, Ipéuna e Serra dos Padres – análise da compatibilidade com a ocupação atual e considerações sobre sua exploração e conservação**. Relatório final de pós-doutorado, CEAPLA, IGCE/UNESP, Rio claro, 83 p..
- ZALÁN, P.V.; Wolffs, S.; Conceição, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T. & ZANNOTO, O.A. (1987). Tectonic and sedimentation in the Paraná Basin. **Simpósio Sul Brasileiro**, 3, Curitiba, pp. 30–33.

IMPORTAÇÃO E PROCESSAMENTO DE DETRITOS ORGÂNICOS EM UMA CAVERNA CALCÁRIA

IMPORTATION AND PROCESSING OF ORGANIC DETRITUS IN LIMESTONE CAVE

Marconi Souza Silva (1,2), Rodrigo Lopes Ferreira (3)
Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi (1)
& Rogério Parentoni Martins (1)

(1) Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos,
Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Minas Gerais,
Caixa Postal 486, 30161-970, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

(2) E mail: silvamar@icb.ufmg.br

(3) Departamento de Biologia / Setor de Zoologia
Universidade Federal de Lavras.

RESUMO

Cavernas são ambientes subterrâneos permanentemente afóticos, fato que impossibilita a ocorrência de organismos fotossintetizantes. A autotrofia foi registrada em poucas cavernas, sendo realizada por bactérias quimioautotróficas ou indiretamente pelo crescimento de raízes. Assim, o ambiente de cavernas apresenta uma forte dependência da matéria orgânica alóctone importada do meio epígeo por agentes físicos e biológicos. Apesar disto existem pouquíssimas pesquisas que buscam elucidar os principais fatores relacionados a esta dinâmica de transferência e permanência de material orgânico nos ambientes hipógeos. O presente estudo avaliou taxas de importação e o processamento fluvial de detritos orgânicos em uma caverna calcária (Borá IV), localizada em Damianópolis, Goiás, Brasil. Em coletas bimestrais, utilizando-se redes de nylon permanentemente armadas no riacho hipógeo, detectou-se que os detritos orgânicos penetraram na caverna em baixa quantidade no período de junho a novembro (estação seca), e em alta quantidade no período de dezembro até maio (estação chuvosa). Os detritos comumente carregados para o interior da caverna Borá IV foram folhas e fragmentos vegetais (0,42 g/dia), troncos (0,26 g/dia), frutos e sementes (0,007 g/dia) e raiz (0,002 g/dia). O processamento da matéria orgânica vegetal foi considerado moderado nos pontos aquáticos hipógeos (K^{dia} variou de 0,3 a 0,46) e lento nos pontos terrestres hipógeos (K^{dia} variou de 0,007 a 0,02) e pontos terrestres epígeos (K^{dia} variou de 0,006 a 0,014). Foram encontrados 98 invertebrados distribuídos em 39 morfoespécies. No meio terrestre foram coletados 53 indivíduos de 22 morfoespécies, e no meio aquático foram coletados 17 indivíduos de 45 morfoespécies. A ordem Coleoptera apresentou a maior riqueza, com 6 morfoespécies, enquanto Hymenoptera foi a ordem mais abundante, com 24 indivíduos. A Gruta Borá IV foi caracterizada como oligotrófica, pois a morfologia da entrada dificulta o aporte de detritos e o riacho lixívia a pouca matéria orgânica transportada pela água. Além disto, os morcegos, potenciais importadores de guano para locais secos da caverna, são raros.

Palavras chave: Caverna, processamento de detritos, fluxo de energia.

ABSTRACT

Caves are permanently aphotic underground environments, but the absence of light means no photosynthesis. Nutritional autonomy is thus rare in caves, although a few cases of chemoautotrophic bacteria have been reported, and such autonomy is also indirectly possible when roots have penetrated the cave. Normally, the cave environment is strongly dependent on allochthonous organic matter imported from the epigeal environment by physical or biological agents. Little research, however, has explored the factors related to the dynamics of importation and permanence of organic material in hypogean environments. The present study was thus designed to evaluate fluvial importation and the processing of organic detritus in a limestone cave (Borá IV). This cave is located in Damianópolis, Goiás, Brazil. Collections were made every two months for a period of a year, with nylon nets permanently rigged across the hypogean stream to trap the organic detritus entering the cave. This input is limited in the dry season from June to November, but is copious during the rainy season from December to May. The detritus entering the cave consisted mostly of leaves and plant fragments (0.42 g/day), woody twigs and branches (0.26 g/day), fruits and seeds (0.007 g/day) and roots (0.002 g/day). The processing of organic plant material was considered moderate in the aquatic hypogean points (K^{day} varied from 0.3 to 0.46) and slow in the terrestrial hypogean points (K^{day} varied from 0.007 to 0.02) and the terrestrial epigeal points (K^{day} varied 0.006 to 0.014). Ninety-eight invertebrates were found, distributed in 30 morphospecies, 53 individuals of 22 terrestrial morphospecies and 45 individuals of 17 aquatic morphospecies. The Order Coleoptera had the greatest diversity, with 6 morphospecies, whereas the Order Hymenoptera revealed the largest number of individuals (24). The Borá IV Cave was considered to be oligotrophic, since the morphology of the entrance made transport of detritus into the cave difficult and the creek leaches out the little organic material entering the cave. Moreover, bats, potential importers by depositing guano in dry areas of the cave, are rare.

Key Words: Cave, detritus processing, energy flow.

1. INTRODUÇÃO

As cavernas são formadas pela ação da água, em um complexo de feições e processos geomorfológicos denominado carste. O carste representa a unidade funcional de drenagens e seus componentes geológicos e biológicos embasados em rochas carbonáticas solúveis (GILBERT *et al*, 1994).

A total ausência de luz no ambiente de cavernas impede a presença de produtores fotossintetizantes. Somente em algumas poucas cavernas a quimiossíntese, realizada por bactérias, pode surgir como base da produção primária (SARBU *et al*, 1996). Porém, a produção primária indireta pode ocorrer através do hidrotropismo de raízes que acessam ambientes terrestres e aquáticos em cavernas superficiais (HOWARTH, 1983; JASINSKA *et al*, 1996; SOUZA-SILVA, 2003; FERREIRA, 2005). Entretanto, a ocorrência de raízes vegetais no meio hipógeo é incomum, pelo menos para sistemas associados a rochas carbonáticas. Deste modo, comunidades de invertebrados em cavernas são dependentes de recursos alóctones transportados contínua ou temporariamente para o meio hipógeo, por agentes físicos e biológicos (SOUZA-SILVA, 2003).

A importação por agentes físicos se dá por rios, enxurradas, cursos d'água que percolam o teto ou as paredes e através de aberturas ou fraturas que eventualmente existem nas cavernas (GILBERT *et al*, 1994). O transporte e produção secundária de detritos por agentes biológicos são feitos por meio do crescimento e morte de raízes, animais que habitualmente utilizam as cavernas como abrigos (e.g. morcegos) e animais que penetram acidentalmente e morrem no interior das cavernas (FERREIRA, 2005). Entretanto, recursos alimentares no ambiente cavernícola tendem a ser escassos e efêmeros. Desta forma, os invertebrados cavernícolas experimentam de maneiras distintas as pressões de escassez alimentar, que são dependentes da dinâmica trófica de importação, retenção e consumo de detritos nas cavernas.

Organismos cavernícolas podem ser classificados de acordo com suas características ecológico-evolutivas, originadas de especializações ou pré-adaptações ao ambiente de cavernas (HOLSINGER & CULVER, 1988). Os *troglóxenos* são organismos regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas que saem do mesmo para se alimentar. Os *troglófilos* são aqueles organismos capazes de completar seu ciclo de vida no meio hipógeo e/ou epígeo. Os *troglóbios* são aqueles restritos ao ambiente cavernícola e que podem apresentar especializações morfológicas, fisiológicas ou comportamentais em resposta às pressões seletivas presentes em cavernas e/ou à ausência de pressões seletivas típicas do meio epígeo.

Muitos autores atribuem certa simplicidade à fauna de invertebrados cavernícolas, assumindo um menor número de espécies explorando recursos geralmente li-

mitados em teias tróficas simplificadas quando comparadas com sistemas epígeos (CULVER, 1982; HOWARTH, 1983; JASINSKA *et al*, 1996; TRAJANO, 2000). Entretanto, em cavernas onde a disponibilidade de recursos alimentares é alta, as comunidades de invertebrados podem apresentar um grande número de espécies permitindo teias tróficas mais complexas (FERREIRA & MARTINS, 1999; SOUZA-SILVA, 2003).

Estudos relativos à dinâmica de importação e processamento de recursos alimentares em ambientes de cavernas são escassos (GRAENING, 2000; SIMON, 2000). Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as taxas de importação fluvial de detritos no interior da caverna calcária Borá IV, bem como a dinâmica de processamento destes recursos alimentares nos ambientes terrestre e aquático.

2. MATERIAIS E MÉTODO

LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido de agosto de 2001 a Julho de 2002, na gruta calcária Borá IV. A caverna encontra-se na APA Nascentes do Rio Vermelho em Mambai, Goiás, Brasil (UTM -14,312928S - 46,64104W) (CECAV, 2007) (Figura 1).

A vegetação predominante na região é de cerrado. Entretanto, no entorno da caverna existe um predomínio de mata seca decídua. A estação seca compreende os meses de abril a setembro (quando a pluviosidade é inferior a 50 mm³ de chuva) e a chuvosa os meses de outubro a março (Figura 2).

A gruta apresenta duas comunicações com o ambiente externo, sendo percorrida por um riacho perene que aparece a partir de uma surgência no interior da caverna, em meio a blocos abatidos. Um dos acessos é vertical, junto a surgência entre aglomerados de blocos de calcário abatidos. Neste local há uma dolina de abatimento circular que funciona como um coletor de folhas da vegetação, transportadas para o interior da caverna por vento ou enxurradas. Após a surgência desenvolve-se um conduto meândrico de cerca de três metros de largura média, pelo qual percorre a drenagem totalmente exposta, isto é, sem novamente entrar por espaços sob blocos abatidos.

PROCEDIMENTOS

Importação de matéria orgânica particulada grossa carregada via água.

Para avaliar as taxas de importação de matéria orgânica particulada grossa carregada via água (detritos orgânicos) foi instalada uma rede de contenção a 7 m a jusante da surgência e da dolina, em toda extensão trans-

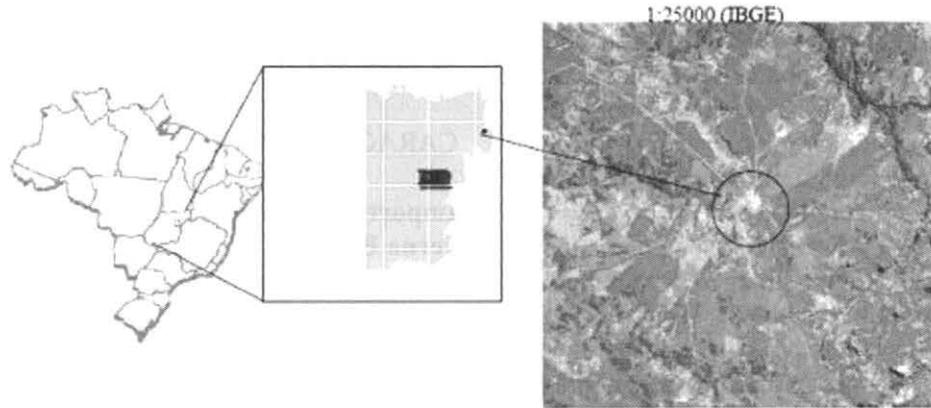


Figura 1: Localização da APA Nascentes do Rio Vermelho, em Mambá, GO, Brasil.
Figure 1: Location of the APA Nascentes do Rio Vermelho in Mambá, GO, Brazil

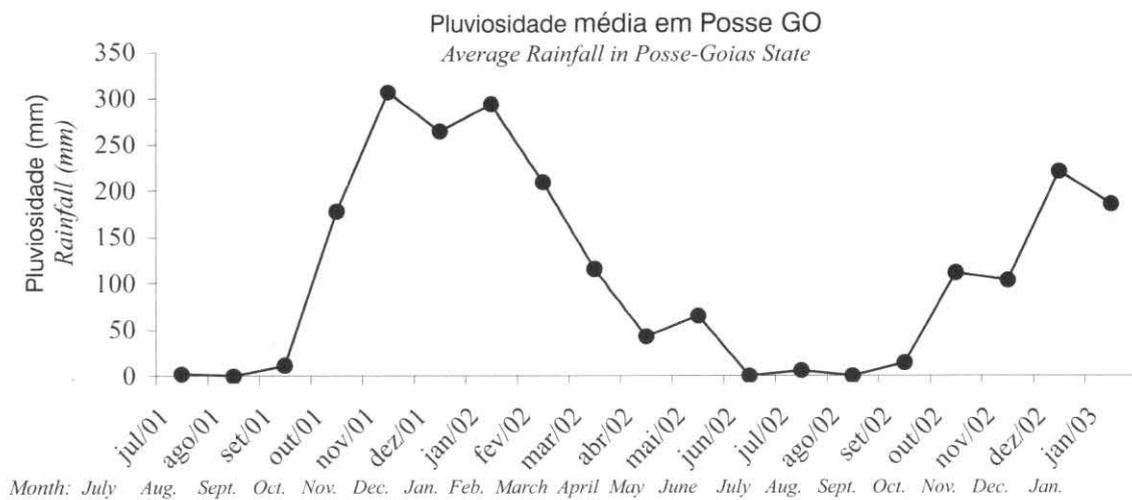


Figura 2: Pluviosidade média na região da APA Nascente do Rio Vermelho (INMET GO).
Figure 2: Average rainfall in the region of the APA Nascente do Rio Vermelho (INMET-GO).

versal da calha principal do riacho hipógeo (PVC, malha de 0,65 cm²).

A rede capturou os materiais vegetais e animais transportados pela água para o interior da caverna. Todo material retido nas redes foi bimestralmente retirado, acondicionado em sacos plásticos e levado para a base de apoio do IBAMA/CECAV em Mambá-GO para imediata triagem manual da fauna de macroinvertebrados associada. Para tal, utilizou-se bandejas de fundo branco, luz artificial incidente, pinças e pincéis. Todo material biológico obtido foi acondicionado em potes contendo álcool 70%, para posterior identificação até o nível taxonômico possível e separação em morfoespécies.

Os detritos coletados foram fixados em formol 2% e submetidos à secagem posterior. Após a secagem o material foi separado nas categorias folhas e fragmentos vegetais, sementes e frutos, raízes e troncos. A medida da taxa de captura para cada uma das categorias foi

feita após uma segunda secagem (75° C por 48 horas) e pesagem em balança digital (Max. 50g, e = 1mg, d = 0,1mg).

Processamento de matéria orgânica vegetal por invertebrados no interior da gruta

A análise da taxa de processamento por invertebrados de diferentes tamanhos, na fragmentação da matéria orgânica vegetal, foi feita utilizando-se "litter bags" de 10x10 cm de malhas de nylon com aberturas de 9 mm, 1 mm e 0,01 mm. Em cada litter bag foram acondicionados 50 discos vegetais previamente pesados e retirados de folhas intactas (área = 63,6 mm²/cada disco) de *Ficus calyptroceras* (Moraceae), *Piper sp.* (Piperaceae), *Ilex sp.* (Aquifoliaceae), *Eschweilera sp.* (Lecythidaceae) e *Acalypha sp.* (Euphorbiaceae) que ocorrem em áreas cársticas.

Setenta e dois litter bags foram distribuídos ao lon-

go de quatro pontos, sendo que cada ponto continha um total de 18 bags. Um ponto se encontrava dentro do rio no meio hipógeo, outros dois pontos se encontravam no ambiente terrestre no interior da caverna, e por último, um ponto estava localizado no meio epígeo terrestre.

No ponto aquático foram medidas a velocidade da correnteza ($m \cdot s^{-1}$), a temperatura, o pH e a vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$) total do riacho (ALLAN, 1995). Nos pontos terrestres, do meio epígeo e do meio hipógeo, foram medidas a umidade e a temperatura. Em coletas bimestrais foram retiradas triplicatas de "litter bags", para quantificar a porcentagem de perda de peso utilizando a seguinte fórmula: % perda de peso = $(\text{peso inicial (g)} - \text{peso final (g)}) / \text{peso inicial (g)} \times 100$.

A análise da taxa de processamento também foi realizada utilizando-se um modelo de equação exponencial $M_t = M_0 e^{-Kt}$ (OSLON, 1963; WEIDER & LANG, 1982). Neste modelo, M_t é o peso no tempo t , M_0 é o peso inicial e K é a inclinação da reta (log de peso x Tempo).

Durante as visitas bimestrais à caverna, invertebrados terrestres e aquáticos foram coletados. As coletas foram feitas com o auxílio de pinças e pincéis. Todos os organismos encontrados foram identificados até o nível taxonômico possível e agrupados em morfoespécies.

3. RESULTADOS

TEMPERATURA E UMIDADE NO AMBIENTE CAVERNÍCOLA

Ambiente terrestre

A temperatura apresentou-se variável nos ambientes epígeo e hipógeo. Os valores de temperatura registrados no interior da caverna apresentaram uma variação menor que as do ambiente externo. No ponto epígeo o maior valor de temperatura foi registrado em outubro (35,50 C), e a menor medida de temperatura foi registrada em dezembro (26,50 C). A maior medida de temperatura para o ponto hipógeo 1 foi registrada em dezembro (28,10 C), e a menor medida de temperatura neste mesmo ponto ocorreu em junho (24,90 C). No ponto hipógeo 2 a temperatura atingiu seu maior valor nos meses de outubro e dezembro (28,90 C), e a menor medida registrada ocorreu em junho (24,30 C) (Tabela 1).

Ambiente aquático

A vazão e a velocidade da correnteza apresentaram valores bastante variáveis durante o ano. Para o mês de outubro, registrou-se os maiores valores de vazão ($0,566 m^3 \cdot s^{-1}$) e velocidade de correnteza ($2,42 m \cdot s^{-1}$). O menor valor de vazão foi registrado no mês de abril ($0,4 m^3 \cdot s^{-1}$) e o menor valor da velocidade de correnteza foi registrado no mês de fevereiro ($3 m \cdot s^{-1}$) (Tabela 2).

O pH da água mostrou-se básico e quase não apresentou variação durante o ano (variando entre 7,7

e 7,37). A temperatura da água também se mostrou bastante estável durante todo o ano (variando entre 25,2 - 25,6° C) (Tabela 2).

CARACTERIZAÇÃO TRÓFICA DA CAVIDADE

Importação fluvial de detritos para o interior da caverna Borá IV

A matéria orgânica vegetal foi o recurso mais transportado para o interior da caverna. As folhas secas e fragmentos vegetais foram os detritos mais importados ($0,3566 g/dia.$), seguidos dos troncos ($0,3 g/dia.$), frutos e sementes ($0,006 g/dia.$) e raízes vegetais ($0,0021 g/dia.$) (Figuras 3 e 4; Tabela 3).

A maior taxa de importação de detritos para o meio hipógeo ($1,1856 g/dia$) foi registrada entre os meses de dezembro a fevereiro, coincidindo com o auge da estação chuvosa. As menores taxas foram registradas no mês de agosto ($0,26 g/dia$) e junho ($0,365 g/dia$), coincidindo como período de seca (Figuras 3 e 4; Tabela 3).

O PROCESSAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA VEGETAL NOS AMBIENTES TERRESTRES E AQUÁTICOS

Ambiente terrestre

Todos os "litter bags" apresentaram uma perda de peso, nos primeiros 64 dias, superior a 54,7% em relação ao seu peso inicial. Entretanto, os discos expostos à decomposição no interior da caverna apresentaram uma perda de peso maior que os expostos no ambiente externo (superior a 57,5% do seu peso inicial) (Tabela 4).

A maior perda de peso inicial (77,3% em 64 dias de exposição) foi registrada no ambiente terrestre hipógeo nos "litter bags" com maior textura (malha 3). Neste local também foi registrada a maior taxa de processamento para o ambiente terrestre ($K^{dia^{-1}} = 0,014$). A menor perda de peso inicial (54,7% em 64 dias de exposição) foi registrada no ambiente epígeo (ponto 1) nos "litter bags" de menor textura (malha 1). Neste local também foi registrado o menor valor de $K^{dia^{-1}}$ (0,006), sendo o processamento considerado lento (Tabela 4; Figura 5).

Aos 327 dias de exposição a quantidade de matéria orgânica vegetal restante nos "litter bags" foi bastante semelhante em todos os ambientes. Entretanto, os "litter bags" de malha 1 apresentaram, em média, uma maior quantidade de matéria orgânica vegetal ao final dos 327 dias (28,37 % do peso inicial), e aqueles de malha 3 apresentaram, em média, uma menor quantidade de detritos vegetais ao final dos 327 dias (6,7% do peso inicial) (Figuras 5, 6 e 7; Tabela 4).

Em todos os 3 pontos onde foram avaliados o processamento de detritos vegetais no ambiente terrestre os "litter bags" com malhas 3 (9,0 mm) apresentaram uma maior taxa de processamento e uma menor quantidade de matéria orgânica ao final do experimento (Figuras 5, 6 e 7; Tabela 4).

Umidade - Humidity (%)			Temperatura - Temperature (°C)			
Mês - Month	Epígeo	Hipógeo 1	Hipógeo 2	Epígeo	Hipógeo 1	Hipógeo 2
Outubro - Oct.	57	73	67	35,5	27,1	28,9
Dezembro - Dec.	88	82	81	26,5	28,1	28,9
Fevereiro - Feb.	79	75	74	27,2	28,1	28,2
Abril - April	63	80	82	30,3	27,8	26,5
Junho - June	45	74	76	30,9	24,9	24,3
Média - Average	30,08	27,2	27,36	66,4	76,8	76
DP - SD	3,21	1,35	1,97	15,38311	3,96	6,04

Tabela 1: Temperatura e umidade nos ambientes terrestres da Caverna Borá IV e externo (DP: Desvio Padrão)

Table 1: Temperature and humidity in terrestrial environments inside and outside of Borá IV Cave SD (Standard Deviation)

Meses Months	Vazão (m ³ .s ⁻¹) Discharge	Correnteza Current (m.s ⁻¹)	Temperatura Temperature	pH
Outubro - Oct.	0,566	2,42	25,2	7,7
Dezembro - Dec.	0,52	6	25,4	7,58
Fevereiro - Feb.	0,19	3	25,6	7,37
Abril - April	0,12	3,7	25,1	7,63
Junho - June	0,4	7,75	---	---
Média - Average	1,38	8,92	25,32	7,57
DP - SD	2,40	8,73	0,22	0,142

Tabela 2: Características físico químicas da água no riacho hipógeo, Caverna Borá IV.

Table 2: Physico-chemical properties of water in hypogean creek, Borá IV Cave.

Categorias de detritos - Detritus categories						
Período de retenção Retention period	Dias de retenção Days of retention	Folhas e Fragmentos (g/dias) Leaves and fragments (g/day)	Troncos (g/dias) Woody twigs	Frutos e Sementes (g/dias) Fruits and seeds (g/day)	Raiz (g/dias) Roots (g/day)	Total (gr/dia) Total (g/day)
Ago/01 – Out/01 Aug. Oct.	66	0,2366	0,023	0	0	0,2596
Out/01 – Dez/01	59	0,5084	0,0157	0,00517	0,0107	0,53997
Dez/01 - Fev/02 Dec. Feb.	68	0,2728	0,9128	0	0	1,1856
Fev/02 – Mar/02	43	0,9788	0	0,0212	0	1
Mar/02 – Jun/02 March - June	62	0	0,3565	0,0082	0	0,3647
Média (x) Average (s)		0,42	0,26	0,007	0,002	0,67
DP (s) Standard Deviation (s)		0,342	0,4	0,01	0,005	0,404

Tabela 3: Medidas bimestrais de retenção de detritos, importados via riacho para a Caverna Borá IV (DP: Desvio Padrão).

Table 3: Bimestral measurements of retention of stream-imported detritus, Borá IV Cave

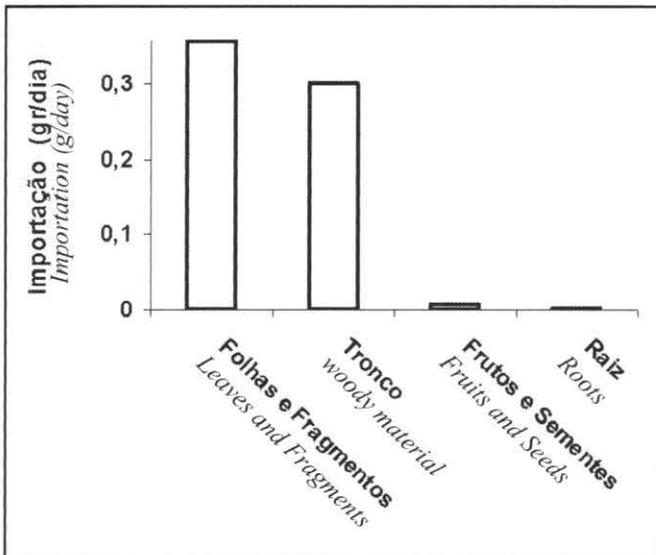


Figura 3: Importação de detritos, pelo riacho, para o interior da caverna Borá IV no período de agosto de 2001 até junho de 2002.

Figure 3: Stream-imported detritus in interior of Borá IV Cave from August 2001 to June 2002

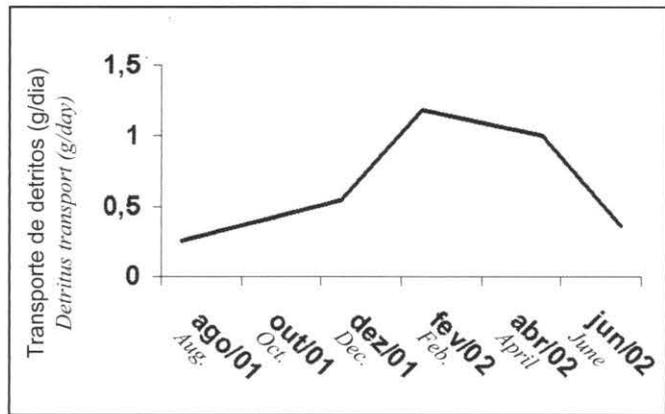


Figura 4: Importação mensal de detritos, pelo riacho, para o interior da caverna Borá IV no período de agosto de 2001 até junho de 2002

Figure 4: Monthly stream importation of detritus to interior of Borá IV cave (August 2001 to June 2002)

Local Location	Malha* Mesh	K	Processamento Processing	Peso inicial Initial weight	Peso final Final weight
Epígeo terrestre Epigeal terrestrial	1	0,006	Lento Slow	0.657	0.205
Epígeo terrestre	2	0,008	lento	0.652	0.174
Epígeo terrestre	3	0,014	Moderado Moderate	0.62	0.075
Hipógeo terrestre 1 Hypogean terrestrial	1	0,01	Moderado	0.63	0.207
Hipógeo terrestre 1	2	0,007	lento	0.621	0.17
Hipógeo terrestre 1	3	0,011	moderado	0.542	0.109
Hipógeo terrestre 2	1	0,007	lento	0.631	0.197
Hipógeo terrestre 2	2	0,01	moderado	0.614	0.16
Hipógeo terrestre 2	3	0,02	moderado	0.578	0.09
Hipógeo Aquático Hypogean Aquatic	1	0,03	moderado	0.66	0.02
Hipógeo Aquático	2	0,046	moderado	0.65	0.013
Hipógeo Aquático	3	0,038	moderado	0.524	0.01

Tabela 4: Taxa de decomposição da matéria orgânica vegetal no interior e no exterior da caverna Borá IV.

