Qual a relação entre variáveis ambientais e a diversidade de heterópteros aquáticos em nascentes de altitude?

What is the relationship between environmental variables and diversity of aquatic Heteroptera in altitudinal headwater streams?

MICHEL GOULART
Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Conservação e Manejo de Vida Silvestre (ICB/UFMG), Laboratório de Ecologia de Bentos (ICB/UFMG)
ALAN L. DE MELO
Departamento de Parasitologia, Laboratório de Toxonomia e Biologia de Invertebrados (ICB/UFMG)
MARCOS CALLISTO
Departamento de Biologia Geral, Laboratório de Ecologia de Bentos (ICB/UFMG)

RESUMO

A relação espécie-área e a relação entre variáveis ambientais e diversidade de heterópteros aquáticos em nascentes de altitude foram verificadas buscando-se responder às seguintes perguntas: 1) Existe relação entre área de poça e riqueza de espécies?; 2) Existe relação entre variáveis físicas e químicas da água e diversidade de heterópteros?; 3) Características da bacia influenciam a diversidade? Com esse objetivo, 18 poças de diferentes tamanhos foram amostradas. Os resultados obtidos indicam que a riqueza de espécies aumenta em função da área e que a vegetação ciliar e a condutividade elétrica influenciam a riqueza de espécies, equitabilidade e diversidade de heterópteros aquáticos.
Palavras-chave: Diversidade; Heterópteros aquáticos; Riachos de altitude; Conservação de bacias hidrográficas.

ABSTRACT

The species-area relationship and the relationship between environmental parameters and aquatic Heteroptera diversity in altitudinal headwaters were analyzed, answering: 1) Is there a relationship between pool area and species richness?; 2) Is there a relationship between physical and chemical variables and Heteroptera diversity?; 3) Do the watershed characteristics influence the diversity? To answer these questions, 18 pools of different sizes were sampled. The obtained results suggest that (i) the species richness is directly related to the area and, (ii) the presence of riparian vegetation and the electric conductivity values influence the species richness, equitability and diversity of aquatic Heteroptera.
Key words: Diversity; Aquatic Heteroptera; Altitudinal streams; Watershed conservation.

Correspondência para:
Marcos Callisto, Universidade Federal de Minas Gerais, ICB, Depto. Biologia Geral, Lab. Ecologia de Bentos, CP. 486, CEP. 30.161-970, Belo Horizonte, MG. tel. 31-3499-2595, fax. 31-3499-2567, callisto@mono.icb.ufmg.br

INTRODUÇÃO

A perda da biodiversidade em ecossistemas naturais influencia a diminuição da resistência e resiliência a distúrbios, levando à simplificação de ecossistemas e perda de integridade ecológica. A degradação de paisagens, perda de hábitats e conseqüentes extinções de espécies têm despertado o interesse da opinião pública para a necessidade de conservação da biodiversidade aquática.

Um aspecto crítico para a previsão de perdas da biodiversidade é o entendimento dos padrões de riqueza de espécies nas escalas macro (bacias hidrográficas), meso (rios e riachos) e micro (hábitats e microhábitats) (Vinson & Hawkins, 1998). Insetos aquáticos são importantes elementos dentro da preocupação internacional quanto à perda da biodiversidade global (Wilson, 1988).

Os heterópteros aquáticos constituem um grupo de insetos com uma grande variedade de formas, refletindo adaptações a uma ampla variedade de nichos (Merritt & Cummins, 1988). Esses organismos são importantes componentes tróficos de ecossistemas aquáticos. Podem causar prejuízos à aquicultura, devido à predação de alevinos, girinos (ranicultura) e outras espécies comerciais em fase imatura (camarões).

A distribuição e a diversidade de heterópteros aquáticos são determinadas pela presença de macrófitas aquáticas (Jansson & Scudder, 1972), disponibilidade de alimento (Ellis & Borden, 1970) e diversidade de substratos (Ward, 1992). Em um estudo realizado em ecossistemas lênticos costeiros, Ribeiro *et al.* (1998) verificaram que o nível de água das lagunas é um importante fator na determinação dos padrões sazonais de diversidade e abundância de Nepomorpha.

Riachos de altitude são ecossistemas com elevada diversidade de insetos aquáticos (Callisto *et al.*, 2001a, 2001b), apesar da grande variação no nível e vazão de água entre os períodos de seca e chuvas. Durante a seca, inúmeras nascentes desaparecem e grande parte dos córregos e riachos perenes são reduzidos a poças parcial (com baixo fluxo de água) ou totalmente isoladas umas das outras.

O deslocamento passivo unidirecional de invertebrados em ecossistemas lóticos é conhecido como deriva (*drift*) e constitui importante processo de dispersão e colonização de novas áreas por estádios imaturos, representando uma estratégia de redistribuição populacional (Brittain & Eikeland, 1988). A interrupção desse processo pode isolar populações de insetos aquáticos, fazendo com que a colonização e a troca de fluxo gênico entre populações sejam dependentes dos estádios adultos e voadores. O estabelecimento de novas populações e a persistência das existentes nesses locais acontecem de acordo com os pressupostos da teoria de Biogeografia de Ilhas, desenvolvida por MacArthur & Wilson (1967), segundo a qual a área e o isolamento de cada ilha de hábitat (neste caso, as poças) determinarão o equilíbrio das espécies.

O objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre algumas variáveis ambientais (área, profundidade, altitude, diversidade de subs-

tratos, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, temperatura e turbidez) e a diversidade de espécies (riqueza, equitabilidade e diversidade) de assembléias de heterópteros aquáticos em trechos de nascentes de altitude, durante um período de seca prolongada em áreas com presença de mata ciliar e em áreas abertas.

As perguntas que nortearam este estudo foram:

1) Existe relação entre área de poças e a diversidade de heterópteros aquáticos?;
2) Existe relação entre as variáveis físicas e químicas da água e a diversidade de heterópteros aquáticos?;
3) Características da bacia, como altitude, diversidade de substratos e presença de mata ciliar, influenciam a diversidade desses organismos?

