



UNESP

Emerson Machado de Carvalho

**Dinâmica do aporte de material alóctone e de seu
processamento por invertebrados bentônicos em
um riacho tropical**

BOTUCATU – SP
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Instituto de Biociências
Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas
Área de Concentração: Zoologia

Dinâmica do aporte de material alóctone e de seu processamento por invertebrados bentônicos em um riacho tropical

Emerson Machado de Carvalho

Tese apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), “campus” de Botucatu, SP, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências Biológicas, Área de Concentração: Zoologia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Virginia Sanches Uieda

Botucatu - SP

2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO DE AQUIS. E TRAT. DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: *ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE*

Carvalho, Emerson Machado de.

Dinâmica do aporte de material alóctone e de seu processamento por invertebrados bentônicos em um riacho tropical / Emerson Machado de Carvalho. – 2008

Tese (doutorado) – Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2008.

Orientador: Prof^a. Dr^a Virginia Sanches Uieda

Assunto CAPES: 20400004

1. Zoologia. 2. invertebrado aquático.

CDD 592

Palavras-chave: Colonização; Detritos alóctones; Invertebrados aquáticos; Manipulação experimental; Riacho tropical.

Dedico este trabalho à minha família e a todos que, verdadeiramente, tem se dedicado à pesquisa científica de ecossistemas aquáticos brasileiros.

*O que me tranqüiliza
é que tudo o que existe,
existe com uma precisão absoluta.*

*O que for do tamanho de uma cabeça de alfinete
não transborda nem uma fração de milímetro
além do tamanho de uma cabeça de alfinete.*

*Tudo o que existe é de uma grande exatidão.
Pena é que a maior parte do que existe
com essa exatidão
nos é tecnicamente invisível.*

*O bom é que a verdade chega a nós
como um sentido secreto das coisas.*

*Nós terminamos adivinhando, confusos,
a perfeição.*

Clarice Lispector

Homenagem Especial

Ao Prof. Dr. Manuel A.S. Graça, pela orientação nos trabalhos desenvolvidos em Portugal, apoio, confiança e que, de certa forma, foi o responsável pelo meu interesse na presente pesquisa.

À Prof^a Dr^a Virginia Sanches Uieda, pela orientação, pela amizade nos últimos sete anos e, principalmente, pelo exemplo de dedicação e profissionalismo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – pela bolsa de estudo concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES - pela concessão da bolsa de doutorado “Sandwich” no exterior.

Ao Sr. Leonício, proprietário do Sítio Pedra Branca, pela permissão do desenvolvimento do trabalho em sua propriedade.

Ao Sr. Alfredo e sua esposa Dona Hilda pela hospitalidade e atenção com que nos receberam durante os trabalhos de campo.

Ao Sr. Clemente J. Campos (UNESP, IBB) e Fabio Vitta (Instituto de Botânica, SãoPaulo) pela identificação das plantas.

Aos funcionários do Departamento de Zoologia, IB, UNESP, Botucatu, especialmente:

Ao Hamilton pela amizade, dedicação e auxílio nas atividades de campo.

À Juliana, pela amizade e auxílio nas questões burocráticas.

Ao Sr. Pisani pela confecção dos desenhos.

Aos professores do Departamento de Zoologia, em especial aos Drs. Raoul Henry, Adilson Fransozo e Maria Lúcia Negreiros Fransozo pelo apoio e ajuda prestada.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação, Sérgio, Maria Helena e Lu, pelo serviço prestado.

Aos amigos do laboratório de ecologia de riachos, Ludy, Fernando (Xilique), Rose, Domingos, Tamara (Babalú), Patricia, Claudia e Michéle pelos bons momentos de convivência. Em especial à grande amiga Michéle pela ajuda nos trabalhos de campo. À psicóloga de plantão e grande amiga Claudia, pela troca de experiências científicas e pela conversa fiada.

As companheiras de república: Val, Aline, Dri, Andreia e Kátia. Obrigado pelos bons momentos que estivemos juntos e por me aturarem.

Às grandes amigas de Botucatu Taís e Nubia.

Ao carinho das conterrâneas Gizele, Adriane e Nelice, que sempre levo em meu coração.

À grande amiga e mais bem humorada, Fernanda Jordão e aos seus pais Marcelo e Alcina. Obrigado pelo carinho com que sempre me receberam.

Às amigas Sherlaine e Carol pelos momentos de agradável companhia.

A todos os colegas da Zoologia.

Aos amigos do NEBBEC, Aline, Dri, Bruna, Katia, Jorjão, Xuxa, Japa, Tony, Rosana, Pitot, Pessoa, com os quais tive a oportunidade de passar bons momentos nos intervalos do cafézinho.

Aos amigos da Limnologia, Silvia, Mirian, Fernanda, Fabiana, Luciana, Gabi e em especial à Rosa pelo auxílio na identificação das algas.

À Marisa pelo carinho, amizade eterna e bons momentos juntos.

Aos grandes amigos que tive a oportunidade de conhecer em Portugal e que trago no meu coração cheio de saudades, Adriana, Aránzazu, Carla (vale lembrar que no Brasil você seria normal), Elsa, Fuensanta, Filipe, Claudia, Gabí, Isabel, Joana, Lilita, Marina, Matilde, Maria João, Nelson, Nuno, João Neto, Olimpia, Pileco, Patricia, Sara, Sónia, Tiago e muitos outros. Obrigado pela grande ajuda e pelos ótimos momentos em que estivemos juntos, nunca me canso de ver e rever as nossas fotos. Amo vocês!!!!!!

“Amigo é coisa pra se guardar no lado esquerdo do peito. Mesmo que o tempo e a distância digam não... Pois seja o que vier, venha o que vier. Qualquer dia, amigo, eu volto a te encontrar. Qualquer dia, amigo, a gente vai se encontrar.”

(Fernando Brant & Milton Nascimento)

Aos professores Manuela Abelho, Cristina Canhoto, Rui Ribeiro e Miguel Pardal.

À todos aqueles que estiveram presentes, direta ou indiretamente...

...obrigadooooooooooooooooooooooooooooo!!!!!!!

SUMÁRIO

Resumo	01
Introdução Geral	02

Capítulo I - Input of litter in deforested and forested areas of a tropical headstream.

Abstract.....	14
Resumo	14
Introduction	15
Material and Methods.....	16
Results	17
Discussion.....	18
Acknowledgements	20
References	20
Figures	23
Tables	29

Capítulo II - Seasonal leaf mass loss in two contrasting stretches of a tropical headstream

Abstract.....	30
Introduction	31
Material and Methods.....	32
Results	33
Discussion.....	34
Acknowledgements	38
References	38
Figures	40
Tables	42

Capítulo III – Composição e abundância de macroinvertebrados bentônicos colonizadores de pacotes de folhas em um riacho tropical.

Abstract.....	45
Resumos	46
Introdução.....	47
Material e Métodos.....	48
Resultados.....	50
Discussão	52
Agradecimentos	55
Referências Bibliográficas.....	56
Figura.....	59
Tabelas.....	60

Capítulo IV - Diet of invertebrates sampled on leaf-bags incubated in a tropical headstream

Abstract.....	66
Resumo	67
Introduction	67
Material and Methods.....	69
Results	71
Discussion.....	72
Acknowledgements	75
References	75
Figures	79
Tables	81

Capítulo V - A laboratory study on feeding plasticity of the shredder *Sericostoma vittatum* Rambur (Sericostomatidae)

Abstract.....	84
Introduction	85
Material and Methods.....	86
Results	87
Discussion.....	88
Acknowledgements	91
References	91
Figures	94
Table	96
Considerações finais	97

RESUMO

Dinâmica do aporte de material alóctone e de seu processamento por invertebrados bentônicos em um riacho tropical. De acordo com a literatura produzida com base em trabalhos realizados em zonas temperadas e tropicais, os riachos de cabeceira são fortemente influenciados pela vegetação ripária, a qual reduz a produção autotrófica pelo sombreamento e contribui com uma grande quantidade de detritos alóctones. No presente trabalho o principal objetivo foi estudar a dinâmica do aporte de detritos alóctones e de seu processamento por macroinvertebrados em um riacho tropical de 3ª ordem. O projeto pressupõe as seguintes hipóteses: (1) existe uma variação temporal e espacial no fluxo de entrada do material de origem alóctone em riachos de cabeceira; (2) detritos alóctones provenientes da mata ciliar constituem uma importante fonte energética em riachos de cabeceira, ocorrendo um ajuste da comunidade de macroinvertebrados em função de variações no fluxo de entrada deste material no riacho; (3) os processos de decomposição de folhas no riacho ocorrem através da interação de fatores bióticos e abióticos; (4) os macroinvertebrados tipicamente fragmentadores, atuando no processamento de folhas no riacho, apresentam certa plasticidade alimentar. As hipóteses foram testadas através de experimentos de manipulação no riacho e de estudos de laboratório, envolvendo as análises: (1) da entrada de material de origem alóctone no riacho através de armadilhas coletoras; (2) das taxas de perda de massa foliar de material vegetal imerso na água; (3) da estrutura temporal e espacial da comunidade de macroinvertebrados coletados em pacotes de folha; (4) da análise da dieta dos principais representantes dos macroinvertebrados coletados; (5) da análise da plasticidade alimentar do fragmentador *Sericostoma vittatum* Rambur (Trichoptera: Sericostomatidae), endêmico da Península Ibérica.

Palavras-chave: Colonização; Detritos alóctones; Invertebrados aquáticos; Manipulação experimental; Riacho tropical.

INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO GERAL

Os riachos de cabeceira são fortemente influenciados pela vegetação ripária, a qual reduz a produção autotrófica pelo sombreamento e contribui com uma grande quantidade de detritos alóctones (Vannote *et al.*, 1980). A entrada desta matéria orgânica, seu transporte, estocagem e utilização por macroinvertebrados podem ser fortemente regulados por processos geomorfológicos fluviais. Dessa forma, os fatores físicos característicos da área de drenagem são de grande importância no conhecimento das estratégias biológicas e da dinâmica dos ecossistemas lóticos (Vannote *et al.*, 1980).

Apesar do material alóctone importado para o riacho ser processado continuamente, existe uma variação sazonal na importância relativa da produção autotrófica e heterotrófica (Vannote *et al.*, 1980). Segundo estes autores, muitos trabalhos têm mostrado a importância da estocagem do material alóctone durante estações do ano de maior entrada, para utilização em outras estações de escassez.

Em um riacho tropical, Uieda & Kikuchi (1995) e Afonso & Henry (2002), trabalhando no mesmo período, porém com metodologias diferentes, encontraram maior aporte de material vegetal no início da estação chuvosa e final da estação seca. Segundo Uieda & Kikuchi (1995), a biomassa diária e anual de material vegetal importada para o riacho em estudo suplantava em até 20 vezes a de material animal, sendo verificado por Henry *et al.* (1994) e por Uieda & Gajardo (1996) a grande ocorrência de invertebrados em trechos de corredeira, onde uma grande quantidade de folhas era retida.

Matéria orgânica particulada ou dissolvida, proveniente deste material alóctone, é uma importante fonte de entrada de energia para muitas tramas alimentares, principalmente em ecossistemas lóticos (Allan, 1995). Segundo Vannote *et al.* (1980), a dominância relativa dos grupos funcionais de macroinvertebrados (raspadores, coletores, fragmentadores e predadores) está relacionada com o tipo e a localização dos recursos alimentares nos riachos.

O processamento de folhas em riachos pode ocorrer em três fases: 1) uma rápida perda na massa durante o lixiviamento de componentes solúveis, 2) subsequente colonização por microorganismos (“condicionamento”, Golladay *et al.*, 1985), e 3) degradação por invertebrados e por abrasão física (Boulton & Boon, 1991). Existe uma forte evidência sugerindo a preferência de invertebrados fragmentadores por folhas condicionadas (Boulton & Boon, 1991; Friberg & Jacobsen, 1994; Graça, 2001; Graça *et*

al., 2001; Hieber & Gessner, 2002). Os insetos fragmentadores têm o potencial de acelerar o processo de decomposição da folha por consumo direto ou por promover a fragmentação em pedaços menores que podem ser carregados rio abaixo (Graça, 2001), processo este muitas vezes falsamente descrito como decomposição (Boulton & Boon, 1991).