* (1 = 0,01mm²; 2 = 1mm² e 3 = 9mm²)

Table 4: Rate of decomposition of organic plant material inside and outside of Borá IV Cave (1 = 0.01mm²; 2 = 1 mm² and 3 = 9 mm²)

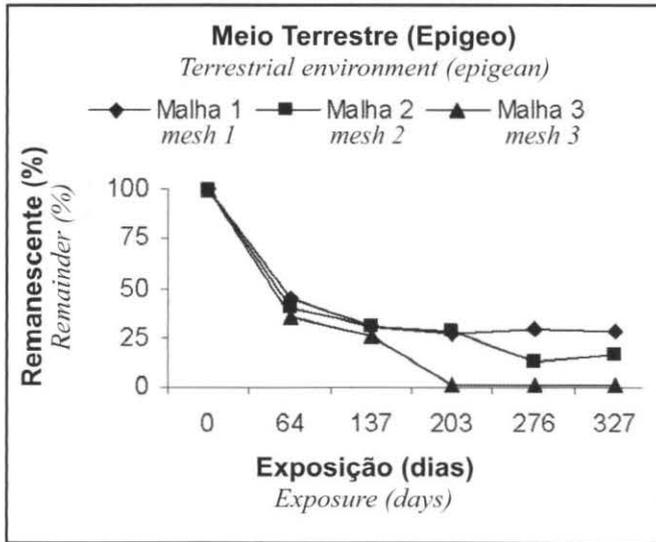
Ambiente aquático

Os discos vegetais que foram expostos à decomposição no riacho hipógeo apresentaram uma taxa de perda de peso moderada. Após 64 dias, em média, 93,3% da massa inicial de matéria vegetal havia sido decomposta. Houve uma perda de peso que foi ligeiramente superior nos "litter bags" de malha 3 onde, após 64 dias, restavam, em média, apenas 4,4% da matéria orgânica inicial. A me-

nor taxa de perda de peso foi registrada nos "litter bags" de malha 2, onde após 64 dias restaram 8,6% da matéria orgânica inicial ($K=0,046$) (Figura 8; Tabela 4).

A COMUNIDADE DE INVERTEBRADOS DA CAVERNA BORÁ IV

Foram encontrados um total de 98 indivíduos dis-



* 0.01-mm mesh 1-mm mesh 9-mm mesh

Figura 5: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente terrestre epigeo a Caverna Borá IV.

Figure 5: Percentage of weight loss of organic plant material exposed to decomposition in terrestrial epigeal environment in Borá IV Cave.

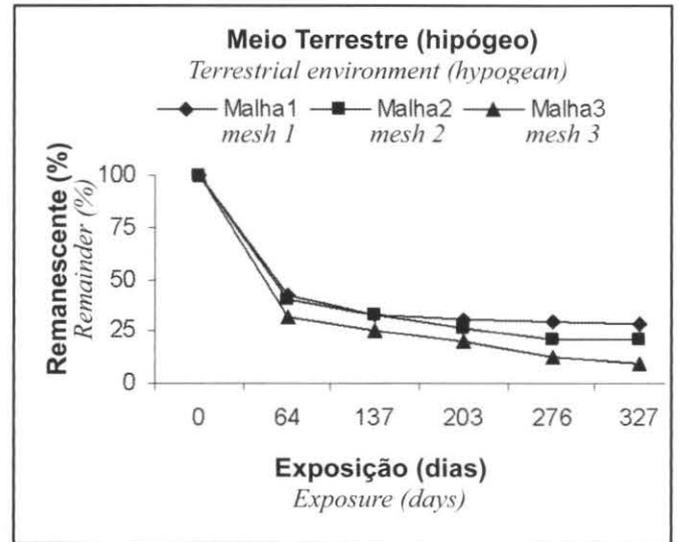


Figura 6: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente terrestre hipógeo da Caverna Borá IV.

Figure 6: Percentage of weight loss of organic plant material exposed to decomposition in terrestrial hypogean environment in Borá IV Cave.

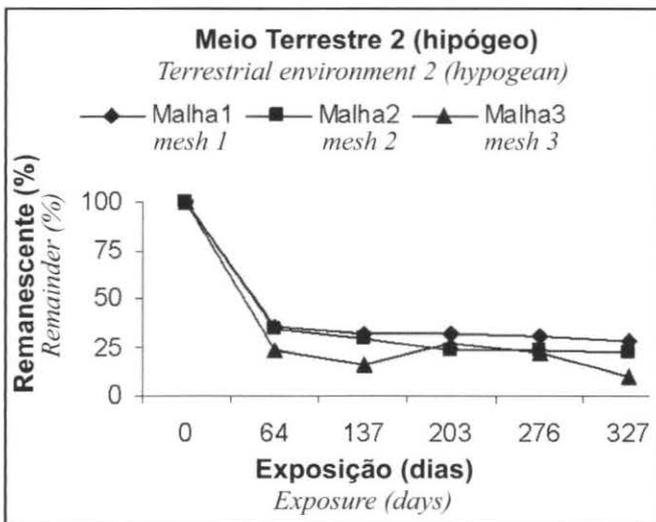


Figura 7: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente terrestre hipógeo da Caverna Borá IV.

Figure 7: Percentage of weight loss of organic plant material exposed to decomposition in terrestrial hypogean environment in Borá IV Cave.

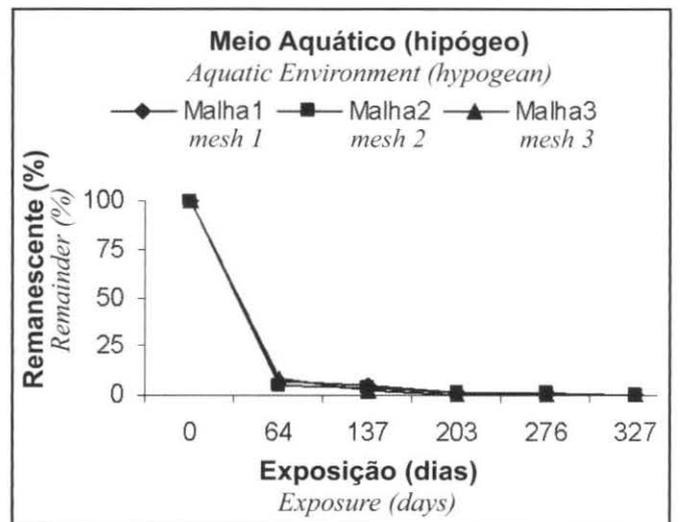


Figura 8: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente aquático hipógeo da Caverna Borá IV.

Figure 8: Percentage of weight loss of organic plant material exposed to decomposition in aquatic hypogean environment in Borá IV Cave.

tribuídos em 39 morfoespécies associadas ao ambiente terrestre e ao ambiente aquático da caverna: Annelida (2 spp.), Mollusca (2 spp.), Aranae (4 spp.), Opiliones (1 spp.), Pseudoscorpiones (1 spp.), Coleoptera (6 spp.), Collembola (3 spp.), Diptera (4 spp.), Blattodea (1 spp.), Ensifera (1 spp.), Heteroptera (2 spp.), Homoptera (3 spp.), Hymenoptera (3 spp.), Trichoptera (3 spp.), Symphyla (1

spp.), e Isopoda (1 spp.).

Coleoptera foi o grupo que apresentou a maior riqueza, com 6 diferentes morfoespécies. Hymenoptera foi a ordem mais abundante, com 24 indivíduos (Tabela 5).

O ambiente terrestre apresentou maior riqueza de espécies, com 22 morfoespécies, e também a maior abundância, 53 indivíduos (Tabela 5).

Taxa <i>Taxon</i>	Morfoespécie <i>Morphospecies</i>	Aquático <i>Aquatic</i>		Terrestre <i>Terrestrial</i>	
		R	A	R	A
Annelida	Annelida	2	4		
Aranae	Oonopidae			1	1
	Pholcidae (<i>Mesabolivar</i> sp.)			1	1
	Pisauridae (<i>Ancylometes</i> sp.)			1	1
	Theridiosomatidae (<i>Plato</i> sp.)			1	3
Coleoptera	Não Identificados			2	2
	Elmidae	2	13		
	Ptylodactilidae	1	4		
	Staphylinidae			1	1
Collembola	Arrhopalithidae			1	1
	Entomobryiidae			2	
Diptera	Chironomidae (larva)	1	4		
	Mycetophilidae (larva)	1	1		
	Simuliidae (larva)	1	1		
	Tipulidae (larva)	1	2		
Blattodea	Não Identificado			1	3
Ensifera	<i>Endecous</i> sp.			1	1
Heteroptera	Belostomatidae	2	6		
	Veliidae (<i>Rhagoelia</i> sp.)	1	4		
Homoptera	Cixidae			3	3
Hymenoptera	Evanidae			1	1
	Formicidae			2	23
Mollusca	Planorbidae	1	2		
	Não Identificado	1	1		
Symphyla	Symphyla sp.			1	6
Opiliona	Cosmetidae (<i>Paecilema</i> sp.)			1	4
Pseudoscorpiones	Chernetidae			1	1
Isopoda	Platyarthridae (<i>Trichorrina</i> sp.)			1	1
Trichoptera	Hydropsychidae (larva)	1	1		
	Não Identificados	2	2		
Total		17	45	22	53

Tabela 5: Composição e abundância dos invertebrados coletados na caverna Borá IV (R: riqueza de espécies, A: abundância de indivíduos).

Table 5: Invertebrates collected in Borá IV Cave: morphospecies and number (R: richness, A: abundance)

4. DISCUSSÃO

IMPORTAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA CARREADA PELA ÁGUA

Os recursos orgânicos importados para os ecossistemas subterrâneos podem ser carreados pela água da chuva ou de rios, além de poderem, também, ser transportados pelo vento ou por organismos que transitam entre o meio hipógeo e epigeo (e.g. morcegos, grilos e aves) (CULVER, 1982; HOWARTH, 1983; EDINGTON, 1984; GNASPINI-NETO, 1989; FERREIRA & MARTINS, 1999; SOUZA-SILVA, 2005). A água destaca-se enquanto agente de transporte físico, uma vez que pode movimentar grandes quantidades de folhas e troncos, tanto no ambiente epigeo como no ambiente hipógeo, principalmente em períodos de chuvas intensas, quando sua velocidade e seu fluxo são intensificados (WEBSTER *et al*, 1999; SIMON, 2000). Deste modo, as águas epígeas que alcançam ambientes subterrâneos funcionam como um “elo de ligação” entre os ecossistemas epígeos e hipógeos, possibilitando a troca de nutrientes e energia (GIBERT *et al*, 1994; GALAS *et al*, 1996; JASINSKA *et al*, 1996; PALMER *et al*, 2000).

A caverna Borá IV apresenta uma nítida variação no fluxo de matéria orgânica carreada pelo riacho que nela penetra ao longo do ano. A quantidade de matéria orgânica carreada pela água para o meio hipógeo varia de acordo com as diferenças nas taxas de chuva do ambiente epigeo. Deste modo, pode ser observado que no período chuvoso (dezembro a maio) houve um maior aporte de detritos orgânicos pelo riacho para o meio hipógeo, enquanto que no período de estiagem (junho a novembro) pouco material foi carreado para o interior da caverna.

A grande taxa de importação de material vegetal na estação chuvosa pode estar sendo favorecida não só pela força das águas neste período, mas também pela alta proporção de espécies vegetais caducifólias presentes nas áreas cársticas do entorno da caverna. Estas espécies vegetais perdem suas folhas nos períodos de estiagem, o que proporciona um grande acúmulo de serrapilheira durante a estação seca do ano (BRINA, 1998). Desta forma, este material acumulado é posteriormente carreado pela água no período chuvoso, proporcionando um grande fluxo de matéria vegetal para o interior dos sistemas hipógeos entre os meses de dezembro a maio. Este mesmo fenômeno na dinâmica de transporte da matéria orgânica vegetal foi observado em um estudo semelhante realizado na Lapa do Córrego dos Porcos, Damianópolis, Goiás (SOUZA-SILVA, 2003).

O material carreado para o interior da caverna Borá IV constitui-se principalmente de folhas, pequenos troncos e fragmentos vegetais. Estes dados corroboram com o que foi encontrado por SIMON (2000) e SOU-

ZA-SILVA (2003): partículas menores de matéria vegetal também foram mais intensamente carreadas para o interior da caverna. No caso da caverna Borá IV, a importação principalmente de matéria orgânica fragmentada ocorreu devido à existência de uma concentração de blocos abatidos na entrada da gruta, que pode funcionar como um “filtro”, que retém partículas maiores e só permite a entrada de materiais fragmentados e partículas menores. Tais obstáculos topográficos podem também favorecer a própria fragmentação do material retido, que acaba sendo transportado para regiões mais interiores somente após uma fragmentação mais intensa. Muitas vezes estas porosidades das entradas e dos condutos de ambientes hipógeos podem atuar como barreiras que retêm o material de maior tamanho, podendo dificultar sua entrada na caverna (GIBERT *et al*, 1994).

Mesmo havendo o conjunto de blocos abatidos na entrada de Borá IV, pode ser observada a importação de um grande fragmento vegetal para o interior da caverna. Este fato ocorreu no mês de fevereiro, quando um tronco de 913 gramas foi retido pela rede de coleta no interior da cavidade. Deste modo pode-se inferir que dois motivos podem ter contribuído para a entrada ocasional desta categoria de fragmento vegetal na caverna. O primeiro é uma clarabóia, que está localizada logo após os blocos abatidos e pode contribuir com o aporte de matéria orgânica particulada grossa para o trecho desobstruído do riacho hipógeo. O segundo está associado ao fluxo de água, que no período chuvoso torna-se mais intenso e pode resultar em colunas de água espessas e com grande energia de transporte, o que poderia facilitar a transposição de obstáculos principalmente pelos detritos mais maleáveis (SOUZA-SILVA, 2003).

Mesmo havendo uma grande taxa de importação de matéria orgânica para o interior das cavernas, no período chuvoso, não se pode assumir que nesta estação haja uma maior disponibilidade destes recursos para os organismos cavernícolas. O maior aporte de detritos na estação chuvosa é acompanhado por uma intensa lixiviação destes recursos do meio hipógeo para o meio epigeo. Desse modo, os detritos vegetais se acumulam no fundo do riacho somente na estação seca e, por consequência, é neste período que a fauna de invertebrados decompositores deve colonizar o recurso orgânico no meio hipógeo (SOUZA-SILVA, 2003). A eficiência de utilização de recursos por invertebrados aquáticos depende do tempo em que o recurso alimentar permanece disponível (ALLAN, 1995). Essa permanência pode depender da velocidade em que os detritos são consumidos e da frequência de lixiviação a que são submetidos. Deste modo, apenas a quantidade de recursos alimentares carreados pela água para o meio hipógeo não indica o status trófico da caverna, sendo também muito importante o tempo de permanência dos recursos e sua disponibilidade para a fauna (SOUZA-SILVA, 2003).

O PROCESSAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA VEGETAL

As etapas de processamento dos detritos vegetais nos ambientes aquático e terrestre da caverna Borá IV são similares ao encontrado por SOUZA-SILVA (2003) na Lapa do Córrego dos Porcos (LCP) e outros riachos epígeos (ALLAN, 1995; WEBSTER *et al*, 1999). Como é comum nos processos de decomposição da matéria orgânica, inicialmente ocorrem rápidas taxas de perda de nutrientes em virtude da lixiviação e força abrasiva da água, além de uma fragmentação pela presença de invertebrados que favorece o processamento dos detritos (GALAS *et al*, 1996). Assim, os primeiros compostos a serem degradados neste processo inicial são aqueles materiais solúveis e relativamente fáceis de serem decompostos (carboidratos e proteínas), enquanto os compostos recalcitrantes (gordura, celulose e lignina) são processados de maneira mais lenta. Porém, com o passar do tempo de exposição da matéria orgânica aos processos de decomposição, a proporção de materiais recalcitrantes tende a aumentar progressivamente na amostra, diminuindo assim a taxa de perda de peso nos momentos finais do processo (WIEDER & LANG, 1982).

Apesar de terem sido observadas semelhanças entre os processos de decomposição nos riachos hipógeos da LCP e Borá IV, as taxas de processamento dos detritos orgânicos apresentaram uma velocidade maior no estudo realizado por SOUZA-SILVA (2003) na LCP. A maior abundância e riqueza de espécies de fragmentadores no meio aquático e terrestre da LCP pode influenciar as taxas de fragmentação da matéria orgânica, acelerando o processo de decomposição. Além disso, muitos dos grupos de invertebrados presentes na LCP não estavam presentes na caverna Borá IV (e.g. Ephemeroptera, Plecoptera, Polydesmida e Diplura). SIMON & BENFIELD (2001) observaram uma relação significativa entre as taxas de perda de peso da matéria orgânica e a presença de invertebrados fragmentadores. A perda de peso foi maior em locais onde se encontraram maiores adensamentos de anfípodas e isópodes (especialmente *Gammarus minus*), do que em locais com baixa densidade destes organismos.

As diferenças entre as taxas de perda de peso nos "litter bags" não ocorrem somente entre duas cavernas distintas. Tais distinções podem ser observadas em um mesmo ambiente hipógeo, variando de acordo com as características dos locais nos quais os compostos orgânicos estão expostos à decomposição.

No ambiente terrestre de Borá IV as taxas de processamento da matéria orgânica vegetal foram mais lentas que as registradas no ambiente aquático desta mesma caverna. Isto ocorre porque o processamento de detritos orgânicos em riachos é atribuído a um conjunto de quatro grandes processos que atuam simultaneamente, e muitas vezes não ocorrem no ambiente terrestre pela ausência

de água. Tais processos são a lixiviação de compostos orgânicos solúveis, a abrasão e fragmentação pela ação da água, a decomposição microbiana e a fragmentação e decomposição por invertebrados (SIMON & BENFIELD, 2001). Além disso, no ambiente aquático foram encontradas 14 morfoespécies de invertebrados que podem atuar fragmentando os compostos vegetais, enquanto no ambiente terrestre foram encontradas somente 9. Como já citado anteriormente, os invertebrados podem acelerar o processo de decomposição quando presentes.

Também foram encontradas diferenças nas taxas de decomposição entre os ambientes terrestres epígeo e hipógeo. Essas diferenças podem ser atribuídas aos elevados valores e menores variações da umidade e temperatura no ambiente hipógeo comparado ao ambiente epígeo no entorno. A falta de condições favoráveis, das quais se destaca a baixa umidade da serrapilheira, pode inibir a colonização pela fauna e diminuir a velocidade de consumo dos detritos (GOLEY *et al*, 1978; WIEDER & LANG, 1982; HUMPHREYS, 1991). Além disto, águas que gotejam em espeleotemas e/ou escorrem pelas paredes podem acelerar ainda mais os processos de decomposição ao atuar na lixiviação dos compostos mais solúveis.

A COMUNIDADE DE INVERTEBRADOS

A baixa riqueza de invertebrados encontrada neste estudo pode estar relacionada às características oligotróficas dos ambientes terrestre e aquático comparado a outras grutas na mesma região da APA Nascentes do Rio Vermelho, como a Lapa do Córrego dos Porcos (LCP). Elementos importantes para a manutenção da estrutura das comunidades de invertebrados em ambientes hipógeos são escassos ou inexistentes na gruta (e.g. guano, raízes, troncos e folhas). Como exemplo pode-se citar a ausência de colônias de morcegos que poderiam fornecer outros tipos de fontes alimentares, como o guano, e assim aumentar a diversidade de recursos alimentares, o que favoreceria a colonização de um maior número de espécies de invertebrados na caverna. SOUZA-SILVA (2003) encontrou diversos grupos de invertebrados que não estão presentes na caverna Borá IV, dentre os quais Acari (9 spp.), Polydesmida (1 spp.), Isoptera (1 spp.) e Psocoptera (1 spp.). Todos estes grupos foram encontrados colonizando o guano de morcegos presente na LCP. Constata-se, desta forma, a importância deste recurso na manutenção de uma elevada diversidade de espécies no meio hipógeo.

No meio aquático hipógeo, a ausência de raízes pode ser considerada determinante para a baixa riqueza de invertebrados observada na gruta Borá IV. Na LCP foram encontrados 111 morfoespécies de invertebrados colonizando este recurso. Deste modo, muitas das espécies potencialmente colonizadoras das raízes estão ausentes na comunidade de invertebrados da gruta Borá IV

simplesmente pela inexistência deste tipo de recurso em seu meio aquático.

A riqueza e a abundância de invertebrados terrestres e aquáticos em ambientes de cavernas são influenciadas diretamente pela quantidade, qualidade e variedade de recursos alimentares disponíveis (FERREIRA & MARTINS, 1999; SOUZA-SILVA, 2003). Desta forma, na caverna Borá IV (um ambiente com uma pequena variedade de recursos), foi observado um total de 39 espécies de invertebrados, enquanto na LCP, onde podem ser encontrados guano de morcegos hematófagos e carnívoros, além de raízes no meio aquático, SOUZA-SILVA (2003) observou um total de 269 morfoespécies de invertebrados no ambiente hipógeo. Cabe destacar que estas cavernas encontram-se próximas e associadas ao mesmo complexo cárstico. Além disso, ambas possuem dimensões semelhantes.

4. CONCLUSÕES

· As diferenças entre os fluxos de água que atingem o ambiente hipógeo alteram a quantidade de recurso disponível no interior da caverna Borá IV, atuando, também, como um importante fator que determina a dinâmica da disponibilidade de recursos nesse ambiente.

· As taxas de processamento de recursos orgâni-

cos na caverna Borá IV e no ambiente do entorno são determinadas pelas condições do ambiente (temperatura e umidade). Além disso, tais taxas podem ser aceleradas pela presença de organismos decompositores.

· A riqueza na comunidade de invertebrados presentes no ambiente hipógeo pode ser determinada pela diversidade e qualidade de recurso disponível para a fauna.

· Estudos sobre a disponibilidade e uso de recursos em cavernas são cruciais para o entendimento da dinâmica trófica nestes ambientes e também para a conservação da diversidade da fauna subterrânea.

5. AGRADECIMENTOS

ECMVS, IBAMA/CECAV (José A. Motta), CAPES, FAPEMIG, CNPq e US Fish & Wildlife Service pelo auxílio na execução da pesquisa. R. P. Martins é pesquisador IB do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq – Brasil).

6. REFERÊNCIAS

(Vide pag. 45)

IMPORTATION AND PROCESSING OF ORGANIC DETRITUS IN LIMESTONE CAVE

1. INTRODUCTION

Caves are formed by the action of water and constitute part of the complex of features and geomorphological processes known as karst. Karst represents the functional unit of drainage, with its geological and biological components based on soluble carbonate rocks (GILBERT et al, 1994).

The total absence of light in the cave environment means that no photosynthesis can take place. Only in a very few caves is there any primary food production from the chemosynthesis of bacteria (SARBU et al, 1996). However, indirect primary production can occur by hydrotropism from roots penetrating the underground and aquatic environment of relatively shallow caves (HOWARTH, 1983; JASINSKA et al, 1996; SOUZA-SILVA, 2003; FERREIRA, 2005). Since the presence of plant roots in the hypogean environment is not common, however, at least not in systems associated with limestone rocks, invertebrate communities in caves are generally dependent on allochthonous resources, transported either regularly or periodically into the hypogean environment by physical or biological agents (SOUZA-SILVA, 2003).

Physical agents such as rivers and floods, as well as percolation of water through the ceiling or walls or

through openings or fractures which may exist in caves, are responsible for much of the importation (GILBERT et al, 1994). Biological agents also make an important contribution to the transport and secondary production of detritus. Roots grow and die, and animals which use caves as shelter (e.g. bats) or accidentally enter them also die there (FERREIRA, 2005). However, food resources in the cave environment tend to be scarce and ephemeral. Cave invertebrates must thus have distinct ways of meeting the pressure of food scarcity, depending on the nutritional dynamics of input, retention and consumption of detritus in the cave.

Cave organisms can be classified according to ecological evolutionary characteristics arising from specialization or adaptation to the cave environment (HOLINGER & CULVER, 1988). The first category consists of the troglonemes, which are organisms often found in the underground environment, although they regularly leave it to find food. The second is the troglonemes, or organisms capable of completing their life cycle in the cave, although they are also capable of doing so in the epigean environment. The third category involves the troglonemes, which consist of organisms restricted to the cave environment; these individuals often present morphological, physiological or behavioral specialization in response to the selective pressure present in caves

and/or the absence of the selective pressures typical of the epigeal environment.

Many authors assume a certain simplicity in relation to the invertebrate fauna of caves, with fewer species assumed to exploit the limited resources available in hypogean systems (CULVER, 1982; HOWARTH, 1983; JASINSKA et al, 1996; TRAJANO, 2000). However, in caves where the availability of food resources is high, invertebrate communities may have large numbers of species, and more complex food chains may develop. (FERREIRA & MARTINS, 1999; SOUZA-SILVA, 2003).

Studies of the dynamics of the importation and processing of food resources in cave environments are scarce (GRAENING, 2000; SIMON, 2000). The present paper was thus designed to evaluate the dynamics involving the rate of fluvial importation of detritus into the interior of the limestone cave Borá IV, as well as those of the processing of these food resources in both terrestrial and aquatic environments in this cave.

2. MATERIALS AND METHOD

LOCATION STUDIED

The present study was developed in the limestone cave Borá IV, located in the APA Nascentes do Rio Vermelho in Mambai, Goiás, in Brazil (UTM -14,312928S -46,64104W (CECAV, 2007) (Figure 1).

The vegetation in the area is mainly of Brazilian savannah (Cerrado). However, the cave is surrounded by predominantly dry deciduous thickets. The dry season extends for the six months from April to September (with a rainfall of less than 50 mm³) and the rainy season for the 6 months from October to March (Figure 2). The present study encompassed the period from August 2001 to July 2002.

The cave has two entrances communicating with the external environment, and it is traversed by a permanent stream which appears at a spring from among collapsed blocks in the interior of the cave. One of the entrances is in the ceiling, close to the spring; this circular collapse doline provides access for plant leaves and woody material, which accumulate under the entrance and are then transported to the interior of the cave by the wind or floods. The water from the spring forms an underground stream, an average of three meters wide, which follows a meandering course through the cave.

PROCEDURES

Input of large particles of organic material imported by water

The rate of importation of large particles of organic material carried into the cave by water (organic detritus) was evaluated by the installation of a PVC contention net (0.65 cm mesh) seven meters downstream from the spring and doline. This net retained the plant and animal material transported by the water into the interior of the cave. During visits every two months, all the material retained by the nets was removed, stored in plastic sacks, and taken to the IBAMA/CECAV support base in Mambai GO for immediate manual sorting and identification of macroinvertebrates. Bright light shining on white trays facilitated the separation of the specimens using tweezers and brushes. All biological material obtained was stored in pots containing 70% alcohol

for later identification (as completely as possible), and then separated into morphospecies.

The detritus collected was fixed in 2% formal and later dried. After drying, the material was separated into the categories of leaves and plant fragments, seeds and fruits, roots and woody twigs and branches. After a second drying (75o C for 48 hours), the material was weighed on a digital scale (Max. 50 g. e=1 mg, d=0.1 mg) and the rate of retention calculated.

Processing of organic plant material by invertebrates in cave interior

The analysis of the processing rate by invertebrates of different sizes on the fragmentation of plant or organic material involved the use of 10 x 10 cm nylon net bags with 9 mm², 1 mm² and 0.01 mm² mesh (Mesh 3, Mesh 2, and Mesh 1, respectively). Fifty circles were cut from the whole leaves of plants, weighed, and put into each bag (area = 63.6 mm² per circle). The leaves were from plants commonly found in karst areas: *Ficus calyptroceras* (Moraceae), *Piper* sp. (Piperaceae), *Hex* sp. (Aquifoliaceae), *Eschweilera* sp. (Lecythidaceae) and *Acalypha* sp. (Euphorbiaceae).

Seventy two bags were distributed at four points (three hypogean and 1 epigeal), eighteen at each. One of the three hypogean points was located in the river, while the other two were located on land.

The epigeal point was located on the ground close to the entrance of the cave.

At the aquatic point, the speed of the current (m.s⁻¹), temperature, pH, and total discharge (m³.s⁻¹) were measured (ALLAN, 1995). At the terrestrial points in both epigeal and hypogean environments, the humidity and temperature were measured. Every two months, three of the nylon net bags were removed, one from each location, for quantification of the percentage of loss of weight, using the following formula: % weight loss = (initial weight (g) - final weight (g))/initial weight (g) x 100.