ÁREA DE ESTUDOS

O condomínio residencial Retiro das Pedras está localizado em uma região montanhosa, distante 25 km ao sul da cidade de Belo Horizonte, próximo ao Parque Estadual da Serra do Rola-Moça, onde estão localizados alguns dos principais mananciais de água que abastecem a capital do Estado de Minas Gerais. A vegetação predominante na região é o cerrado (até 800 m), campos rupestres (acima de 1200 m) e matas de galeria nos vales dos córregos.

Entre altitudes de 800 e 1200 m, zonas de ecótones de cerrado e campo rupestre são observadas. A região adjacente ao condomínio possui grande número de nascentes, perturbadas periodicamente por queimadas na época das secas e visitas de moradores, sobretudo nos finais de semana. Os solos são rasos, com inúmeros afloramentos rochosos de quartzitos, o que propicia a formação de grande número de nascentes.

Foi estudada uma sub-bacia do Rio Retiro das Pedras em uma área adjacente ao condomínio residencial de mesmo nome, formada por dois córregos de 2ª ordem que se confluem e após um percurso aproximado de 100 metros formam uma cachoeira de 30 metros de altura. As estações amostrais foram estabelecidas da seguinte maneira:

- Trecho 1: porção superior do primeiro córrego – 5 estações amostrais.
- Trecho 2: porção superior do segundo córrego – 5 estações amostrais.
- Trecho 3: logo após a confluência dos dois córregos – 5 estações amostrais.
- Trecho 4: logo após a cachoeira – 3 estações amostrais.

As estações amostrais foram estabelecidas em áreas de deposição (remanso) nos córregos estudados, escolhidas aleatoriamente (Fig. 1).

A área de estudos sofreu queimadas durante um período de aproximadamente três meses, anterior à coleta, o que levou à destruição de grande parte da vegetação terrestre adjacente, sobretudo próximo aos dois córregos estudados. Observou-se durante as coletas que a área já demonstrava sinais de recuperação, apresentando grande quantidade de plântulas de gramíneas, indicando a regeneração da vegetação.

O trecho 1 possui nascentes localizadas em áreas descobertas de mata ciliar, periodicamente afetadas pelo fogo. As demais poças situam-se em áreas fechadas com mata ciliar bem desenvolvida em suas margens. Nesse trecho, locais com e sem presença de mata ciliar se alternam, nunca alcançando larguras maiores que 4 m de vegetação. No trecho 2, a mata ciliar é bem desenvolvida, chegando a 10 m de largura em alguns pontos. Nesses dois trechos não foi detectada nenhuma influência antrópica.

Os trechos 3 e 4, que possuíam mata ciliar pouco desenvolvida ou ausente, foram for-

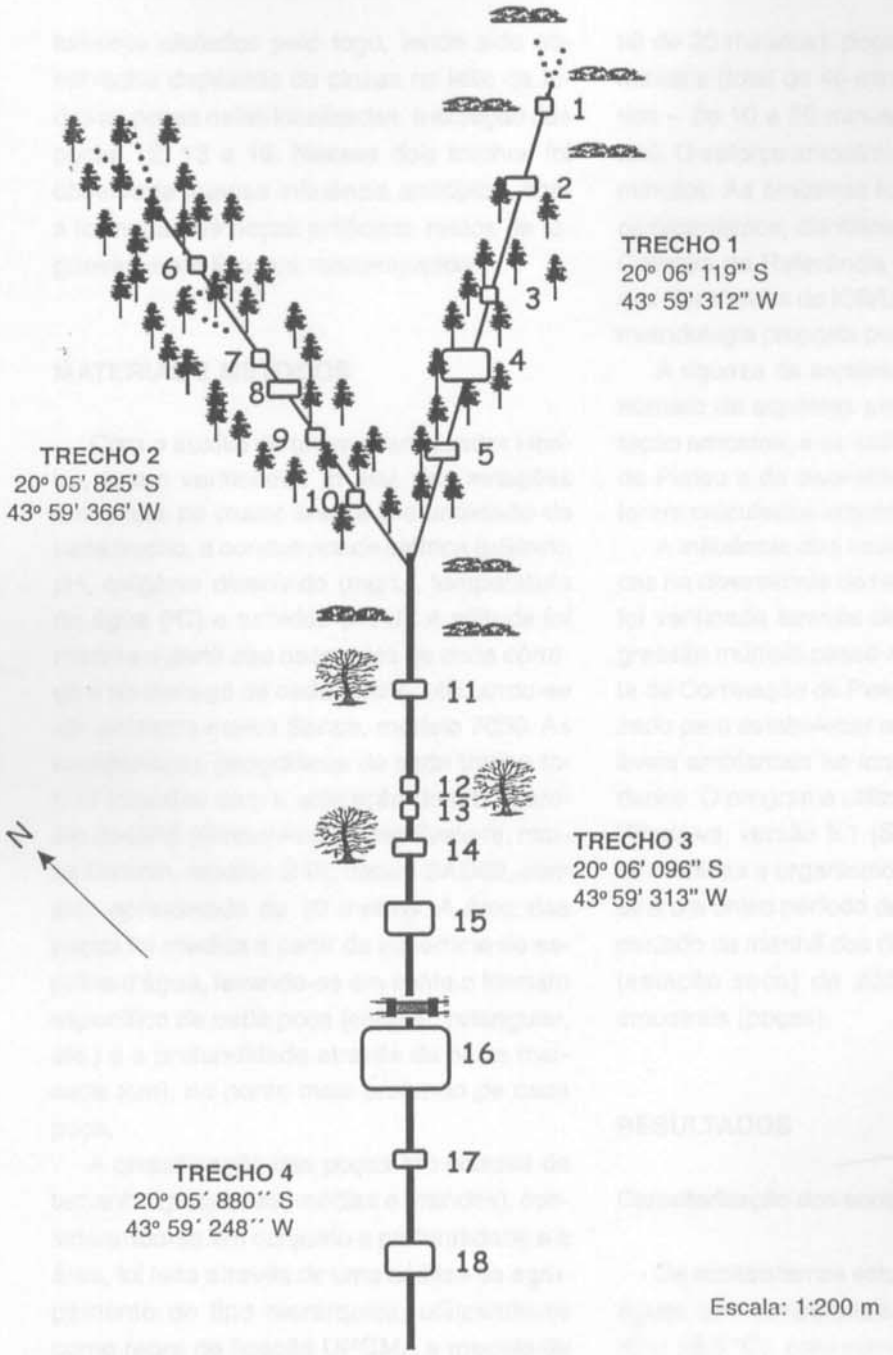

Figura 1: Localização das estações amostrais na área de estudos:

poças pequenas; poças médias; poças grandes; poça 16; cachoeira; cerrado; campo rupestre; mata ciliar

temente afetados pelo fogo, tendo sido observados depósitos de cinzas no leito de todas as poças neles localizadas, à exceção das poças 12, 13 e 16. Nesses dois trechos foi observada intensa influência antrópica, com a formação de poças artificiais, restos de fogueiras e até lixo nos descampados.