O tipo de cobertura vegetal existente às margens do corpo d'água irá determinar o tipo de folha importado para o ambiente aquático, o que por sua vez pode influenciar na ocorrência de fragmentadores, em função da sua preferência por determinados tipos de folhas (Graça, 2001). Segundo Graça *et al.* (2001), esta importância na qualidade da folha para a ecologia nutricional de fragmentadores lóticos é bem estabelecida para espécies de regiões temperadas, mas pouco conhecida para táxons tropicais. No Brasil, assim como em muitos outros países, a degradação da vegetação ripária tem sido fruto da expansão desordenada das fronteiras agrícolas (Rodrigues & Gandolfi, 2001). Não menos agravante, a agropecuária também contribui para a formação de imensas áreas abertas, caracterizadas por gramíneas e vegetação arbustiva. Porém, pouco se sabe sobre a dinâmica e a biologia trófica da comunidade de fragmentadores, seja em riachos cercados por vegetação nativa ou por vegetação degradada.

A classificação dos macroinvertebrados em grupos funcionais de alimentação (Cummins, 1973; Merritt & Cummins, 1996) pode ser de difícil aplicação, uma vez que muitos táxons são potencialmente generalistas ou oportunistas, capazes de modificar seu comportamento e dieta de acordo com a disponibilidade do alimento (Boulton & Boon, 1991). Segundo Motta & Uieda (2004), esta classificação desenvolvida para insetos aquáticos norte americanos não é facilmente aplicada em riachos tropicais. Além disso, a plasticidade na alimentação dos invertebrados de riacho é muito maior do que tradicionalmente supõe a literatura e deve ser examinada com cuidado no estudo de ambientes lóticos (Friberg & Jacobsen, 1994; Motta & Uieda, 2005).

Entretanto, tem sido demonstrado para ambientes lóticos tropicais que o material orgânico de origem alóctone é uma fonte importante de energia para os rios de pequena ordem, contribuindo assim para uma elevada produtividade nestes sistemas (Motta, 1996; Motta & Uieda, 2005; Uieda & Motta, 2007). Para sistemas temperados, também a qualidade das folhas de origem alóctone tem sido apresentada como um importante fator determinando o comportamento de fragmentadores e, desta forma, sua eficiência em converter matéria orgânica foliar em biomassa animal e em outros produtos, como matéria orgânica particulada fina (Graça, 2001; Graça & Canhoto, 2006). Portanto, é muito simplista assumir que todos os invertebrados coletados em uma amostra de folhas estejam

de fato incorporando-a em sua nutrição, quando na verdade podem estar utilizando-a somente como refúgio (Boulton & Boon, 1991). Dessa forma, tornam-se necessários estudos da dinâmica e do processamento deste material alóctone por invertebrados bentônicos em riachos tropicais.

No presente trabalho, o principal objetivo foi estudar, em um riacho de 3ª ordem, a dinâmica da estrutura da comunidade de macroinvertebrados em função da entrada e processamento de folhas de origem alóctone. Para tal, as seguintes hipóteses foram levantadas: (1) existe uma variação temporal e espacial no fluxo de entrada do material de origem alóctone em riachos de cabeceira; (2) detritos alóctones provenientes da mata ciliar constituem uma importante fonte energética em riachos de cabeceira, ocorrendo um ajuste da comunidade de macroinvertebrados em função de variações no fluxo de entrada deste material no riacho; (3) os processos de decomposição de folhas no riacho ocorrem através da interação de fatores bióticos e abióticos; (4) os macroinvertebrados tipicamente fragmentadores, atuando no processamento de folhas no riacho, apresentam certa plasticidade alimentar pelos itens disponíveis no ambiente.

Para testar estas hipóteses, alguns experimentos de manipulação foram realizados no riacho e em laboratório, envolvendo as análises: (1) da entrada de material de origem alóctone no riacho através de armadilhas coletoras; (2) das taxas de perda de massa foliar de material vegetal imerso na água; (3) da estrutura da comunidade de macroinvertebrados coletados em pacotes de folha e sua variação temporal e espacial; (4) da análise da dieta dos principais representantes dos macroinvertebrados coletados nestes pacotes de folha; (5) da análise da plasticidade alimentar do fragmentador *Sericostoma vittatum* Rambur (Trichoptera: Sericostomatidae), endêmico da Península Ibérica.

Para facilitar a apresentação dos resultados obtidos, a Tese de Doutorado foi dividida em cinco capítulos, apresentados a seguir. Alguns capítulos já foram redigidos em inglês para agilizar sua publicação logo após serem incorporadas as sugestões e comentários dos membros da Banca de Defesa.

CAPÍTULO I - "Input of litter in deforested and forested areas of a tropical headstream".

Este capítulo inicial apresenta os resultados da amostragem utilizada para quantificar a entrada de material vegetal de origem alóctone no Ribeirão da Quinta. Para quantificar esta entrada foram utilizadas armadilhas, confeccionadas na forma de um puçá,

com armação retangular de ferro e um saco duplo de nylon. As armadilhas foram utilizadas para medir a entrada de material vegetal pelas margens direita (Figura 1a) e esquerda (Figura 1b), por deriva ou drift (Figura 1c) e por via aérea (Figura 1d). Réplicas destas quatro situações de amostragem da entrada de material alóctone foram instaladas em uma área do rio margeada por pastagem (Figura 2a) e outra, rio acima, com mata de galeria nas margens (Figura 2b), com o objetivo de testar o efeito do entorno no aporte de material alóctone. Uma possível variação temporal no aporte também foi analisada através da amostragem ao longo de um ano, sendo o material retido nas armadilhas separado em folhas senescentes verdes, folhas senescentes secas e matéria orgânica particulada grossa (principalmente folhas e galhos bem fragmentados).



Figura 1. Armadilhas instaladas no Ribeirão da Quinta para amostragem da entrada de material vegetal alóctone no riacho através da margem direita (a), margem esquerda (b), por deriva (c) e por via aérea (d).



Figura 2. Disposição das réplicas das armadilhas coletoras de material vegetal alóctone, instaladas nas duas áreas do riacho: (a) cercada por pastagem e (b) cercada por mata de galeria.

CAPÍTULO II - "Seasonal leaf mass loss in two contrasting stretches of a tropical headstream".

Este capítulo apresenta os resultados de um experimento de manipulação montado no riacho com o objetivo de analisar as taxas de perda de massa foliar sob diferentes condições. Para tal foram imersos no riacho pacotes de folhas de duas espécies de plantas comuns no trecho do rio trabalhado (Figura 3): a espécie herbácea *Pycreus decumbens* T. Koyama (Cyperaceae), principal representante na área cercada por pastagem, e a espécie arbórea *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae), principal representante da área com mata de galeria. No experimento foram analisadas as seguintes variáveis: (a) tipo de folha (herbácea e arbustiva), (b) importância do condicionamento prévio por microorganismos (pré-condicionadas por 14 dias ou não), (c) variação temporal (estação seca e chuvosa) e (d) variação espacial (trecho cercado por mata e por pastagem).

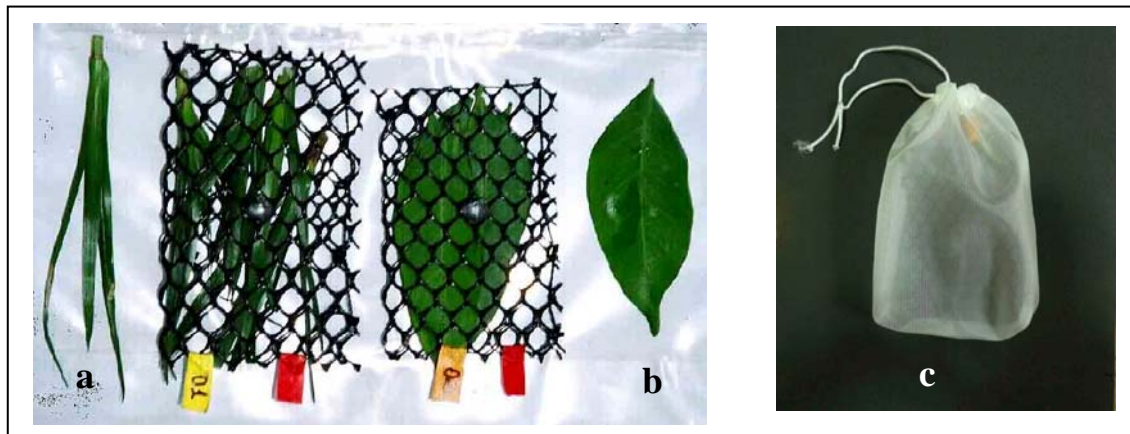


Figura 3. Material utilizado no experimento de manipulação para quantificar as taxas de perda de massa foliar: (a) folhas da espécie herbácea *P. decumbens*, (b) folha da espécie arbórea *C. canjerana*, (c) saco com malha de 0,25 mm utilizado para condicionamento dos pacotes de folha no riacho. Ao centro da figura à esquerda, material das duas espécies de plantas envolto em tela plástica com malha de 10 mm. As etiquetas coloridas foram utilizadas para facilitar a identificação da amostra.

CAPÍTULO III- "Composição e abundância de macroinvertebrados bentônicos colonizadores de pacotes de folhas em um riacho tropical"

Neste capítulo foi apresentada a análise da estrutura espacial e temporal da comunidade de macroinvertebrados coletados nos pacotes de folha utilizados no experimento de taxa de perda de massa foliar. Para tal, foram triados, identificados e contados os macroinvertebrados que colonizaram os pacotes de folha amostrados nas áreas com mata de galeria e com pastagem, durante as estações seca e chuvosa. Também foram analisadas as possíveis diferenças na estrutura desta comunidade em função do tipo e qualidade da folha, se herbácea (*P. decumbens*) ou arbórea (*C. canjerana*), se fresca ou condicionada.

CAPÍTULO IV- "Diet of invertebrates sampled on leaf-bags incubated in a tropical headstream"

Neste capítulo foi analisada a dieta dos grupos de macroinvertebrados que apresentaram mais que 1% de representatividade em abundância e biovolume, coletados nos pacotes de folha utilizados no experimento de taxa de perda de massa foliar. Com o propósito de reduzir o número de variáveis na análise dos resultados foram utilizados somente os macroinvertebrados amostrados em folhas frescas e após 13 dias de colonização. Os tipos de folha, *C. canjerana* e *P. decumbens*, também foram analisadas em conjunto, uma vez que os macroinvertebrados não apresentaram variação na dieta em função do tipo de folha. O conteúdo do trato digestório dos macroinvertebrados foi classificado em quatro categorias de itens alimentares: (1) material orgânico particulado grosso (CPOM), (2) material orgânico particulado fino (FPOM), (3) material de origem animal e (4) algas unicelulares e filamentosas. A partir da análise da dieta, os macroinvertebrados foram classificados em três grupos tróficos: (1) detritívoro, (2) carnívoro e (3) onívoro.

CAPÍTULO V - "A laboratory study on feeding plasticity of the shredder *Sericostoma vittatum* Rambur (Sericostomatidae)"

Este capítulo final foi desenvolvido durante o estágio de doutoramento realizado na Universidade de Coimbra (Portugal), no período de fevereiro a outubro de 2005, sob a orientação do Prof. Dr. Manuel A. S. Graça, como parte dos estudos do *Institute Marine Resource* (IMAR) e *Portuguese Science Foundation*. O objetivo deste trabalho foi investigar, em laboratório, a plasticidade alimentar do estágio juvenil do inseto detritívoro-fragmentador *Sericostoma vittatum* Rambur, um tricóptero (Trichoptera: Sericostomatidae) endêmico da Península Ibérica. Para tal, foram oferecidos itens alimentares alternativos, como a macrófita *Miriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., biofilme (colonizado sobre rochas), matéria orgânica particulada fina (FPOM) coletada em dois diferentes riachos e matéria orgânica particulada grossa (CPOM) de uma espécie arbórea nativa e outra exótica na região. As larvas foram acondicionadas individualmente em copos plásticos (Figura 4), em sala aclimatizada, e mensuradas quanto à taxa de crescimento durante duas semanas. O objetivo do estágio era aprender com o Prof. Manuel e sua equipe as técnicas utilizadas neste tipo de trabalho experimental para, posteriormente, repetir o estudo com os insetos detritívoro-fragmentadores amostrados no Ribeirão da Quinta. Com a amostragem dos

macroinvertebrados associados aos pacotes de folhas e com a análise de sua dieta verificou-se que o único representante deste grupo funcional encontrado no riacho estudado foi o tricóptero *Phylloicus* sp. Porém várias dificuldades surgiram na sua manipulação em laboratório e na obtenção das medidas para análise das taxas de crescimento. Como este organismo utiliza uma casa irregular portátil feita a partir de pedaços de folha, o não oferecimento deste item alimentar durante a manipulação pode levá-lo a se alimentar da própria casa. Além disso, na presença de qualquer movimentação ou iluminação durante seu cativeiro, este organismo refugia-se na casa protetora, impossibilitando a análise do crescimento.