An analysis of the rate of processing was also made using the model provided by the exponential equation $M_t = M_0 e^{Kt}$ (OSLON, 1963; WEIDER & LANG, 1982). In this model, M_t is the weight at time t ; M_0 is the initial weight and K is the slope (log of weight x time).

During the bi monthly visits to the cave, terrestrial and aquatic invertebrates were collected using a tweezer and brushes. All organisms found were identified as completely as possible and grouped into morphospecies.

3. RESULTS

TEMPERATURE AND HUMIDITY

Terrestrial environment

The temperature varied in both epigeal and hypogean environments, but the variation inside the cave was lower. At the terrestrial epigeal point, the highest temperature measured was 35.5o C (in October), and the lowest was 26.5o C (in December). The highest temperature at the terrestrial hypogean point was 28.1o C (in December), and the lowest at this point was 24.9o C in June. At the aquatic hypogean point, the temperature reached its highest value (28.9o C) in the months of October and December and the lowest value (24.3o C) in June (Table 1).

Aquatic environment

The discharge and current speed of the water in the stream varied widely throughout the year. The largest discharge ($0.566 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) and fastest current speed ($2.42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) were registered in October, while the lowest discharge ($0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) was recorded in April, and the slowest current speed ($3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) in February (Table 2). The water was relatively alkaline, with the pH varying very little throughout the year (7.7-7.37). The water temperature was also quite stable, varying between 25.2 and 25.60 C (Table 2).

TROPHIC CHARACTERISTICS OF CAVITY

Fluvial importation of detritus to the interior of Borá IV Cave

Organic plant matter was the food resource most frequently transported into the interior of the cave, especially dry leaves and plant fragments (0.3566 g/day) and woody twigs (0.3 g/day), followed by fruits and seeds (0.006 g/day) and plant roots (0.0021 g/day) (Figures 3 and 4; Table 3).

Detritus was imported at the highest rate (1.1856 g/day) between December and February, at the height of the rainy seasons. The lowest rate (0.26 g/day) was obtained in August, coinciding with the dry period (Figures 3 and 4; Table 3).

PROCESSING OF ORGANIC PLANT MATERIAL IN TERRESTRIAL AND AQUATIC ENVIRONMENTS

Terrestrial environment

All of the nylon net bags revealed a loss in weight of more than 54.7% during the first 64 days. However, the circles of leaves exposed to decomposition in the interior of the cave revealed greater loss than those outside the cave (57.5%) (Table 4).

The greatest loss (77.3%) was registered for the bags with the largest texture ($9.0 \text{ mm}^2 = \text{Mesh 3}$) in the hypogean terrestrial environment. This terrestrial setting involved greater processing than the epigeal terrestrial setting ($K^{\text{day}^{-1}} = 0.014$). The lowest loss (54.7%) was registered in the epigeal environment (point 1) for the bags with the finest texture (mesh with 0.01 mm^2 holes), which was the setting with the lowest K_{dia} value (0.006) (Table 4; Figure 5).

After 327 days of exposure, the amount of organic plant material remaining in the nylon net bags was similar in all environments. However, those with the smallest mesh (0.01 mm^2 holes) had more material remaining (28.37% vs 6.7% for those with the 9 mm^2 mesh (Figure 5, 6 and 7; Table 4).

At all three points where the processing of plant detritus was evaluated in a terrestrial environment the bags with the 9 mm^2 mesh involved the greatest processing, and the smallest quantity of organic material remaining at the end of the experiment (Figures 5, 6 and 7; Table 4).

Aquatic Environment

The leaf circles which were exposed to decomposition in the hypogean stream suffered only a moderate rate of weight loss. After 64 days, an average of 93.3% of the initial plant material had been decomposed. There was a slight greater loss in the bags with the larger net, with an average of 4.4% of the initial organic material remaining. The lowest rate of loss was

registered for the bags with 1-mm mesh, in which 8.6% of the initial organic material remained ($K = 0.046$) (Figure 8; Table 4).

INVERTEBRATE COMMUNITY IN BORÁ IV CAVE

A total of 98 invertebrate individuals were found in the cave, representing 39 morphospecies, associated with either the terrestrial or the aquatic environments of the cave: Annelida (2 spp.), Mollusca (2 spp.), Aranae (4 spp.), Opiliones (1 spp.), Pseudoscorpiones (1 spp.), Coleoptera (6 spp.), Collembola (3 spp.), Diptera (4 spp.), Blattodea (1 spp.), Ensifera (1 spp.) Heteroptera (2 spp.), Homoptera (3 spp.), Hymenoptera (3 spp.), Trichoptera (3 spp.), Symphyla (1 spp.), and Isopoda (1 spp.).

The Order Coleoptera was responsible for the greatest variety of morphospecies (6); the Order Hymenoptera revealed the largest number of individuals (24) (Table 5).

The terrestrial environment revealed a slightly larger number of species, with 22 morphospecies identified; this was also the environment with the largest number of individuals (53) (Table 5).

4. DISCUSSION

ORGANIC INPUT IMPORTED BY WATER

Organic resources must be imported to underground ecosystems, whether by water (rainwater or rivers), the wind, or organisms which transit between the hypogean and epigeal environments (e.g. bats, crickets, and birds) (CULVER, 1982; HOWARTH, 1983; EDINGTON, 1984; GNASPINI-NETO, 1989; FERREIRA & MARTINS, 1999; SOUZA-SILVA, 2005). Water is the major physical transport process, since it can move large quantities of leaves and woody material, especially during periods of intense rain when the speed of flow is greater (WEBSTER et al, 1999; SIMON, 2000). Epigeal waters thus serve to link the epigeal ecosystem to that found underground, making the exchange of nutrients and energy between them possible (GIBERT et al, 1994; GALAS et al, 1996; JASINSKA et al, 1996; PALMER et al, 2000).

The Borá IV Cave shows a clear annual variation in quantity of organic material imported into the cave by the stream, a quantity which varies as a function of rainfall rate in the epigeal environment. During the rainy period (December to May) the stream imports a greater amount of organic detritus to the hypogean environment, although during the dry period (June to November) little material was carried in.

The large rate of importation of plant material during the rainy period may be facilitated not only by the force of the water during this period, but also by the large number of deciduous plants present in the karst area around the cave. These plants lose their leaves during dry periods, which leads to a large accumulation of leaf litter (BRINA, 1988). This accumulated material is later transported by water in the rainy season, resulting in a larger flow of plant material into the hypogean system during the wet months of December to May. This same phenomenon in the dynamics of the transport of organic plant material was reported in a similar study conducted in the cave Lapa do Córrego dos Porcos in

Damianópolis, Goiás (SOUZA-SILVA, 2003).

The material carried into the Borá IV Cave consisted mainly of leaves, small twigs and other fragments of plants. These data corroborate the results of SIMON (2000) and SOUZA-SILVA (2003) that the quantity of smaller particles of plant material transported into a cave is greater than that of larger particles. In the case of the Borá IV Cave, the import of organic matter mainly was due to the concentration of collapsed blocks at the entrance of the cave; these may serve as a filter, retaining larger particles and permitting only fragmented material and smaller particles to enter the cave. Such topographic obstacles may also favor fragmentation itself, as the material retained will only be transported further into the cave after intense fragmentation has occurred. Often the presence of such obstacles at cave entrances or their presence in the conduits in the hypogean environment serves as a barrier for larger elements, complicating the entrance of detritus into the cave (GIBERT et al, 1994).

The pile of collapsed blocks at the entrance of Borá IV does not totally inhibit the importation of large fragments into the interior of the cave. In February, for example, a tree branch weighing 913 grams was retained by the collecting net inside the cave. Two factors thus seem to contribute to the occasional entrance of such large plant fragments. The first is the doline, located right above the collapsed blocks, which might provide direct access of large particles of organic material to the unobstructed part of the hypogean stream; the second is associated with the flow of water, which becomes quite intense during the rainy period, resulting in deep channels of water with great transport energy, which would facilitate the overcoming of obstacles, especially by more malleable detritus (SOUZA-SILVA, 2003).

Even with the importation of a large amount of organic material into the cave during the rainy period, it is not possible to assume that there is necessarily a greater availability of food resources for cave organisms during this season, since in this period of the year the detritus which enters the cave may be washed right back out of the hypogean environment into the epigeal environment. With the strong currents in the stream, plant debris cannot settle to the bottom; it is only in the dry season that detritus settles out and organic resources become available for decomposition by invertebrate colonizers in the hypogean environment (SOUZA-SILVA, 2003). The efficiency of utilization of resources by aquatic invertebrates depends on the time for which food resources remain available (ALLAN, 1995). This availability depends on the speed with which the detritus is consumed, which is counterbalanced by the leaching of nutritional elements by the water in which it is submerged. Consequently, it is not the mere quantity of food resources carried into the cave which indicates the trophic status of that cave, but rather the residence time of these resources and their availability for consumption by the fauna (SOUZA-SILVA, 2003)

PROCESSING OF PLANT ORGANIC MATERIAL

The steps in the processing of plant detritus in aquatic and terrestrial environments in Borá IV Cave are similar to those reported by SOUZA-SILVA (2003) in the cave Lapa do Córrego dos Porcos (LCP cave) and other epigeal streams (ALLAN, 1995; WEBSTER et al, 1999). As it is common in the decomposition processes

of organic material, initially rapid rates of loss of nutrients occur due to leaching and the abrasive force of water, with fragmentation by invertebrates being somewhat delayed, because many of them prefer to process detritus (GALAS et al, 1996). The first compounds to be degraded in the initial processing are those materials which are soluble and relatively easily decomposed (carbohydrates and proteins); more resistant compounds (fat, cellulose, and lignin) are processed more slowly. As time of exposure of organic material to decomposition increases, the proportion of the resistant material remaining increases progressively, thus decreasing the rate of loss of weight during the final stages of the process (WIEDER & LANG, 1982).

Despite the similarities in decomposition processes in the hypogean streams of LCP and Borá IV caves, the processing rate of the organic detritus was more rapid in the LCP cave (SOUZA-SILVA, 2003). The greater diversity and abundance of fragmenting species in the hypogean environment in the LCP cave may have influenced the rate of fragmentation of the organic material, thus accelerating the process of decomposition. Moreover, many of the groups of invertebrates present in LCP were not present in Borá IV Cave (e.g. Ephemeroptera, Plecoptera, Polydesmida and Diplura). SIMON & BENFIELD (2001) observed a significant relation between the rate of weight loss of organic material and the presence of fragmenting invertebrates. The loss of weight was greater in locations where a greater density of amphipods and isopods was found (especially *Gammarus minus*) than where a low density of these organisms was found.

Differences in rate of weight loss from the bags can also be observed at different points in the same hypogean environment, with rate depending on the characteristics of the location in which the organic compounds are exposed to decomposition. In the terrestrial setting of Bora IV Cave, the processing rate of plant organic material was slower than the one registered in the aquatic setting of the same cave. The processing of organic detritus in streams is attributed to four general processes, acting simultaneously, but in a terrestrial setting, they may not all be triggered due to the lack of water. These processes are 1) leaching of soluble organic compounds, 2) abrasion and fragmentation by the action of the water, 3) microbial decomposition and fragmentation and 4) decomposition by invertebrates (SIMON & BENFIELD, 2001). Moreover, the number of invertebrates available for decomposing varies with location in the cave. In the aquatic setting in Borá IV Cave, fourteen morphospecies of invertebrates were found that may act in the fragmentation of plant compounds, whereas in the terrestrial environment only 9 were encountered. As mentioned above, the presence of invertebrates can accelerate the process of decomposition.

More rapid decomposition was also found in the hypogean terrestrial setting than in the epigeal one. Such a difference may be attributed to the higher levels and lower variations of humidity and temperature in the hypogean environment than in the epigeal environment. The lack of favorable conditions, especially the low humidity of the external leaf litter, may inhibit colonization by fauna and decrease the speed of consumption of the detritus (GOLEY et al, 1978; WIEDER & LANG, 1982; HUMPHREYS, 1991). Moreover, water dripping from speleothems and/or running down the walls of the cave may accelerate even more the decomposition process

by participating in the leaching of the more soluble compounds.

INVERTEBRATE COMMUNITY

The low diversity of invertebrate species found in this study may be related to the oligotrophic characteristics of the terrestrial and aquatic environments in relation to those of other caves in the same region in the APA Nascentes do Rio Vermelho, such as the Lapa do Córrego dos Porcos cave. Important elements for the maintenance of the structure of invertebrate communities in hypogean environments are scarce or non-existent in some caves (e.g. guano, roots, branches and leaves). One specific example would be the absence of bat colonies in Borá IV Cave, which could have furnished other sources of food, such as guano, thus increasing the diversity of food resources and favoring colonization by a larger number of invertebrate species. SOUZA-SILVA (2003) found various groups of invertebrates in the LCP cave which were not present in Borá IV Cave, among them Acari (9 spp.), Polydesmida (1 spp.), Isoptera (1 spp.) and Psocoptera (1 spp.). All of these groups were found colonizing the bat guano present in the LCP cave. This suggests the importance of this resource in the maintenance of a high diversity of species in a hypogean environment.

In the aquatic hypogean environment, the absence of roots may also be a critical factor in the low diversity of invertebrates observed in Borá IV Cave, since in LCP cave, 111 invertebrate morphospecies were found colonizing roots. Many potential colonizers of roots are clearly absent from the invertebrate community of Borá IV Cave, since the food resource is unavailable in its aquatic setting.

The diversity and abundance of invertebrates in both terrestrial and aquatic environments in caves are both directly influenced by the quantity, quality, and variety of food resources available (FERREIRA & MARTINS, 1999; SOUZA-SILVA, 2003). Thus, in Borá IV Cave (an environment with little variety of resources), only 39 spe-

cies of invertebrates were found, whereas in LCP cave, where the guano of both hematophagous and carnivorous bats is available, as well as roots in the aquatic environment, SOUZA-SILVA (2003) observed a total of 269 morphospecies of invertebrates. Despite this difference in diversity, the two caves are of similar size and located quite close to each other in the same karst complex.

4. CONCLUSIONS

Variations in the flow of water reaching the hypogean environment alters the quantity of food resources available in the interior of Borá IV Cave; it also acts as an important factor influencing the availability of these food resources.

The processing rates of organic resources in Borá IV Cave and in its vicinity above ground are determined by environmental conditions, especially temperature and humidity. Moreover, the rate can be accelerated by the action of decomposing organisms present in the environment.

The diversity of the invertebrate community in the hypogean environment is at least partially determined by the diversity and quality of food resources available.

Studies of the availability and use of potential sources of food in caves are crucial for a better understanding of the food chains in such environments, as well as for the conservation of the diversity of the underground fauna.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the following for their assistance in the conduction of this research: EC MVS, IBAMA/CECAV (José A. Motta), CAPES, FAPEMIG, CNPq and US Fish & Wildlife Service. The contribution of the research fellowship of R.P. Martins by the Brazilian National Research Council (CNPq) is also acknowledged.

6. BIBLIOGRAPHY

- ALLAN, J.D. (1995). **Stream ecology – Structure and function of running waters**. Oxford: Alden Press, 377 p.
- BRINA A.E. (1998). **Aspectos da dinâmica da vegetação associada a afloramentos calcários na APA carste de Lagoa Santa, MG**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais/Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, 105 p..
- CECAV/IBAMA. **Base de Dados Geoespacializados de Cavidades Naturais Subterrâneas**. www.ibama.gov.br/cecav. Acesso em: 30 de abril de 2007.
- CULVER, D.C. (1982). **Cave Life**. Harvard University, Massachusetts, London and Englan.: Cambridge Press, 189 p..
- EDINGTON, M. (1984). Biological observations on the Ogbuiké cave system, Anambra state, Nigeria. **Studies in Speleology**, 5:31-38.
- FERREIRA, R.L. & MARTINS, R.P. (1999). Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, 12:231-252.
- FERREIRA, R.L. (2005). **A medida da complexidade biológica, e suas aplicações na ecologia e manejo de sistemas subterrâneos**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais/Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, 168 p..

- GALLAS, J.; BEDNARZ, T.; DUMMICKA, A.; STARZECKA & WOJAN, K. (1996). Litter decomposition in a mountain cave water. **Arch. Research**, 36(3):459-469.
- GRAENING, G.O. (2000). **Ecosystem dynamics of an Ozark cave**. Ph.D. requirements in University of Arkansas, 99 p..
- GILBERT, J.D.L.; DANIELPOL & STANFORD, J.A. (1994). **Groundwater ecology**. Academic Press Limited, San Diego, Califórnia, 571p..
- GNASPINI-NETO, P. (1989). Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, 33(2):183-192.
- GOLEY, F. B.; McGRINNIN, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I. & DUEVER, M.J. (1978). **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical**. Ed. Universitária, São Paulo, 256 p..
- HOLSINGER, R. & CULVER, D.C. (1988). The invertebrate cave fauna of Virginia and a part of eastern tennessee: zoogeography and ecology. **Brimleyana**, 14:1-162.
- HOWARTH, F.G. (1983). Ecology of cave arthropods. **Annual Review of Entomology** 28:365-389.
- HUMPHREYS, W.F. (1991). Experimental re-establishment of pulse-driven population in a terrestrial troglobite community. **Journal of Animal Ecology**, 60:609-623.
- JASINSKA, E.J.; KNOTT, B. & McCOMB, A.J. (1996). Hot mats in groundwater: a fauna-rich cave habitat. **Journal of American Benthological Society**, 15(4):508-519.
- OSLON, J.S. (1963). Energy storage and the balance of producer and decomposers in ecological systems. **Ecology**, 44(2):322-331.
- PALMER, M.A.; COVICH, C.P.; LAKE, S.; BIRO, P.; BROOKS, J.J.; COLE, J.; DAHM, C.; GIBERT, J.; GPOEDKOOP, W.; MARTENS, K.; VERHOEVEN, J. & BUND, W.J.V. (2000). Linkages between aquatic sediment biota and life above sediments as potential drivers of biodiversity and ecological processes. **BioScience**, 50(12):1062-1075.
- SARBU, S.M.; KANE, T.C. & KINKLE, B.K. (1996). A chemoautotrophically based cave ecosystem. **Science**, (272):1953-1955.
- SIMON, K.S. (2000). **Organic matter dynamics and trofic structure in Karst groundwater**. Ph.D. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 91 p..
- SIMON, K.S. & BENFIELD, E.F. (2001). Leaf and wood breakdown in cave streams. **Journal of North American Benthological Society**, 20(4):550-563.
- SIMON, K.S. & BENFIELD, E.F. (2002). Ammonium retention and whole-stream metabolism in caves streams. **Hydrobiologia**, 482:31-39.
- SOUZA-SILVA, M. (2003). **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais/Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre, 76 p..
- TRAJANO, E. (2000). Cave faunas in the atlantic tropical rain Forest: composition, ecology and conservation. **Biotropica**, 32(4b):882-893.
- WEIDER, R.K. & LANG, G.E. (1982). A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, 63(6):1636-1642.
- WEBSTER, J.R.; BENFIELD, E.F.; EHRMAN, T.P.; SCHAEFFER, M.A.; TANK, J.L.; HUTCHENS, J.J. & D'ANGELO, D.J. (1999). What happens to allochthonous material that falls into streams? A synthesis of new and published information from Coweeta. **Freshwater Biology**, 41:687-705.
- ZAR, J.H. (1996). **Biostatistical analysis**. 3th edition. Prentice Hall, New Jersey.

**GEOLOGIA E CONTROLE ESTRUTURAL DE CAVERNAS
ARENÍTIAS EM SÃO JERÔNIMO DA SERRA – PR, BRASIL**
*GEOLOGY AND STRUCTURAL CONTROL OF SANDSTONE CAVES IN
SÃO JERÔNIMO DA SERRA (PARANÁ STATE, BRAZIL).*

Ângelo Spoladore

spolador@uel.br

UEL - Universidade Estadual de Londrina

CCE / Dep. de Geociências / Laboratório de Pedologia e Geologia

Rodovia Celso Garcia Cid - PR 445, km 380

Campus Universitário

Cx. Postal 6001 - CEP 86051-990 - Londrina-PR

Luiz Roberto Cottas

lrcottas@yahoo.com.br

UNESP – Universidade Estadual de São Paulo

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro SP

Rua 10, nº 2527 - Bairro Santana

CEP 13500-230 - Rio Claro - SP

RESUMO

No município de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná (Brasil) foi localizada uma série de cavidades naturais desenvolvidas em rochas areníticas pertencentes à Formação Botucatu (Grupo São Bento – Bacia Sedimentar do Paraná). Na região afloram ainda litologias pertencentes às formações Rio do Rasto (Grupo Passa Dois) e Serra Geral (parte superior do Grupo São Bento). Também foram identificadas zonas de cisalhamento de caráter eminentemente rúptil bem como famílias de fraturas orientadas segundo direções preferências. Tais estruturas condicionam os diferentes elementos de relevo. Com relação às cavernas, trata-se de cavidades pouco desenvolvidas, moderadamente ornamentadas podendo ou não possuir curso d'água em seu interior bem como vestígios arqueológicos. Todas as cavidades estudadas apresentam gênese e desenvolvimento intimamente relacionados com as estruturas tectônicas identificadas nas rochas.

Palavras chave: Espeleologia, geoespeleologia, cavernas areníticas

ABSTRACT

In São Jerônimo da Serra, Paraná State (Brazil) was located a series of natural cavities developed in sandstones rocks belonging to the Botucatu Formation (Group São Bento - Sedimentary Basin of Paraná). In the area also was found rocks that belong to the formations Rio do Rasto (Group Passa Dois) and Serra Geral (superior portion of the Grupo São Bento). They were identified rúptil shear zones eminently as well as families of fractures and joints guided according to directions preferences. Such structures condition the different relief elements. The cavities has a few metres of development, moderately ornamented; same times exists a course of water inside the cave as well as archeological tracks. The caves studied present genesis and development intimately related with the identified tectonic structures in the rocks.

Key words - Speleology, geospeleology, sandstone caves.

1. INTRODUÇÃO

Devido às características geológicas, na região de São Jerônimo da Serra, norte do Estado do Paraná, ocorre uma série de atrativos naturais tais como quedas d'águas, mirantes naturais e cavernas.

Com relação às cavernas, são cerca de 60 cavidades que se desenvolveram em meio aos litotipos da Formação Botucatu. Tratam-se abrigos, tocas em cavernas com desenvolvimento que pode alcançar cinquenta metros e moderadamente ornamentadas. Tais cavidades apresentam nítido controle estrutural, estando localizadas a longo de linhas de zonas de cisalhamento com características eminentemente rúpteis.

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS A ÁREA DE ESTUDO

São Jerônimo da Serra está localizada no norte do Paraná distando cerca de 80 km da cidade de Londrina (Figura 01).

A principal via de acesso é a PR-090. Trata-se de via pavimentada em bom estado de conservação, onde o tráfego de veículos automotores é constante ao longo de todo o ano.

No Município de São Jerônimo da Serra as estradas vicinais não possuem pavimentação asfáltica, estando precariamente preservadas. Tal fato acarreta que, em épocas chuvosas, o tráfego em algumas dessas vias tor-

na-se impraticável.

3. AS CAVERNAS DE SÃO JERÔNIMO DA SERRA

A região de São Jerônimo abriga um belo conjunto de cavernas em arenitos. São cerca de 60 cavernas desenvolvidas nos litotipos da Formação Botucatu com dimensões variáveis e ricas em ornamentos diversos.

Destacam-se as seguintes cavidades: Gruta do Cedro I, Gruta do Cedro II, Gruta Arco Verde, Gruta do Poço, Abrigo do Porto de Areia e Abrigo do Assentamento.

Caverna Terra Nova

· Localizada nas imediações de Terra Nova, o acesso é feito por intermédio de uma trilha pouco marcada por aproximadamente 1,5km. Local pouco conhecido e pouco visitado. A caverna não foi mapeada. Todavia foi observado que a caverna possui pelo menos 03 salões. Observa-se uma grande quantidade de água no interior da caverna. Cavidade desenvolvida em meio a

arenitos da Formação Botucatu.

Toca do Tibagi

· Localizada a cerca de 1,5km da margem do Rio Tibagi. Para chegar até o local é mais fácil ir até Tamarana e daí então pegar um barco para atravessar o Tibagi, quando então se segue por mais quilômetro e meio sem trilha demarcada. O local é pouco conhecido e praticamente sem visitação. A caverna não mapeada. Todavia foi observado que a caverna possui pouco desenvolvimento sendo o teto muito baixo. Apesar da cavidade ter se desenvolvida em meio a litologias areníticas, possui diversos ornamentos de composição carbonática.

Gruta Arco Verde

· Localizada na Fazenda Arco Verde, estrada que une São Jerônimo a Terra Nova. Local bastante conhecido e com boa visitação. Não existe qualquer tipo de infra-estrutura no local. Seu desenvolvimento é de 52m. Pode apresentar quantidade variável de água em seu interior. Observa-se grande quantidade de depósitos sedimentos (areia) transportados e depositados pelas águas de escoamento superficial que adentram na caverna. Ca-

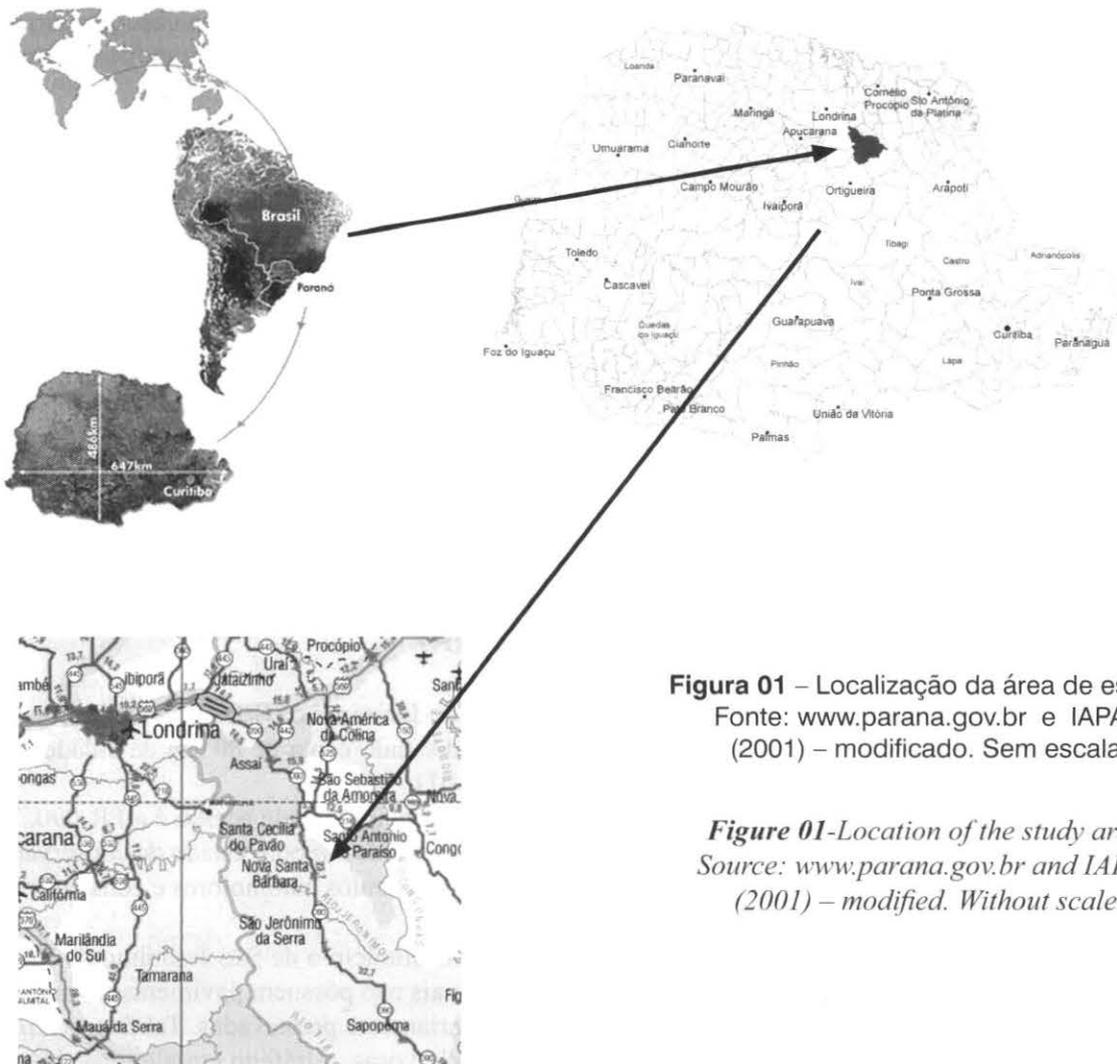


Figura 01 – Localização da área de estudo.
Fonte: www.parana.gov.br e IAPAR (2001) – modificado. Sem escala.