MATERIAL E MÉTODOS

Com o auxílio de um multianalisador Horiba, foram verificados *in situ*, nas estações amostrais de maior área e profundidade de cada trecho, a condutividade elétrica (µS/cm), pH, oxigênio dissolvido (mg/L), temperatura da água (°C) e turbidez (NTU). A altitude foi medida a partir das nascentes de cada córrego e no começo de cada trecho, utilizando-se um altímetro marca Sanoh, modelo 7030. As coordenadas geográficas de cada trecho foram tomadas com a utilização de um aparelho de GPS (*Global Positioning System*), marca Garmin, modelo G12, datum SAD69, com erro aproximado de 10 metros. A área das poças foi medida a partir da superfície do espelho d'água, levando-se em conta o formato específico de cada poça (circular, retangular, etc.) e a profundidade através de barra marcada (cm), no ponto mais profundo de cada poça.

A classificação das poças em classes de tamanho (pequenas, médias e grandes), considerando-se em conjunto a profundidade e a área, foi feita através de uma análise de agrupamento do tipo hierárquica, utilizando-se como regra de ligação UPGMA e medida de distância euclidiana.

Os organismos foram coletados utilizando-se redes de mão de 20 cm de diâmetro e 1 mm de malha. O esforço amostral foi determinado de acordo com a área, profundidade e acessibilidade das poças, da seguinte maneira: poças pequenas – de 1 a 3 minutos (total de 20 minutos); poças médias – de 4 a 7 minutos (total de 40 minutos); e poças grandes – de 10 a 20 minutos (total de 50 minutos). O esforço amostral total gasto foi de 110 minutos. As amostras foram então triadas, e os organismos, identificados e depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do ICB/UFMG, de acordo com metodologia proposta por Callisto *et al.* (1998).

A riqueza de espécies foi estimada como número de espécies presentes em cada estação amostral, e os índices de equitabilidade de Pielou e de diversidade Shannon-Wiener foram calculados segundo Magurran (1991).

A influência das variáveis físicas e químicas na diversidade de heterópteros aquáticos foi verificada através de uma análise de regressão múltipla passo-a-passo. O Coeficiente de Correlação de Pearson ($p<0,05$) foi utilizado para estabelecer relações entre as variáveis ambientais ao longo dos trechos estudados. O programa utilizado foi o Statistica for Windows, versão 5.1 (Statsoft, 1997). Todas as medidas e organismos coletados referem-se a um único período de coleta, realizado no período da manhã dos dias 25 e 26 de agosto (estação seca) de 2001, em 18 estações amostrais (poças).

RESULTADOS

Caracterização dos ecossistemas estudados

Os ecossistemas estudados apresentaram águas com temperatura variando entre (15,7 °C e 18,6 °C), com menores valores de temperatura nos trechos 1 e 2 (de maior altitude), e bem oxigenadas, exceto no trecho 3, que apresentou baixos valores de oxigênio dissolvido (4,6 mg/L). Os valores de condutividade elétrica foram baixos (< 40 mS/cm), e o pH variou de levemente ácido a próximo ao neutro (5,02 a 6,85). A turbidez da água não va-

riou entre os trechos estudados (Tab. 1). Os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis – profundidade, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e altitude – estão sumarizados na Tab. 2.

As classes de tamanho das poças foram geradas através de duas análises de agrupamento. Uma primeira análise gerou como resultado 4 blocos principais, sendo um bloco bastante distante das outras poças, formado pela poça 16. Uma nova análise de agrupamento foi executada (Fig. 2), resultando nas seguintes classes de tamanho:

- Classe 1 (poças pequenas): estações amostrais 1, 3, 6, 7, 9, 10, 12, 13. Áreas variando entre 0,4 e 2,15 m², com profundidade média de 22 cm;
- Classe 2 (poças médias): estações amostrais 2, 5, 8, 11, 14, 17. Áreas variando entre 3,58 e 6,54 m², com profundidade média de 48 cm;
- Classe 3 (poças grandes): estações amostrais 4, 15 e 18. Áreas variando entre 10,9 e 16,2 m², com profundidade média de 90 cm.

Assembléias de heterópteros aquáticos

Foram coletados 474 indivíduos, pertencentes a 4 espécies de Gerromorpha e 5 espécies de Nepomorpha, distribuídas em 7 famílias (Tab. 3). A espécie dominante foi *Microvelia quieta* (Veliidae), com 51,3% do número total de indivíduos coletados, e presente em 10 das 18 estações amostrais. A menor riqueza de espécies foi encontrada nas esta-

Tabela 1: Localização, variáveis físicas e químicas medidas na sub-bacia do Rio Retiro das Pedras no período da manhã dos dias 25 e 26 de agosto (estação seca) de 2001.

Variáveis	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4
Localização	20° 06' 119" S 043° 59' 312" W	20° 05' 825" S 043° 59' 366" W	20° 06' 096" S 043° 59' 313" W	20° 05' 880" S 043° 59' 248" W
Altitude (m)	1500	1300	1200	1000
Temperatura (°C)	15,7	16,9	17,3	18,6
Oxigênio (mg/L)	6,35	4,6	8,05	7,8
pH	5,39	5,02	6,85	6,07
Condut. Elétrica (µS/cm)	39	5	30	17
Turbidez (NTU)	10	10	10	10

Tabela 2: Correlações entre as variáveis ambientais medidas na sub-bacia do Rio Retiro das Pedras no período da manhã dos dias 25 e 26 de agosto (estação seca) de 2001. As medidas foram realizadas nas estações amostrais de maior área e profundidade de cada trecho.

