

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 quimio autotróficas 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 lixivia 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 *trogloxenos* são organismos regularmente encontrados no ambiente subterrâneo, mas que saem do mesmo para se alimentar. Os *troglofilos* são aqueles organismos capazes de completar seu ciclo de vida no meio hipógeo e/ou epígeo. Os *troglobios* 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-

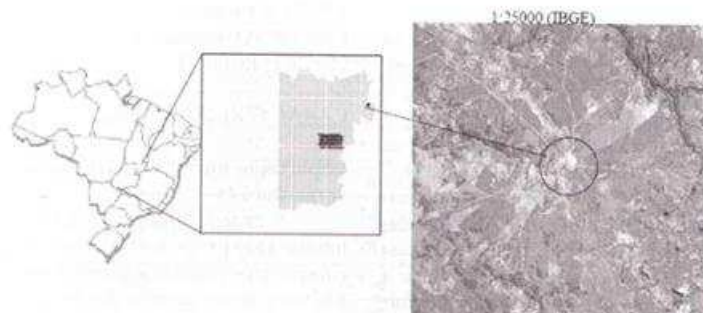


Figura 1: Localização da APA Nascentes do Rio Vermelho, em Mambai, GO, Brasil.
Figure 1: Location of the APA Nascentes do Rio Vermelho in Mambai, GO, Brazil

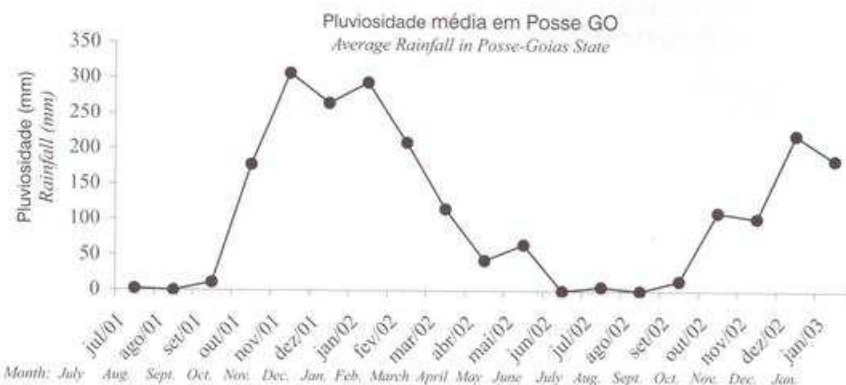


Figura 2: Pluviosidade média na região da APA Nascente do Rio Vermelho (INMET-GO).
Figure 2: Average rainfall in the region of the APA Nascente do Rio Vermelho (INMET-GO).

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 Mambai-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 ($m.s^{-1}$), a temperatura, o pH e a vazão ($m^3.s^{-1}$) 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 = (peso inicial (g) - peso final (g) / peso inicial (g) x 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 (24,9° °C). No ponto hipógeo 2 a temperatura atingiu seu maior valor nos meses de outubro e dezembro (28,9° °C), e a menor medida registrada ocorreu em junho (24,3° °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 $m^3.s^{-1}$) e velocidade de correnteza (2,42 $m.s^{-1}$). O menor valor de vazão foi registrado no mês de abril (0,4 $m^3.s^{-1}$) e o menor valor da velocidade de correnteza foi registrado no mês de fevereiro (3 $m.s^{-1}$) (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

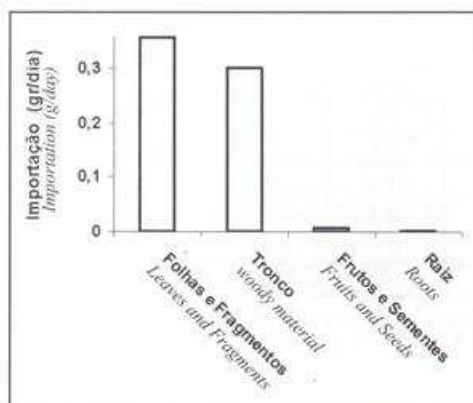


Figura 3: Importação de detritos, pelo riacho, para o interior da caverna Borá IV no período de agosto de 2001 até junho de 2002.