Figure 01-Location of the study area.
Source: www.parana.gov.br and IAPAR (2001) – modified. Without scale.

vidade desenvolvida em meio a arenitos da Formação Botucatu.

Gruta das Urtigas

· Com um desenvolvimento de 35m a Gruta das Urtigas (ou Água do Capim) está localizada na Fazenda Arco Verde, às margens da estrada que une Terra Nova a São Jerônimo. Para chegar até a caverna segue-se por trilha pouco marcada. Apesar de ser visível da estrada, o local é pouco visitado. Observa-se grande quantidade de blocos abatidos e de água no interior da caverna. Caverna desenvolvida em meio a arenitos da Formação Botucatu. Foram identificados restos arqueológicos (fragmentos líticos e cerâmicos)

Gruta do Poço

· Não existe trilha demarcada para o acesso à caverna, apesar das evidências da utilização da caverna para fins religiosos. O local é pouco conhecido e pouco visitado. Para se chegar até esta caverna deve-se seguir por uma trilha por aproximadamente 2,5km. Até o momento a cavidade não foi mapeada. Todavia foi observado que a caverna possui três grandes salões. Nota-se a existência de drenagem em seu interior.

Gruta Gostoso

· O acesso a esta caverna é feito por estrada sem conservação onde é possível seguir somente por caminhada. Local pouco conhecido e praticamente sem visitação. A caverna foi parcialmente mapeada. Até o momento foram mapeados 70 metros de caverna. No interior desta cavidade existe uma drenagem com vazão bastante razoável. Temperatura interna baixa (média de 16°C). Caverna desenvolvida em meio a arenitos da Formação Botucatu.

Toca do Porto de Areia

· Cavidade localizada próxima a um porto de areia existente na saída de São Jerônimo em direção a Terra Nova. O acesso é feito por trilha pouco marcada. Local pouco conhecido e pouco visitado. Cavidade pouco desenvolvida (8m) desenvolvidas em meio a arenitos da Formação Botucatu. Vestígios arqueológicos foram identificados no interior da cavidade.

Caverna do Cedro I

· Localizada na reserva indígena Barão de Antonina, Sub-Sede do Cedro. A trilha que dá acesso ao local é pouco marcada. Local pouco conhecido e pouco visitado. A cavidade tem um desenvolvimento de 45m em meio aos arenitos da Formação Botucatu. Foi identificada grande quantidade material arqueológico no interior da caverna.

Caverna do Cedro II

· Localizada ao lado da Gruta do Cedro I. Local

pouco conhecido e pouco visitado. A cavidade se tem um desenvolvimento de 36,8m em meio aos arenitos da Formação Botucatu. Existe uma ligação entre as cavernas do Cedro I e Cedro II.

Caverna do Cedro III

· Localizada ao lado das Cavernas Cedro I Cedro II. Local pouco conhecido e pouco visitado. Seu desenvolvimento é de 52,4m. Foi observada a presença de água em seu interior bem como uma grande quantidade de blocos abatidos próximos a sua entrada. Cavidade desenvolvida em meio a arenitos da Formação Botucatu.

Caverna do Cedro IV

· Localizada ao lado das Cavernas Cedro I, II e III. Local pouco conhecido e pouco visitado. Possui um desenvolvimento de 48m em meio aos arenitos da Formação Botucatu.

Água da Pedra

· Localizada nas proximidades do distrito de Pinhal. O local é bastante conhecido recebendo vários visitantes. A caverna tem um desenvolvimento de 16m em meio aos arenitos da Formação Botucatu. A cavidade é utilizada para fins religiosos.

Caverna do Bira

· Situada nas proximidades do Distrito do Pinhal, o acesso é feito através de trilha pouco marcada com aproximadamente 3,2km. Com um desenvolvimento de 47,1m em meio aos arenitos da Formação Botucatu. A cavidade possui duas entradas e fica atrás da Cachoeira do Bira

Gruta Alta

· Localizada próximo ao Distrito de Pinhal. O local é desconhecido não recebendo visitas. A caverna não mapeada sendo composta por um único salão com formato circular. A cavidade se desenvolveu em meio aos arenitos da Formação Botucatu.

Gruta Baixa

· Localizada próxima a Pinhal. O local é desconhecido não recebendo visitantes. A caverna não mapeada, todavia a mesma possui dois salões com formato circulares e com diâmetro aproximado de 20m, sendo seu teto extremamente baixo.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

A área de estudo está situada nos domínios da Bacia Sedimentar do Paraná. Trata-se de uma extensa depressão deposicional situada na parte centro-leste do continente sul-americano abrangendo parte dos Estados de Goiás e Minas Gerais e grande parte dos Estados de

São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso. (SCHNEIDER *et al.*, 1974). É uma bacia intracratônica simétrica, preenchida por sedimentos do paleozóico, mesozóico, lavas basálticas e, localmente, rochas cenozóicas.

LITOESTRATIGRAFIA

Em São Jerônimo da Serra foram identificadas rochas pertencentes à Formação Rio do Rasto (Grupo Passa Dois) e as formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (Grupo São Bento) - Figura 02.

Grupo Passa Dois

A sedimentação permiana encontra-se representada na área pela Formação Rio do Rasto. Esta unidade encerra o longo ciclo sedimentar e marca a mudança no tipo de sedimentação, que passa de siltico-argilosa, característica dos mares epicontinentais no permiano, para a sedimentação arenosa, de ambientes desérticos, reinantes durante o triássico-jurássico.

Formação Rio do Rasto

Litologicamente, a Formação Rio do Rasto é constituída por siltitos com intercalações contínuas ou lenticulares de arenitos (Painel 01). Apresenta colorações muito variadas, predominando termos vermelho-rosado, cinzentados, esverdeados e arroxeados (Painel 01).

Esta unidade pode ser subdividida em dois membros: Serrinha (inferior) e Morro Pelado (superior), divisão esta adotada por Schneider *et al.* (1974). Na porção inferior da unidade predominam siltitos com intercalações de arenitos (Painel 01). Os arenitos se apresentam maciços, podendo ocorrer também bancos com estratificações cruzadas acanaladas. Na porção superior da unidade, ocorrem siltitos argilosos, e arenitos. As intercalações arenosas são predominantemente lenticulares, com nítido acunhamento. Apresentam quase sempre estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte, sendo os bancos maciços menos comuns.

Grupo São Bento

O Grupo São Bento, de idade juro-cretácea, é constituído pelos arenitos fluviais da Formação Pirambóia, pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu e pelas lavas intrusivas e arenitos intertrapianos da Formação Serra Geral.

Formação Pirambóia

A Formação Pirambóia constitui-se basicamente de arenitos, arenitos conglomeráticos e raros níveis de argilito. Na área de estudo, tais arenitos apresentam-se esbranquiçados a rosados sendo facilmente desagregados. Localmente podem estar silicificadas.

São arenitos mal selecionados, com grãos finos predominantes e médios subordinados, apresentando

formas sub-angulares e sub-arredondadas, com constituição essencialmente quartzosa e pouca quantidade de matriz siltico-argilosa. Podem ocorrer níveis conglomeráticos.

Localmente ocorrem bancos de estratificação cruzada de grande porte, com níveis de laminação plano-paralela, raras lentes de argilitos siltosos vermelhos, de espessuras centimétricas a decimétricas podem ocorrer.

Com relação origem desta unidade, segue as propostas de Caetano-Chang (1993) que postula que a Formação Pirambóia teria se depositado em um ambiente formado por lençóis de dunas eólicas com interdunas úmidas, intercalados com depósitos fluviais.

Formação Botucatu

Esta unidade litoestratigráfica é constituída por arenitos avermelhados e esbranquiçados (Painel 01), grãos finos a médios, bimodais, arredondados e bem selecionados. Apresenta estratificação cruzada tabular de grande porte, os estratos são em geral bem laminados, ocorrendo com frequência lâminas de diferentes granulometrias. Sua mineralogia principal é quartzosa, ocorrendo como acessórios minerais opacos, moscovita, minerais pesados e até fragmentos de quartzito. Estes arenitos podem apresentar-se silicificados, podendo o cimento representar mais de 30% na sua constituição.

São comuns as estratificações cruzada tangencial, plano-paralela e cruzada-acanalada (Painel 01). As características litológicas e sedimentares da unidade evidenciam deposição eólica em ambiente desértico, sendo raros os depósitos lacustres.

Não foram encontrados restos fósseis. A idade juro-cretácea é atribuída à unidade, por relações estratigráficas, pois está situada entre os derrames basálticos do juro-cretáceo e a Formação Rosário do Sul, do triássico médio a superior.

Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é formada por derrames vulcânicos de caráter básico, intermediário e ácido, distribuídos amplamente pela Bacia Sedimentar do Paraná.

O pacote vulcânico mesozóico localiza-se acima da Formação Botucatu, sendo freqüentes lentes intertrapianas de arenitos. A estratigrafia da Formação Serra Geral é bem definida, havendo coincidência dos derrames com a evolução projetada a partir dos estudos de geocronologia. Os derrames de natureza basáltica são localizados na base da seqüência vulcânica, seguido de manifestações de natureza intermediária que mantém certa contemporaneidade com as primeiras lavas ácidas. A Formação Serra Geral apresenta em sua litologias desde basaltos até rochas ácidas do tipo riolito. Associados aos basaltos foram identificados: vidro intersticial (obsidiana), apofilita, estilbita, natrolita, gyrolita, heulandita, pectolita, minerais de cobre, quartzo (ágata e calcedônia) e argilo-minerais são registrados em amídalas (Pai-

nel 02).

Em São Jerônimo da Serra ocorrem basaltos, dacitos pórfiros e diabásios bem como brechas ígneas e bombas vulcânicas (Painel 01).

O contato inferior da Formação Serra Geral com os arenitos da Formação Botucatu é discordante e intrusivo (Painel 01) e com as unidades mais antigas marca-se por discordância erosiva, jazendo a formação em certos locais, diretamente sobre as rochas do embasamento. O contato superior é discordante com as formações Caiuá, Bauru e Cachoeirinha.

GEOLOGIA ESTRUTURAL

A área de estudo encontra-se situada no contexto do Alinhamento São Jerônimo – Curiúva, definido por Ferreira (1982), flanco NE do Arco de Ponta Grossa. Considerando o trabalho de Soares *et al.* (1982), a área de estudo está inserida na faixa MI-5 (Piraí do Sul/Curiúva) de direção geral N45W±5 e na continuidade da faixa PT-4 de direção N60E±5.

Strugale *et al.* (2004) definiu na região o Horst do Rio do Tigre bem como uma série de zonas de falhas (Zona de Falha de Tamarana, Serra Grande, Apucarantina, Rio do Tigre).

Outros autores tais como Delavi (1996), Spoladore & Delavi (1997), Benitez (2001) e Spoladore (2006), reconhecem diferentes estruturas impressas nas rochas da região, bem como o alinhamento estrutural de elementos de relevo. Tais autores citam ainda que a história tectônica/estrutural da região de São Jerônimo da Serra apresenta um grau de complexidade razoável, sendo identificadas estruturas originadas em momentos diferentes na história geoevolutiva e com origens diversas.

Análise da Orientação dos Elementos de Relevo

Para analisar os principais elementos de relevo foram realizados levantamentos em imagens de satélites, aerofotografias e cartas topográficas do IBGE. Inicialmente, foi realizado estudo levantamento da orientação da rede hidrográfica, caracterizando inclusive os diferentes padrões de drenagem ao longo da área de estudo. Em um segundo momento, foi realizado levantamento visando caracterizar as orientações dos topos das elevações existentes na área.

De posse destes dados, foram elaborados diagramas de rosetas das orientações dos elementos de relevo analisados (figura 3).

A análise dos elementos de relevo nos permite caracterizar quatro direções preferenciais de orientação. São elas: N40/50W; EW; N40/60E; NS.

· Direção N40/50W - Esta direção é a mais evidente tanto na área de estudo. São característicos os alinhamentos retilíneos, localmente curvilíneos, contínuos e amplamente distribuídos pela área. Podem ser facilmente visualizados em imagens de satélites, aerofoto-

grafias ou mapa. Segundo esta direção foram identificados diques de diabásio e as zonas de cisalhamentos.

· Direção EW – Tal orientação, em uma primeira análise, não aparenta ter grande importância. Entretanto, tanto nos diagramas elaborados a partir de fraturas obtidas em campo como naqueles feitos a partir das orientações dos elementos de relevo, a direção EW sempre se apresenta de forma destacada. Os alinhamentos são longos, espaçados, porém, amplamente disseminados por toda a área de estudo, muitas vezes truncando e deslocando os demais alinhamentos, o que nos leva a crer que, estes alinhamentos seriam representantes de um dos últimos eventos tectônicos da região. Segundo esta direção, podemos encontrar drenagens longas e meandantes correndo em vales abertos.

· Direção N40/60E - Outra importante direção de orientação dos elementos de relevo. Ocorrem como uma série de pequenos alinhamentos descontínuos mais muito persistentes. Apesar de estarem disseminados por toda a área de estudo, os alinhamentos N40/60E são mais marcantes nas áreas de afloramentos das Formações Pirambóia e Botucatu. Normalmente estes alinhamentos originam vales cujos cursos d'águas são afluentes dos rios principais, orientados segundo N40/50W. Geralmente, os alinhamentos N40/60E são segmentados pelos alinhamentos N40/50W.

· Direção NS - Os lineamentos orientados segundo NS apresentam uma disseminação irregular e heterogênea ao longo da área de estudo, estando concentrado nas proximidades do vale do rio Tibagi e na porção leste da área de estudo. Trata-se de alinhamentos de pequenas dimensões, segmentados e espaçados. Aparentemente esta direção sobrepõe às outras, podendo ser representante último evento tectônico da área.

Análise dos Elementos Identificados em Campo

As principais estruturas impressas nas rochas e observadas em campo são as fraturas (juntas ou diaclases) e as zonas de cisalhamento rúpteis (falhas). Também foram observadas bandas de deformação de caráter rúptil, lineações, feições sigmoidais, cristalização e minerais fibrosos em fraturas e juntas plumosas. Tais elementos são consistentes com os observados por Strugale *et al.* (2004).

As atitudes dos elementos citados anteriormente foram coletadas sistematicamente e posteriormente foram confeccionados diagramas de contornos de pólos e de rosetas (Figura 4).

Por toda a área de estudo foram observadas diversas zonas de cisalhamento de diferentes dimensões. Destaque para a Zona de Cisalhamento do Rio Tigre – ZCRT -(o chamado host ou zona de falha do Rio Tigre de Strugale *et al.* 2004). Trata-se de estrutura de caráter rúptil com direção geral N40–50W, mergulhos verticalizados ou voltados preferencialmente para SW/W. Nos diagramas de roseta e de contorno dos pólos dos pla-

nos de fraturas e falhas também é possível de facilmente identificar esta estrutura.

A ZCRT é composta por uma série de falhas paralelas/sub-paralelas, originando um feixe de falhas que pode chegar a espessuras de um quilômetro. Ao longo da zona de cisalhamento podem ser observados diques de diabásio com direção paralela à da zona de cisalhamento.

Apesar do caráter rúptil dessa estrutura, em campo, foram observados evidências de cisalhamento e cristas de quartzo com coloração esverdeada o que pode in-

dicar que as condições de pressão e temperatura podem ter atingido valores elevados.

A movimentação da Zona de Cisalhamento do Vale do Rio Tigre é normal sendo que o bloco situado a SW abateu e o localizado a NE da referida estrutura soergueu. Todavia, foram identificadas evidências tais como estrias horizontais e fraturas escalonadas, indicando pulsos cinemáticos de caráter transcorrente com movimentação ora dextral ora sinistral. As estruturas *pull apart* visualizadas nas cavernas são bons exemplos (Painel 03).

Mapa Geológico
Geological Map

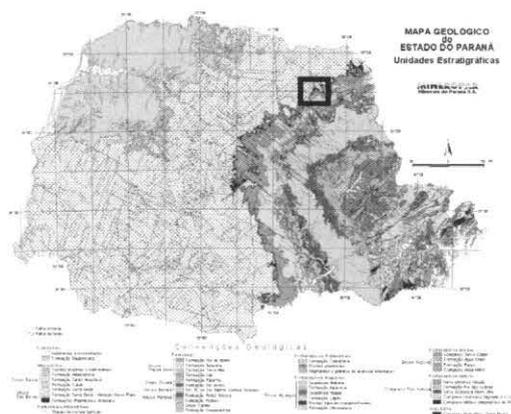
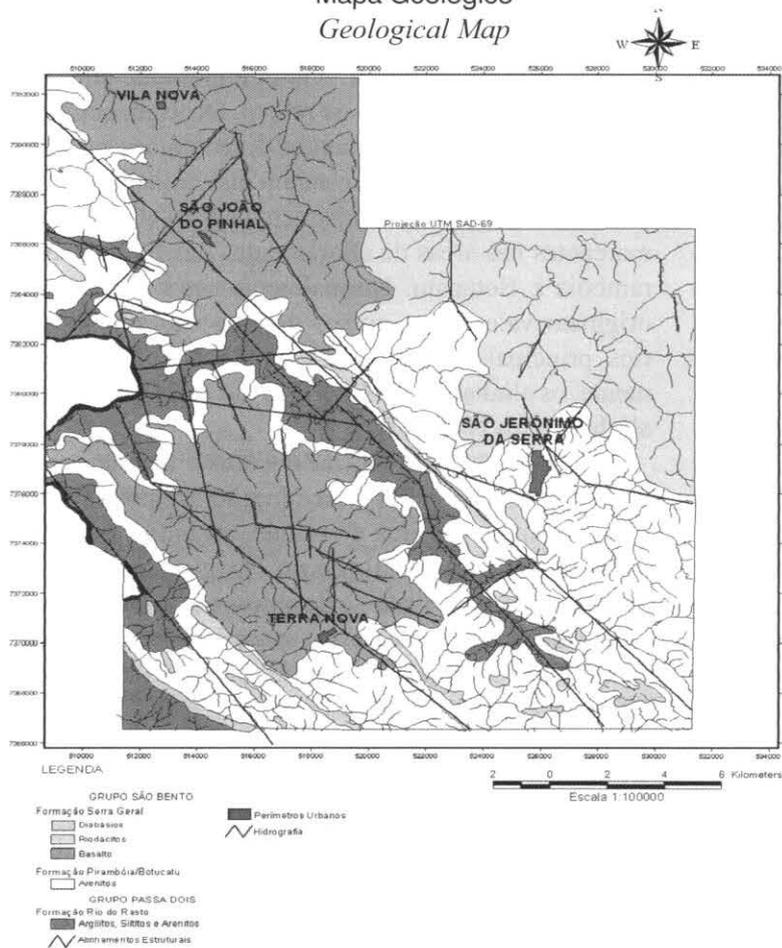
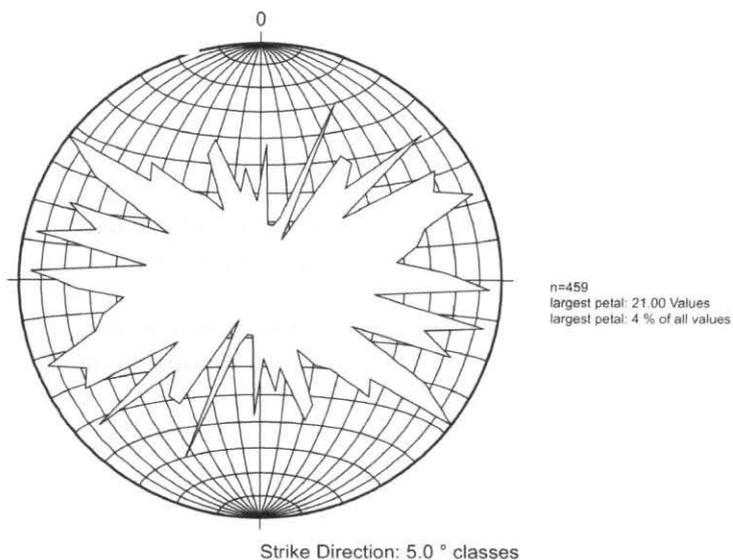


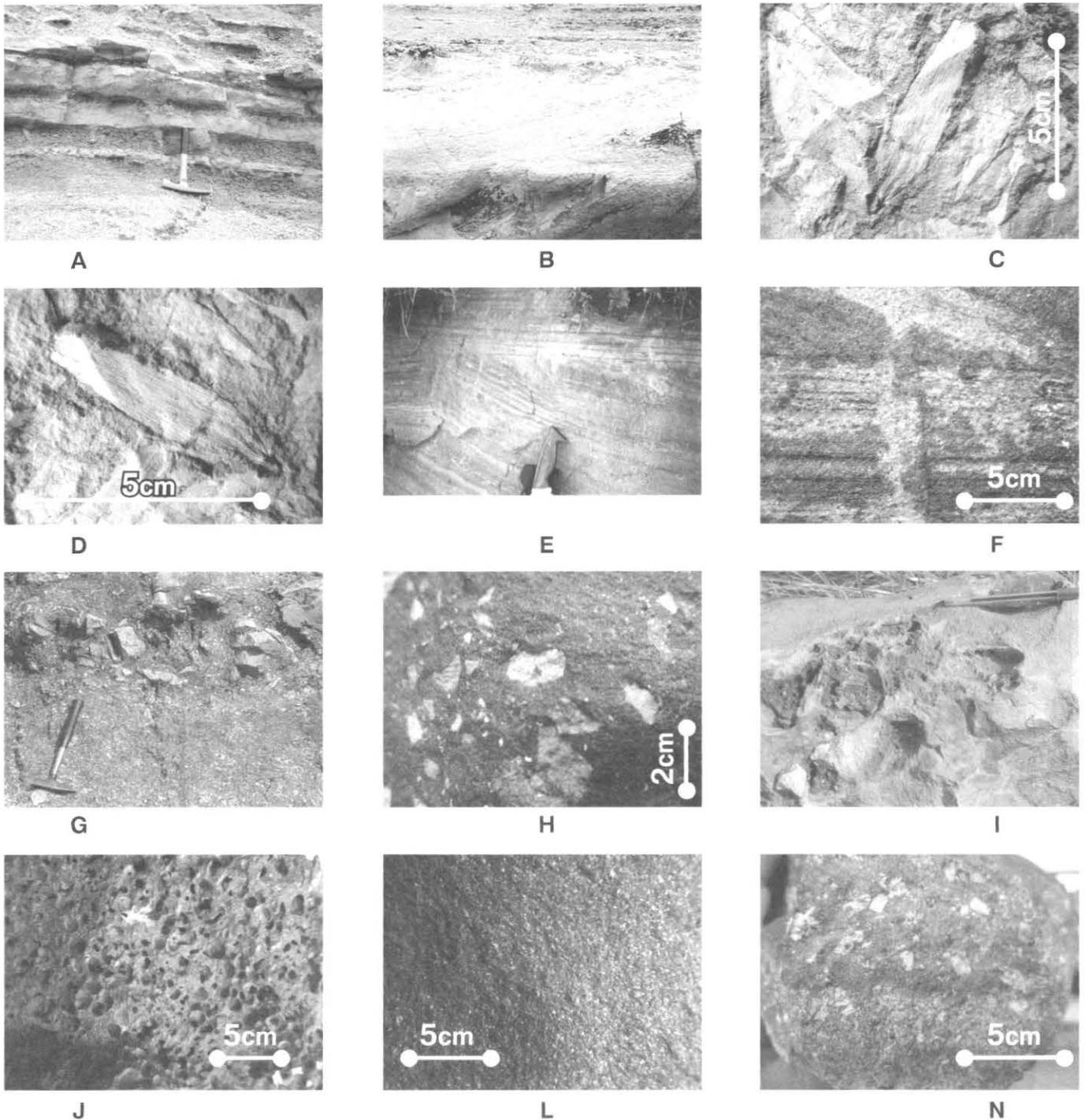
Figura 02 – Mapa Geológico simplificado da área de estudo. Fonte: MINEROPAR (2003) – modificado

Figure 02 - Geological Map of the study area

Figura 03 – Diagramas de rosetas das orientações de elementos de relevo da área de estudo.

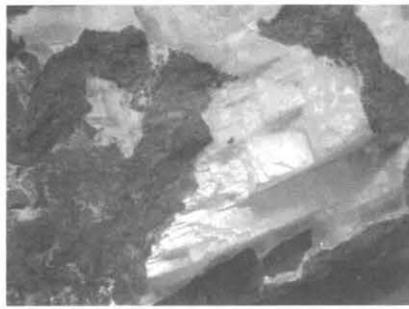
Figure 3 - Diagrams of rosettes of the orientations of elements of relief of the study area.





Painel 01– Rochas aflorantes na área de estudo. A) e B) Rochas da Fm. Rio do Rasto; C) e D) Fósseis de vegetais encontrados na Fm. Rio do Rasto; E) Estratificação cruzada no arenito Botucatu; F) Arenito da Fm. Botucatu; G) Basalto da Fm. Serra Geral intrudindo nos arenitos Botucatu; H) Brecha com matriz arenítica e fragmentos ígneos; I) bombas vulcânicas; J) e L) Diabásio (Fm. Serra Geral); N) Dacito pórfiro (Fm. (Serra Geral). Autor: Ângelo Spoladore

Panel 01- Rocks in the study area. A) and B) rocks of Fm. Rio do Rasto; C) and D) Fossils of vegetables found in Fm. Rio do Rasto ; E) Bedding crossed in the sandstone Botucatu; F) Sandstone of Fm. Botucatu; G) Basalt of Fm. Serra Geral; H) Sandstone with igneous fragments; I) volcanic bombs; J) and L) Diabásio (Fm. Serra Geral); N) Dacito (Fm. Serra Geral). Author: Ângelo Spoladore



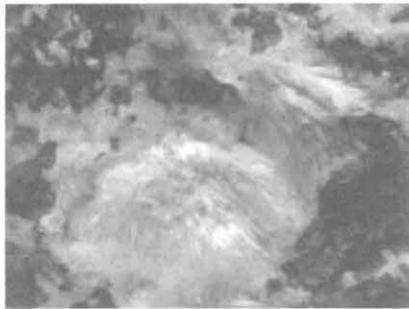
A



B



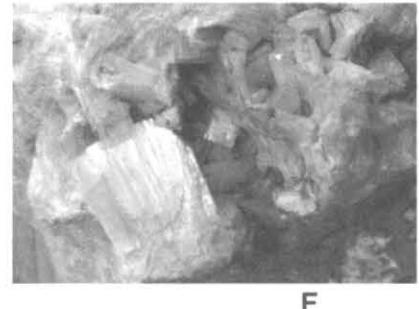
C



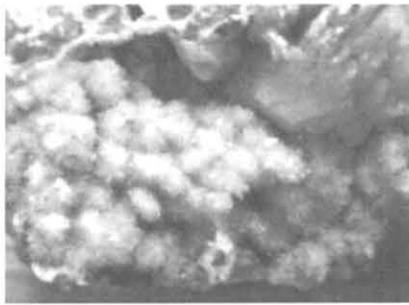
D



E



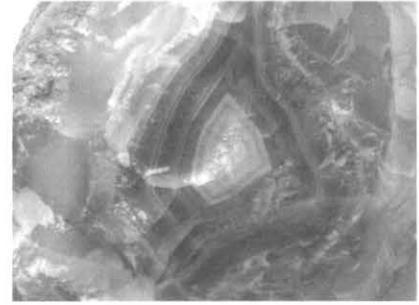
F



G



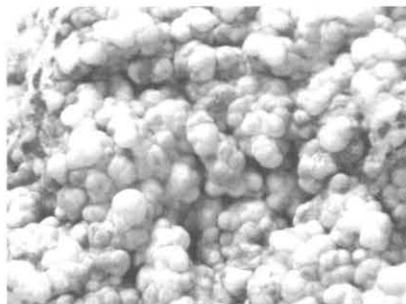
H



I



J



K



L

Painel 02 – Minerais relacionados com magmatismo da Fm Serra Geral. A) Calcita; B) Apofilita; C) Pectolita; D) Laumonita; E) Estilbita; F) Estilbita; G) Quartzo e estilbita; H) Quartzo; I) Ágata; J) Natrolita; K) Gyrolita e L) Obsidiana. Fotografias sem escala. Autor: Ângelo Spoladore.