	Área	Prof.	pH	Cond. elétrica	OD	Temp.	Altitude
Área	1	0,412	0,119	-0,073	0,28	0,453	-0,439
Profundidade	0,412	1	-0,084	0,445	0,167	-0,218	0,224
PH	0,119	-0,084	1	0,392	*0,92	*0,469	*-0,53
Condutividade elétrica	-0,073	0,445	0,392	1	*0,56	*-0,487	0,443
OD	0,28	0,167	*0,92	*0,56	1	0,437	*-0,487
Temperatura	0,453	-0,218	*0,469	*-0,487	0,437	1	*-0,997
Altitude	-0,439	0,224	*-0,53	0,443	*-0,487	*-0,997	1

* $p < 0,05$ (n = 18).

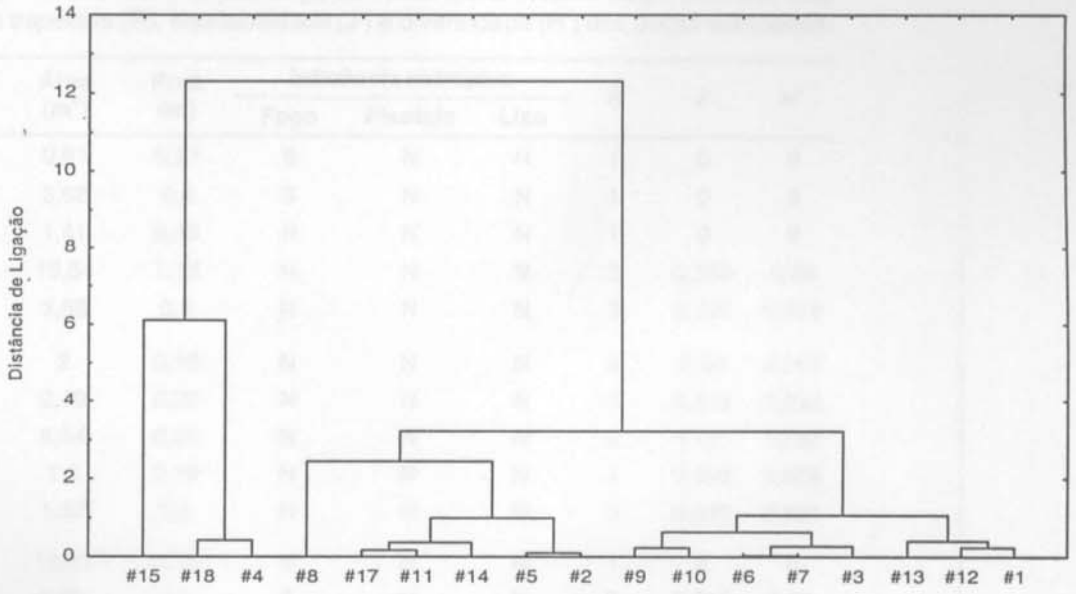

Figura 2: Análise de agrupamento das estações amostrais estudadas sem a poça 16.

Tabela 3: Número total de indivíduos coletados das espécies de Heteroptera nas estações amostrais.

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18
Veliidae																		
Microvelia quieta	1	1	1	35	42			1		5				1		198	1	5
Raghovelia whitei											7	3	8			8	4	6
Gerridae																		
Halobatopsis delectus						19	1	17	16							3		4
Mesoveliidae																		
Mesovelia amoena								1										
Notonectidae																		
Buenoa oreia				2		10	7	20	1	10			1	1	4	7		
Enithares brasiliensis				13	1	5	7	6	4	3		1				8	3	8
Belostomatidae																		
Belostoma testaceopallidum								2								4		
Nepidae																		
Ranatra montei				1	1							1		2				
Hydrometridae																		
Hydrometra argentina				1														

ções 1-3, 11 e 15 (1 espécie), e a maior riqueza, nas estações 8 e 16 (6 espécies). Foram observados baixos valores de diversidade, tendo sido encontrados um mínimo de H' = 0 (poças 1 a 3, 11 e 15) e máximo de H' = 1,354 (poça 18) (Tab. 4).

Dentre os Gerromorpha, todas as espécies encontradas são de comum ocorrência em riachos e lagoas. Em relação aos Nepomorpha, foram encontradas espécies típicas de riachos de altitude como *Ranatra montei*, *Belostoma testaceopallidum* e *Buenoa oreia*. *Enithares brasiliensis*, juntamente com *B. Oreia*, são espécies típicas de águas de boa

Tabela 4: Área (m^2), profundidade (m), presença de influência antrópica (fogo, pisoteio, lixo) (sim; não), riqueza de espécies (R), equitabilidade (J') e diversidade (H') das poças estudadas.

Trecho	Estação amostral	Área (m^2)	Prof. (m)	Influência antrópica			R	J'	H'
				Fogo	Pisoteio	Lixo			
1	1	0,91	0,27	S	N	N	1	0	0
	2	3,68	0,8	S	N	N	1	0	0
	3	1,41	0,45	N	N	N	1	0	0
	4	16,84	1,18	N	N	N	5	0,553	0,89
	5	3,58	0,8	N	N	N	3	0,197	0,216
2	6	2	0,16	N	N	N	3	0,88	0,967
	7	2,19	0,29	N	N	N	3	0,812	0,892
	8	6,54	0,28	N	N	N	6	0,721	1,292
	9	1,5	0,19	N	N	N	3	0,608	0,668
	10	1,52	0,2	N	N	N	3	0,893	0,981
3	11	10,93	0,53	S	N	N	1	0	0
	12	4,68	0,3	S	N	N	3	0,865	0,95
	13	0,4	0,18	S	N	N	2	0,503	0,349
	14	0,69	0,17	S	S	N	3	0,946	1,040
	15	4,34	0,3	S	S	S	1	0	0
4	16	66,6	0,65	S	S	S	6	0,331	0,592
	17	4,32	0,13	S	N	N	3	0,887	0,974
	18	17,2	0,95	S	N	N	4	0,977	1,354

qualidade, sendo que esta última possui registros somente em riachos na Serra do Cipó e na Serra da Canastra (A. Melo, dados não publicados).