Apesar de não ter sido possível a realização do experimento no Brasil, os dados obtidos em Portugal puderam ser organizados em um artigo científico, o qual foi publicado em co-autoria com o Prof. Manuel na revista *Hydrobiologia* (Carvalho & Graça, 2007), para finalização do estágio desenvolvido no exterior com apoio financeiro da CAPES (Bolsa de Doutorado “sandwich”). O artigo, apesar de já publicado, foi aqui apresentado como o Capítulo V da Tese, pois o desenvolvimento deste trabalho estava planejado no projeto de Doutorado.



Figura 4. Conjunto de copos com aeradores (um tratamento = 20 réplicas), mantidos em sala aclimatizada, utilizados para analisar individualmente as taxas de crescimento do tricóptero *Sericostoma vittatum*.

ÁREA DE ESTUDO

A escolha do Ribeirão da Quinta para realização do presente trabalho permitiu a continuidade dos estudos que vinham sendo realizados por V.S. Uieda e sua equipe neste local desde 1999, acerca do efeito de fatores abióticos e bióticos sobre a estrutura da

comunidade de macroinvertebrados em riachos. O Ribeirão da Quinta está localizado no Município de Itatinga, Estado de São Paulo e o trecho trabalhado localiza-se no Sítio Pedra Branca ($23^{\circ}06'47''\text{S}$, $48^{\circ}29'46''\text{W}$, Km 204 da Rodovia Castelo Branco), a 743 m de altitude (Figura 5). Este riacho nasce nas escarpas da borda leste da Cuesta de Botucatu, dirigindo-se para oeste e desaguando no Ribeirão da Posse, o qual por sua vez deságua no Rio Santo Inácio, afluente do Alto Paranapanema.

Este trecho de 3ª ordem tem aproximadamente 12 m de extensão e 1,5 m de largura, e caracteriza-se por apresentar três tipos de micro-habitats: poções (“pools”), rápidos (“runs”) e corredeiras (“riffles”). Os poções constituem áreas de maior profundidade (30-60 cm), correnteza lenta e fundo arenoso; os rápidos são áreas com profundidade variando entre 10-20 cm, correnteza moderada e fundo arenoso-rochoso; as corredeiras são áreas de menor profundidade (10-15 cm), águas turbulentas e fundo rochoso. Neste local foram encontradas 14 espécies de peixes (Pinto & Uieda, 2007), um número de espécies bastante elevado se considerarmos o tamanho do trecho amostrado.

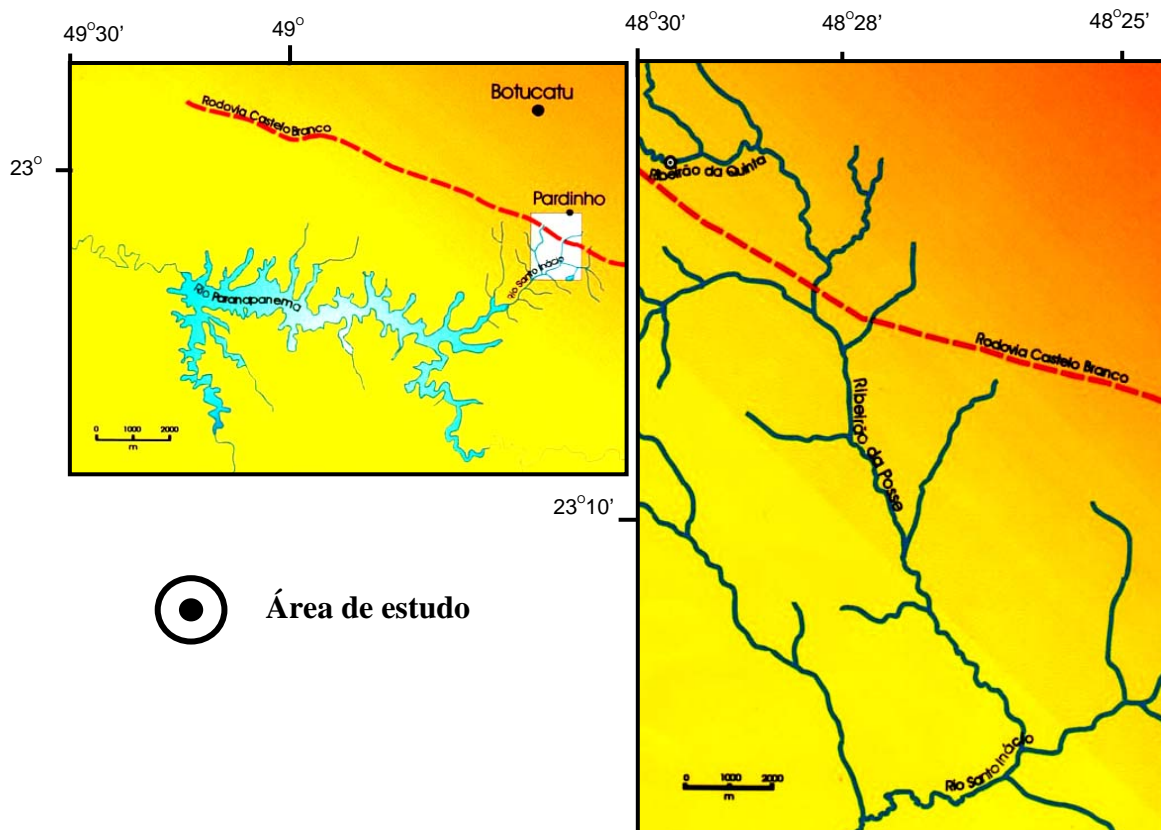


Figura 5. Localização da área de estudo e posição do Ribeirão da Quinta em relação à Bacia do Paranapanema. *Fonte:* Ribeiro (2003)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, A.A.O.; HENRY, R. Retention of particulate organic matter in a tropical headstream. *Hydrobiologia*, v. 482, p.161-166, 2002.
- ALLAN, J.D. *Stream ecology: structure and function of running waters*. London: Chapman & Hall, 1995. 388p.
- BOULTON, A.J.; BOON P.I. A review of methodology used to measure leaf litter decomposition in lotic environments: time to turn over an old leaf? *Australian Journal of Marine and Freshwater Resource*, v. 42, p. 1-43, 1991.
- CARVALHO, E.M.; GRAÇA, M.A.S. A laboratory study on feeding plasticity of the shredder *Sericostoma Vittatum* Rambur (Sericostrimatidae). *Hydrobiologia*, v. 575, p. 353-359, 2007.
- CUMMINS, K.W. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review Entomology*, v. 18, p. 183-206, 1973.
- FRIBERG, N.; JACOBSEN, D. Feeding plasticity of two detritivore-shredders. *Freshwater Biology*, v. 32, p. 133-142, 1994.
- GRAÇA, M.A.S. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams: a review. *International Review of Hydrobiology*, v. 86, p. 383-393, 2001.
- GRAÇA, M.A.S.; CRESSA, C.; GESSNER, M.O.; FEIO, M.J.; CALLIES, K.A.; BARRIOS, C. Food quality, feeding preferences, survival and growth of shredders from temperate and tropical streams. *Freshwater Biology*, v. 46, p. 947-957, 2001.
- GRAÇA, M.A.S.; CANHOTO, C. Leaf litter processing in low order streams. *Limnetica*, v. 25, n.1-2, p. 1-10, 2006.
- GOLLADAY, S.W.; WEBSTER, J.R.; BENFIELD, E.F. Factors affecting food utilization by a leaf shredding aquatic insect: leaf species and conditioning time. *Holarctic Ecology*, v. 6, p.157-162, 1985.

HENRY, R.; UIEDA, V.S.; AFONSO, A.A.O.; KIKUCHI, R.M. Input of allochthonous matter and structure of fauna in a Brazilian headstream. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische and Angewandte Limnologie*, v. 25, p. 1866-1870, 1994.

HIEBER, M.; GESSNER, M.O. Contribution of stream detritivores, fungi, and bacteria to leaf breakdown based on biomass estimates. *Ecology*, v. 83, n. 4, p. 1026-1038, 2002.

MERRITT, R.W.; CUMMINS, K.W. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Dubuque: Kendall/ Hunt, 1996. 722p.

MOTTA, R.L. *Trama alimentar das comunidades animais em um curso de água corrente (Ribeiro do Atalho, Itatinga – SP)*. 1996. 154f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) — Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MOTTA, R.L.; UIEDA, V.S. Diet and trophic groups of an aquatic insect community in a tropical stream. *Brazilian Journal of Biology*, v. 64, n. 4, p. 809-817, 2004.

MOTTA, R.L.; UIEDA, V.S. Food web structure in a tropical stream ecosystem. *Austral Ecology*, v. 65, n. 2, p. 58-73, 2005.

PINTO, T.L.F.; UIEDA, V.S. Aquatic insects selected as food for fishes of a tropical stream: are there spatial and seasonal differences in their selectivity? *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 19, n. 1, p. 67-78, 2007.

RIBEIRO, L.O. Colonização de substrato artificial por macroinvertebrados no Ribeirão da Quinta, município de Itatinga (SP). 2003. 62f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) — Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Edusp/ Fapesp, 2001. p.235-247.

UIEDA, V.S.; KIKUCHI, R.M. Entrada de material alóctone (detritos vegetais e invertebrados terrestres) num pequeno curso de água corrente na cuesta de Botucatu, São Paulo. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 7, p. 105-114, 1995.

UIEDA, V.S.; GAJARDO, I.C.S.M. Macroinvertebrados perifíticos encontrados em poções e corredeiras de um riacho. *Naturalia*, v. 21, p. 31-47, 1996.

UIEDA, V.S.; MOTTA, R.L. Trophic organization and food web structure of southeastern Brazilian streams: a review. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 19, n. 1, p. 15-30, 2007.

VANNOTE, R.L.; MINSHAL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R.; CUSHING, C.E.
The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 37,
130-137, 1980.

CAPÍTULO I

INPUT OF LITTER IN DEFORESTED AND FORESTED AREAS OF A TROPICAL HEADSTREAM

Trabalho a ser submetido à publicação na *Acta Limnologica Brasiliensia*.

Input of litter in deforested and forested areas of a tropical headstream

ABSTRACT

Input of litter in deforested and forested areas of a tropical headstream. Riparian vegetation is the main source of leaves and the main energy source for low order streams. Therefore, changes in its composition affect the structure and processes in streams. We studied the contribution of the riparian vegetation by analysing the annual input of litter in deforested and forested areas of a tropical stream. The lateral, vertical (aerial) and horizontal (drift) litter inputs were analyzed separately. The lateral input differed significantly between the two areas and included mostly fallen dry leaves. The vertical input, represented mainly by fallen dry leaves, occurred only in the forested area. The drift transport of litter was not significantly different between the deforested and forested areas and the input was composed mostly by CPOM. The removal of the native forest was clearly reflected in the low contribution of leaf litter in the deforested area.

Key-words: Annual input, Brazilian stream, litter fall, riparian vegetation.

RESUMO

Aporte de folhço em áreas sem mata e com mata de galeria de um riacho tropical. A vegetação ripária constitui um importante recurso energético em riachos de pequena ordem. Assim, mudanças em sua composição afetam a estrutura e os processos ecológicos em riachos. A contribuição da vegetação ripária foi analisada pela entrada anual de folhço em duas áreas de um riacho tropical, uma cercada por mata de galeria e outra somente com vegetação arbustiva. A entrada lateral, vertical (aérea) e horizontal (“drift”) de material vegetal foi avaliada separadamente. A entrada lateral, composta principalmente de folhas secas, apresentou diferença significativa entre as duas áreas. A entrada vertical, também representada principalmente por folhas secas, ocorreu somente na área com mata de galeria. O transporte por drift não foi significativamente diferente entre as áreas e a entrada foi composta principalmente de matéria orgânica particulada grossa. O efeito negativo da

remoção da mata nativa foi bastante evidente pela baixa contribuição de folhas na área sem mata.

Palavras-chave: Aporte anual, detritos, riacho brasileiro, vegetação ripária.

Introduction

Every year streams receive a large amount of litter dry mass per square meter (Elosegi & Pozo, 2005). A large part of these detritus input consists of leaves from riparian vegetation (Abelho, 2001; Elosegi & Pozo, 2005). Headwater streams are particularly influenced by the riparian vegetation which reduces autotrophic production by shading and supplies energy in the form of vegetal matter of allochthonous origin (Vannote *et al.*, 1980; Abelho, 2001; Graça, 2001; Graça & Canhoto, 2006; Uieda & Motta, 2007).