Panel 02 - Minerals related with magmatism of Fm Serra Geral. A) Calcite; B) Apofilita; C) Pectolite; D) Laumonite; E) Estilbite; F) Estilbite; G) Quartz and estilbite; H) Quartz; I) Ágata; J) Natrolite; K) Gyrolite and L) Obsidian. Pictures without scale. Author: Ângelo Spoladore.

Também observadas falhas diversas. Trata-se de falhas normais e lítricas (Painel 03), orientadas segundo N/NW, com rejeito de alguns poucos centímetros e caimento preferencial voltado para NW.

Uma outra estrutura marcante na área é a chamada zona de cisalhamento de Terra Nova (ZCTN). Trata-se de estrutura similar a ZCRT, ou seja, zona de cisalhamento de caráter rúptil, verticalizada e formada por um feixe de falhas e fraturas paralelas a sub-paralelas que ocorre nas proximidades do distrito de Terra Nova. Pelo observado em campo, a ZCTN apresenta uma movimentação principal vertical (falha normal) com pulsos horizontais de movimentos sinistrais.

As zonas de cisalhamento e falhas ganham importância quando considerado a espeleogênese bem como o desenvolvimento das cavernas de arenito existentes na área. Estas estruturas originam bandas de deformação que se traduzem como planos de fraturas onde o cisalhamento é acomodado pela fragmentação dos grãos de quartzo e a conseqüente diminuição da granulometria, pelo colapso da porosidade e finalmente, fluxo cataclástico (STRUGALE *et al.* 2004; DAVIS *et al.*, 1999).

Magnavita (2000) dentre outros, afirma que bandas de deformação e zonas de cisalhamento são importantes locais de convergência de fluidos durante os pulsos cinemáticos. Tal fato poderia estar favorecendo a espeleogênese. As fraturas são amplamente disseminadas por todas as litologias identificadas na área de estudo. Podem ser distinguidas famílias com diferentes orientações e origens.

Em algumas lentes de arenito que ocorrem em meio ao magma também podem ser observadas estruturas tipo *boudinage* sendo tais fraturas resultantes da extensão de um corpo rígido em meio a um magma mais fluido.

Quanto à orientação preferencial das fraturas, quatro direções são facilmente identificadas, direções estas similares àquelas reconhecidas nos estudos da orientação dos elementos de relevo e também citadas por Strugale *et al.* (2004). São elas, por ordem de frequência: EW; NS; N40/50W; N40/60E.

· Fraturas com Direção EW - Apesar do fato destas fraturas não se mostrarem muito proeminentes quando da análise dos fotolineamentos, em campo as fraturas com direção EW apresentaram grande representatividade. Trata-se de fraturas longas, espaçadas entre si, com representação constante ao longo de toda a área de estudo. Em superfície as fraturas EW condicionam longos cursos d'água com vales amplos. Pelos dados disponíveis aparentemente estas fraturas são abertas, permitindo o fluxo de fluidos e conseqüentemente, a dissolução da sílica e a abertura de cavidades. Esta hipótese já havia sido considerada por Celligoi (1999) em estudos voltados a hidrogeologia. Estas fraturas condicionam o desenvolvimento de algumas cavidades estudadas.

· Fraturas com Direção N40/50W - As fraturas orientadas segundo a N40/50W são importantes, pois as mesmas estão relacionadas com as zonas de cisalhamentos ali desenvolvidas. Na verdade estas fraturas re-

presentam as faixas onde a deformação ocorre de forma mais intensa, especialmente pela diminuição da granulometria dos grãos de quartzo e a redução da porosidade. Estas fraturas encontram-se representadas por toda a área de estudo concentrando-se nas proximidades das zonas de cisalhamento definidas anteriormente. Mas raramente, podemos encontrar cavernas com desenvolvimento principal paralelo a esta direção.

· Fraturas com Direção NS - Esta direção evidencia outra importante família de fraturas que, da mesma maneira que as fraturas EW, também condicionam o desenvolvimento das cavernas existentes na região. As fraturas NS são pequenas e persistentes estando amplamente representada em toda a área de estudo, em especial nas proximidades do Rio Tibagi. Esta direção aparentemente está relacionada com uma tectônica normal, sendo sua maior expressão o vale do Rio Tibagi. Também foram reconhecidos falhas e pulsos cinemáticos com caráter direcional (falhas trascorrentes) orientado segundo esta direção. Celligoi (1999) afirma que as fraturas orientadas NS são estruturas fechadas, sem grandes fluxos de fluidos. Todavia, foi constatado que esta direção é importante para o desenvolvimento das cavidades.

· Fraturas com Direção N40/60E - As fraturas orientadas segundo N40/60E não condicionam o desenvolvimento de cavernas. Tratam-se fraturas bem marcadas e amplamente disseminadas pela área.

5. CONTROLE ESTRUTURAL DAS CAVERNAS DE SÃO JERÔNIMO DA SERRA

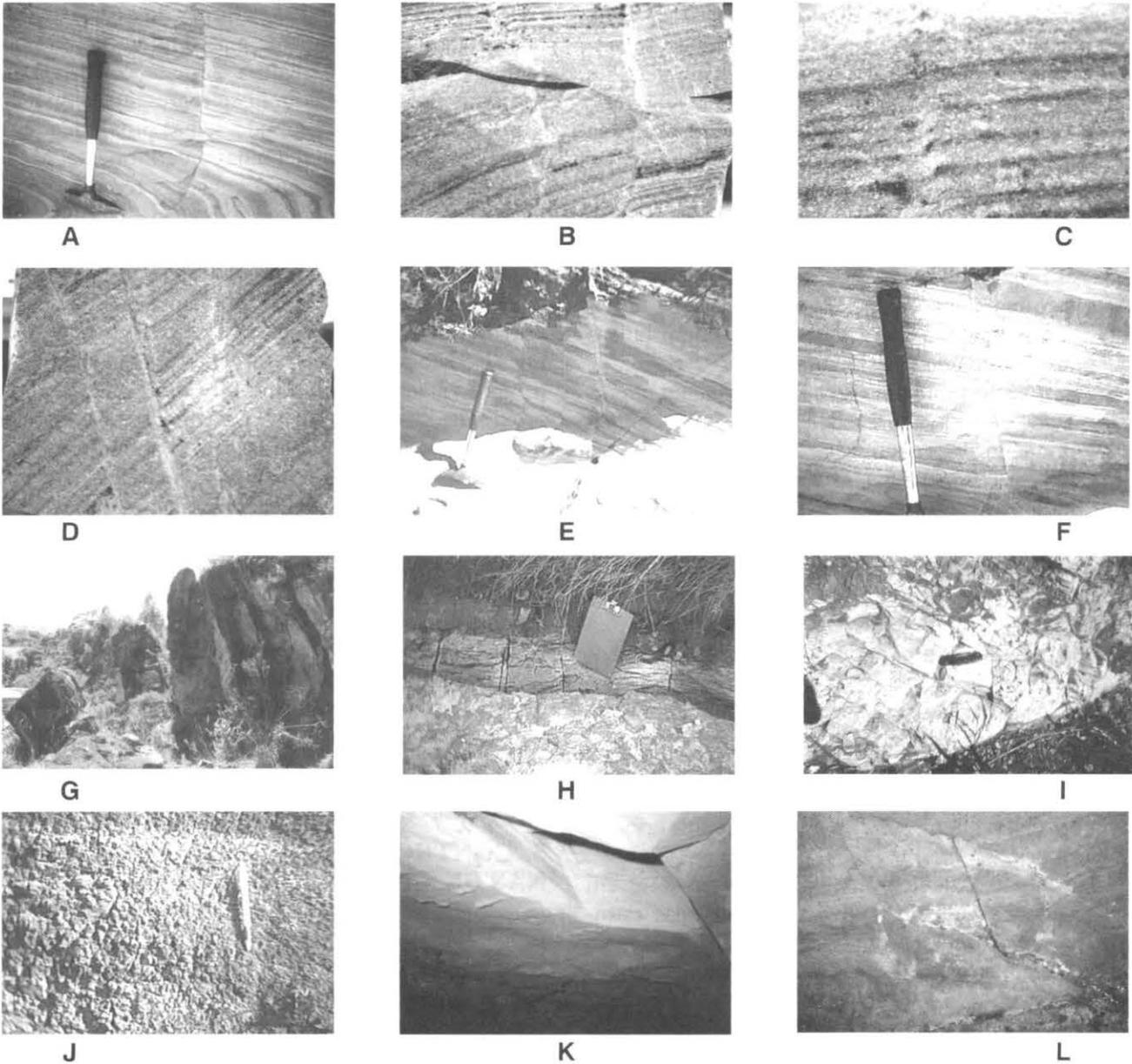
As cavidades desenvolvidas nas litotipos areníticos e estudadas apresentam forte controle estrutural. Assim, o desenvolvimento da cavidade está intimamente relacionado com as estruturas existentes nas rochas.

Por outro lado, quando comparamos a direção do maior desenvolvimento da caverna com os diagramas de roseta e de contorno de pólos obtidos utilizando as atitudes de planos de fraturas, não sempre haverá coincidência (Tabela 1 e Painel 04).

Pelo observado na Tabela 01. As Cavernas de São Jerônimo da Serra, as cavernas de desenvolvem preferencialmente segundo NS e, secundariamente segundo EW. Em apenas uma situação (Gruta Água do Bira) a cavidade se desenvolveu tendo como direção principal N40/50W.

Entretanto, ao analisarmos os diagramas do Painel 04, verificamos que o fraturamento existente no interior das cavernas é coincidente com aqueles observados regionalmente.

Um bom exemplo é o conjunto de cavidades existentes na região do Cedro (Grutas do Cedro I, II e III) e a Toca do Tigre. As principais direções de desenvolvimento dessas cavernas são EW e NS. Todavia, a análise dos diagramas de roseta e de contorno de pólos mostra uma grande frequência de fraturas N40/60E. Apesar de aparecerem em menor quantidade, as fraturas NS e EW são mais importantes para a abertura das cavidades.



Panel 03 Main structures printed in the rocks of the study area: A); B); C); D); E) and F) Ruptil Shear Zones identified in the sandstones; G) deformation characterized by vertical fractures; H) fractures of extension type boudinage; I) and J) "pastille" observed in the rocks of the Rio do Rasto Formation; K) and L) structures type pull apart observed in the roof of caves..

Panel 03 - Main structures printed in the rocks of the study area: A); B); C); D); E) and F) Ruptil Shear Zones identified in the sandstones; G) deformation characterized by vertical fractures; H) fractures of extension type boudinage; I) and J) "pastille" observed in the rocks of the Rio do Rasto Formation; K) and L) structures type pull apart observed in the roof of caves..

Caverna - Cave	Desenvolvimento principal <i>Main development</i>	Desenvolvimento Secundário <i>Secondary development</i>
Arco Vede	NS	EW
Porto de Areia	NS	EW
Tigre	NS	EW
Água da Pedra	EW	NS
Cedro I	EW	NS
Cedro II	EW	NS
Cedro III	NS	EW
Urtiga (Água do Capim)	NS	EW
Bira	NW	NS

Tabela 01 Direções preferenciais de desenvolvimento das cavidades estudadas.

Table 01 - Preferential directions of development of the studied cavities.

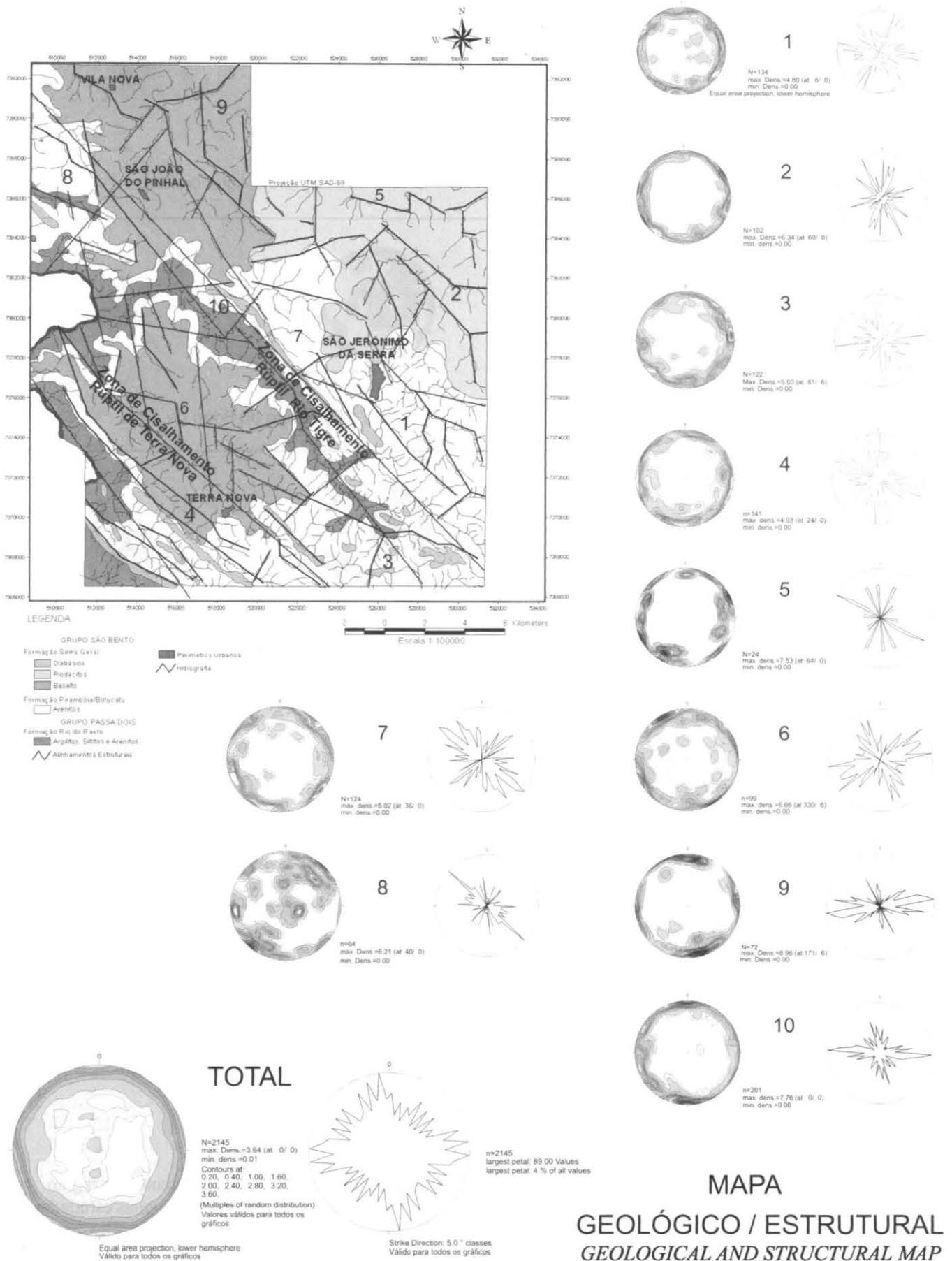
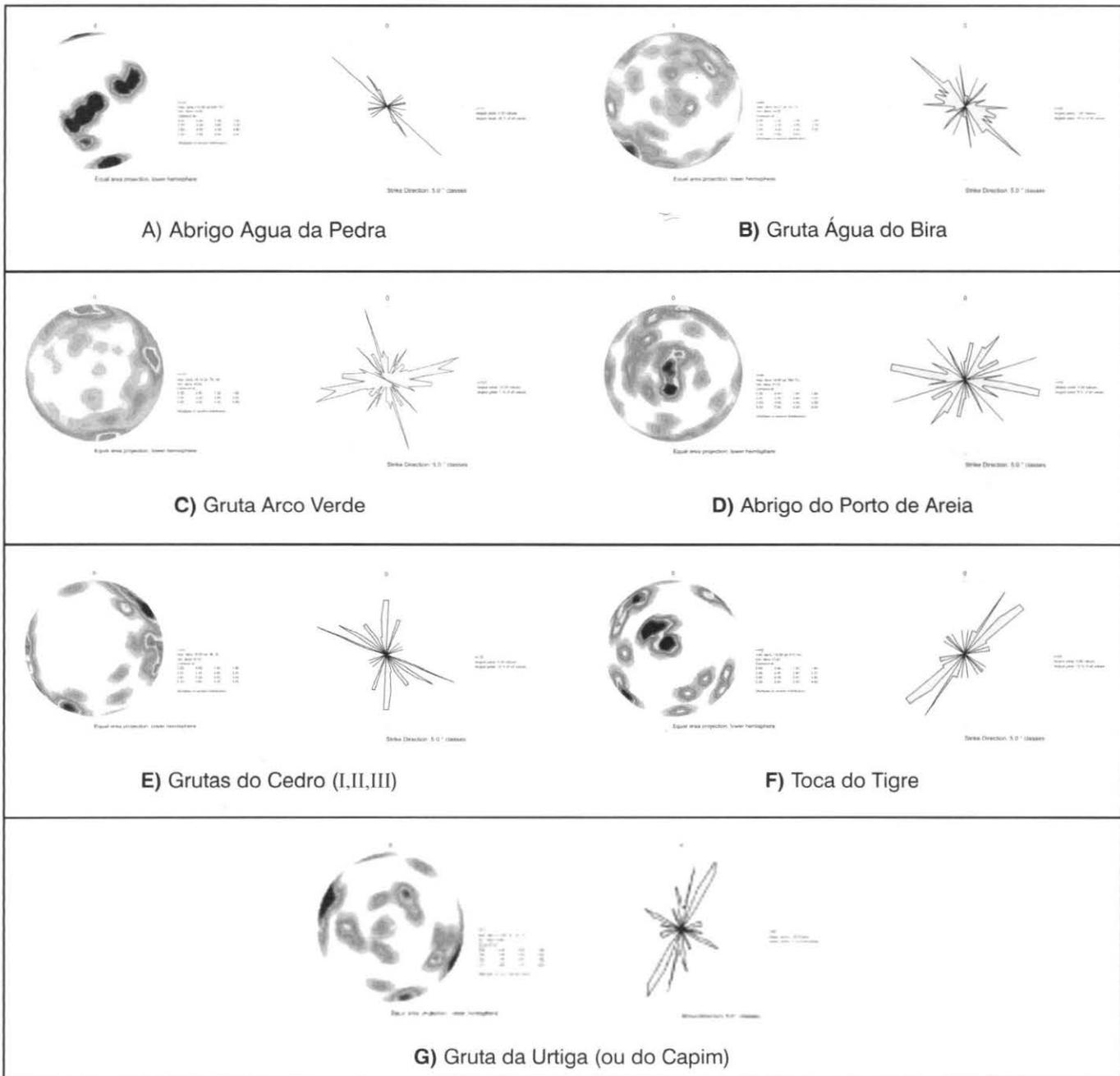


Figura 04 Diagramas de contornos dos pólos e diagramas de rosetas das fraturas, juntas e diáclases existentes nas rochas aflorantes na área de estudo.

Figure 04 – Stereonogram of poles and diagrams of rosettes of the fractures and faults identified in the rocks of the study area.



Painel 04 Diagramas de contorno de pólos e diagramas de rosetas das direções dos planos de fraturas identificados no interior das cavidades naturais estudadas: A) Abrigo Água da Pedra; B) Gruta Água do Bira; C) Gruta Arco Verde; D) Abrigo do Porto de Areia; E) Grutas do Cedro (I, II, III), F) Toca do Tigre e G) Gruta da Urtiga (ou Água do Capim).

Panel 04 - Diagrams of poles and diagrams of rosettes of the directions of the plans of fractures identified inside the studied caves: A) Água da Pedra; B) Gruta Água do Bira; C) Arco Verde; D) Porto de Areia; E) Grutas do Cedro (I, II, III), F) Tigre and G) Urtigas (or Passo Liso).

6. CONSIDERAÇÕES FINAS

As evidências observadas em campo bem como os dados obtidos a partir da análise dos estereogramas e outros gráficos mostram que as cavidades naturais existentes em São Jerônimo da Serra apresentam forte controle estrutural estando o seu desenvolvimento condicionado às principais direções de fraturas e zonas de

cisalhamento rúpteis (falhas) existentes na região.

As estruturas impressas nas rochas estudadas também condicionam outros elementos de relevo tais como os vales, drenagens e bem como os morros.

7. REFERÊNCIAS (Vide pag. 63)

GEOLOGY AND STRUCTURAL CONTROL OF SANDSTONE CAVES IN SÃO JERÔNIMO DA SERRA (PARANÁ STATE, BRAZIL).

1. INTRODUCTION

Due the geological characteristics, in São Jerônimo da Serra) north of the State of Paraná, exists a series of natural attractions such as waters fall, natural observatories and caves.

Considering the caves, there are about 60 cavities developed in the sandstone belong to the Botucatu Formation.

There are cavities that can reach fifty meters or more and moderately ornamented. Such caves present clear structural control, being located in shear zones with characteristics eminently raptéis.

2. LOCATION AND ACCESSES

São Jerônimo da Serra is located in the north of the Paraná, about 80 km far from the city of Londrina (Figure 01).

The main access road is the PR 090. It is road paved in good shape, where the traffic of self driven vehicles is constant along the whole year.

In São Jerônimo da Serra the local roads don't possess asphalt paving, being poorly preserved. So, in rainy times, the traffic in some of those roads becomes impracticable.

3. THE CAVES OF SÃO JERÔNIMO DA SERRA

São Jerônimo's area shelters a beautiful group of caves in sandstones. They are about 60 caves developed in Botucatu Formation (sandstones) with variable dimensions and rich in several ornaments.

The most beautiful are the following caves: Cedro I, Cedro II, Arco Verde, Água da Pedra, Terra Nova, Porto de Areia e Bira,

Terra Nova Cave

· Located in the district of Terra Nova, the access is made through a trail. The place is unknown and poor visited. The cave is not mapped. Though it was observed that the cave possesses at least 03 rooms. It was observed a great amount of water inside the cave. The cavity developed in the sandstones of the Formação Botucatu.

Toca do Tibagi

· Located about 1,5km of Rio Tibagi's margin. To arrive until the place, it is easier from the left margin of Tibagi River, and then to catch a boat to cross river. Do not have a trail. Few people know that cave. The place does not receive visitors. The cave is not mapped. Though it was observed that the cave possesses little development. The roof is very low. The cave possesses

several carbonatic ornaments.

Gruta Arco Verde

· Located in Arco Verde Farm, near the road that goes to São Jerônimo da Serra to Terra Nova. The place is well known and very visit. Doesn't exist any visitors structure. The cave have a development of the 52 meters. Great amount of sedimentary deposits (sand) is observed. Cavity developed amid sandstones of the Formação Botucatu.

Gruta das Urtigas

· Located in Arco Verde Farm to the margins of the road that goes to São Jerônimo da Serra to Vida Nova. In spite of being visible of the road, the place it is not visited. Development of the cave: 35 meters. Great amount of depressed blocks and water is observed inside the cave. Cavity developed in sandstones of the Formação Botucatu. They were identified archeological remains (lithic fragments and ceramic).

Gruta do Poço

· Doesn't exist a demarcated trail to access that cave. The place is poorly known and little visited. The cave is not mapped. Though it was observed that the cave possesses 3 rooms. Exists a drainage presence in the interior of the cave. The place used for religious ends.

Gruta Gostosinho

· The access the cave is made by road without conservation. The place is poorly known and practically without visitation. The cave is being mapping. Until the moment 70 meters of cave were mapped. Inside the cave exist a drainage interns with reasonable flow. Temperature interns low (+/-16oC). Cavity developed in the sandstones of the Formação Botucatu.

Toca do Porto de Areia

· The cavity is near to a mining of sand in the road São Jerônimo da Serra – Terra Nova. The access is made by trail poorly marked. The place is poorly known and it is not visited. The cave developed in the sandstones of the Formação Botucatu. They were identified archeological tracks in the cave's interior.

Caverna do Cedro I

· Located in the national Indian land of the Barão de Antonina, the trail that gives access to the place is poorly marked. Few peoples known these known. The development of the cave is 45 meters. A great amount of archeological material inside the cave. Cavity developed in the sandstones of the Formação Botucatu.

Caverna do Cedro II

· These cave is located near the cave Cedro I.

The development of the cave is 36,8 meters. The cave Cedro II is tied to the cave Cedro I by a conduit. The cave developed in the sandstones Botucatu.

Caverna do Cedro III

· Located near the Caves Cedar I and the Cedar II these cave is unknown place and do not receive visitor. The development is 52,4 meters. It was observed the presence of water inside the cave as well as great amount of depressed blocks. Cavity developed amid sandstones of the Botucatu Formation.

Caverna do Cedro IV

· Located beside the Cavernas Cedro I, II and III. These place is unknown and do not receive visitor. The cave has a development of the 48 meters amid the sandstones of the Botucatu Formation.

Água da Pedra

· Located in the proximities of the district of Pinhal. The place is very well known receiving several visitors. The development is about 16 meters. The Cavity developed amid sandstones of the Botucatu Formation and is use for religious ends.

Caverna do Bira

· Located in the proximities of the District of Pinhal, the access is made through trail little marked with approximately 3,2km. The place is unknown and receiving few visitors. The development of the cave is about 47,1 meters. The cavity developed amid sandstones of the Botucatu Formation. It possesses two entrances. and it is behind the Waterfall of Bira

Gruta Alta

· The cave is located near the Caverna do Bira. (district of Pinhal). The place is unknown and do not receive visitations. The cave is not mapped. The cavity developed amid sandstones of the Botucatu Formation and is composed by a single room with circular format.

Gruta Baixa

· That cave is located near the Pinhal District. It is a unknown place and do not receive visitors. The cave is not mapped. The cavity developed amid sandstones of the Botucatu Formation. Cave is very low and possesses two circular living rooms (diameter approximate 20 meters that gives a development of 40 meters).

4. GEOLOGICAL ASPECTS

The study area is located the domains of the Sedimentary Basin of Paraná. It is a basin symmetrical and intracratonic, filled out by sediments of the Paleozoic and Mesozoic, basaltic lavas and rocks Cenozoic (SCHNEIDER et al., 1974).

LITHOSTRATIGRAPHY

In São Jerônimo da Serra were identified rocks belonging to the Rio do Rasto Formation (Group Raisin

Two) and the formations Pirambóia, Botucatu and Serra Geral (Group São Bento) – Figure 02.

Passa Dois Group

The sedimentation of the permian is represented in the area by the Rio do Rasto Formation. This unit contains indication about the long sedimentary cycle and mark the change in the sedimentation type, that passes of silty clay, characteristic of the Permian epicontinental seas, for the sandy sedimentation, of the triassic-Jurassic desert.

Rio do Rasto Formation

The Rio do Rasto Formation is constituted by silty rocks with sandstones lenticular (Panel 01). These rocks present very varied coloration, prevailing red rosy terms, gray, green and purple (Panel 01).

This unit can be subdivided in two members: Serinha (inferior) and Morro Pelado (superior), division this adopted by Schneider et al. (1974). In the inferior portion of the unit the silty rocks prevail with interpolation of sandstones (Panel 01). The sandstones come solid, could also happen banks with beddings. In the superior portion of the unit, they occur silty clay and sandstones. The sandy collations are predominantly lenticular. It is present medium or big grooved beddings, being the less common solid banks.

São Bento Group

The São Bento Group São Bento, with jurassic age, it is constituted by Pirambóia Formation (fluvial sandstones), Botucatu Formation (sandstones) and for the intrusive lavas and sandstones interpoled (Serra Geral Formation).