Relação espécie x área

Verificou-se, pela análise de regressão, que o número de espécies foi positivamente relacionado com a área das poças ($R^2 = 0,34$; $F_{(1,16)} = 8,11$; $p < 0,01$). Pôde ser observado que, dentro de cada trecho, a poça de maior área possuía maior número de espécies (Tab. 4), havendo um aumento no número de espécies de acordo com o aumento na área da poça (Fig. 3). No trecho 3, foi observado que as poças de maior área possuíram menor riqueza de espécies.

Características da bacia

Não foi observada relação significativa entre a altitude e a riqueza de espécies ($F_{(1,16)}=1,91$; $p = 0,19$) e entre a altitude e a diversidade ($F_{(1,16)} = 4,07$; $p = 0,06$) de heterópteros aquáticos. A análise de regressão demonstrou, porém, que a equitabilidade foi negativamente relacionada com a altitude ($R^2 = 0,22$; $F_{(1,16)} = 4,55$; $p < 0,05$), de forma que os trechos localizados em maiores altitudes apresentaram menores valores de equitabilidade (Fig. 3).

Não houve diferenças significativas entre a riqueza de espécies ($t_{(16, 0,05)} = 1,16$; $p = 0,26$), equitabilidade ($t_{(16; 0,05)} = 0,71$; $p = 0,49$) e diversidade ($t_{(16; 0,05)} = 1,16$; $p = 0,26$) de heterópteros aquáticos em poças com e sem mata ciliar. Apesar disso, comparando-se poças de

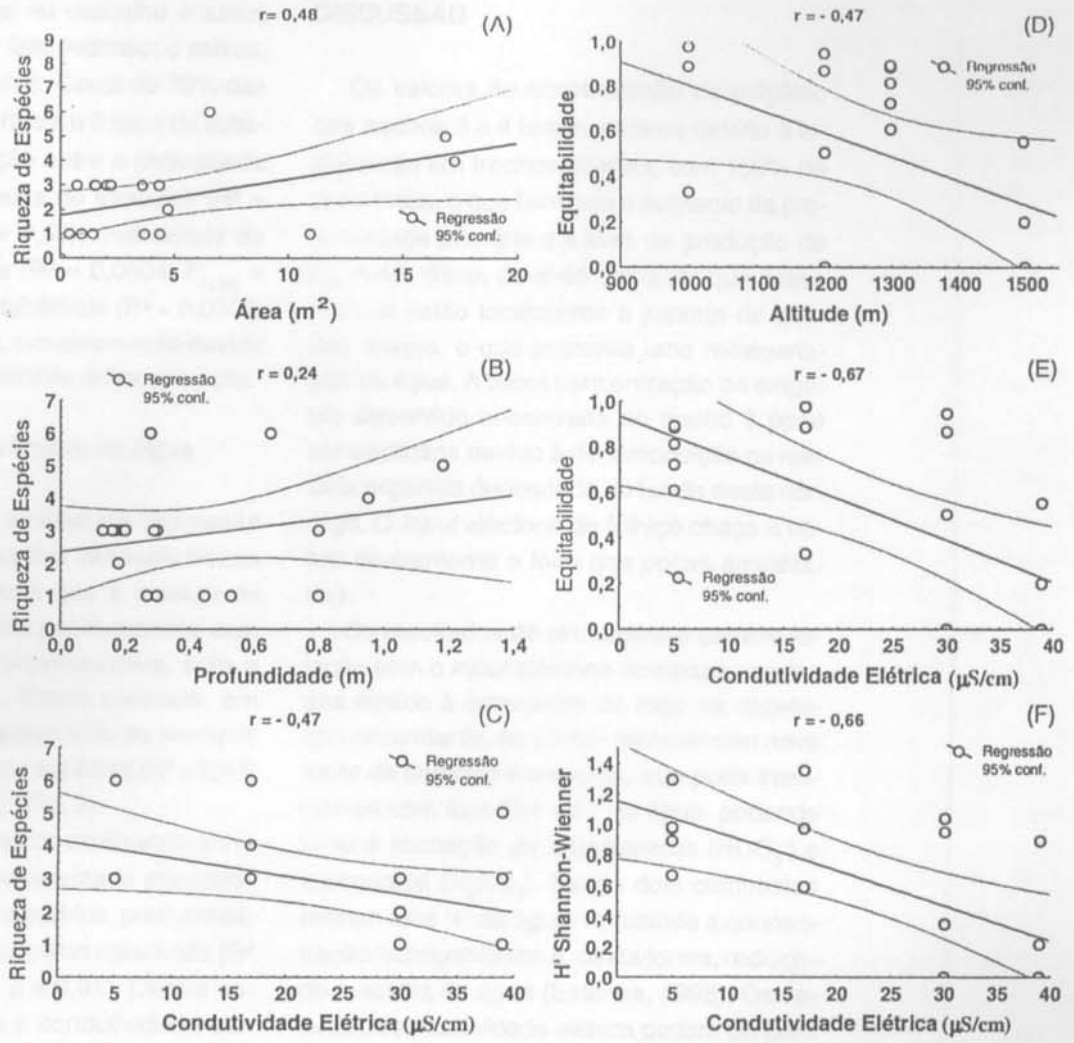

Figura 3: Relações entre parâmetros ambientais e diversidade de heterópteros aquáticos. (A) área X riqueza de espécies ($p < 0,01$); (B) profundidade X riqueza de espécies e (C) condutividade elétrica X riqueza de espécies ($p < 0,008$); (D) altitude X equitabilidade ($p < 0,05$); (E) condutividade elétrica X equitabilidade ($p < 0,004$); (F) condutividade elétrica X diversidade (Shannon-Wienner) ($p < 0,003$). *N = 18.

mesma classe de tamanho, verificou-se que aquelas situadas em áreas com mata ciliar possuíam maior número de espécies do que poças em áreas descampadas (p. ex., poça 2: 3,68 m², 1 espécie; poça 5: 3,58 m², 3 espécies). Foi possível observar que no trecho 2, localizado em uma área com mata ciliar e livre de influência antrópica, as poças possuíam maior número de espécies em relação a outras poças de mesma classe de tamanho e situadas em área descampadas.