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

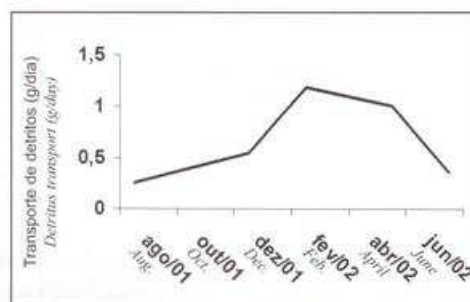


Figura 4: Importação mensal de detritos, pelo riacho, para o interior da caverna Borá IV no período de agosto de 2001 até junho de 2002

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-

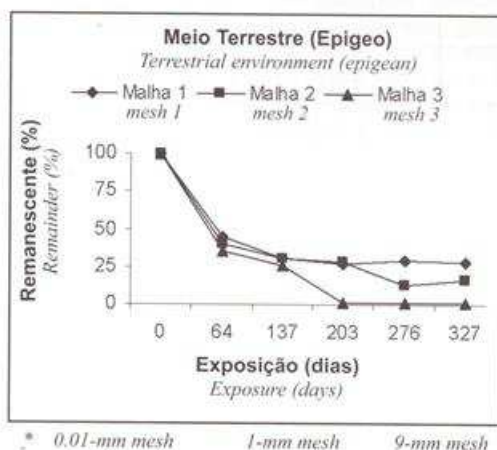


Figura 5: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente terrestre epígeo da Caverna Borá IV.

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

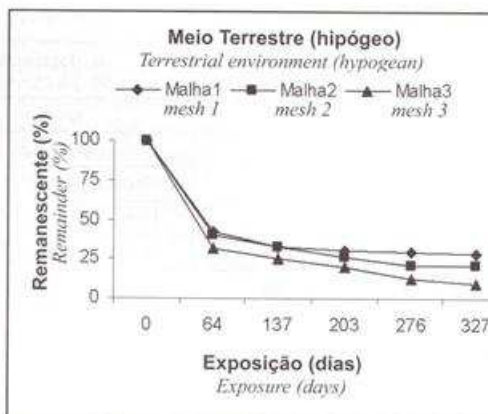


Figura 6: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente terrestre hipógeo da Caverna Borá IV.

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

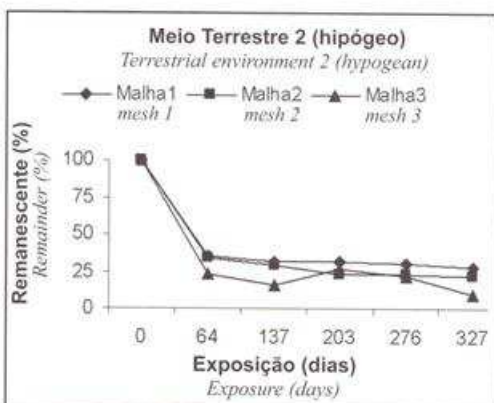


Figura 7: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente terrestre hipógeo da Caverna Borá IV.

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

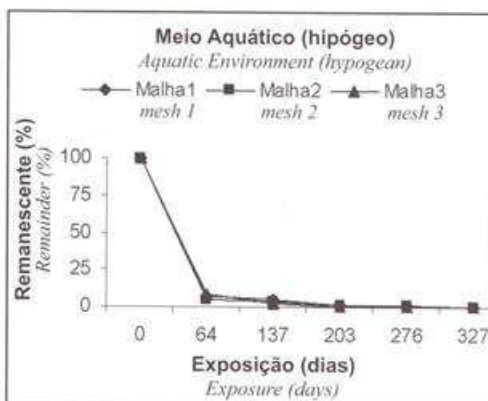


Figura 8: Porcentagem de perda de peso da matéria orgânica vegetal exposta a decomposição no ambiente aquático hipógeo da Caverna Borá IV.

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
	Entomobryidae			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	Evaniidae			1	1
	Formicidae			2	23
Mollusca	Planorbidae	1	2		
	Não Identificado	1	1		
Symphyla	Symphyla sp.			1	6
Opilionida	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 epígeo (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 epígeo 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 epígeo. 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 serapilheira 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 SOUZA-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 epígeo. 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 orgânicos

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 troglloxenes, which are organisms often found in the underground environment, although they regularly leave it to find food. The second is the trogllophiles, 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 trogllobites, 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 epigean 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 (75°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 epigean), eighteen at each. One of the three hypogean points was located in the river, while the other two were located on land.

The epigean 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 epigean 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 epigean and hypogean environments, but the variation inside the cave was lower. At the terrestrial epigean point, the highest temperature measured was 35.5°C (in October), and the lowest was 26.5°C (in December). The highest temperature at the terrestrial hypogean point was 28.1°C (in December), and the lowest at this point was 24.9°C in June. At the aquatic hypogean point, the temperature reached its highest value (28.9°C) in the months of October and December and the lowest value (24.3°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 epigean 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 epigean 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 Borá 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 epigean 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 epigean 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 Geoespecializados 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 England: 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.