Pirambóia Formation

The Pirambóia Formation is constituted by sandstones, conglomeratic sandstones and rare clay levels. In the study area, such sandstones are white and are easily disaggregated. They are sandstones badly selected, with medium grains predominant medium, presenting sub angular and sub round forms, with quartz constitution and little amount of silty and clay.

In same places occur banks of crossed bedding, with levels of lamination plan parallel. Rare lenses of red clay silty rocks,

About the origin of this unit, Caetano Chang (1993) suggested the Pirambóia Formation would have deposited in an atmosphere formed by sheets of wind dunes with humid interdunes, inserted with fluvial deposits.

Botucatu Formation

This unit is constituted by red and white sandstones (Panel 01), the grains of sand are medium, bimodal, round and well selected. These rocks presents bedding plano parallel or cross bedding of great load, the strata are in general very laminated, happening frequently sheets of conglomeratics. The main mineralogy is quartzosa, happening as accessories opaque minerals, moscovita, heavy minerals and even quartzite fragments. These sandstones can be silicified, due to the

cement that can reach more than 30%.

They are common the tangential cross beddings, plan parallel and cross grooved (Panel 01). The litology and sedimentary characteristics of the unit, evidence eolic deposition in a desertic atmosphere, being rare the lacustrine deposits. They were not found fossil remains. The juro cretacic age is attributed to the unit.

Serra Geral Formation

The Serra Geral Formation is formed by volcanic events with character basic, middleman and acid, distributed thoroughly by the Sedimentary Basin of Paraná.

The Mesozoic package volcanic is located above the Botucatu Formation, being frequent lenses intertrap of sandstones. The stratigraphy of the Formation Serra Geral is very defined, having coincidence of the volcanic events with the evolution projected from the geochronology studies. The volcanic events of basaltic nature are located in the base of the volcanic sequence, following by manifestations of intermediate nature that maintains certain relationship with the first acid lavas. The Formation Serra Geral rocks that go from basalts to rocks acid of the type riolite. Associate to the basalts was identified interstitial glass (obsidian), apofilita, estilbita, natrolita, gyrolita, heulandita, pectolita, copper minerals, quartz (agate and calcedônia) and argilo minerals are registered in amídalas (Panel 02).

In São Jerônimo da Serra were found basalts, porfíricos dacíticos and diabásios as well as igneous breaches and volcanic bombs (Panel 01).

The inferior contact of the Formation Serra Geral with Formation Botucatu's sandstones it is intrusive (Panel 01) and with the oldest units it is marked by erosive disagreement, the superior contact is tuneless with the formations Caiuá, Bauru and Cachoeirinha.

STRUCTURAL GEOLOGY

The study area is located in the context of the Alinhamento São Jerônimo-Curiúva, defined for Ferreira (1982), flank NE of the Arch of Ponta Grossa. Considering Soares et al (1982), the study area is inserted in the strip MI-5 (Piraí of Sul/Curiúva) of general direction N45W±5 and in the continuity of the strip PT-4 of direction N60E±5.

Strugale et al. (2004) defined in the area the Horst of Rio do Tiger as well as a series of areas of faults (Fault of Tamarana, Serra Grande, Apucarantina, Rio do Tiger).

Other authors like as Delavi (1996), Spoladore & Delavi (1997), Benitez (2001) and Spoladore (2006), recognize different structures printed in the rocks of the area, as well as the structural alignment of relief elements. Such authors mention although the tectonic and structural of the area of São Jerônimo da Serra presents a degree of reasonable complexity, being identified structures originated in different moments in the geologic history and with several origins.

Analysis of the Orientation of the Elements of Relief

To analyze the main relief elements risings were

made studies in images of satellites, aero photographs and topographical letters of Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Initially, it was made a study to characterize the orientation of the hydrological net, characterizing the different drainage patterns in the study area. In a second moment, was made a study to characterize the orientations of the tops of the elevations existent in the area.

After that, diagrams of rosettes of the orientations of the relief elements were elaborated analyzed (illustration 3).

The analysis of the relief elements allows characterizing four preferential directions of orientation: N40/50W; EW; N40/60E; NS.

- Direction N40/50W - This direction is the most evident in the study area. They are alignments straight, locally curvilinear, continuous and thoroughly distributed by the area. They can be visualized easily in images of satellites, aero photographs or map. In this direction were identified dikes of diabásio and the shear zones.

- Direction EW - Such orientation, in a first analysis, doesn't look like to have great importance. However, in the diagrams elaborated from fractures obtained in field as in those from the orientations of the relief elements, the direction EW always come out as a very important direction. These alignments are long, spaced, however, thoroughly disseminated by the whole study area, same times truncating and moving the other alignments; these alignments would be representatives of one of the last tectonic events of the area. In this direction, we can find long drainages running in open valleys.

- Direction N40/60E - Other important direction of orientation of the relief elements is N40/60E. They occur as a series of small, persistent and discontinuous alignments. These alignments are well disseminated by the whole study area; however the alignments N40/60E are more perceptible in the areas the Pirambóia and Botucatu formation. Usually these alignments originate courses of waters that are flowing of the main rivers, guided according to N40/50W. Usually, the alignments N40/60E are segmented by the alignments N40/50W.

- Direction NS - The oriented lineaments according to NS present an irregular and heterogeneous spread along the study area, being concentrated in the proximities of the valley of the river Tibagi and in the portion east of the study area. It is alignments of small dimensions, segmented and spaced. Seemingly this direction puts upon to the other ones, could be represents last tectonic event of the area.

Analysis of the Identified Elements in Field

The main structures printed in the rocks and observed in field are the fractures (diáclases) and the rúptil shear zones of (faults). Also were observed, bands of deformation of character rúptil, lineation, features sigmoidais, crystallization and fibrous minerals in fractures and feathery diáclases. Such elements agree with the observed by Strugale et al. (2004).

The attitudes of the elements mentioned previously were collected systematically and then was constructed diagrams of poles and rosettes (Figure 04).

For the all study area several shear zones of different dimensions were observed. Highlight for the Shear Zone of Rio Tigre ZCRT (the Host of Rio Tigre - Strugale et al. 2004). It is a structure of rúptil character with general direction N40-50W, dives vertical or gone back preferentially to SW/W. In the rosette diagrams and diagrams of the poles of the plans of fractures and faults this structure is easily identify.

ZCRT is composed by serial of faults parallel / sub parallel, originating the bunch of faults that can arrive to thickness of one kilometer. Along the shear zone, diabásio dikes can be observed with parallel direction.

In spite of the character rúptil of that structure, in field, they were observed evidence of shear and quartz with green coloration what can indicate that the pressure conditions and temperature might have reached high values.

The movement of the Shear Zone of Rio Tiger's valley is normal and the SW placed block abated and the located to NE of the referred structures raise. Though, were identified evidences as horizontal lineation and assigned fractures, indicating cinematic pulses of character transcorrente with movement some times dextral other times sinistral. The structures pull apart visualized at the caves are good examples (Panel 03).

It was also observed a several faults. It is normal and lístrics faults (Panel 03), guided according to N/NW, with the reject of few centimeters and preferential dip turned to NW.

Another important structure in the area is what is called area Shear Zone of Terra Nova (ZCTN). It is a structure similar to ZCRT, in other words, a rúptil shear zone, vertical and formed by a bunch of faults and parallel / sub parallel fractures. It was observed in field, ZCTN presents a vertical main movement (normal fault) with horizontal pulses of sinistrais movements.

The shear zones and faults are more important when considered the speleogenesis as well as the development of the existent sandstone caves in the area. These structures originate deformation bands such as plans of fractures where the deformation is accommodated by the fragmentation of the grains of quartz and the consequent decrease of the grain, and the collapse of the porosity and finally, cataclastic flow (STRUGALE et al. 2004; DAVIS et al., 1999).

Magnavita (2000) and others, affirms that deformation bands and shear zones are important places of convergence of flow during the cinematic pulses. Such fact could be favoring the speleogenesis. The fractures are disseminated in all identified rocks in the study area. Families can be distinguished with different orientations and origins.

In some sandstone lenses inside the magma developed structures type boudinage. The same structures can also be observed being resulting fractures of the extension of a rigid body amid a magma more flowed.

Four directions are easily identified, directions these similar to that one recognized in the studies of the orientation of the relief elements and also men-

tioned by Strugale et al. (2004). They are, for frequency order: EW; NS; N40/50W; N40/60E.

· Fractures EW in spite of the fact of these fractures if they don't show very prominent when of the analysis of the photolineaments, in field the fractures with direction EW presented great representativeness. It is long fractures, spaced amongst themselves, with constant representation along the whole study area. In surface the fractures EW condition long courses of water with wide valleys. For the available data these fractures are Seemingly open, allowing the flow of having flowed and consequently, the dissolution of the silica and the opening of cavities. This hypothesis had already been considered by Celligoi (1999) in returned studies the hidrogeologia. These fractures condition the development of some studied cavities.

· Fractures NS This direction evidences another important family of fractures that condition the development of the caves in the study area. The fractures NS are small and persistent and can be identified in the all study area, especially in Rio Tibagi's proximities. This direction is related with a normal tectonics, being the most important expression the Rio Tibagi valley. Cinematic pulses were recognized with directional character oriented second this direction. Celligoi (1999) affirms that the oriented fractures NS are closed structures, without great flows. Though, it was verified that this direction is important for the development of the cavities.

· Fractures N40/50W - The oriented fractures according to N40/50W are important because this direction is the same of the faults. These places represent the strips where the deformation happens in a more intense way, especially the decrease of the granulometria of the grains of quartz and the reduction of the porosity. These fractures are acted previously by the whole study area concentrating on the proximities of the areas of defined shear. But rarely, we can find caves parallel to this direction.

· Fractures N40/60E - The oriented fractures according to N40/60E don't condition the development of caves. Fractures are treated well marked and thoroughly disseminated by the area.

5. STRUCTURAL CONTROL OF CAVES OF SÃO JERÔNIMO DA SERRA

The caves studied which developed in sandstone lithotypes show strong structural control. The development of each is intimately related to the structures existing in the rocks.

On the other hand, the direction of major development of a cave does not always coincide with the data provided by rose and polar outline diagrams obtained using the orientations of joints (Table 1, Panel 4).

As shown in Table 1, the caves of São Jerônimo da Serra develop preferentially with a NS orientation, and secondarily with an EW orientation. A single cave (Gruta Água do Bira), has developed along a mainly

N40/50W direction.

However, the analysis of the diagrams in Panel 4 shows that the fractures in the interior of the caves do coincide with those observed in the region.

A good example is the set of caves in the region of Cedro (Grutas do Cedro I, II, and III) and the Toca do Tigre. The main directions of development of these caves are EW and NW. However, the analysis of the rose and polar outline diagrams shows a large frequency of N40/60E joints. Despite their reduced frequency, the NS and EW joints are more important for the opening

of cavities.

6. CONCLUSIONS

The evidences observed in field as well as the data obtained from the analysis of the graphs show that exist a structural control in the caves of São Jerônimo da Serra due the fractures and the rupteis shear zones and faults existent in the area.

The structures printed in the rocks studied also condition other relief elements such an as the valleys,

7. BIBLIOGRAPHY

- BENITEZ, L. (2001). **Principais aspectos do meio físico da bacia do rio do Tigre, PR.** Monografia de Bacharelado em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, 87 pp.
- CAETANO-CHANG M.R. (1993). Estado d'arte do conhecimentos sedimentológicos/ estratigráficos das formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. **Resumos... Simp. Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 1**, UNESP, pp. 84-85.
- CELLIGOI, A. (1993). **Recursos hídricos subterrâneos da formação Serra Geral em Londrina / PR.** Dissertação de Mestrado, IC, USP.São Paulo, 102 pp.
- DAVIS G.H., BUMP A.P., GARCÍA P.E. & AHLGREN S.G. (1999). Conjugate Riedel deformation band shear zones. **J. Struct. Geol.**, 22:169-190.
- DELAVI, E.J (1996). **Grutas e cavernas de arenito do município de São Jerônimo da Serra, PR.** Monografia de conclusão de curso, UEL, Londrina, PR. 95 p..
- FERREIRA F.J.F. (1982) **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 170 p..
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (1999). **Manual de avaliação do impacto ambiental.** Governo do Estado do Paraná. IAP, Curitiba.
- MAGNAVITA L.P. (2000). Deformation mechanics in porous sandstones: implications for development of fault seal and migration paths in the Recôncavo Basin, Brazil. *in*: MELO, M.R. & KRATZ, B.J. (eds.). Petroleum Systems of South Atlantic Margins, **AAPG Memoir**, 73, pp. 195-212.
- MINEROPAR. <http://www.pr.gov.br/mineropar/index.html> . Acesso em: 21 de agosto de 2003.
- SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. **Anais do XXVIII Congresso Bras. de Geol.**, Porto Alegre, 1:41-66.
- SOARES P.C.; BARCELLOS P.E. & CSORDAS S.M. (1982). Lineamentos em imagens Landsat e Radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. **Anais... Simp. Bras. Sensoriamento Remoto**, 2, INPE/CNPq , pp. 143-167.

SPOLADORE, A. (2006). A geologia e a geoespeleologia como instrumentos de planejamento para o desenvolvimento do turismo - o caso de São Jerônimo da Serra / PR. Tese de Doutorado, UNESP, Rio Claro, 305pp

ASPECTOS DA ECOLOGIA DE UMA POPULAÇÃO DE *LASIODORA* sp.
(ARANAE:THERAPHOSIDAE) EM CAVERNA GRANÍTICA
ECOLOGICAL ASPECTS OF A POPULATION OF *LASIODORA* sp.
(ARANAE:THERAPHOSIDAE) IN GRANITE CAVE

Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi (1,4),
Rodrigo Lopes Ferreira (2,5) & Marconi Souza Silva (3,4).

(1)Graduando em Ciências Biológicas /UFMG.

(2)Doutor em Ecologia e Manejo da Vida Silvestre/UFMG

(3)Doutorando em Ecologia Conservação e
Manejo da Vida Silvestre/UFMG

Endereço para correspondência:

(4)Laboratório de Ecologia e Comportamento de Insetos

Departamento de Biologia Geral – ICB – Universidade Federal de
Minas Gerais. C.P. 486, CEP 30161-970. Belo Horizonte, MG, Brasil.

E mail: leopoldobernardi@yahoo.com.br

(5)Departamento de Biologia / Setor de Zoologia

Universidade Federal de Lavras.

C.P. 3037, CEP 37200-000 Lavras, MG, Brasil. Telefone: 35-38291882.

RESUMO

Neste estudo foram avaliados parâmetros morfométricos (comprimento do cefalotórax, comprimento da primeira pata, comprimento da fiandeira, comprimento da quelícera e comprimento do abdômen; largura do cefalotórax e largura do abdômen) e populacionais (distribuição dos indivíduos na caverna e tamanho da população) de *Lasiadora* sp. (Aranae: Theraphosidae) residente em caverna granítica no município de Ataléia, nordeste de Minas Gerais. O tamanho da população de *Lasiadora* sp. foi estimado em 21 (+/-4) indivíduos. O comprimento da primeira pata direita relacionou-se negativamente com a distância da entrada ($F_{1,14}=5,7393$; $R^2=0,5392$, $R^2=0,2907$, $P<0,0031$). A densidade de *Lasiadora* sp. relacionou-se positivamente com a densidade de presas ($F_{1,9}=52,56$, $R=0,932$; $P<0,0$). Fêmeas adultas de *Lasiadora* sp. mostraram preferência por locais distantes da entrada, provavelmente devido à elevada umidade e temperaturas mais estáveis destes locais. Jovens mostraram preferência por locais onde há maior concentração de presas. Os indivíduos de *Lasiadora* sp. podem ser considerados troglófilos, pois a substituição da mata no entorno da cavidade por pastagens, alterou as condições ombrofilas externas, forçando os indivíduos a se refugiarem na caverna em função do microclima estável.

Palavras chave: *Lasiadora*, população, cavernas, neotropicos, área impactada.

ABSTRACT

This study evaluates morphometric characteristics (length of cephalothorax, front leg, spinneret, chelicera, and abdomen and width of cephalothorax and abdomen), as well as populational parameters (distribution of individuals in cave and size of population) of the arachnid *Lasiadora* sp (Aranae: Theraphosidae) found in a granite cave in the municipality of Ataléia in the northeastern part of the state of Minas Gerais, Brazil. The population of *Lasiadora* sp. was estimated at 21 (+/-4) individuals. The length of the right front leg showed a negative correlation with the distance from the entrance of the cave ($F_{1,14} = 5.7393$; $R^2=0.5392$, $R^2=0.2907$; $P<0.0031$). The density of the population was positively related to the density of prey ($F_{1,9}=52.56$; $R=0.9320$; $P<0.000$). Female adults of *Lasiadora* sp. showed a preference for locations far from the entrance, probably due to the greater humidity and more stable temperatures found there. Immature individuals were more concentrated in locations with a greater concentration of prey. The *Lasiadora* studied here can be considered troglolytes, since the replacement of the natural vegetation with pastures in the vicinity of the cave changed the ombrophilous conditions of the external habitat and forced these arachnids to seek permanent refuge in the cave, where the microclimate was more stable.

Key Words: *Lasiadora*, population, cave, neotropics, impacted area.

1. INTRODUÇÃO

Cavernas são cavidades naturais subterrâneas que ocorrem, em sua maioria, em relevos cársticos. Tais relevos compreendem sistemas constituídos por rochas carbonáticas, onde predominam os processos de dissolução na determinação de suas feições (LINO, 2001). Outras litologias, como quartzitos, arenitos, granitos e minério de ferro também são susceptíveis à formação de cavernas (AULER & PILÓ, 2005). Nestes tipos rochosos, geralmente considerados menos solúveis, os processos

são predominantemente de erosão fluvial e eólica. Não raramente, apresentam feições semelhantes aos relevos cársticos. Tais regiões, por sua semelhança ao relevo cárstico, são denominadas como pseudocarstes (LINO, 2001).

As cavernas, desta forma, são formadas pela dissolução ou erosão das rochas, formando condutos e galerias de formas e tamanhos variados (GILBERT *et al* 1994).

O ambiente cavernícola tende a ser mais estável que o ambiente epígeo circundante. Em cavernas exten

sas, a temperatura e a umidade variam pouco em locais mais distantes da entrada (BARR & KUEHNE, 1971; HOWARTH, 1983). Exceções ocorrem em cavernas pouco extensas e locais próximos às entradas (FERREIRA, 2004).

A total ausência de luz em cavernas exclui a possibilidade de ocorrência de produtores fotossintetizantes (CULVER, 1982). Por este motivo, há predomínio de organismos decompositores em comunidades cavernícolas, uma vez que o alimento aportado às cavernas procede do meio epígeo (SOUZA-SILVA, 2003; FERREIRA, 2004). O alimento pode penetrar nas cavernas através de rios e aberturas verticais no teto e paredes, junto a águas que infiltram em rochas porosas e percolam através de interstícios ou então levados por animais que transitam entre o meio epígeo e o hipógeo (e.g. guano de morcegos ou aves) (JASINSKA *et al* 1996; FERREIRA & MARTINS, 1998). Existem, também, outras vias menos convencionais, como raízes vegetais que crescem interceptando galerias de cavernas (HOWARTH, 1983). O tipo, a qualidade do recurso bem como sua forma de distribuição no sistema são importantes determinantes da composição e abundância da fauna presente (FERREIRA, 2004).

Os organismos que vivem no meio hipógeo podem apresentar especializações morfológicas, fisiológicas e no comportamento, geralmente ligadas às características físicas e limitações à disponibilidade dos recursos alimentares que existem no ambiente hipógeo. Tais organismos são classificados em três categorias ecológico-evolutivas (HOLSINGER & CULVER, 1988 – modificado do sistema de Schinner-Racovitza): Os troglóxenos são regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas precisam sair da caverna para se alimentar. Os troglófilos são organismos que podem completar seu ciclo de vida no meio epígeo e/ou hipógeo. No meio epígeo, tanto os troglóxenos como os troglófilos ocorrem, geralmente, em ambientes úmidos e sombreados. Finalmente, os troglóbios podem apresentar especializações como despigmentação, anoftalmia, alongamento de apêndices, além de se restringirem ao ambiente cavernícola.

Muitos predadores podem ser encontrados no ambiente subterrâneo, dentre os quais se destacam espécies pertencentes à ordem Araneae (FERREIRA *et al* 2005, FERREIRA & MARTINS, 1998). Elas podem estabelecer populações em cavernas, sendo que fatores como a distância das entradas, a abundância de presas, a elevada umidade e a estabilidade térmica podem influenciar a distribuição e a colonização deste ambiente por esses organismos (FERREIRA *et al* 2005; FERREIRA & MARTINS, 1998).

Em cavernas brasileiras foram registradas 45 famílias de aranhas. Destas, 6 pertencem à infraordem Mygalomorphae (Actinopodidae, Barychelidae, Ctenizidae, Dipluridae, Nemesiidae, Theraphosidae), e 39 são da infraordem Araneomorpha (Amaurobiidae, Ana-

pidae, Anyphaenidae, Araneidae, Caponiidae, Ctenidae, Corinnidae, Deinopidae, Dictynidae, Filistatidae, Gnaphosidae, Hahniidae, Hadrotarsidae, Heteropodidae, Leptometidae, Lycosidae, Lynphiidae, Nesticidae, Ochyroceratidae, Oonopidae, Oecobidae, Palpimanidae, Pholcidae, Phylodromidae, Pisauridae, Salticidae, Scytodidae, Segestridae, Sicariidae, Symphytognathidae, Telemidae, Theridiosomatidae, Theridiidae, Tetrablemmidae, Tetragnathidae, Thomisidae, Trechaleidae, Uloboridae e Zodaridae) (FERREIRA & MARTINS, 1999; PINTO-DA-ROCHA, 1995; FERREIRA, 2004; SILVA, 2006).

Os registros de aranhas da família Theraphosidae em cavernas brasileiras são escassos. Para esta família foram registrados somente o gênero *Acanthoscurria* em cavernas dos Estados de Minas Gerais e Bahia (PINTO-DA-ROCHA, 1995) e o gênero *Lasiadora* (registrado somente em cavernas do Estado da Bahia (PINTO-DA-ROCHA, 1995; TRAJANO, 2000). Existem ainda registros da família Theraphosidae para Gruta Lavouira (Matozinhos, Minas Gerais), e outro registro para a caverna Capão Xavier III (Nova Lima, Minas Gerais) (FERREIRA, 1999; SOUZA-SILVA *et al* 2005; FERREIRA, 2005).

Os estudos referentes a bionomia de espécies da família Theraphosidae são escassos, e quando ocorrem estão relacionados à descrição de ecótipos, comportamento de utilização de microhabitats e área de residência em ambientes epígeos (COSTA & PÉREZ-MILES, 1992; STRADLING, 1994). Os trabalhos em ambientes hipógeos onde são citados representantes da família Theraphosidae apenas relatam itens alimentares destas aranhas.

Tendo em vista que o estabelecimento de uma grande população de Mygalomorpha em cavernas é um evento aparentemente incomum, este estudo traz uma contribuição importante para o conhecimento da bionomia destes predadores no meio hipógeo. Deste modo, este trabalho objetivou responder às seguintes questões:

1. Qual o tamanho da população de *Lasiadora* sp. residente na caverna granítica João Matias?
2. A distribuição espacial e densidade de presas influenciam a distribuição da população de *Lasiadora* sp. na caverna?
3. O tamanho corporal dos indivíduos de *Lasiadora* sp. determina sua distribuição no interior da caverna?
4. Indivíduos de *Lasiadora* sp. apresentam comportamento territorialista na caverna?
5. Indivíduos de *Lasiadora* sp. são troglófilos ou troglóxenos na caverna?

2. LOCALIZAÇÃO E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Gruta João Matias, uma

caverna granítica localizada no município de Ataléia (18003'45''S / 41003'45''W), nordeste de Minas Gerais (figura 1).

Ataléia encontra-se inserida no domínio da Mata Atlântica, área considerada prioritária para ações de conservação da biodiversidade (MACHADO & FERREIRA, 2005; GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2005). Tal município, atualmente, possui apenas 11% de sua cobertura original de Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA, 2005). A vegetação originalmente presente no entorno da Gruta João Matias foi substituída por monocultura de capim colômbio (*Panicum* sp), utilizado para a criação extensiva de bovinos.

DESCRIÇÃO FÍSICA DA CAVIDADE

A gruta João Matias encontra-se inserida em granito de estrutura relativamente friável, que pode ter contribuído não somente para a gênese inicial da caverna como também para sua expansão, regida aparentemente por processos erosivos. Tal caverna possui 148 m de desenvolvimento linear. A entrada apresenta arquitetura lenticular horizontal e o conduto que se segue a ela é inclinado de forma ascendente.

A condição topográfica do conduto que se segue à entrada desfavorece o aporte físico de materiais externos (inclusive orgânicos) para o interior da caverna. O conduto bifurca-se poucos metros após a entrada. Ambos os condutos (após a bifurcação) comunicam-se com

um amplo salão existente ao final da caverna. Tal salão possui muitos blocos rochosos conformando o piso, indicativo claro da importância de processos de abatimento para o alargamento do salão.

Uma pequena drenagem percorre o flanco desta ampla galeria. Esta drenagem resulta da confluência de pequenas nascentes existentes em condutos pouco profundos que se irradiam a partir do salão. A entrada da cavidade é freqüentemente visitada por bovinos, estando sofrendo, atualmente, consideráveis impactos oriundos do pisoteamento e da exposição excessiva à luminosidade externa (devido à remoção da vegetação original, como supracitado).

DESCRIÇÃO TRÓFICA DA CAVIDADE

Em uma análise qualitativa foram identificados na Gruta João Matias cinco tipos de recursos alimentares disponíveis aos organismos detritívoros. O primeiro consiste em matéria orgânica vegetal, que é escassa, e localiza-se somente a poucos metros da entrada. Os outros consistem de diferentes tipos de guano, provenientes de morcegos de dieta carnívora, insetívora e hematófaga. O primeiro deles consiste de um extenso depósito de guano de *Peropteryx* sp. (insetívoros) na parte mediana da caverna. O segundo consiste em um pequeno depósito de guano de *Crotopterus aritus* (carnívoro) que se localiza no último salão.

Existe ainda um grande depósito de guano de

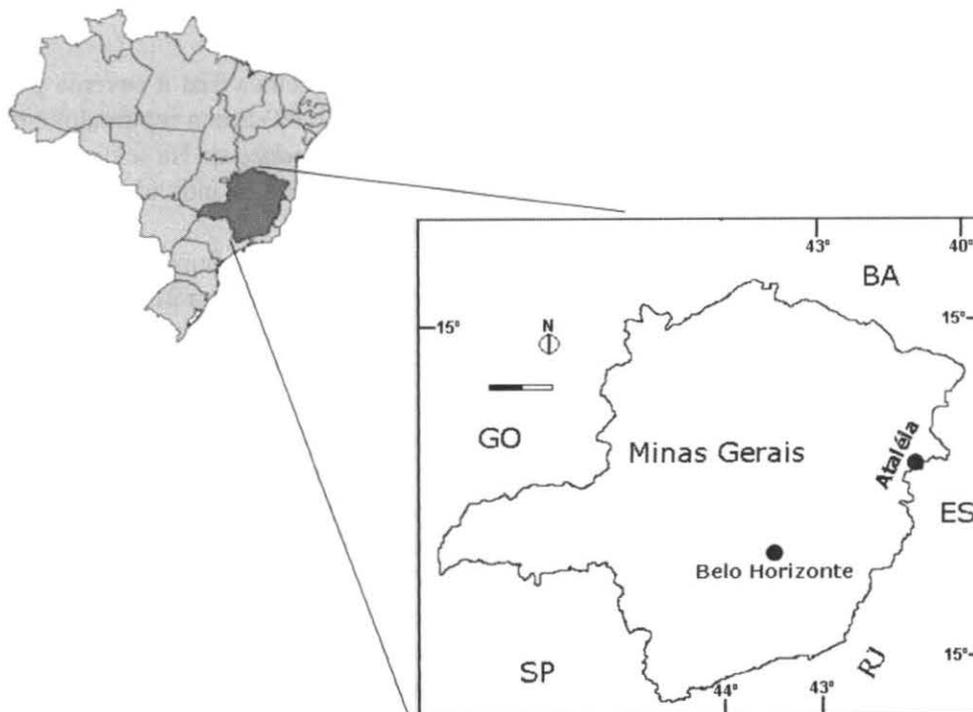


Figura 1: Esquema da localização do município de Ataléia, Minas Gerais.
Figure 1: Localization of the municipality of Ataléia in Minas Gerais.