As estações amostrais apresentaram elevada diversidade de substratos, tendo sido encontrados depósitos de folhiço submerso (galhos, ramos e folhas); galhos e ramos pendentes da vegetação ripária; algas filamentosas verdes e marrons; macrófitas aquáticas; depósito de detritos (matéria orgânica parti-

culada fina); depósitos de cascalho e areia; substrato formado por leito rochoso; e seixos, folhas e galhos flutuantes. Cerca de 70% das poças apresentaram entre 4 e 6 tipos de substrato. Não houve relação entre a diversidade de substratos e a riqueza de espécies (R^2 = 0,02; $F_{(1,16)}$ = 0,32; p = 0,58), diversidade de heterópteros aquáticos (R^2 = 0,0004; $F_{(1,16)}$ = 0,007; p = 0,93) e equitabilidade (R^2 = 0,0005; $F_{(1,16)}$ = 0,008; p < 0,93), provavelmente devido à uniformidade de substratos entre as poças.

Variáveis físicas e químicas da água

Os resultados da análise de regressão múltipla com os valores das variáveis físicas e químicas evidenciaram que a riqueza de espécies foi relacionada positivamente com a profundidade, e a negativamente, com a condutividade elétrica. Essas variáveis, em conjunto, explicaram quase 50% da variação nos valores de riqueza de espécies (R^2 = 0,47; $F_{(2,15)}$ = 6,74; p < 0,008) (Fig. 3).

As variáveis que melhor explicaram a variação nos valores de diversidade encontrados foram condutividade elétrica, profundidade e concentração de oxigênio dissolvido (R^2 = 0,52; $F_{(3,14)}$ = 5,0042; p < 0,01). Dentre essas variáveis, somente a condutividade elétrica apresentou relação significativa (p < 0,003), explicando 91% da variação nos valores de diversidade encontrados. Pôde ser observado que a diversidade de *taxa* diminuiu com o aumento dos valores de condutividade elétrica (Fig. 3).

A equitabilidade foi relacionada com a condutividade e concentrações de oxigênio dissolvido (R^2 = 0,47; $F_{(2,15)}$ = 6,51; p < 0,009). Dessas duas variáveis, somente a condutividade elétrica apresentou relação significativa (p < 0,004), explicando 79% da variação dos valores de equitabilidade. Foi observada uma redução dos valores de equitabilidade com o aumento da condutividade elétrica (Fig. 3).

DISCUSSÃO

Os valores de concentração de oxigênio dos trechos 3 e 4 foram maiores devido à localização em trechos abertos, com 100% de zona fótica, o que favorece o aumento da produtividade primária e a taxa de produção de O_2. Além disso, deve-se destacar que esses trechos estão localizados a jusante de quedas d'água, o que promove uma reoxigenação da água. A baixa concentração de oxigênio dissolvido encontrada no trecho 3 pode ser explicada devido à decomposição de matéria orgânica depositada no fundo deste córrego. O *input* alóctone de folhiço chega a cobrir inteiramente o leito das poças amostradas.

Os resultados de pH sugerem estreita relação com o *input* alóctone de cinzas nas poças devido à ocorrência de fogo na vegetação circundante. As cinzas representam nova fonte de carbono inorgânico, que pode associar-se com íons OH^- e H^+ na água, podendo levar à formação de bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (H_2CO_3). Esses dois compostos retiram íons H^+ da água, reduzindo a concentração hidrogeniônica e, desta forma, reduzindo a acidez da água (Esteves, 1998). Os valores de condutividade elétrica podem também ser parcialmente explicados pela ocorrência de fogo, responsável pela eliminação de extensas áreas de vegetação rasteira e arbustiva, com conseqüente entrada de cinzas nos ambientes aquáticos adjacentes.

Vários autores têm destacado a importância do aporte de matéria orgânica alóctone, incluindo os efeitos de queimadas e a subseqüente produção de cinzas, para o metabolismo de ecossistemas aquáticos continentais e disponibilidade de energia para a cadeia de detritos (Hieber & Gessner, 2002; Graça, 2001). Observou-se que os maiores valores de condutividade elétrica ocorreram em áreas abertas (trecho 3) e onde as nascentes lo-

calizam-se em áreas fortemente atingidas pelo fogo (trecho 1).

Relação espécie X área

O efeito do tamanho e isolamento da área na determinação dos padrões de biodiversidade é a base da teoria de Biogeografia de Ilhas proposta por MacArthur & Wilson (1967). Essa teoria prevê que o equilíbrio do número de espécies em uma ilha é alcançado ao longo do tempo pelo balanço entre as taxas de imigração e de extinção. Os fatores que influenciam nessas taxas são a área (quanto maior a área, menor a taxa de extinção e conseqüentemente maior o número de espécies) e o isolamento (quanto mais isolada uma ilha, menor a taxa de imigração e também maior a taxa de extinção).

O desenho amostral do presente estudo foi estabelecido durante o período de seca devido à reduzida velocidade e vazão dos córregos de altitude e à formação de poças onde vivem os heterópteros aquáticos. Apesar da comunicação eventual entre as poças, devido ao escoamento superficial das águas dos córregos, cada poça representa uma pequena ilha a ser colonizada pelas assembléias desses insetos aquáticos. Os resultados obtidos no presente estudo estão de acordo com alguns pressupostos da teoria de Biogeografia de Ilhas, tendo sido encontrado maior número de espécies em poças de maior área de superfície e profundidade.

Características da bacia

Apesar de a diversidade de substratos influenciar os padrões de diversidade e riqueza de espécies de insetos aquáticos (Alan, 1995; Vinson & Hawkins, 1998), não foi encontrada relação neste estudo entre os tipos de fundo e a diversidade de heterópteros aquáticos. Os insetos aquáticos apresentam normalmente uma distribuição do tipo agregada, ou seja, suas populações não se distribuem aleatoriamente nos ambientes aquáticos, sendo direta ou indiretamente influenciados pela profundidade, velocidade de correnteza, tipo de substrato, disponibilidade e qualidade de detritos orgânicos e alimento. Nesse sentido, a ocorrência de longos períodos de estiagem, nível de influência antrópica e escassez de alimento (p. ex., presas) podem alterar significativamente a distribuição das espécies de heterópteros aquáticos.