A qualitative and quantitative change in the riparian forest affects the litter input to the streams and thus can modify the structure of all biotic community (Afonso *et al.*, 2000; Graça, 2001). In Brazil, as well as in many other countries, the degradation of riparian vegetation results from the disordered expansion of agricultural borders (Rodrigues & Gandolfi, 2001; Heartsill-Scalley & Aide, 2003), contributing to the formation of immense open areas, characterized by grassy and herbaceous vegetation.

The type of vegetation cover and rainfall can also determine conditions of autotrophy or heterotrophy in streams, having a strong effect upon the stream food web structure and dynamics, as showed by Uieda & Motta (2007) for some tropical streams.

Those changes in land cover can also modify the physical conditions of streams (Heartsill-Scalley & Aide, 2003), with a forest landscape certainly contributing with more biomass to the stream than herbaceous vegetation (Afonso *et al.*, 2000; Heartsill-Scalley & Aide, 2003). However, it is important to determine the actual contribution of the litter input for different conditions of riparian vegetation (Elosegi & Pozo, 2005).

Leaf litter enters streams mainly in a large burst during the period of leaf abscission, and can be either trapped in the reach, or transported downstream (Elosegi, 2005). The entrance ways of this allochthonous matter in the stream include transport by drift from upstream, by direct or vertical input, and by lateral input of material deposited on the forest floor and mobilized by wind or other agents (Elosegi & Pozo, 2005). Thus,

the regional climate, the characteristics of the stream and of the semi-deciduous forest could be the main factors that determine this seasonal leaf-litter pattern (Abelho, 2001).

The aim of the present study was to assess and compare the annual input and transport of litter in two different areas of a tropical stream: one area shaded by the presence of a dense gallery forest and other, located downstream the first, deforested and with scattered herbaceous vegetation.

Material and methods

The study was performed at Ribeirão da Quinta stream (23°06'47"S, 48°29'46"W), located at the municipality of Itatinga, São Paulo State, southeast Brazil, at an elevation of 743m a.s.l. This is a third order stream, located on a cattle raising farm, distant from urban areas.

Two areas of this stream with approximately 120 m² were chosen for the study. The first, called “Forested area”, is shaded by a well-preserved gallery forest. The riparian trees include *Nectandra* sp. (Lauraceae), *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae), *Acacia* sp., *Inga* sp. and *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. (Mimosaceae), *Mollinedia* sp. (Monimiaceae), *Coutarea hexandra* (Jacq.) K. Schum. (Rubiaceae), *Esenbeckia febrifuga* (A. St.-Hil.) A. Juss. Ex Mart. (Rutaceae), the creeper *Smilax* sp. (Liliaceae), and the herbaceous *Urera baccifera* (L.) Gaudich. Ex Wedd. (Urticaceae). The second, denominated “Deforested area”, is located about 300 m downstream and is composed by herbaceous vegetation where solar radiation strikes the water directly. The land cover is composed of the predominant herbaceous *Pycreus decumbens* T. Koyama (Cyperaceae), *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae) and *Panicum* sp. (Gramineae).

Three types of traps were used in both areas to analyze the litter input: 1) aerial or vertical-input traps, fixed to a metallic frame hanging from nearby trees or stakes (Figure 1a); 2) lateral-input traps, installed in the right and left banks (Figure 1b and 1c, respectively), fixed to a metallic frame and held by two stakes; 3) drift or horizontal-input trap, fixed to a metallic frame and with two metal rods used to secure the trap in the bed (Figure 1d). All traps were constructed tying a 1-mm double mesh to a rectangular metallic frame (0.02 m²; Figure 1e) and eight replicates were used in all cases.

The traps were placed in the two areas bimonthly, from May 2004 to June 2005. Each month the traps stayed in the stream for a 48 hours period. After that, the litter captured in the traps was quantified as dry mass separately into three categories: fallen green leaf, fallen dry leaf and coarse particulate organic matter (CPOM, composed mainly by plant fragments not identifiable). The vertical and horizontal input dry mass were expressed in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, considering the trap surface area, and the lateral input dry mass was expressed in $\text{mg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$, considering the trap length (Elosegi & Pozo, 2005). The field work was conducted by seven months (May, July, September, November 2004, January, March and June 2005) equally at both areas, although only the months with material sampled were represented at the figures.

During the experimental period the following variables were analyzed: rainfall (obtained from the meteorological station of a farm located about 2 km from the study location), water temperature, current velocity and discharge (measured as described in Leopoldo & Souza, 1979).

Comparison of dry mass among treatments (areas, months and traps) were done by one-way ANOVA, followed by comparisons with the Tukey HSD test. The relationship between dry mass and environmental parameters was tested by the Spearman Rank Correlation.

Results

The lateral input of litter differed significantly between the two areas ($F_{1,110} = 19.187$, $p < 0.001$ for the left bank and $F_{1,110} = 15.594$, $p < 0.001$ for the right bank), with the higher value of dry mass in the forested area (Table I). Regarding position of lateral input, no significant difference was observed between the right and left banks ($F_{1,110} = 0.090$, $p = 0.76$ in the deforested area and $F_{1,110} = 0.33$, $p = 0.57$ in the forested area). The months of greatest lateral input of litter were July, September and November, represented mostly by fallen dry leaves (Figures 2 and 3). Nothing was sampled during May and November 2004 (deforested area) and March 2005 (forested area) in the left lateral trap and during May and July 2004 (deforested area) in the right lateral trap.

The vertical-input in the stream occurred only in the forested area (Table I), with a visible annual variation, ranging from 562.5 (March 2004) to 9,576.6 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$

(September 2004). The aerial input was composed 100% by leaves, 24.9% of green and 75.1% of dry leaves (Figure 4).

The horizontal-input of litter was not significantly different between the two areas ($F_{1,110} = 1.658$, $p = 0.20$; Table I), occurred at all months, and was composed mostly of CPOM (Figure 5). In the deforested area, the month of high horizontal input was June ($179,814.5 \text{ mg.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$) and in the forested area it was July ($157,395 \text{ mg.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$).

The months of greatest discharge (May 2004 and January 2005) also represented the months of high values of current and rainfall, with the current velocity twice faster in the deforested area (Figure 6).

The correlation between environmental parameters and drift transport of organic matter was different between areas (Table II). Rainfall incidence showed no correlation with litter transport for both areas. However, discharge was positively correlated to drift transport in the deforested area, while current velocity was negatively correlated in the forested area.

Discussion

In temperate deciduous forests, autumn litter inputs may be as high as 73% of annual amounts (e.g. Abelho & Graça, 1998). Litterfall in tropical forests may be either seasonal, especially when a marked dry season occurs, or non-synchronous, with litter entering at a relatively constant rate over the entire year (Abelho, 2001; Gonçalves *et al.*, 2006).

The rainfall registered in the Ribeirão da Quinta stream showed two well-defined seasons, with the highest values of input during the end of the dry season (September), coincident with the lowest value of discharge. In the same region, Uieda & Kikuchi (1995) and Afonso *et al.* (2000) found that the litterfall peak occurred in the early wet season (September and October), while Henry *et al.* (1994) observed it in the late dry season (August). According to Pozo *et al.* (1997), the phenology of litter input and discharge regime may be responsible for the temporal litterfall variation.

The significant correlation between water discharge and drift transport of litterfall in the deforested area for pasture utilization may be related to its localization, nearby the forested area. It is expected that with the increase of water discharge a great quantity of

leaf litter and accumulated benthic organic matter from the gallery forest may be transported downstream. The negative correlation of litter transport with current velocity in the forested area corroborates the previous argument.

Other authors (Canhoto & Graça, 1998; Afonso & Henry, 2002; Pretty & Dobson, 2004) also found that during rainfall events the leaf retention also decreases greatly. In the same way, when retention structures are submerged or carried downstream, it will result in greater loss of sediments (Díez *et al.*, 2000; Afonso & Henry, 2002). Therefore, when litter input peaks coincide with low flows, CPOM tends to accumulate in the stream bed (Pozo & Elozegi, 2005). On the contrary, if litter inputs coincide with high flows, transport processes are favorable.

The input of litter from the lateral banks was about ten times larger in the forested than in the deforested area, result similar to the one found by Henry *et al.* (1994) and Afonso *et al.* (2000), both working in a stream of the same basin. The highest lateral input of litter at the end of the dry season (July) and the beginning of the wet season (September) probably was influenced by two climatic agents: the scouring of this material by the wind during drought and by the rain during flooding. Moreover, the first flood after a long dry period may scour a much larger amount of litter than similar floods later in the season (Elozegi & Pozo, 2005). It is probable that the regional climate associated with the characteristics of semi-deciduous forest could be the main factor that determined this seasonal leaf-litter pattern (e.g. Abelho, 2001).

The transport of litter downstream is a very important parameter for analysis of the energy distribution along the stream, mainly for areas with altered riparian vegetation. In the short stretch of the Ribeirão da Quinta stream studied, one may assume that drift inputs equaled drift outputs, as argued by Elozegi & Pozo (2005). This presupposition is further justified since lateral input occurred rarely and aerial input did not occur in the deforested area, while the drift transport was similar between both areas. The amount of litter transported by drift surpassed the other inputs and the greatest part of the former was made up of CPOM, probably originated from organic benthic stocks. Iversen *et al.* (1982) also reported a large contribution of CPOM (92%) in the output and of leaves in the inputs (71%). Clearly, the origin and quality of this organic matter is of great importance to the understanding of stream dynamics.

The difference in the quality of litter as a function of input origin was very evident. First, a large part of the litter entering a stream channel consists of gallery forest leaves, particularly fallen dry ones. Second, a part of these leaves are directly transported

downstream, deposited in the stream channel and on the stream banks. Third, the mobilization and distribution of stored litter depend on climatic agents, such as rainfall and wind. A large portion of this material imported upstream consists of unidentifiable fragments, originated probably from the breakdown process (e.g. Gessner *et al.*, 1999). Such patterns are very characteristic, as much in tropical (Henry *et al.*, 1994; Afonso *et al.*, 2000; Gonçalves *et al.*, 2006) as in tempered streams (e.g. Graça, 2001).

Given that riparian vegetation is the main source of leaves and, therefore the main energy source (Graça, 2001; Graça & Canhoto, 2006), changes in its composition affect structure and process within streams (Heartsill-Scalley & Aide, 2003). This alteration was clearly shown by the low contribution of leaf litter in the deforested area. In a way to maximize conservation, to establish connectivity and to increase the minimum riparian forest width, priority should be given to the stream ecosystem (Heartsill-Scalley & Aide, 2003).

Acknowledgements

We thank Maria J. Feio for critical comments on an earlier version of the manuscript. We are grateful to Fabio Vitta and Clemente J. Campos for identification of the plant species. The first author was funded by a scholarship from CNPq.

References

- Abelho, M. & Graça, M.A.S. 1998. Litter in a first-order stream of a temperate deciduous forest (Margarça Forest, central Portugal). *Hydrobiologia*, 386:147-152.
- Abelho, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a Review. *Sci. World*, 1:656-680.
- Afonso, A.A.O., Henry, R. & Rodella, R.C.S.M. 2000. Allochthonous matter input in two different stretches of a headstream (Itatinga, São Paulo, Brazil). *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 43:335-343.
- Afonso, A.A.O. & Henry, R. 2002. Retention of particulate organic matter in a tropical headstream. *Hydrobiologia*, 482:161-166.