Desmodus rotundus (hematófago) em um dos condutos laterais que se irradiam do último salão. Todos os depósitos previamente citados estão sendo renovados constantemente pelas respectivas colônias de morcegos. Finalmente, um extenso depósito de guano de morcegos frugívoros ocorre associado a praticamente todo piso do último salão.

Os morcegos que produziram este grande depósito já não residem há muito tempo na cavidade. Tal fato é perceptível ao se observar o grau avançado de decomposição do depósito (bastante ressequido, pulvurulento e mineralizado) o que indica que este guano foi depositado há muito tempo.

3. MÉTODO

PROCEDIMENTOS

A primeira coleta na cavidade foi realizada em julho de 2003 e teve como objetivo realizar um inventário geral de fauna da cavidade. Nesta coleta, também foram avaliadas as presas potenciais de *Lasiadora* sp. Para tal, foram vistoriados todos os microhabitats potenciais, piso, pedras e troncos (FERREIRA, 2005). Dados relativos à dieta de *Lasiadora* sp. foram retirados de publicações e comunicações pessoais (YÁÑEZ & FLOATHER, 2000; SOUZA-SILVA, 2003; SOUZA-SILVA *et al* 2005).

Cada indivíduo das espécies de presas potenciais de *Lasiadora* sp. na caverna tiveram sua distribuição espacial avaliada através de plotagem em croqui esquemático da caverna.

Em uma segunda visita à caverna (Janeiro de 2004), os indivíduos de *Lasiadora* sp. encontrados foram capturados, sexados, separados adultos e imaturos, individualizados com marcação e medidos. Cada indivíduo teve ainda sua posição de coleta registrada no mapa da caverna.

Após todas as medições, cada indivíduo foi solto no mesmo local de captura. Em cada organismo foram medidos o comprimento e a largura do cefalotórax, o comprimento e a largura do abdômen, o comprimento da primeira pata anterior direita, o comprimento da quelícera direita e o comprimento da fiandeira direita. Todas as medidas foram feitas com auxílio de paquímetro.

Três dias após a segunda visita, foi feita a recaptura dos indivíduos marcados e a captura de novos indivíduos de *Lasiadora* sp. Os novos indivíduos capturados foram medidos, plotados em mapa e libertados.

A captura de cada indivíduo foi realizada manualmente usando o dedo polegar e o dedo indicador, posicionados cada um em lado oposto do cefalotórax, entre a segunda e a terceira pata, e pressionando-se a aranha contra o solo.

ANÁLISE DE DADOS

O tamanho da população de *Lasiadora* sp. foi estimado através do índice de Lincoln-Petersen. Este índice calcula o tamanho de populações fechadas, assumindo-se que não há nascimentos, mortes, emigrações e imigrações de indivíduos durante o período de amostragem (FERNANDEZ, 1995).

Para verificar possíveis relações entre o tamanho da primeira pata direita (utilizada como indicadora de tamanho corporal dos indivíduos de *Lasiadora* sp.) e a distância da entrada foi utilizada uma análise de regressão linear simples (ZAR, 1996).

Para calcular as densidades de presas e *Lasiadora* sp. a caverna foi dividida em dez setores, com projeções lineares iguais (figura 2). A área de cada setor foi calculada utilizando-se a fórmula de Simpson (FERREIRA & MARTINS, 1998). As densidades de *Lasiadora* sp. e densidades de presas presentes em cada um dos setores foram correlacionadas através de uma correlação de Spearman, tendo em vista a impossibilidade de normalização dos dados (ZAR, 1996).

Para avaliar comportamentos territorialistas nos indivíduos de *Lasiadora* sp. foram utilizados os deslocamentos de cada indivíduo. Foram considerados deslocamentos as distâncias lineares percorridas pelos indivíduos entre o ponto de primeira captura (10/01/2003) e o ponto de recaptura (13/01/2003).

Durante as coletas foram anotados "in situ" aspectos do comportamento dos indivíduos de *Lasiadora* sp.

4. RESULTADOS

Na primeira visita à caverna para coleta de aranhas (10/01/2003) foram capturados e marcados 13 indivíduos de *Lasiadora* sp. Na segunda visita (13/01/2003), foram observados 14 indivíduos, sendo 5 não marcados e 9 marcados.

O tamanho da população de *Lasiadora* sp. nesta caverna foi estimado em 21 (+/-4) indivíduos.

A razão sexual encontrada para indivíduos adultos de *Lasiadora* sp. nesta população foi de 8 fêmeas para 1 macho. Em relação à estrutura etária foram encontrados 9 indivíduos adultos e 9 indivíduos jovens (Tabela 1).

Os indivíduos mostraram consideráveis variações nos parâmetros morfológicos medidos. O comprimento do cefalotórax variou de 0,4 a 2,0 cm; a largura do cefalotórax variou de 0,4 a 2,39 cm; o comprimento da primeira pata variou de 1,2 a 7,71 cm; o comprimento da fiandeira variou de 0,3 a 1,33 cm; o comprimento da quelícera variou de 0,12 a 1,25 cm; o comprimento do abdômen variou de 0,5 a 3,35 cm e a largura do abdômen variou de 3,33 a 2,63 cm (Tabela 1).

Os comprimentos da primeira pata direita e os comprimentos das quelíceras indicaram a existência de

Indivíduo <i>Individual</i>	Idade <i>Age</i>	Sexo <i>Sex</i>	Cefalotórax <i>Cephalothorax</i>		Abdomen <i>Abdomen</i>		1ª perna <i>Front Leg</i>	Fiandeira <i>Spinnaret</i>	Quelícero <i>Chelicera</i>
			(C) (L)	(L) (W)	(C) (L)	(L) (W)	(C) (L)	(C) (L)	(C) (L)
1	J I	Imaturo <i>Immature</i>	2	1,7	2,65	1,98	6,1	-	0,91
2	A A	♀	2,5	2,4	2,75	1,17	6,83	1,33	1,19
3	J I	Imaturo <i>Immature</i>	1,6	1,7	1,56	1,11	6,52	0,9	0,75
4	J I	Imaturo <i>Immature</i>	1,4	1,3	1,59	1,3	4,81	0,65	0,73
5	J I	Imaturo <i>Immature</i>	1,3	1,2	1,8	2,63	4,75	0,78	0,62
6	A A	♀	2,4	2,3	3,22	1,49	7,71	1,25	1,15
7	A A	♂	1,7	1,5	2	2,8	5,94	1	0,8
8	A A	♀	2,3	2	3,35	2,02	6,89	1,25	1,1
9	A A	♀	2,3	2,1	2,8	2,4	6,7	1,21	1,03
10	A A	♀	2,2	2	3,5	2,6	7,2	1,45	1,1
11	A A	♀	2,2	1,8	3,5	2,4	6,15	1,15	0,92
12	A A	♀	2,5	2,2	3,3	0,75	7,5	1,5	1,25
13	J I	Imaturo <i>Immature</i>	1,1	1	1,05	0,8	3,7	0,65	0,5
14	J I	Imaturo <i>Immature</i>	1,1	0,9	1,11	0,8	3,7	0,59	0,51
15	J I	Imaturo <i>Immature</i>	0,5	0,4	0,5	3,6	1,66	0,3	0,15
16	J I	Imaturo <i>Immature</i>	1,2	1	1,22	0,8	4,1	0,48	0,58
17	J I	Imaturo <i>Immature</i>	0,4	0,4	0,5	3,33	1,2	0,3	0,12
18	A A	♀	2,1	1,9	2,7	2	6,89	1,3	0,1

Observação: J: Jovem; A: Adulto; C: Comprimento em centímetros; L: Largura em centímetros
Observation: I: Immature; A: Adult; L: Length in centimeters; W: width in centimeters

Tabela 1 Características etárias e morfométricas (cm) de *Lasiadora* sp. na Gruta João Matias.
Table 1 - Age and morphometric characteristics of *Lasiadora* sp. in João Matias cave

4 categorias de tamanho corporal (Figuras 3 e 4).

Durante a realização do inventariamento da fauna de invertebrados pôde-se observar que as aranhas do gênero *Lasiadora* sp. têm como principais presas grilos (*Ensifera: Endecous* sp.) e baratas (*Blattaria* sp.) (Tabela 3).

A densidade de *Lasiadora* sp. relacionou-se significativa e positivamente com a densidade de presas em

cada setor (F1,9=52,56, R: 0,932; P<0.0) (Figura 5).

As distâncias percorridas pelos indivíduos de *Lasiadora* sp. durante o estudo apresentaram-se variáveis, sendo que 27,78% dos indivíduos foram recapturados no mesmo local de captura. O maior deslocamento observado foi equivalente a 6 metros, realizado pelo indivíduo 12 (Tabela 1) (Figura 2).

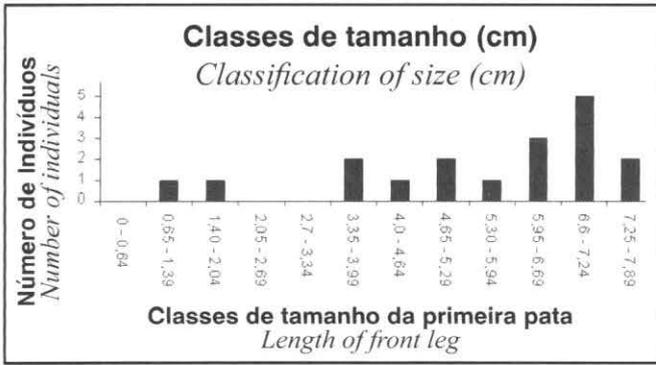


Figura 3: Classes de comprimento da primeira pata direita de indivíduos de *Lasiodora* sp. na Gruta João Matias.

Figure 3: Classification according to length of right front leg.

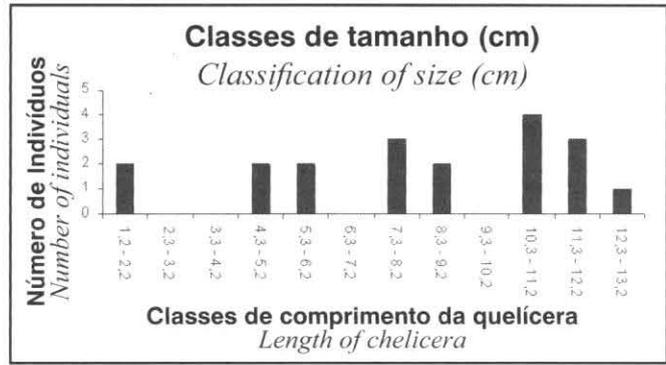


Figura 4: Classes de comprimento da quelicera de indivíduos de *Lasiodora* sp. na Gruta João Matias.

Figure 4: Classification according to chelicera length

Setores Section	Abundância de <i>Lasiodora</i> sp. Number of individuals of <i>Lasiodora</i> sp.	*Número de <i>Endecous</i> sp. *Number of individuals of <i>Endecous</i> sp.	*Número de <i>Blattaria</i> sp. *Number of individuals of <i>Blattaria</i> sp.	Área (m ²) Area (m ²)	Densidade de <i>Lasiodora</i> sp. Density of <i>Lasiodora</i> sp.	Densidade de Presas Density of Prey
A	4	75	0	47,17	0,085	1,60
B	1	130	3	25,1	0,04	5,2
C	5	450	0	10,4	0,482	43,34
D	2	150	4	25,6	0,078	6,016
E	3	310	2	4,44	1,48	70,35
F	0	155	1	9,8	0	15,85
G	0	300	0	16,13	0	18,6
H	3	710	7	48,2	0,062	14,9
I	0	230	3	18,75	0	12,26
J	0	50	0	8,36	0	5,98

* presas potenciais de *Lasiodora* sp. *potential prey of *Lasiodora* sp.

Tabela 3: Abundância, densidade (m²) e presas potenciais de *Lasiodora* sp. em setores de 10 m na Gruta

Table 3: Abundance and density of potential prey for *Lasiodora* sp in 10-meter sections of João Matias Cave

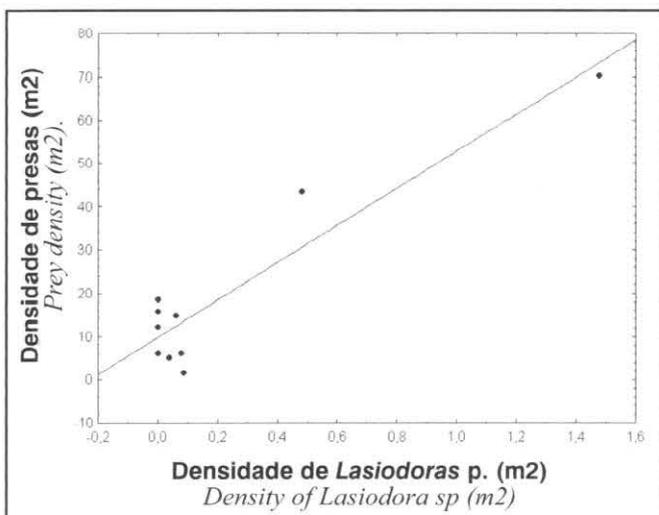


Figura 5: Relação entre a densidade de *Lasiodora* sp. e a densidade de presas (F1,9=52,56, R: 0,932; P<0.0).

Figure 5: Relationship between density of *Lasiodora* sp and density of prey F1.9=52.56; R=0.932; P<0.000

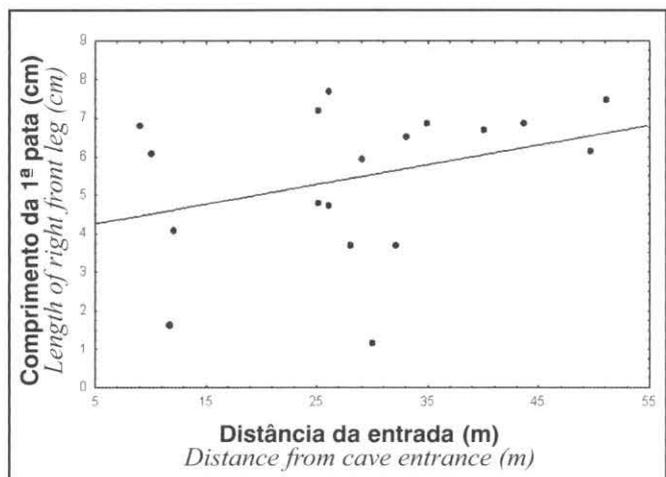


Figura 6: Relação entre o comprimento da primeira pata direita e a distância da entrada (F1,14=5,7393 R²=0,5392, R²=0,2907, P<0,0031)

Figure 6: Relation between length of right front leg and distance from cave entrance (F1,14=5,7393 R²=0,5392, R²=0,2907, P<0,0031)

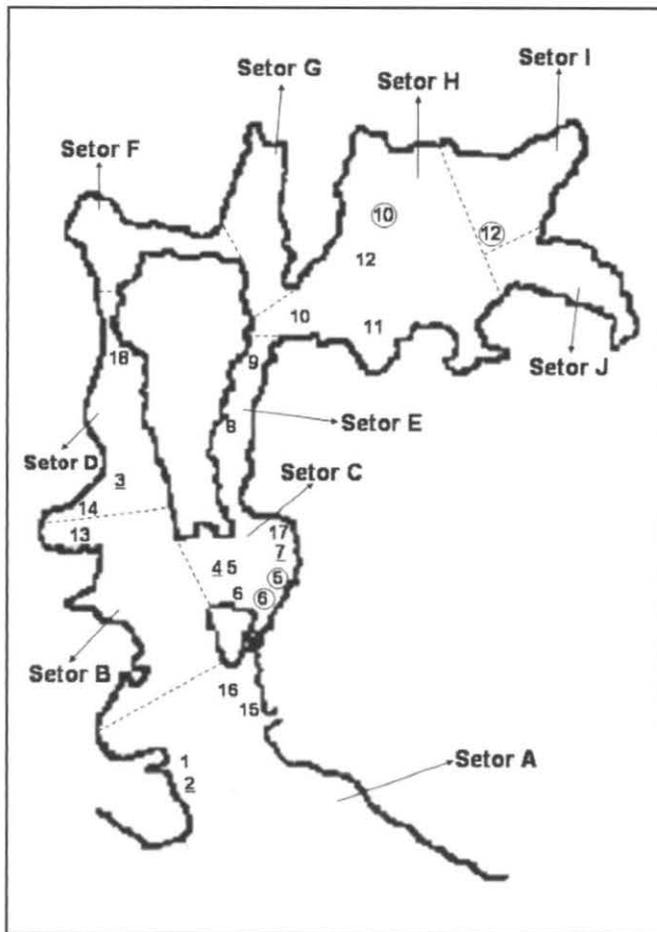


Figura 2: Distribuição espacial de *Lasiadora* sp. na Gruta do João Matias. Números sublinhados representam recapturas sem deslocamentos, e aqueles circunscritos recapturas com deslocamentos.

Figure 2: Spatial distribution of *Lasiadora* sp. in João Matias cave. Underlined numbers represent recapture without displacement; circles represent recapture with displacement.

Os indivíduos de *Lasiadora* sp. localizavam-se preferencialmente próximos a fendas ou fissuras nas paredes da caverna ou então sob blocos presentes no piso. Uma única exceção a este comportamento foi observada no indivíduo 12, que estava localizado no meio do último salão em uma área longe de abrigos.

Ao longo de toda a caverna puderam ser observadas teias residenciais de *Lasiadora* sp. Estas teias, em geral estavam localizadas próximas a fendas nas paredes junto ao piso da caverna. Não foi observada nenhuma aranha sobre suas teias de residência, mas muitos indivíduos estavam localizados próximos a elas. O indivíduo 14, depois de solto (após as medições morfológicas), se refugiou em uma teia de residência localizada próxima ao seu local de captura. Foram observadas exúvias de *Lasiadora* sp. no piso e nas paredes da caverna. Algumas foram encontradas dentro de fissuras na parede. Estas

Indivíduo <i>Individual</i>	Idade <i>Age</i>	Sexo <i>Sex</i>	Distância da entrada <i>Distance from entrance</i>	Deslocamentos <i>Displacement</i>
1	J I	Imaturo <i>Immature</i>	10	-
2	A A	♀	9	0
3	J I	Imaturo <i>Immature</i>	33	0
4	J I	Imaturo <i>Immature</i>	25	0
5	J I	Imaturo <i>Immature</i>	26	1,1
6	A A	♀	26	0,4
7	A A	♂	29	0
8	A A	♀	34,8	-
9	A A	♀	40	0
10	A A	♀	25	3,8
11	A A	♀	49,6	-
12	A A	♀	51	6
13	J I	Imaturo <i>Immature</i>	28	-
14	J I	Imaturo <i>Immature</i>	32	*
15	J I	Imaturo <i>Immature</i>	11,6	*
16	J I	Imaturo <i>Immature</i>	12	*
17	J I	Imaturo <i>Immature</i>	30	*
18	A A	♀	43,6	*

Observação: não recapturados / * capturados na segunda coleta
Observation: not recaptured / * initial capture during second collection

Tabela 2: Distribuição de *Lasiadora* sp. em relação à distância da entrada e seus deslocamentos na Gruta João Matias.

Table 2: Distribution of *Lasiadora* sp. in relation to distance from entrance and displacement in João Matias cave.

exúvias puderam ser observadas desde o final do setor A até o fim da caverna.

O canibalismo entre as *Lasiadora* sp. foi observado na segunda visita à caverna. Ele ocorreu quando um indivíduo, que tinha sido capturado para verificação de sua faixa etária (jovem ou adulto), foi solto e correu em direção a um outro indivíduo de maior tamanho. Este indivíduo ao se aproximar do de maior tamanho foi capturado e mantido preso enquanto era canibalizado.

Durante as coletas os indivíduos de *Lasiadora* sp. apresentaram um comportamento evasivo recorrente. Quando o coletor se aproximava, as aranhas elevavam o corpo de modo que o cefalotórax e o abdômen se desencilavam do chão. Quando a aproximação persistia, os indivíduos rapidamente dirigiam-se a locais abrigados, o que dificultava a captura. Aparentemente, as aranhas demonstravam maior sensibilidade às vibrações (de pas-

sos, por exemplo) do que à luminosidade emitida pelas lanternas.

5. DISCUSSÃO

Estudos relacionados à ecologia de populações de Mygalomorphae em ambientes subterrâneos não existem. Tal fato pode decorrer do conhecimento ainda incipiente dos ambientes cavernícolas, associados às raras ocorrências de populações destas aranhas no ambiente hipógeo.

A população de 21 indivíduos de *Lasiadora* sp. na caverna João Matias, além de incomum, deve-se provavelmente às influências de temperatura constante e umidade elevada na caverna, semelhante ao que provavelmente ocorria no ambiente externo quando havia mata ombrófila no entorno. A substituição da Mata Atlântica, sombreada e úmida, no entorno da caverna por capim colônio alterou as condições climáticas e tróficas do meio epígeo. Tais alterações podem ter levado os indivíduos de *Lasiadora* sp. e demais invertebrados de solo a se refugiarem nesta caverna em busca de microhabitats mais estáveis. Em áreas desmatadas da Mata Atlântica, invertebrados ombrófilos se refugiam em cavidades artificiais em busca de microhabitats mais estáveis (FERREIRA, 2004). Além da substituição da cobertura vegetal original da região por pastagens, o número reduzido de cavernas na área intensifica a procura pelos poucos abrigos existentes, o que pode levar a um adensamento de populações nos poucos locais disponíveis.

Além disso, a necessidade de utilização de locais mais úmidos e de temperaturas mais amenas por outras espécies de Theraphosidae, como *Brachypelma klaasi* (Theraphosidae) foi demonstrada por Yanez & Floater (2000). Indivíduos desta espécie apresentam tais exigências uma vez que possuem seu desenvolvimento, sobrevivência, reprodução e tempo de vida influenciados pela temperatura e umidade (YANEZ & FLOATER, 2000).

Embora o estabelecimento de grandes populações de Mygalomorphae em cavernas seja aparentemente raro, para populações de Araneomorphae esta condição é bastante freqüente. Populações de *Loxosceles similis* (Sicariidae), por exemplo, são favorecidas por muitas características do ambiente cavernícola, que permitem o estabelecimento e o desenvolvimento de grandes populações destas aranhas no meio hipógeo (FERREIRA *et al* 2005). Tal circunstância provavelmente advém do fato de o desenvolvimento de aranhas do gênero *Loxosceles* depender de condições ideais de temperatura (FISCHER, 1996).

Além das condições climáticas mais estáveis, a elevada abundância de outros invertebrados que colonizaram a Gruta João Matias e que servem de presas de *Lasiadora* sp. também auxilia a manutenção da população.

Nesta caverna pode se observar uma maior densidade de *Lasiadora* sp. na parte mediana (setores C e E). Este adensamento está relacionado com a maior densidade de presas localizadas nestes setores. Os grandes adensamentos de presas se localizam onde se encontra maior disponibilidade de alimento para os organismos detritívoros, que neste caso consiste de um extenso depósito de guano de morcegos insetívoros (POULSON & CULVER 1969, FERREIRA & MARTINS 1999). Em outras populações de predadores em cavernas, como de espécies de Araneomorphae e Amblypygi, podemos observar que a disponibilidade de presas e a distância da entrada são fatores que influenciam na distribuição destes organismos no ambiente hipógeo (FERREIRA *et al* 2001; FERREIRA *et al* 2005; FERREIRA & MARTINS, 1998).

Apesar do maior adensamento de *Lasiadora* sp. ter sido encontrado na parte mediana da caverna, observou-se que este adensamento era constituído principalmente de aranhas jovens, sendo que as fêmeas adultas de *Lasiadora* sp. se estabeleciam mais ao final da caverna (setores D, E e H). A temperatura mais estável e a umidade mais elevada nos setores mais distantes da entrada devem ter sido o fator responsável por esta configuração na distribuição das aranhas adultas na caverna. Isto porque a temperatura do ambiente e sua umidade podem influenciar, também, no desenvolvimento dos ovos de aranhas da família Theraphosidae (PULZ, 1987). Deste modo, as fêmeas de Theraphosidae selecionam ambientes em que os níveis de umidade e temperatura têm pouca variação, porque estes fatores são importantes na determinação do seu fitness (YÁÑEZ & FLOATHER, 2000).

Os locais onde foram encontrados as maiores fêmeas adultas de *Lasiadora* sp. apresentaram uma baixa densidade de presas se comparado a outras regiões da cavidade. Porém, nestes locais também há uma menor densidade de *Lasiadora* sp., o que permite que estas aranhas possam percorrer distâncias maiores à procura de presas, sem problemas de encontros casuais com outros indivíduos de sua mesma espécie. Tal circunstância leva provavelmente a uma redução dos possíveis conflitos agonísticos, diminuindo, conseqüentemente, a intensidades de predação sobre dos filhotes e ovos. Isto pode ser claramente observado pela grande distância percorrida pelo indivíduo 12 (6 metros) e pelo indivíduo 10 (3,8 metros) em comparação com outros indivíduos, principalmente aqueles que se localizam em locais onde existem grandes concentrações de *Lasiadora* sp. (setores B e C). Este comportamento demonstra que em fêmeas adultas existe uma preferência por locais de temperatura mais estável (mais propícios à reprodução), do que por locais onde as presas são mais abundantes.

As *Lasiadora* sp. residentes na Gruta João Matias parecem apresentar comportamento territorialista. Este comportamento pode ser evidenciado pelas distâncias

percorridas por estes indivíduos (que percorreram distâncias entre 0 até 6 metros), em relação àquelas relatadas por JANOWSKI-HORNER & HORNER (1999) em machos de *Aphonopelma hentz* (que percorreram distâncias entre 14,1 até 1.360,4 metros) e as encontradas por FERREIRA (2005) em um estudo com uma população de *Loxosceles similis* residente em na Gruta Lavoura, Matozinhos, Minas Gerais, (que percorreram distâncias entre 20 até 80 metros). Tal fato pode dever-se à grande densidade de presas e de *Lasiadora* sp. na Gruta João Matias, ao comportamento de canibalismo e à restrição do espaço disponível a ser percorrido pelos indivíduos residentes na Gruta João Matias em relação ao meio epígeo.

A substituição do domínio florístico original por pastagens na área de entorno da gruta João Matias pode ter sido determinante na condição apresentada por *Lasiadora* sp. (considerada, neste caso, troglófila). Todo habitat natural que circundava a cavidade foi alterado, afetando as condições que permitiam a permanência de *Lasiadora* sp. no ambiente externo. Tais condições eram a presença de presas, abrigos, umidade e temperatura amenas. Além disso, os indivíduos da população estudada podem ser considerados troglófilos tendo em vista a presença de indivíduos muito jovens até adultos, a existência de fêmeas e machos, a presença de exúvias e de teias de residência no interior da caverna.

A ocorrência de Mygalomorphae é consideravelmente comum em cavernas brasileiras (PINTO-DA-ROCHA, 1995; FERREIRA, 1999; TRAJANO, 2000; SOUZA-SILVA, 2003; FERREIRA, 2004; SOUZA-SILVA *et al* 2005; FERREIRA, 2005). Porém, quando estas aranhas estão presentes no ambiente hipógeo são encontrados somente poucos indivíduos e geralmente associados às entradas das cavernas. Devido a este comportamento os organismos são caracterizados, nestas situações, como sendo troglóxenos ou acidentais (PINTO-DA-ROCHA, 1995). A população de *Lasiadora* sp.

estabelecida na gruta de João Matias exibe uma peculiaridade em relação às demais ocorrências destas aranhas em cavernas. Até o momento, esta é a primeira ocorrência de uma grande população de *Lasiadora* sp. residente em caverna (e que são aparentemente troglófilas).