Alguns heterópteros são habitantes temporários de poças e podem migrar quando as condições ambientais são desfavoráveis, o que explicaria a menor riqueza taxonômica em poças de menor área. Além disso, não foram encontrados no presente estudo taxa tipicamente bentônicos (p. ex., Helotrephidae, Corixidae, Naucoridae), o que pode refletir o padrão de distribuição de outros organismos bentônicos que provavelmente também teriam sido afetados pela seca, queimadas e conseqüente diminuição da oferta de microhábitats.

Todas as espécies encontradas no presente estudo possuem pouca ou nenhuma afinidade pelo substrato bentônico. Os representantes das famílias Gerridae, Mesoveliidae e Veliidae são organismos "patinadores", que vivem na interface superfície-ar, graças à presença de pêlos hidrofóbicos nas patas, mantendo-os na superfície da coluna d'água, sem afundar. Os Notonectidae são comumente conhecidos como "nadadores", vivendo na região nectônica de ecossistemas aquáticos, somente visitando o fundo ocasionalmente, à busca de presas ou de refúgio contra perturbações na coluna d'água. Durante as coletas, foi observado que esses organismos refugiavam-se no fundo das poças quando ocorria alguma perturbação na coluna d'água.

Os Hydrometridae são insetos semi-aquáticos, vivendo junto à margem, entrando na

água somente à procura de presas, como insetos caídos na superfície da água. Os representantes das famílias Belostomatidae e Nepidae são típicos "escaladores", vivendo associados às margens das poças ou associados à vegetação ripária, predando outros organismos que ocasionalmente passam à sua frente, utilizando a estratégia de predação do tipo "tocaia" (Merritt & Cummins, 1988). Além disso, a uniformidade de substratos entre as poças contribuiu para as relações estatisticamente não significativas entre diversidade de substratos *versus* riqueza de espécies, equitabilidade e diversidade de heterópteros aquáticos.

Um dos fatores determinantes da biodiversidade aquática é a existência de gradientes altitudinais. Em geral observa-se que em gradientes de altitude ocorre um aumento na riqueza de espécies em direção a altitudes mais baixas. Observações comparativas em ambientes variados do complexo do Espinhaço (MG), em diferentes gradientes de altitude, demonstraram não haver diferenças significativas na riqueza de espécies de heterópteros aquáticos, variando entre 12 e 14 espécies (A. Melo, dados não publicados).

No presente estudo não foi observada relação significativa entre riqueza e diversidade de heterópteros aquáticos *versus* altitude. Provavelmente isso ocorreu devido ao fato de que a altitude não variou tão bruscamente, com uma relativa uniformidade do solo e vegetação ao longo dos trechos de coleta. Além disso, esses organismos possuem grande capacidade de dispersão, podendo facilmente superar essa barreira geográfica. A equitabilidade, porém, foi inversamente proporcional à altitude, o que pode ser explicado pelo fato de que altitudes mais elevadas representam locais mais inóspitos e mais difíceis para a manutenção das populações de heterópteros, havendo a dominância de *Microvelia quieta* (Veliidae).

Essa espécie possui diminutas dimensões (< 2 mm) e vive na interface água-ar, o que lhe garante certa independência de quase todas as variáveis ambientais do ambiente aquático onde vive, como características físicas (não depende da área, profundidade ou substrato) e químicas (independe de concentrações de oxigênio dissolvido) da água. Devido a esses fatores, essa espécie é encontrada nos mais variados ambientes, inclusive poças temporárias, sendo muitas vezes uma das primeiras espécies colonizadoras, como reflexo de sua alta capacidade de dispersão.

Relações entre variáveis físicas e químicas da água e a diversidade de heterópteros aquáticos

Apesar da importância das variáveis físicas e químicas na determinação dos padrões de diversidade de insetos aquáticos, apontada por Zamora-Muñoz *et al.* (1993), os resultados obtidos sugerem que somente a condutividade elétrica influenciou a riqueza e a diversidade das assembléias de heterópteros no presente estudo. Segundo Ribeiro *et al.* (1998), a condutividade elétrica propicia um aumento na concentração de seston, que é acompanhado por um aumento na produção do fitoplâncton e microinvertebrados, seguindo-se então o aumento de predadores, como larvas de Odonata, ninfas e adultos de Heteroptera.

Os resultados obtidos, porém, demonstram padrão inverso ao encontrado por aqueles autores, ocorrendo redução na diversidade dos Heterópteros. Isso provavelmente ocorre devido ao fato de que a produção primária planctônica em córregos de altitude é normalmente baixa ou insignificante, em razão das baixas concentrações de nutrientes dissolvidos (Galdean *et al.*, 2000), como fósforo e nitrogênio, que podem ser limitantes para a produção primária (Correl, 1999). Segundo Alan

(1995), riachos com concentrações iônicas (p. ex., íons Ca^{+2}) muito baixas possuem uma fauna e flora restritas, apresentando baixa riqueza de espécies e reduzida abundância de insetos aquáticos.

Variáveis ambientais, influência antrópica e diversidade de heterópteros aquáticos

Além das queimadas periódicas da vegetação terrestre adjacente, nota-se a influência do condomínio residencial localizado nas proximidades sobre o nível de preservação das condições ecológicas das nascentes na área estudada. Freqüentados por moradores e visitantes de outras regiões de Belo Horizonte, esses ecossistemas têm sua dinâmica modificada, de ambientes lóticos para ambientes lênticos, através da formação de poças artificiais em alguns pontos dos córregos. Pôde ser observada a presença dessas poças no trecho 3, após a confluência dos dois córregos. Possivelmente, os moradores, ao entrarem em contato com as poças, além de revolverem o fundo e a coluna d'água, causando estresse nas populações de heterópteros aquáticos, deixam lixo e contribuem para a entrada de cinzas nas poças, através de fogueiras.

As conseqüências dessa influência antrópica podem ser notadas quando se percebe que no trecho 3 houve uma relação inversa da área com a riqueza de espécies, ou seja: poças maiores, que possivelmente são mais visitadas, apresentaram menor número de espécies do que poças menores, não perturbadas. Desta forma, somente algumas espécies mais resistentes a esses tipos de distúrbios (normalmente as mais abundantes, p. ex., *M. quieta*) são capazes de manter o número de indivíduos de suas populações nesses locais.