- Canhoto, C. & Graça, M.A.S. 1998. Leaf retention: a comparative study between two stream categories and leaf types. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 26:990-993.
- Díez, J.R., Larrañaga, S., Elozegi, A. & Pozo, J. 2000. Effect of removal of wood on streambed stability and retention of organic matter. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 19:621-632.
- Elozegi, A. 2005. Leaf retention. In: Graça, M.A.S, Bärlocher, F. & Gessner, M.O. (Eds) *Methods to study litter decomposition. A practical guide.* Spring Publ. – Netherlands. p.13-18.
- Elozegi, A. & Pozo, J. 2005. Litter input. In: Graça, M.A.S, Bärlocher, F. & Gessner, M.O. (Eds) *Methods to study litter decomposition. A practical guide.* Spring Publ. – Netherlands. p.3-11.
- Gessner, M.O., Chauvet, E. & Dobson, M. 1999. A perspective on leaf litter breakdown in stream. *Oikos*, 85:377-384.
- Gonçalves, J.F.Jr., França, J.S. & Callisto, M. 2006. Dynamics of allochthonous organic matter in a tropical Brazilian headstream. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 49(6): 967-973.
- Graça, M.A.S. 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in stream: a Review. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 86:383-393.
- Graça, M.A.S. & Canhoto, C. 2006. Leaf litter processing in low order streams. *Limnetica*, 25:1-10.
- Heartsill-Scalley, T. & Aide, T.M. 2003. Riparian vegetation and stream condition in a tropical agriculture-secondary forest mosaic. *Ecol. Application*, 13:225-234.
- Henry, R., Uieda, V.S., Afonso, A.A.O. & Kikuchi, R.M. 1994. Input of allochthonous matter and structure of fauna in a Brazilian headstream. *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 25:1866-1870.
- Iversen, T.M., Thorup, J. & Skriver, J. 1982. Inputs and transformation of allochthonous particulate organic matter in a headwater stream. *Holarctic Ecology*, 5:10-19.
- Leopoldo, P.R. & Souza, A.P. 1979. *Hidrometria.* FCA - UNESP, São Paulo, Botucatu. 71p.
- Pozo, J., González, E., Díez, J.R., Molinero, J. & Elózegi, A. 1997. Inputs of particulate organic matter to streams with different riparian vegetation. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 16:602-611.
- Pozo, J. & Elozegi, A. 2005. Coarse benthic organic matter. In: Graça, M.A.S, Bärlocher, F. & Gessner, M.O. (Eds) *Methods to study litter decomposition. A practical guide.* Spring Publ. – Netherlands. p.25-31.

- Pretty, J.L. & Dobson, M. 2004. Leaf transport and retention in a high gradient stream. *Hydrology and Earth System Sciences* 8:560-566.
- Rodrigues, R.R. & Gandolfi, S. 2001. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: Rodrigues, R.R. & Leitão Filho, H.F. (Eds) *Matas Ciliares. Conservação e recuperação*. Edusp. Fapesp - São Paulo, Brasil. p.235-247.
- Uieda, V.S. & Kikuchi, R.M. 1995. Entrada de material alóctone (detritos vegetais e invertebrados terrestres) num pequeno curso de água corrente na cuesta de Botucatu, São Paulo. *Acta Limnol. Bras.*, 7: 105-114.
- Uieda, V.S. & Motta, R.L. 2007. Trophic organization and food web structure of southeastern Brazilian streams: a review. *Acta Limnol. Bras.*, 19(1): 15-30.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37:130-137.

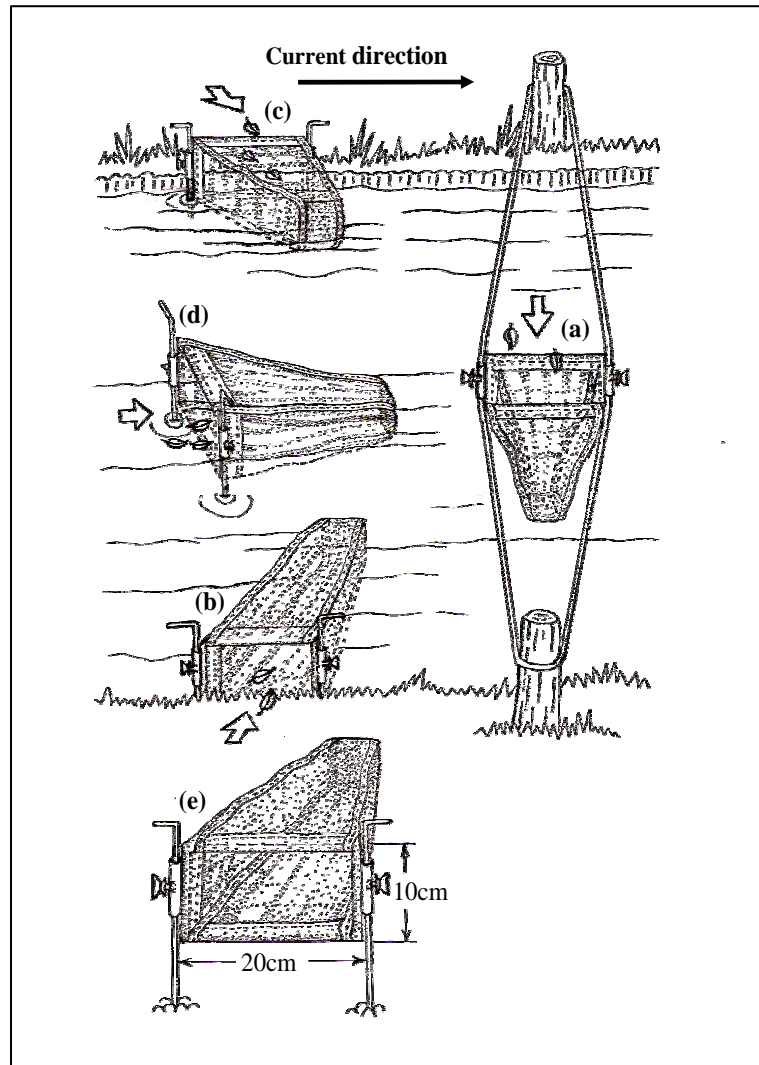


Figure 1. Position of the four traps used to sample: (a) aerial vertical-input, (b) right and (c) left lateral-input, (d) drift horizontal-input. The white arrows indicate the direction of entry of litter into each trap and (e) shows the structure and standard measures of the traps.

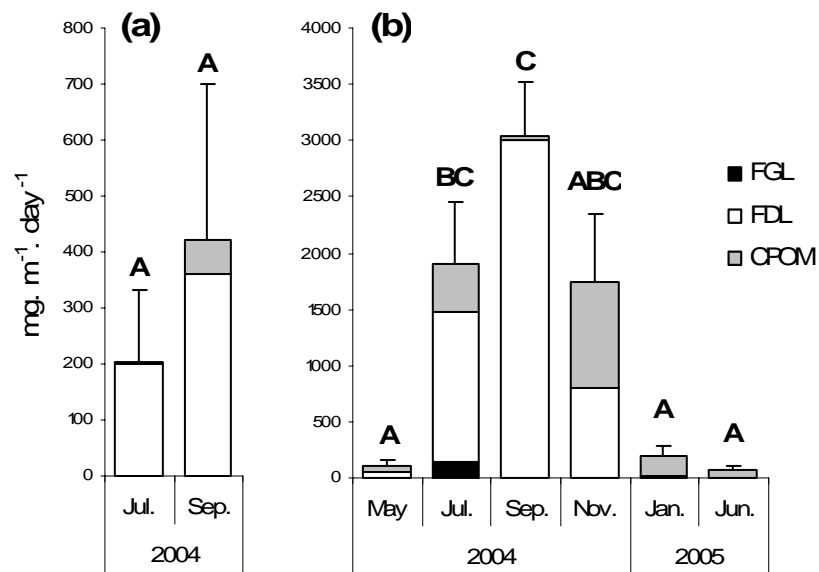


Figure 2. Daily left lateral-input (mean + SE) of three litter fractions, in the Deforested (a) and Forested areas (b) of Ribeirão da Quinta stream. Letters above bars indicate homogeneous groups, obtained by Tukey HSD test. FGL – fallen green leaf, FDL –fallen dry leaf, CPOM –coarse particulate organic matter. The input was analyzed at seven months for both areas, but in the figure it was represented only the months with material sampled.

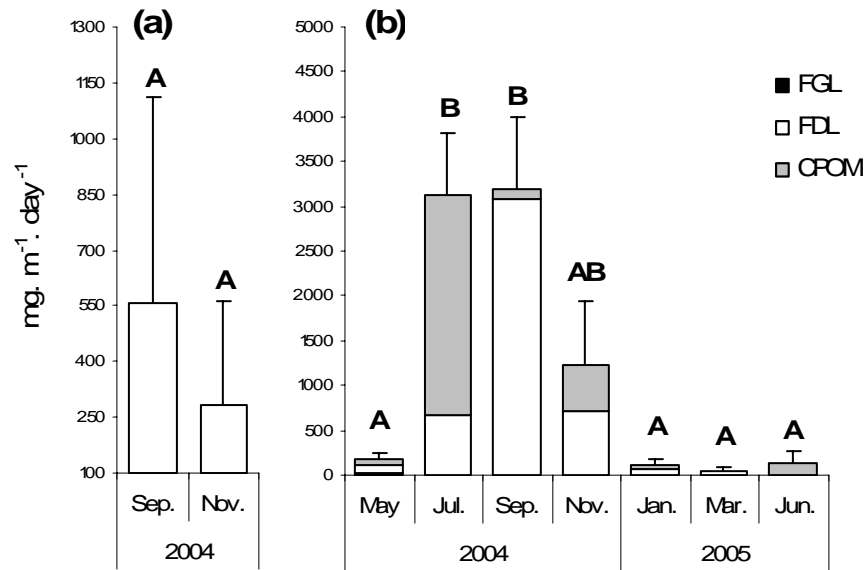


Figure 3. Daily right lateral-input (mean + SE) of three litter fractions, in the Deforested (a) and Forested areas (b) of Ribeirão da Quinta stream. Letters above bars indicate homogeneous groups, obtained by Tukey HSD test. FGL – fallen green leaf, FDL –fallen dry leaf, CPOM –coarse particulate organic matter. The input was analyzed at seven months for both areas, but in the figure it was represented only the months with material sampled.

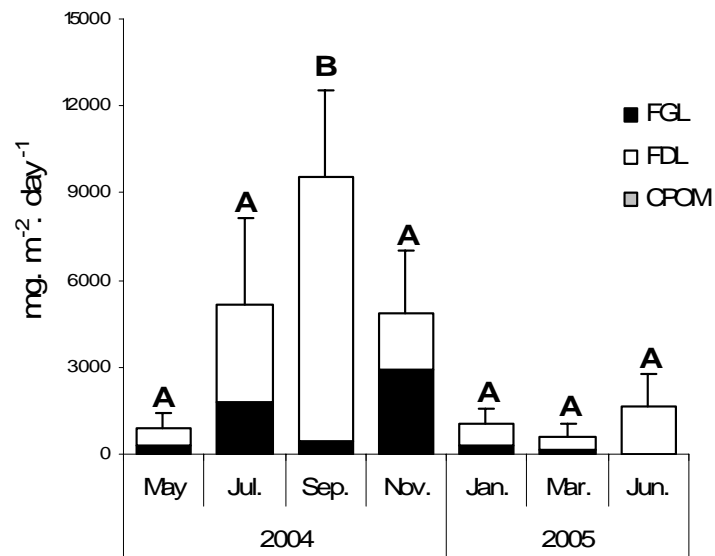


Figure 4. Daily aerial vertical-input (mean + SE) of three litter fractions, in the Forested area of Ribeirão da Quinta stream. Letters above bars indicate homogeneous groups, obtained by Tukey HSD test. FGL – fallen green leaf, FDL –fallen dry leaf, CPOM – coarse particulate organic matter.

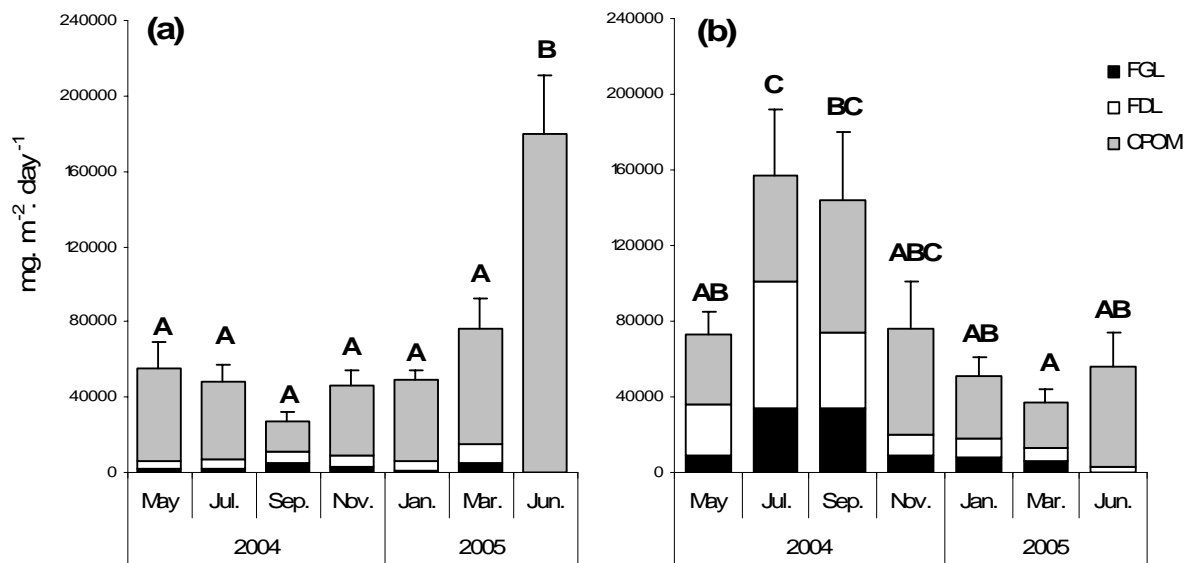


Figure 5. Daily drift horizontal-input (mean + SE) of three litter fractions, in the Deforested (a) and Forested areas (b) of Ribeirão da Quinta stream. Letters above bars indicate homogeneous groups, obtained by Tukey HSD test. FGL – fallen green leaf, FDL –fallen dry leaf, CPOM –coarse particulate organic matter.