A Mata Atlântica encontra-se atualmente bastante degradada e fragmentada (GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2005). Apesar da região onde se encontra a caverna João Matias ser considerada uma área prioritária para a preservação, ela é um reflexo claro da situação de degradação em que se encontra a Mata Atlântica. O desmatamento, a fragmentação da mata e o conseqüente isolamento em que se encontra a população na Gruta João Matias pode ser uma grande barreira para a sobrevivência da população *Lasiadora* sp. neste local. Deste modo é crucial e emergencial que os órgãos de fiscalização façam cumprir nesta caverna a medida normativa que exige a recuperação da vegetação do entorno em no mínimo 250 m. A re-vegetação poderá ser feita utilizando modelos de recuperação de mata nativa ou agroecológicos, em parceria com entidades locais e regionais interessadas. A recuperação emergencial do entorno poderá reduzir os riscos de extinção da população de *Lasiadora* sp..

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Mario Souza Silva e Nilton (EMATER-MG) pela hospitalidade, João Buteco (Prefeitura de Ataléia), Vieira, Xavier Prous e Divino. A Aliança para a Conservação da Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica e Conservação Internacional), Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF) e ao IBAMA/CECAV.

7. REFERÊNCIAS

(Vide pag. 78)

ECOLOGICAL ASPECTS OF A POPULATION OF LASIODORA sp. (ARANAE: THERAPHOSIDAE) IN GRANITE CAVE

1. INTRODUCTION

Caves are natural underground cavities which are commonly a feature of karst relief. Karst relief consists of systems that are constituted of carbonate rocks in which processes of dissolution are largely responsible for the development of such special features as caves, although other lithologies, such as quartzites, sandstones, granites and iron ore, are also subject to the formation of caves. Even though these latter rocks, generally considered less soluble, may present features similar to those of a karst relief, the processes involved in their formation are predominately fluvial and eolic.

Due to the similarity to karst relief, these regions are often called pseudokarst.

Most caves are formed by the dissolution or erosion of rocks, forming conduits and galleries of varying shapes and sizes (GILBERT *et al* 1994). The cave environment tends to be more stable than the surrounding epigeal environment, and in the interior of large caves, the temperature and humidity vary little (BARR & KUEHNE, 1971; HOWARTH, 1983); exceptions are found in smaller cavities and in locations close to the entrance (FERREIRA, 2004).

The total absence of light in caves excludes the possibility of primary production by photosynthesis

(CULVER, 1982), and most of the food available must be transported into the cave from the epigeal environment (SOUZA-SILVA, 2003; FERREIRA, 2004). Food can enter a cave via rivers or vertical openings in the ceiling and walls, along with the water which infiltrates the porous rocks and percolates through the interstitial spaces; it is also carried in by animals which transit between the epigeal and hypogean environments, such as bats and birds (JASINSKA et al. 1996; FERREIRA & MARTINS, 1998). There are also other less conventional means of introduction, such as plant roots which grow into cave galleries (HOWARTH, 1983). The kind of food resource, as well as its quality and means of distribution in the cave, are important in determining the composition and abundance of the fauna present (FERREIRA, 2004).

Organisms which live in the hypogean environment may present specialized morphological and physiological features, as well as adaptations in behavior, generally linked to physical characteristics of the environment and limitations in availability of food resources present. Such organisms are classified into three ecological evolutionary categories (HOLSINGER & CULVER, 1988 – in a modification of the Schinner Racovitza system): The troglonexes may be found in underground environments, but they are only visitors to that setting, and must leave the cave for food. Troglóphiles are organisms which are better adapted to the hypogean environment and often complete their entire life cycle in a cave, but this is also possible in the epigeal environment. Both troglonexes and troglóphiles are also found in moist and shady locations in the epigeal environment. Troglóbionts, on the other hand, are found only in the hypogean environment, often presenting special modifications such as lack of pigmentation, partial or total loss of eyes, and changes in body part proportions, including the lengthening of appendages.

Given the extreme limitation of primary food production in the hypogean environment, the inhabitants are often predators. Among these predators are various species belonging to the Araneae order (FERREIRA et al 2005, FERREIRA & MARTINS, 1998). These species can establish entire populations in caves, with colonization and distribution influenced by factors such as the distance from the entrance, the abundance of prey, humidity and thermal stability (FERREIRA et al 2005; FERREIRA & MARTINS, 1998).

In Brazilian caves, forty five different families of spiders have been registered: six from the Sub order Mygalomorphae (Actinopodidae, Barychelidae, Ctenizidae, Dipluridae, Nemesiidae, and Theraphosidae), and 39 from the Sub-order Araneomorpha (Amaurobiidae, Anapidae, Anyphaenidae, Araneidae, Caponiidae, Ctenidae, Corinnidae, Deinopidae, Dictynidae, Filistatidae, Gnaphosidae, Hahniidae, Hadrotarsidae, Heteropodidae, Leptometidae, Lycosidae, Lynphiidae, Nesticidae, Ochyroceratidae, Oonopidae, Oecobidae, Palpimanidae, Pholcidae, Phylodromidae, Pisauridae, Salticidae, Scytodidae, Segestridae, Sicariidae, Symphytognathidae, Telemidae, Theridiosomatidae, Theridiidae, Tetrablemmidae, Tetragnathidae, Thomisidae,

Trechaleidae, Uloboridae e Zodariidae) (FERREIRA & MARTINS, 1999; PINTO-DA-ROCHA, 1995; FERREIRA, 2004; SILVA, 2006).

Registers of spiders of the Theraphosidae family in Brazilian caves are quite limited. The genus *Acanthoscurria* has been reported in the states of Minas Gerais and Bahia (PINTO-DA-ROCHA, 1995), while the genus *Lasiadora* has been found in caves in the state of Bahia (PINTO-DA-ROCHA, 1995; TRAJANO, 2000). There are also registers of members of this family in Lavoura Cave (Matozinhos, Minas Gerais) and in Capão Xavier III Cave (Nova Lima, Minas Gerais) (FERREIRA, 1999; SOUZA-SILVA et al 2005; FERREIRA, 2005).

Studies of the bionomics of the species of the Theraphosidae family are also quite rare, and when they do exist, they are related primarily to a description of ecotypes, behavior in the utilization of microhabitats, or location of residence in epigeal environments (COSTA & PÉREZ-MILES, 1992; STRADLING, 1994). Studies of hypogean environments where members of the Theraphosidae family are cited generally do no more than mention items serving as food for these spiders.

Moreover, large populations of Mygalomorpha in caves are apparently uncommon. The present study of a relatively large population of *Lasiadora* sp in a cave in Minas Gerais thus provides an important contribution to the bionomics of these predators in the hypogean environment. It was designed to answer the following questions:

1. How large is the population of *Lasiadora* sp. in the granite cave of João Matias?
2. Does the distribution and density of prey influence this population?
3. Is there a relationship between body size of the individuals of *Lasiadora* sp and their distribution in the interior of the cave?
4. Do these individuals reveal territorial behavior in this cave?
5. Are the individuals of *Lasiadora* sp troglóphiles or troglonexes in the cave?

2. LOCALIZATION AND GENERAL CONSIDERATIONS ABOUT THE AREA OF STUDY

The study was conducted in João Matias Cave, a granite cave located in the municipality of Ataléia (1 8003'45''S/41003'45''W) in northeastern Minas Gerais (Figure 1).

Ataléia is located in the domain of the Atlantic Coastal Rainforest, an area given priority in relation to the conservation of biodiversity (MACHADO & FERREIRA, 2005; GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2005), and only 11% of the original forest cover remains in the municipality (SOS MATA ATLANTICA, 2005). The original vegetation in the vicinity of the João Matias cave has been replaced by the monoculture of *colonião* grass (*Panicum* sp), which is used as pasture in the extensive breeding of cattle.

PHYSICAL DESCRIPTION OF CAVITY

João Matias Cave is found in relatively friable granite, which may have contributed not only to the original genesis of the cave, but also to its expansion, apparently controlled by erosive processes. This cave has 148 meters of horizontal development. The horizontal lenticular entrance and the upwards trending passage make physical introduction of external, even organic, material to the interior of the cave difficult. The conduit forks a few meters from the entrance, with the two forks connected by an ample chamber at the back of the cave. Numerous breakdown blocks are spread over the floor, clearly indicating the importance of breakdown in the widening of this chamber. A small flow of water drains along the sides of this large chamber. This drainage is the result of the confluence of small springs located in the shallow conduits which radiate from the room. The entrance to the cave is frequently visited by cattle, and it has suffered considerable impact from the trampling of hooves and excessive exposure to external light (due to the removal of the original vegetation, as mentioned above).

TROPHIC DESCRIPTION OF CAVITY

Most of the organisms inhabiting the cave are detritivores, and a qualitative analysis was made to determine the kinds of foodstuffs available for them in the João Matias cave. Five kinds were identified. The first consists of plant material, which is rare and located only in the first few meters of the cave. The others consist of various kinds of guano from carnivorous, insectivorous and hematophagous bats. The guano from *Peropteryx* sp (insectivorous) is found in the central part of the cave and the one from *Crotopterus aritus* (carnivorous) is located in the final chamber at the back of the cave. There is also a large deposit of guano from the hematophagous bat, *Desmodus rotundus*, in one of the lateral conduits which irradiate from the final chamber. All of these deposits are constantly renovated by the respective colonies of bats. The final source of food is the large deposit of guano from frugivorous bats which covers almost the entire floor of the final chamber. The bats which produced this huge deposit no longer live in the cave, as is clear from the advanced degree of decomposition of the guano (quite dry, powdery, and mineralized).

3. METHOD

PROCEDURES

The first collection was conducted in July of 2003. It provided a general inventory of the fauna present in the cave. At that time, potential prey of the *Lasiodora* sp was also surveyed. For this reason, all potential microhabitats were investigated, including floor, rocks and [decomposing] tree branches (FERREIRA, 2005). Information about the diet of *Lasiodora* sp was obtained

from publications and personal communication (YÁÑEZ & FLOATHER, 2000; SOUZA-SILVA, 2003; SOUZA-SILVA et al 2005).

Each individual species of potential prey in the cave was evaluated in relation to its distribution, and this was plotted on a schematic map of the cave.

In a second visit to the cave in January of 2004, those individuals of *Lasiodora* sp found were captured, identified by sex, and separated according to age into adults and immature young individuals; all were measured and marked to facilitate future recognition. The exact location of capture of each individual was plotted on the map of the cave; after measurement, they were freed in the same location where they had been captured. For each organism, measurements of length and width of cephalothorax and abdomen was made, as well as the length of the right front leg, the right chelicera, and the right spinneret. All measurements were taken using a pachymeter (caliper).

Three days after the second visit, a third visit was made to capture as many spiders of *Lasiodora* sp as possible. Marked individuals were recaptured, and additional individuals were also found. The new individuals were also measured and freed, with their location plotted on the map.

The insects were captured manually using the thumb and index finger, one on each side of the cephalothorax between the second and third pairs of legs, to press the spider against the ground.

DATA ANALYSIS

The size of the population was estimated using the Lincoln Petersen index. This index calculates the size of closed populations, assuming that no births, deaths, emigrations or immigrations will occur during the sampling period (FERNANDEZ, 1995).

A simple linear regression was used to verify a possible relationship between size of the individuals (with the length of right front leg used as an indication) and distance from the entrance to the cave (ZAR, 1996).

Prey density was calculated by dividing the cave into ten sections of equal linear projection (Figure 2). The area of each section was calculated using the Simpson formula (FERREIRA & MARTINS, 1998). In each section, the density of both *Lasiodora* sp and potential prey was correlated; Spearman correlation was used, since it was impossible to normalize the data (ZAR, 1996).

The movement of each individual was used to evaluate territorial behavior of *Lasiodora* sp. Dislocation involved linear distance traversed by the individuals from the initial point of capture (January 10, 2003) to the point where the individual was recaptured three days later (January 13, 2003).

During the collection, various "in situ" aspects of behavior were observed.

4. RESULTS

During the first visit to the cave for the collection of spiders, 13 individuals of *Lasiodora* sp were cap

tured and marked; during the second visit, 15 individuals were found, with only 9 of them already marked for identification. The size of the population was thus estimated to be 21 (+/- 4).

The ratio between the sexes of the adult individuals in this population was 8 females for each male. Half of the individuals found were adult, and half immature (9 each; Table 1)

Considerable variation in morphological characteristics was found. The length of cephalothorax varied from 0.4 to 2.0 cm, and the width from 0.4 to 2.39 cm. The length of the right front leg varied from 1.2 to 7.71 cm, of the spinneret varied from 0.3 to 1.33 cm. and of the chelicera varied from 0.12 to 1.25 cm. The length of the abdomen varied from 0.5 to 3.35 cm, and its width varied from 3.33 to 2.63 cm (Table 1).

The length of the right front leg and the length of the cheliceras indicate the existence of four different categories of body size (Figures 3 and 4).

During the inventory of the invertebrate fauna it was observed that the main prey of the spiders of the genus *Lasiadora* were crickets (*Ensifera Endecous* sp) and cockroaches (*Blattaria* sp.) (Table 3).

There was a significant relationship between the density of *Lasiadora* sp and the density of potential prey in each of the sections ($F_{1,9}=52.56$; $R=0.932$; $P<0.000$) (Figure 5).

The length of the right front leg was positively and significantly related to distance from cave entrance ($F_{1,14} = 5.7393$; $R_2=0.5392$; $R_2=0.2907$; $P<0.0031$) (Figure 6).

The distances traveled by the individual spiders of this genus during the study varied, with 27.78% being recaptured at the same location as the original capture. The greatest displacement observed was 6 meters, by individual number 12 (Table 1; Figure 2).

Individuals of the genus *Lasiadora* sp were generally found near cracks or fissures in the walls of the cave or under blocks on the floor. A single exception was observed for individual 12, which was found in the middle of the final chamber in an area far from shelter.

Throughout the whole cave residual webs of *Lasiadora* sp were observed. These webs were generally located near cracks in the walls and close to the floor of the cave. No spider was actually found on any of the webs, but many individuals were found close to them. However, after being measured and freed, Individual 14 hid in one of the webs, located close to the location of capture. Moreover, the cast off exuviae of *Lasiadora* sp were found on the floor and walls of the cave. Some were found inside fissures in the wall. These exuviae were found from the end of Section A to the back of the cave.

Cannibalism among the individual spiders of the *Lasiadora* sp. genus was observed during the second visit to the cave. One individual, which had been captured for verification of age, was freed, and it ran in the direction of another, larger individual. When it got close to the larger individual, it was captured and held prisoner while it was eaten.

During the collection, the spiders revealed a repeatedly evasive behavior. When they were approached, the spiders elevated their body so that the cephalothorax and abdomen were lifted off the ground. When approximation continued, these spiders rapidly removed themselves to sheltered places, which made capture difficult. Apparently, these spiders were more sensitive to the vibrations (of footsteps, for example) than to the light emitted by flashlights.

5. DISCUSSION

There are no known studies of Mygalomorphae populations in underground environments. This may be due to the fact that our knowledge of the underground environment is in its infancy, as well as the fact that such spiders are rare in the hypogean environment.

A population of 21 individuals of *Lasiadora* found in the João Matias cave, although rare, was probably the result of the stable temperature and high humidity to be found there, which would be similar to what was previously available in the surrounding epigeal environment when the ombrophilous forest was still standing. The replacement of the shady and humid Atlantic Coastal Rainforest around the cave with *colonião* grass changed the climatic and trophic conditions of the epigeal environment.

These alterations may have led the individuals of *Lasiadora* and other hypogean invertebrates to leave their original habitat and take shelter in the cave in search of a more stable microhabitat. In deforested regions of the Atlantic Coastal Rainforest, ombrophile invertebrates often seek refuge in artificial cavities in search of more stable microhabitats (FERREIRA, 2004). In addition to the replacement of the original plant coverage of the region with pasture, the limited number of caves in the region probably intensified the occupation for the few shelters available, which would have led to denser populations in those which were occupied.

Moreover, the need for more humid locations with milder temperatures has influenced other species of Therapsidae such as *Brachypelma klaas* (Therapsidae) (YANEZ & FLOATER, 2000). The individuals of this species are greatly influenced by temperature and humidity in their development, survival, reproduction and life span (YANEZ & FLOATER, 2000).

Although the establishment of large populations of Mygalomorphae in caves is apparently rare, it is quite common for populations of Araneomorphae. Populations of *Loxosceles similes* (Sicariidae), for example, are favored by many characteristics of the nature of the cave environment, which permits the establishment and development of large populations of these spiders in the hypogean environment (FERREIRA et al 2005). This probably stems from the fact that the development of spiders of this genus depend on ideal temperature conditions (FISCHER, 1996).

In addition to the more stable climatic conditions found in João Matias Cave, the abundance of other in

vertebrates which can serve as prey for the *Lasiadora* helps maintain the population.

The greatest density of individuals was found in the central part of the cave (Sections C and E). This density is related to the greater density of prey in these sections. The density of prey depends on the availability of food for these detritivores; in this case, food for the prey comes largely from an extensive deposit of the guano of insectivorous bats (POULSON & CULVER 1969, FERREIRA & MARTINS 1999). In other caves, the distribution of the population of other species of Araneomorphae and Amblypygi in the hypogean environment also depends on the availability of prey, as well as the distance from the entrance (FERREIRA et al 2001; FERREIRA et al 2005; FERREIRA & MARTINS, 1998).

Despite the greater density of *Lasiadora* sp found in the central part of the cave, this part of the population was found to consist mainly of immature spiders, with the adult females being established further back in the cave (Sections D, E and H). The more stable temperature and higher humidity in these sections further from the entrance may have been a factor responsible for this distribution. This may also be due to the fact that environmental temperature and humidity can influence the development of the eggs of spiders of the Theraphosidae family (PULZ, 1987), and females of Theraphosidae tend to select locations in which the level of humidity and temperature vary little because these factors are important in the determination of their fitness (YÁÑEZ & FLOATHER, 2000).

The places where the largest adult females were found had a relatively low density of potential prey, although there was also a lower density of *Lasiadora* sp. These individuals must travel greater distances to find food, but there is less of a potential problem of encountering other individuals of the same species. This may lead to a reduction in potential antagonistic conflicts, thus decreasing the intensity of predation of eggs and young. The results can be clearly seen in the large distances traveled by Individual 12 (6 meters) and Individual 10 (3.8 meters) in relation to the others, especially those found in locations where large concentrations of *Lasiadora* were found (Sections B and C). This behavior shows that female adults have a preference for a more stable temperature (better for reproduction), even if the prey is less abundant.

The *Lasiadora* sp. resident in the João Matias cave seem to evidence territorial behavior. Such behavior can be seen in the contrast with the distances reported by JANOWSKI-HORNER & HORNER (1999) for males of *Aphonopelmo hentzi* which travel distances of 14.1 to 1360.4 meters, and those reported by FERREIRA (2005) of the population of *Loxosceles similis* in the Lavoura cave in Matozinhos, Minas Gerais (which traverse distances from 20 to 80 meters). The reduced distances may, however, be influenced by the great density of potential prey for the *Lasiadora* sp. in the João Matias cave, as well as the practice of cannibalism and the reduced space available in relation to

what is found in the epigeal environment.

The replacement of the original floristic domain in the vicinity of the cave with pasture may have been instrumental in the development of the troglomorphic characteristics developed by these *Lasiadora*. All the natural habitat surrounding the cave has changed, and this has affected the conditions which would have permitted the permanence of *Lasiadora* in the external environment. These conditions include the presence of prey, shelter, humidity and a mild temperature. The individuals in the population studied seem to have become troglomorphs, since not only adults, but also very immature individuals were found, both female and male; moreover, cast off exuviae are scattered throughout the interior of the cave, and residence webs are found in abundance.

The occurrence of Mygalomorphae is quite common in Brazilian caves (PINTO-DA-ROCHA, 1995; FERREIRA, 1999; TRAJANO, 2000; SOUZA-SILVA, 2003; FERREIRA, 2004; SOUZA-SILVA et al 2005; FERREIRA, 2005). However, when these spiders are present in hypogean environments, only a few individuals are found, generally near the entrance. Under normal circumstances, their behavior is thus characterized as troglomorphic or accidental (PINTO-DA-ROCHA, 1995). The population of *Lasiadora* established in the João Matias cave, however, is different. Up till now, no other large population of apparently troglomorphic *Lasiadora* sp residing in caves is known.

The Atlantic Coastal Rainforest has been heavily degraded and fragmented (GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2005). Despite the fact that the region where João Matias Cave is found is considered a high priority for preservation, it clearly reflects the degradation of the Atlantic Coastal Rainforest. Deforestation and fragmentation of the forest, and the consequent isolation of this population of *Lasiadora*, may prove hazardous for its survival in the location. It is thus crucial that the competent agents impose the norms requiring the recuperation of the natural vegetation within a radius of 250 meters from the entrance of the cave. This re-vegetation could use models for the recuperation of native forests or agroecological models, and could be conducted in partnership with interested local or regional entities. Emergent recuperation of the surrounding vegetation may, however, be necessary to reduce the risk of extinction of this population of *Lasiadora* sp.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the hospitality of Mario Souza Silva and Nilton (EMATER – MG), as well as the collaboration of João Buteco (Mayor of Ataléia), Vieira, Xavier Prous, and Divino. The assistance of the Aliança para a Conservação da Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica and Conservation International), the Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF) and IBAMA/CECAV is also acknowledged.

7. BIBLIOGRAPHY

- AULER, A.S. & PILÓ, L.B. (2005). Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. **O Carste**. Vol. 17(3):70-72.
- BARR, T.C. & KUEHNE, R.A. (1971). Ecological studies in Mammoth Cave, ecosystems of Kentucky. **Ann. Spéléol**, 26:47-96.
- COSTA F.G. & PEREZ-MILES, F. (1992). Notes on the mating and reproductive success of *Ceropelma longsternalis* (Aranae, Theraphosidae) in captivity. **Journal of Arachnology**, 20:129-133.
- CULVER, D.C. (1982). **Cave Live**. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts and London, England, 189p..
- DIAS S.C. & BRESCOVIT, A.D. (2003). Notes on the behavior of *Pachistopelma rufonigrum* Pocok (Aranae, Theraphosidae, Aviculariinae). **Revista Brasileira de Zoologia**, 20(1):13-17.
- EDINGTON, M. (1984). Biological observations on the ogbuike cave system, Anambra state. Nigeria. Studies in **Speleology**, 5:31-38.
- FERNANDEZ, F.A.S. (1995). Métodos para estimativa de parâmetros populacionais por captura, marcação e recaptura. **Oecologia Brasiliensis**, 2:01-28.
- FERREIRA, R.L. (2004). **A medida da complexidade biológica: e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, 161 p.. Orientador: MARTINS, R. P.
- _____ (2005). A vida subterrânea nos Campos Ferruginosos. **O Carste**, 17(3):106-115.
- FERREIRA, R.L. & MARTINS, R.P. (1998). Diversity and distribution of spiders associated with bat guano piles in Morrinho Cave (Bahia State, Brazil). **Diversity and Distribution**, 4:235-241.
- _____ (1999). Trophic structure and natural history of bat guano invertebrate communities, with special reference to Brazilian caves. **Tropical Zoology**, 12:231-252.
- FERREIRA, R.L.; PROUS, X.; MACHADO, S.F. & MARTINS, R.P. (2005). Population dynamics of *Loxosceles similis* (Moenkhaus, 1898) in Brazilian dry cave: A new method for evaluation of population size. **Revista Brasileira de Zoociências**, 7(1):129-141.
- FISHER, M.L. (1996). **Biologia e ecologia de *Loxosceles intermédia* (Mello-Leitão, 1934) (Aranae, Sicariidae), no município de Curitiba, PR**. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas – Zoologia, Universidade Federal do Paraná. 137 p..
- GALINDO-LEAL, C. & CÂMARA, I.G. (2005). Status do *hotspot* Mata Atlântica: uma síntese. *in*: GALINDO-LEAL, C. & CÂMARA, I.G. **Mata Atlântica; biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Eds. Belo Horizonte: Centro de Ciências Aplicadas à Biodiversidade, 471 p..
- GILBERT, J.; DANIELPOL, D.L. & STANFORD, J.A. (1994). **Groundwater Ecology**. Academic Press New York, 571 p..
- GINES, A. & GINES, J. (1992). Karst phenomenon and biospeleological environments. Mus. Nac. Cienc. Natur. (ED.). **The natural history of biospeleology monografias**. Madrid, Spain: 677 p..

- GNASPINI-NETTO, P. (1989). Análise comparativa da fauna associada a depósitos de guano de morcegos cavernícolas no Brasil. Primeira aproximação. **Revista Brasileira de Entomologia**, 33 (2):183-192.
- HOLSINGER, R. & CULVER, D.C. (1988). The Invertebrate Cave Fauna of Virginia and a Part of Eastern Tennessee: Zoogeography and Ecology. **Brimleyana**, 14:162-175.
- HOWARTH, F.G. (1983). Ecology of cave arthropods. **Ann. Rev. Entomol**, 28:365-389.
- JANOWSKI-BELL, M.E. & HORNER, N.V. (1999). Movement of the male brown tarantula, *Aphonopelma hentzi* (Araneae, Theraphosidae). Using Radio Telemetry. **Journal of Arachnology**, 27:503-512.
- LINO, C. F. (2001). **Cavernas: O fascinante Brasil subterrâneo**. São Paulo: Editora Gaia, 288 p..
- MACHADO, A.B.M. & FERREIRA, R.L. (2005). Invertebrados. in: DRUMOND, G.M; *et al.* (Eds.) **Biodiversidade em Minas Gerais: Um Atlas para a sua conservação**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 222 p..
- PINTO-DA-ROCHA, R. (1995). Sinopse da fauna cavernícola do Brasil (1907 – 1994). **Papéis Avulsos de Zoologia**, 39(6):61-173
- POULSON, T.L. (1972). Bat guano ecosystems. **Bulletin of National Speleological Society**, 34(2): 5-59.
- POULSON, T.L. & WHITE, W.B. (1969). The Cave Environment. **Science**. 165:971.
- PRIMACK R.B. & RODRIGUES E. (2001). **Biologia da conservação**. Londrina: Editora Planta, 327 p..
- PULZ, R. (1987). Thermal and water. in: NETWIG W. (ed) **Ecophysiology of spider**. Berlin: Springer-Verlag, pp. 26-55.
- SINCLAIR, A.R.E. (1989). Population regulation in animals. in: CHERRETT J.M. (Ed.) **Ecological concepts**. Oxford: Blackwell.
- SILVA, F.J. (2006). **Invertebrados de cavernas no Distrito Federal: diversidade, distribuição temporal e espacial**. Doutorado em Ecologia. Universidade de Brasília. 112 p.. Orientador: Dr^a Ivone Rezende Diniz.
- SOS MATA ATLÂNTICA (2005). <http://www.sosmatatlantica.org.br>. Acesso em: 01 de novembro de 2005.
- SOUZA-SILVA, M. (2003). **Dinâmica de disponibilidade de recursos alimentares em uma caverna calcária**. Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Universidade Federal de Minas Gerais. 77 p.. Orientador: MARTINS, R.P.
- SOUZA-SILVA, M.; BERNARDI, L.F.O. & FERREIRA, R.L. (2005). Caracterização sistêmica da Gruta da Lavoura (Matozinhos, MG): Aspectos topoclimáticos, tróficos e biológicos. **Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Espeleologia**, pp.109-115.
- STRADLING, D.J. (1994). Distribution and behavior ecology of an Arboreal ‘Tarantula’ spider in Trinidad. **Biotropica**, 26(1):84-97.
- TAYLOR, L.R. & TAYLOR, R.A.J. (1977). Aggregation, Migration and population mechanics. **Nature**, 265:415-421.
- TRAJANO, E. (2000). Cave Fauna in Atlantic Tropical Rain Forest: Composition, Ecology and Conservation. **Biotropica**, 32(4b): 882-893.

- YÁÑEZ, M. & FLOATER, G. (2000). Spatial distribution and habitat preference of the endangered tarantula, *Brachypelma klaasi* (Araneae: Theraphosidae) in Mexico. **Biodiversity and Conservation**, 9:795-810.
- ZAR, J.H. (1996). **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 718 p..