Em regiões de cabeceira, a dispersão de insetos aquáticos e semi-aquáticos ocorre rapidamente em uma escala local devido às reduzidas distâncias entre hábitats e diferentes estratégias de colonização dos organismos. No entanto, a ausência de um organismo em uma área particular pode estar relacionada ao insucesso de uma espécie em colonizar a área estudada. Segundo Krebs (1994), essa possibilidade deve ser considerada antes que outras possíveis explicações possam ser levantadas.

As dificuldades de dispersão de organismos aquáticos podem ser fortemente influenciadas por variáveis ambientais. Um organismo pode se dispersar em uma nova área, mas pode não colonizá-la devido a fatores físicos, bióticos ou, como neste estudo, antrópicos. Quando a colonização é bem sucedida, a dispersão resulta no fluxo gênico e influencia então a estrutura genética da população.

Os resultados deste estudo nos permitem concluir que a área e a profundidade das poças, a concentração de íons na água (condutividade elétrica) e a altitude de cada trecho foram fatores determinantes da diversidade de heterópteros aquáticos em áreas de deposição na bacia hidrográfica estudada. Vale ressaltar a importância de se considerar a influência antrópica como fator redutor da riqueza de espécies, seja de maneira direta (visitas dos moradores às poças) ou indireta (fogo e derrubada de mata ciliar).

A avaliação das relações entre variáveis ambientais e a diversidade de assembléias de heterópteros aquáticos constitui uma importante ferramenta para a proposição de medidas de manejo de trechos de cabeceira de rios, visando à preservação dos recursos naturais e à conservação da biodiversidade aquática. A destruição da paisagem em larga escala é responsável pela fragmentação e degradação de hábitats, representando uma ameaça eminente e potencial causadora de extinção de espécies.

Agradecimentos

Os autores agradecem o auxílio dos colegas do laboratório de Ecologia de Bentos do ICB/UFMG e de Leonardo Flack na coleta e processamento das amostras e aos professores da disciplina de Ecologia de Comunidades do Curso ECMVS, que ajudaram na discussão dos resultados obtidos. Esta pesquisa contou com financiamento do CNPq e Fapemig. M. Callisto é bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq.

Referências bibliográficas

ALLAN, J.D. **Stream ecology**: structure and function of running waters. London: Chapman & Hall, 1995, 388p.

BRITTAIN J. E.; EIKELAND, T.;J. Invertebrate drift – a Review. **Hydrobiologia**, v. 166, n. 1, p. 77-93, 1988.

CALLISTO, M.; BARBOSA, F. A. R.; VIANNA, J. A. Qual a importância de uma coleção científica de organismos aquáticos em um projeto de biodiversidade? SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS. PRAIA, REPRESA E MATA, 4. **Anais**... v. 2. n. 104, p. 432-439, 1998.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revta. Bras. Rec. Hid.**, v. 6, n. 1, p. 71-82, 2001a.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F. A. R. Habitat diversity and benthic trophic functional groups at Serra do Cipó, southeast Brazil. **Rev. Brasil. Biol.**, v. 61, n. 2, p. 259-266, 2001b.

CORRELL, D. L. Phosphorus: A rate-limiting nutrient in surface waters. **Poultry Science**. v. 78, n. 5, p. 674-682, 1999.

ELLIS, R. A.; BORDEN, J. H. Predation by *Notonecta undulata* (Heteroptera: Notonectidae) on larvae of yellow-fever mosquito. **Ann. Entomol. Soc. Am.**, v. 64 n. 3, p. 963-973, 1972.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

GALDEAN, N.; CALLISTO, M.; BARBOSA, F. A. R. Lotic ecosystems of Serra do Cipó, southeast Brazil: water quality and a tentative classification based on the benthic macroinvertebrate community. **Aquatic Ecosystem Health & Management** (in press), 2000.

GALDEAN, N.; CALLISTO, M.; BARBOSA, F. A. R. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates in altitudinal lotic ecosystems of Serra do Cipó (MG, Brazil). **Rev. Bras. Biol.**, v. 61, n. 2, p. 239-248, 2001.

GRAÇA, M. A. S. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in stream – a Review. **Interant. Rev. Hydrobiologia**, v. 86, n. 4/5, p. 383-393, 2001.

HIEBER, M.; GESSNER, M. O. Contribution of stream detrivores, fungi, and bacteria to leaf breakdown based on biomass estimates. **Ecology**, v. 83, n. 4, p. 1.026-1.038. 2002.

JANSSON, A.; SCUDDER, G. G. E. Corixidae (Hemiptera) as predators: rearing on frozen brine shrimp. **Journal of the Entomological Society of British Columbia**, v. 69, p. 44-45, 1992.

KREBS, C.J. **Ecology**. California: Educational Publishers, Inc., 1994. 801p.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton: Princeton University Press, 1967. 552 p.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and it's measurement**. London, Chapman & Hall, 1991. 178p.

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W. **An introduction to the aquatic insects of North America**. 2. ed. New York: Kendall-Hunt, 1988. 446p.

RIBEIRO, J. R. I.; NESSIMIAN, J. L.; MENDONÇA, E. C. Aspectos da distribuição dos Nepomorpha (Hemiptera: Heteroptera) em corpos d'água na restinga de Maricá, Estado do Rio de Janeiro. **Oecologia Brasiliensis**, v. 5, p. 113-128, 1998.

STATSOFT, INC. **Statistica for Windows**: computer program manual. Tulsa: Statsoft Inc., 1997. http://www.statsoft.com.

VINSON, M. R.; HAWKINS, C. H. Biodiversity of stream insects: variation at local, basin and regional scales. **Annu. Rev. Entomol.**, v. 43, p. 271-293, 1998.

WARD, J. V. **Aquatic insect ecology**: biology and habitat. New York: John Wiley & Sons Inc.,1992. 438p.

WILSON, E. O. **Biodiversity**. Washington: National Academic Press, 1998. 400p.

ZAMORA-MUÑOZ, C., SANCHEZ-ORTEGA, A. & ALBA-TERCEDOR, J. Physical-chemical factors that determine the distribution of mayflies and stoneflies in a high-mountain-stream in southern Europe (Sierra Nevada, Southern Spain). **Aquatic Insects**, vol. 15, n. 1, p. 11-20, 1993.