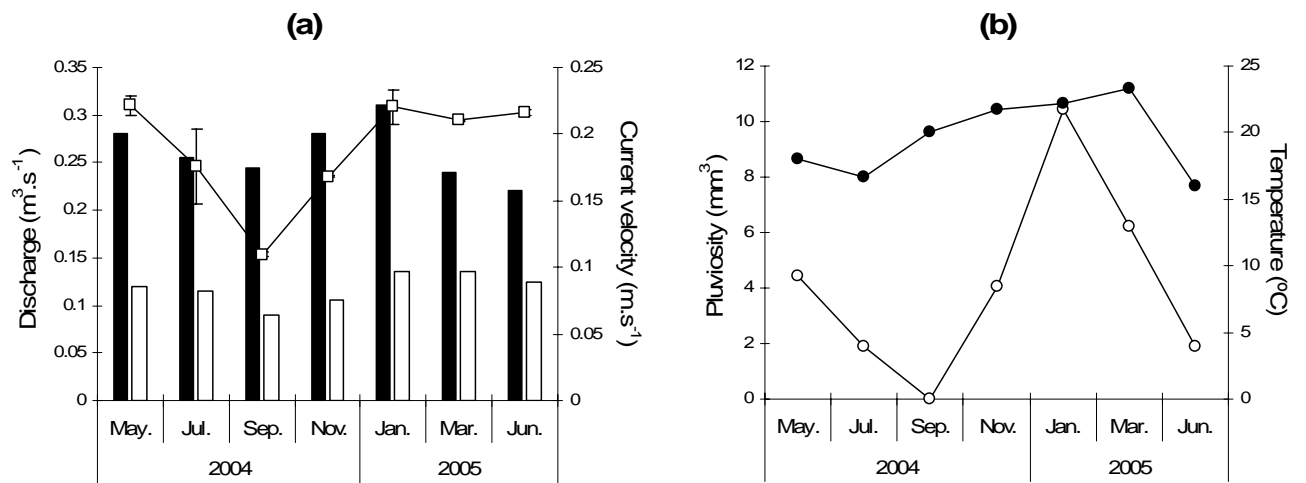


Figure 6. Abiotic parameters of Ribeirão da Quinta determined during the study period: (a) water discharge (mean and SD) and current velocity (black bars for Deforested area and white bars for Forested area), (b) mean values of rainfall (white; average of the month) and water temperature (black; value of the sampling day).

Table I: Dry mass ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ for lateral and $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ for vertical and horizontal inputs) of litter captured in the traps.

Traps	Deforested area	Forested area
Left lateral-input	89	1,006
Right lateral-input	120	1,143
Total lateral-input	209	2,149
Aerial vertical-input	0	3,386
Drift horizontal-input	69,003	84,900
Total aerial and drift-input	69,003	88,286

Table II: Pearson correlation coefficients of some habitat variables and the drift transport of litter in two stretches of the stream (values of correlation significant at $p < 0.05$).

Variables	Deforested area		Forested area	
	R	p	R	p
Rainfall (mm^3)	0.21	0.64	-0.64	0.12
Current velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-0.41	0.35	-0.88	0.008
Discharge ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	0.79	0.036	-0.64	0.12

CAPÍTULO II

Seasonal leaf mass loss in two contrasting stretches of a tropical headstream

Trabalho a ser submetido à publicação na revista *Neotropical Biology and Conservation*.

Seasonal leaf mass loss in two contrasting stretches of a tropical headstream

ABSTRACT

The seasonal leaf mass loss of two leaf species, one herbaceous (*Picreus decumbens*) and other arboreal (*Cabranea canjerana*), was analyzed in a forested and a deforested area of a tropical stream, during the dry (June-July 2004) and wet (November-December 2004) seasons. Leaf bags containing 5.00 ± 0.05 g of fresh and pre-conditioned leaves were installed in the stream bottom in each area and season and removed after 3 and 13 days of immersion. Our results showed an interaction of factors determining the leaf mass loss, which apparently is dependent on several factors, like plant species, season, water temperature, and current. The tree common in the gallery forest area, *Cabranea canjerana*, presented a leaf loss dry mass more influenced by the differences in temperature between the dry and wet seasons, with leaf loss higher during the wet season. Otherwise, for the herbaceous plant common in the deforested area, *Picreus decumbens*, the leaf loss dry mass was more influenced by the differences in light incidence and current found when compared the forested and deforested areas, with leaf loss higher in the forested area. In the beginning of the decomposition process (3rd day) the significant differences found on dry mass loss emphasized the differences between plant species and the effect of microorganisms accelerating the process on the previously conditioned leaves. Later (13th day), the spatial and seasonal differences also played an important role in the decomposition process, through the differences on light incidence, water current and temperature found when compared the forested and deforested areas and the wet and dry seasons. Apparently, the fast leaf breakdown found in this tropical stream may have been caused by differences in leaf quality related to the initial chemical composition and texture of the leaves, which can also improve the action of microbes and invertebrates.

Key words: decomposition, leaf breakdown, litter, tropical stream.

INTRODUCTION

Litter breakdown is traditionally analyzed as a continuous process with three overlap stages: leaching, conditioning and fragmentation (Boulton and Boon, 1991; Gessner *et al.*, 1999; Abelho, 2001; Graça, 2001). The functional unit comprised by shredders, microbes, and terrestrial litter plays a key role in breaking down CPOM of terrestrial origin into FPOM that becomes distributed in the aquatic system (Cummins *et al.*, 1989; Graça and Canhoto, 2006).

The leaching of soluble compounds is generally rapid and may account for a substantial decrease in initial litter mass (Abelho, 2001; Graça, 2001; Bärlocher, 2005a). But on a global scale, one may expect considerable variation in leaching related to leaf species composition, climate (Gessner *et al.*, 1999), and a variety of other factors such as stream temperature, current and litter quality (Abelho, 2001). When leaves enter the streams, they are rapidly colonized by microorganisms (Graça, 2001) thus initiating the leaf conditioning process. In this process the microbial assemblages are important not only by enhance breakdown directly by macerating leaves, metabolizing the leaf tissue, and incorporating into secondary production, but also indirectly increasing the palatability of detritus to invertebrate shredders (Abelho, 2001). Shredders have been shown to feed preferentially on conditioned leaves (e.g. Graça, 2001). By feeding on leaves, shredders incorporate some nutrients in secondary production, accelerate leaf fragmentation, and produce abundant FPOM, which are ecologically important for populations of collectors inhabiting lower reaches of streams (Graça, 2001; Graça and Canhoto, 2006).

The abundant literature on leaf litter breakdown in temperate streams contrasts with the scarce information available from tropical streams (Abelho, 2001; Mathuriau and Chauvet, 2002; Graça and Canhoto, 2006). In a stream located in the southeast of Brazil we intended to evaluate the leaf mass loss through a manipulative experiment in which the variables analyzed were: (i) type of plant, by using two common riparian species, an invader herbaceous plant (*Picreus decumbens*) and a native arboreal plant (*Cabrlea canjerana*), (ii) importance of microorganisms colonization, by using leaves previously colonized and not, (iii) characteristics of the riparian vegetation, by conducting the experiment in a forested and a deforested stretch of the same stream, and (iv) time of the year, by investigating the leaf mass loss in a wet and a dry period. We hypothesized that different leaf species, conditioned or not, incubated in contrasting areas and periods of the

year with differences in temperature and rainfall can modify breakage time of the leaf litter imported to the stream.

MATERIAL AND METHODS

Study site

The study was carried out in the Ribeirão da Quinta (23°06'47"S, 48°29'46"W), located in the municipality of Itatinga, State of São Paulo, southeastern Brazil, at an elevation of 743m a.s.l. This is a third order stream, located on a cattle ranch, with the riparian vegetation partially preserved.

The study was conducted in two consecutive stretches of this stream. The stretch shaded by a well-preserved gallery forest was called “forested area” and the stretch located about 300m downstream the forested area, with the marginal vegetation composed only by herbaceous vegetation, was called “deforested area”. The composition of the marginal vegetation at the two areas was presented in Table I.

Experimental setup

Two types of freshly leaves were used in the experiment, *Cabralea canjerana* a common tree in the gallery forest area and *Pycneus decumbens* an herbaceous plant common in the deforested area. The amount of 5.00 ± 0.05 g of freshly collected leaves was enclosed into a mesh bag (20 x 15 cm, with 10 mm mesh opening). Forty (twenty of each plant) of these mesh bags were individually enclosed in another nylon bag (25 x 20 cm, with 0.25mm mesh opening) to prevent macroinvertebrates colonization and placed in the stream bottom for 14 days of conditioning (colonization by microorganisms), attained to fishing weights to keep the bags below the water column. After this conditioning period, the external nylon bag (0.25mm mesh openings) was carefully removed and the same amount of fresh leaf mesh bags (twenty unconditioned of each plant) was installed. This was considered the day 0 of the experiment (representing 14 days of immersion for half of the samples, called conditioned samples, and 0 day of immersion for the other half, called unconditioned samples).

Twenty replicates of each plant species, ten conditioned and ten unconditioned, were randomly removed after 3 and after 13 days of experiment. Each leaf pack sample

was placed into a plastic bag and transported to the laboratory in an icebox. The bags were then rinsed with distilled water and each leaf was carefully washed to remove the macroinvertebrates colonizers. The leaf material was dried at 70°C for 48h and then weighed.

The manipulative experiment was performed during the dry (June-July 2004) and wet (November-December 2004) seasons. The same experimental design was repeated in both areas and seasons. The water characteristics measured during the experimental period were: conductivity (OAKTON-TDSTestr3™), light incidence (PANLUX Electronic - GOSSSEN), current velocity and discharge (Leopoldo and Souza, 1979), pH and temperature (Horiba model D-14).

Leaf mass loss and data analysis

The initial leaf dry mass was obtained by linear regression of data from forty leaf samples of each plant species, *C. canjerana* ($R^2 = 0.9939$) and *P. decumbens* ($R^2 = 0.9943$) during the dry season and *C. canjerana* ($R^2 = 0.9934$) and *P. decumbens* ($R^2 = 0.9909$) during the wet season. The percentage of leaf dry mass remaining was computed by the difference between initial and final dry mass, multiplied by 100.

The percentage of leaf dry mass remaining was log-transformed and these data were submitted to an analysis of variance (One-Way ANOVA) to test differences between seasons, stream area, plant species and leaf treatment (conditioned and unconditioned; 3 and 13 days). The differences between slopes (comparison of leaf mass loss over time) were tested with an analysis of covariance (ANCOVA), followed by Tukey's test (Zar, 1999). The percentage of leaf dry mass remaining and the environmental parameters were analyzed by the Principal Component's analysis (PCA) to determine the relative importance of the environmental parameters in the leaf decomposition (Statistica 5.1, 1996).

RESULTS

Seasonal differences were observed for temperature, discharge and light incidence data, with high values measured during the wet season (Table II). Spatial differences were more characteristic for current velocity and light incidence (Table II). In the deforested

area the current velocity was twice higher than in the forested area. The light incidence was higher in the deforested than in the forested area, forty-eight times during the dry season and thirty times during the wet season.

The analysis of leaf mass loss (Figure 1) showed a pronounced difference between unconditioned and conditioned leaves for both plant species, with less dry mass remaining for the conditioned leaves. The variance analyses confirmed these differences and showed also a difference between plant species and over time (Table III). After 3 days, the dry mass loss was significantly different among plant species and leaf treatments (in general, higher for *P. decumbens* and for conditioned leaves), but not significant for areas and seasons. After 13 days all comparisons showed significant results, with more leaf mass loss for conditioned leaves of *P. decumbens* and at the wet season experiment. The leaf mass loss on the last experimental day of the wet season was significantly higher than that of the dry season (Figure 1).

The analysis of slope comparison (ANCOVA) showed significant difference for conditioned leaves of *P. decumbens* incubated in the forested area at both seasons (Table IV).

The analysis of the relative importance of the environmental parameters in the leaf decomposition showed that the two Principal Component axes explained a high percentage of data variance (76% of cumulative variance; Table V). The variables that showed significant positive contribution to the total variance of the first axis were water current, light incidence and experimental area. These variables determined the position of *P. decumbens*, with a high dry mass remaining in the deforested area with high current and light incidence (Figure 2). For the second axis, temperature and season showed positive significant contribution to the total variance (Table V), determining the position of *C. canjerana*, with a high dry mass remaining related to the dry season with low temperature (Figure 2).

DISCUSSION

The leaf mass loss of *P. decumbens* and *C. canjerana* was fast when compared to a wide variety of plant species studied by Petersen and Cummins (1974) in a temperate stream. The two studied plants reached about 50% of mass loss between 13 (for

unconditioned) and 17 (for conditioned) days of immersion, compared to 40 days observed by Petersen and Cummins (1974). Other works in tropical streams also showed fast leaf mass loss (Mathuriau and Chauvet, 2002; Dobson *et al.*, 2003; Abelho *et al.*, 2005; Gonçalves *et al.*, 2006) which are comparable with the highest breakdown rates found in the literature (e.g. Abelho, 2001; Bärlocher, 2005b). In addition, Gonçalves *et al.* (2006) noted that the leaf mass loss was faster in a deforested area with fast current velocity.

Our results showed an interaction of factors determining the leaf mass loss, which apparently is dependent on several factors, like plant species, season, water temperature, and current. The tree common in the gallery forest area, *Cabralea canjerana*, presented a leaf loss dry mass more influenced by the differences in temperature between the dry and wet seasons, with leaf loss higher during the wet season. Otherwise, for the herbaceous plant common in the deforested area, *Pycreus decumbens*, the leaf loss dry mass was more influenced by the differences in light incidence and current found when compared the forested and deforested areas, with leaf loss higher in the forested area.

The literature attributed the rapid breakdown to several other factors such as high activity of shredders (Petersen, 1984; Pearson and Tobin, 1989; Kobayashi and Kagaya, 2005; Tanaka *et al.*, 2006) or microbes (Dudgeon, 1989; Dudgeon and Wu, 1999; Gessner, 2001; Mathuriau and Chauvet, 2002; Dobson *et al.*, 2003; Abelho *et al.*, 2005), and variations in stream water chemistry (Díez *et al.*, 2002; Abelho and Graça, 2006); however, in most cases, the roles of these factors are inconclusive. Although all of these works used the same daily decay coefficient, there are a number of environmental different variables (Boulton and Boon, 1991) such as leaf species, climate, latitudes and, consequently, distinct physical and biological effects, which can determine different breakdown rates. To allow comparisons with other studies, it is important pay careful attention to the measurement of these variables during the course of the experiment and tries to assess their influence on decomposition rates (Boulton and Boon, 1991).

Nevertheless, as in the present study, it is difficult to determine which of these factors contribute to convert this coarse leaf-litter (CPOM) into fine particulate organic matter (FPOM), and when they may do so, probably because they act synergistically. According to Boulton and Boon (1991), the optimum sampling strategy is to collect packs frequently during the early stages of the study in a way to detect the rapid initial changes. This procedure was used in our work and showed important differences over time. In the beginning of the decomposition process the significant differences found on dry mass loss emphasized the differences between plant species and the effect of microorganisms

accelerating the process on the previously conditioned leaves. Later, the spatial and seasonal differences also played an important role in the decomposition process, through the differences on light incidence, water current and temperature found when compared the forested and deforested areas and the wet and dry seasons.

The leaf texture could have been the main factor that determined different initial mass loss. Similarly to Mathuriau and Chauvet (2002) we used two contrasting fresh-leaf species, one herbaceous with thin soft leaves (*P. decumbens*) and one arboreal with thick tough leaves (*C. canjerana*), with less dry mass remaining for soft leaves than for tough leaves for both works. Moreover, Mathuriau and Chauvet (2002) also observed rapid initial mass loss in leaves similar to the present work.

However, conditioned leaves lost about 20-40% more mass than unconditioned leaves, independent of species. It is highly probable that this high percentage of mass loss is partially related to the previous immersion of 14 days for microorganisms colonization added to the 3 days common to the unconditioned leaves, with leaching of soluble compounds and microbial degradation corresponding to the processes acting simultaneously during this initial leaf decomposition. Abelho *et al.* (2005) noted that dry leaves lost 19% of initial mass during the first 24 hours. The leaching of soluble compounds is generally rapid and may account for a substantial decrease in initial mass (Abelho, 2001; Bärlocher, 2005a).

Previous studies in tropical and temperate streams often used pre-dried instead of fresh leaves, which greatly enhances in leaching (e.g. Mathuriau and Chauvet, 2002), but this procedure complicates the comparison between fresh and dry leaves. The drying of leaves fractures membranes and alters the cuticle, rendering the leaf more susceptible to attack by microbes and invertebrates and also enhancing the loss of solute compounds (Boulton and Boon, 1991), and thus causing an overestimation of breakdown. A similar overestimation effect was observed in the present work where conditioned leaves lost much more mass than fresh leaves. But in natural conditions the colonization by microorganisms may start before the leaves reach the stream and probably accounts for a substantial decrease in initial mass (Abelho, 2001).

After two weeks of immersion the leaf mass loss was higher in the wet than in the dry season. The increase of water discharge during the wet season probably increased the leaching of the leaves and, consequently, played a strong effect on leaf structure disintegration. The effects of physical abrasion can also change temporally according to discharge fluctuations (Kobayashi and Kagaya, 2005). Consequently, the soft *P.*

decumbens leaves lost more mass than the tough *C. canjerana* leaves at this time of the year, despite an isolated case in the deforested area during the wet season when *C. canjerana* lost more mass than *P. decumbens*. It is probable that in this case the mass loss was overestimated since the force of water abrasion may have disintegrated entire leaves into some finer particulate fraction, difficult to measure (Boulton and Boon, 1991).

The current velocity can also have an indirect effect on the leaf mass loss, acting as a controlling agent of the biotic factors, like the remove of macroinvertebrate, that, in turn, are directly involved in the decomposition process. This effect was evidenced by the fact that the stream deforested area, where a high current velocity occurs, was the stretch that presented a significant leaf mass remaining (or less decomposition) of *P. decumbens*. The results also demonstrated for *C. canjerana* a negative correlation between percentage of dry mass remaining and temperature and, consequently, season. The increase of the temperature during the wet season optimized the decomposition process of this arboreal plant species.

The differences in the decomposition rates between tropical and temperate streams may be related to the velocity at which microbes colonize and decompose leaf material (Abelho *et al.*, 2005). Although the degradation by microbes and fragmentation by invertebrates are considered the main mechanisms determining the mass loss, in some systems invertebrates can be considered as unimportant in energy transference in detritus based systems, while in other cases they may be the key elements (Graça and Canhoto, 2006). According to Mathuriau and Chauvet (2002), the patterns in leaf litter breakdown at low latitude is characterized by low shredder involvement and high microbial processing.

Apparently, the fast leaf breakdown found in this study may have been caused by differences in leaf quality, related to the initial chemical composition and texture of the leaves, and by differences on physical environmental characteristics, which also can improve the action of microbes and invertebrates. In addition, the current velocity can be an important factor, acting directly through leaching of the leaves and indirectly by controlling microbial and invertebrate action. Future researches should aim to elucidate the dynamics of litterfall in natural conditions, as well as the periods of input, storage and transport.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Manuel A.S. Graça for critical comments on an earlier version of the manuscript. We are grateful to Fabio Vitta and Clemente J. Campos for identification of the plant species. The first author was funded by a scholarship from CNPq.

REFERENCES

- ABELHO, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a Review. *The Scientific World*, **1**:656-680.
- ABELHO, M.; CRESSA, C. and GRAÇA, M.A.S. 2005. Microbial biomass, respiration, and decomposition of *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae) leaves in a tropical stream. *Biotropica*, **37**:397-402.
- ABELHO, M. and GRAÇA, M.A.S. 2006. Effects of nutrient on decomposition and fungal colonization of sweet chestnut leaves in a Iberian stream (Central Portugal). *Hydrobiologia*, **560**:239-247.
- BÄRLOCHER, F. 2005a. Leaching. In: GRAÇA, M.A.S; BÄRLOCHER, F. and GESSNER, M.O. (Eds), *Methods to study litter decomposition. A practical guide*. Netherlands, Spring Publ., p. 33-36.
- BÄRLOCHER, F. 2005b. Leaf mass loss estimated by litter bag technique. In: GRAÇA, M.A.S; BÄRLOCHER, F. and GESSNER, M.O. (Eds), *Methods to study litter decomposition. A practical guide*. Netherlands, Spring Publ., p. 37-42.
- BOULTON, A.J. and BOON, P.I. 1991. A review of methodology used to measure leaf litter decomposition in lotic environments: time to turn over an old leaf? *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, **42**:1-43.
- CUMMINS, K.W.; WILZBACH, M.A.; GATES, D.M.; PERRY, J.B. and TALIAFERRO, W.B. 1989. Shredders and riparian vegetation. *Bioscience*, **39**:25-30.
- DÍEZ, J.; ELOSEGI, A.; CHAUVET, E. and POZO, J. 2002. Breakdown of wood in the Agüera stream. *Freshwater Biology*, **47**:2205-2215.
- DOBSON, M.; MATHOOKO, J.M.; NDEGWA, F.K. and M'ERIMBA, C. 2003. Leaf litter processing rates in a Kenyan highland stream, the Njoro River. *Hydrobiologia*, **519**:207-210.

- DUDGEON, D. 1989. The influence of riparian vegetation on the functional organization of four Hong Kong stream communities. *Hydrobiologia*, **179**:183-194.
- DUDGEON, D. and WU, K.K.Y. 1999. Leaf litter in a tropical stream: food or substrate for macroinvertebrates? *Archiv für Hydrobiologie*, **146**:65-82.
- GESSNER, M.O.; CHAUVET, E. and DOBSON, M. 1999. A perspective on leaf litter breakdown in stream. *Oikos*, **85**:377-384.
- GESSNER, M.O. 2001. Mass loss, fungal colonisation and nutrient dynamics of *Phragmites australis* leaves during senescence and early aerial decay. *Aquatic Botany*, **69**:325-339.
- GONÇALVES, J.F. JR.; FRANÇA, J.S.; MEDEIROS, A.O.; ROSA, C.A. and CALLISTO, M. 2006. Leaf breakdown in a tropical stream. *International Review of Hydrobiologia*, **91**:164-177.
- GRAÇA, M.A.S. 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in stream: a Review. *International Review of Hydrobiologia*, **86**:383-393.
- GRAÇA, M.A.S. and CANHOTO, C. 2006. Leaf litter processing in low order streams. *Limnetica*, **25**:1-10.
- KOBAYASHI, S. and KAGAYA, T. 2005. Hot spots of leaf breakdown within a headwater stream reach: comparing breakdown rates among litter patch types with different macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology*, **50**:921-929.
- LEOPOLDO, P.R. and SOUZA, A.P. 1979. *Hidrometria*. São Paulo, FCA, UNESP, 71 p.
- MATHURIAU, C. and CHAUVET, E. 2002. Breakdown of leaf litter in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*, **21**:384-396.
- PEARSON, R.G. and TOBIN, R.K. 1989. Litter consumption by invertebrates from an Australian tropical rainforest stream. *Archiv für Hydrobiologie*, **116**:71-80.
- PETERSEN, R.C. and CUMMINS, K.W. 1974. Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, **4**:343-368.
- PETERSEN, R.C. 1984 Detritus decomposition in endogenous and exogenous rivers of a tropical wetland. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische and Angewandte Limnologie*, **22**:1926-1931.
- STATISTICA 5.1 FOR WINDOWS. 1996. Computer Program Manual, OK 74104, USA.
- TANAKA, M.O.; RIBAS, A.C.A. and SOUZA, A.L.T. 2006. Macroinvertebrate succession during leaf litter breakdown in a perennial karstic river in Western Brazil. *Hydrobiologia*, **568**:493-498.
- ZAR, J.H., 1999. *Biostatistical analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 663 p.

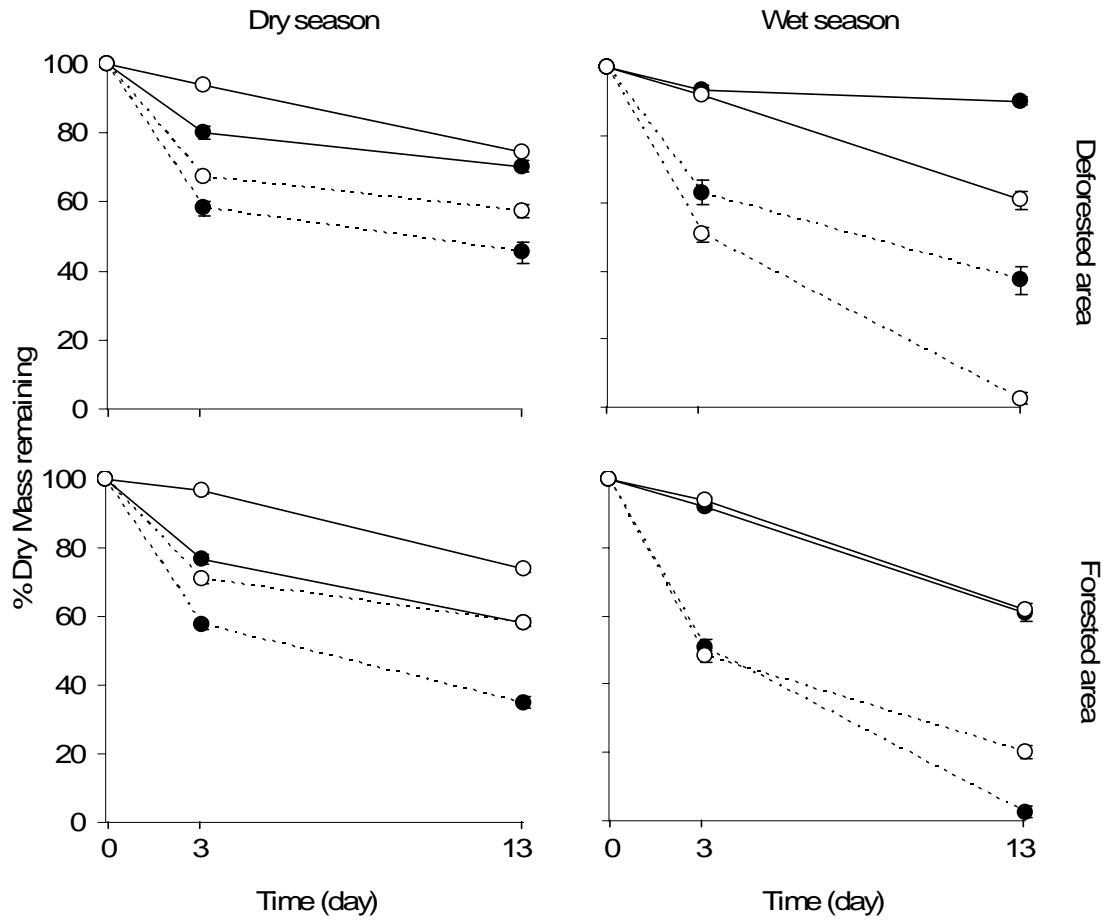


Figure 1. Breakdown of (○) *C. canjerana* and (●) *P. decumbens* leaves, (—) fresh and (...) conditioned, installed in deforested and forested areas during the dry and wet seasons.

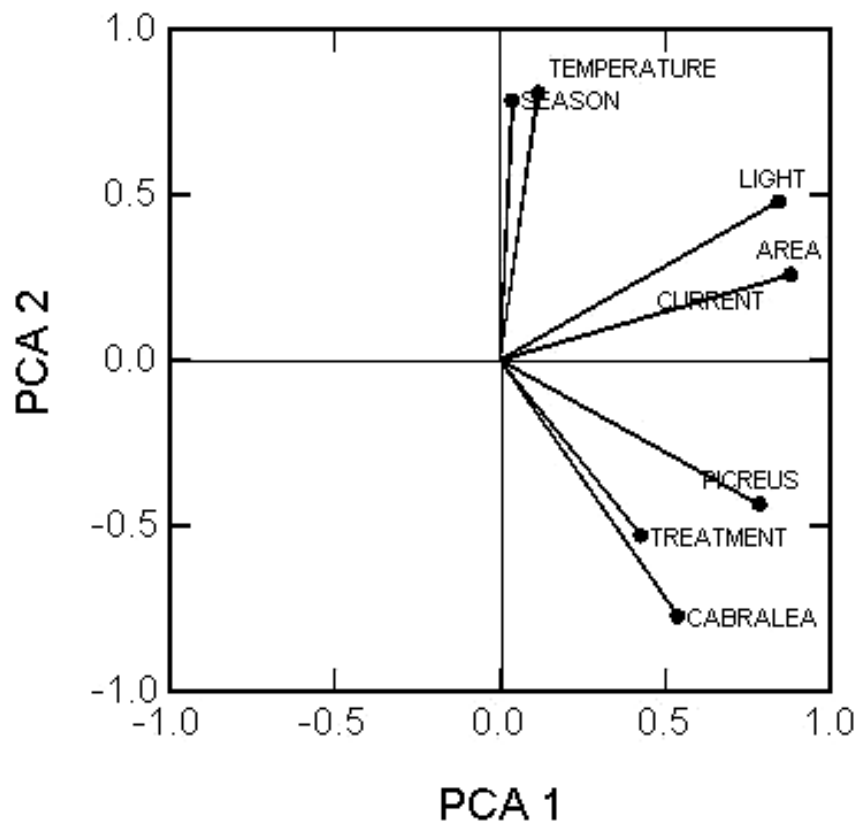


Figure 2. Diagram of PCA ordination axes 1 and 2, constructed with the values of dry mass (%) remaining of *Cabralea canjerana* (CABRALEA) and *Pycreus decumbens* (PICREUS) leaves incubated in deforested and forested areas (AREA), during wet and dry seasons (SEASON). The environmental variables also used in the analysis were temperature of water, light incidence and current velocity, measured during the experiment.

Table I. Composition of the marginal vegetation found in the two areas of the Ribeirão da Quinta.

Family	Species
Forested area	
Lauraceae	<i>Nectandra</i> sp.
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.
Mimosaceae	<i>Acacia</i> sp.
Mimosaceae	<i>Inga</i> sp.
Mimosaceae	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F. Macbr.
Monimiaceae	<i>Mollinedia</i> sp.
Rubiaceae	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum.
Rutaceae	<i>Esenbeckia febrifuga</i> (A. St.-Hil.) A. Juss. Ex Mart.
Liliaceae	<i>Smilax</i> sp.
Urticaceae	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich. Ex Wedd.
Deforested area	
Cyperaceae	<i>Pycnus decumbens</i> T. Koyama
Zingiberaceae	<i>Hedychium coronarium</i> J. König
Gramineae	<i>Panicum</i> sp.

Table II. Abiotic characteristics determined during the experimental study conducted in two areas of the Ribeirão da Quinta during the dry (June-July 2004) and wet (November-December 2004) seasons (mean of 4 measures \pm standard deviation).

Parameters	Dry season		Wet season	
	Deforested	Forested	Deforested	Forested
Temperature (°C)	17.5 \pm 1.2	16.9 \pm 1.5	22.0 \pm 0.3	21.7 \pm 0.3
pH	8.0 \pm 0.07	7.9 \pm 0.17	8.0 \pm 0.09	7.9 \pm 0.07
Conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	96 \pm 11	96 \pm 11	80 \pm 10	80 \pm 10
Current velocity ($\text{m}\cdot\text{cm}^{-1}$)	0.29 \pm 0.01	0.12 \pm 0.002	0.29 \pm 0.02	0.12 \pm 0.02
Discharge ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	0.17 \pm 0.02	0.18 \pm 0.01	0.19 \pm 0.02	0.20 \pm 0.03
Light incidence (Lux)	32244 \pm 27669	685 \pm 198	66000 \pm 7211	2213 \pm 1377

Table III. Results of the analysis of variance (One-way ANOVA) used to compare the leaf mass loss after 3 and 13 days of immersion.

Comparisons	3 rd day		13 th day	
	F	p	F	p
<i>P. decumbens</i> vs. <i>C. canjerana</i>	6.21	0.01	7.32	0.01
Conditioned vs. fresh leaves	88.70	<0.001	57.95	<0.001
Deforested vs. Forested areas	2.58	0.11	15.21	<0.001
Dry vs. wet seasons	0.27	0.60	16.59	<0.001

Table IV. The results of multiple comparisons (ANCOVA followed by Tukey HSD test) of the leaf mass loss of different leaf types at the two sites, analyzed during the dry and wet seasons.

ANCOVA	Dry season	Wet season
F	7.04	61.65
<i>p</i>	< 0.01	< 0.01
Tukey test		
<i>Pycreus decumbens</i>		
Fresh leaves - Deforested area	A	AB
Fresh leaves - Forested area	A	BC
Conditioned leaves - Deforested area	A	ABC
Conditioned leaves - Forested area	B	D
<i>Cabrlea canjerana</i>		
Fresh leaves - Deforested area	A	AB
Fresh leaves - Forested area	A	ABC
Conditioned leaves - Deforested area	A	BC
Conditioned leaves - Forested area	A	C

Table V. Results of the Principal Component analysis (PCA), with the variance values extracted for the two principal axes of PCA, used to determine the relative importance of environmental parameters in the leaf decomposition (leaf dry mass remaining data) of *P. decumbens* and *C. canjerana*. The correlation values in bold type were considered of significant contribution to the total variance. Categorical variables: Season = 1-Dry, 2-Wet; Area = 1-Forested, 2-Deforested; Treatment = 1-Fresh, 2-Conditioned.

Variables	PCA 1	PCA 2
<i>Pycreus decumbens</i>	0.785	-0.436
<i>Cabranea canjerana</i>	0.116	-0.774
Temperature	0.116	0.810
Current	0.879	0.260
Luminosity	0.843	0.480
Season	0.036	0.787
Area	0.879	0.260
Treatment	0.426	-0.530
% of variance	41.953	33.906
% of cumulative variance	41.953	75.859

CAPÍTULO III

COMPOSIÇÃO E ABUNDÂNCIA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COLONIZADORES DE PACOTES DE FOLHAS EM UM RIACHO TROPICAL

Trabalho a ser submetido à publicação na *Revista Brasileira de Zoologia*.

Composição e abundância de macroinvertebrados bentônicos colonizadores de pacotes de folhas em um riacho tropical

ABSTRACT

Composition and abundance of benthic macroinvertebrates colonizing leaf-bags in a tropical stream. The study of the composition and abundance of macroinvertebrates collected on leaf-bags submerged in a southeastern Brazilian stream aimed to verify differences between: seasons (dry and wet), stretches of the stream (forested and deforested areas), type of leaves (*C. canjerana* and *P. decumbens*) and quality of leaves (fresh and conditioned). Leaf-bags containing 5.00 ± 0.05 g of fresh or pre-conditioned leaves of each plant, were installed in the stream bottom in each area and season and removed after 13 days of colonization. A total of 17,716 specimens were collected, including mollusks, crustaceans and, predominantly, insects. The differences on the surrounded vegetation of the two areas defined a strong spatial variation in the abundance of macroinvertebrates, which was higher in the deforested area. Otherwise, a temporal variation on the total abundance was not so evident, although a temporal pattern was significant when analyzed the taxonomic groups separately, some taxa more abundant during the dry season and other during the wet season. Abundance differences in function of the type and quality of the leaves were more evident for the second treatment, with a significant preference for pre-conditioned leaves. The high abundance and diversity of macroinvertebrates in the leaf-bags reinforce the importance of the allochthonous matter input, that can be used as food or refuge against predators and environmental perturbations.

Key words: Allochthonous matter; Aquatic macroinvertebrates; Colonization; Lotic environment.

RESUMO

O estudo teve por objetivo verificar diferenças na composição e abundância dos macroinvertebrados coletados em pacotes de folhas submersas em um riacho do sudeste do Brasil quanto à: estação do ano (seca e chuvosa), trecho do riacho (margens com mata de galeria e com pastagem), tipo de folha (*C. canjerana* e *P. decumbens*) e estado das folhas (fresca e pré-condicionada). Pacotes contendo $5,00 \pm 0,05$ g de folhas frescas e de folhas previamente condicionadas, de cada tipo de planta, foram instalados no leito do riacho das duas áreas e duas estações e removidos após 13 dias de colonização. Um total de 17716 indivíduos foi coletado, compreendendo moluscos, crustáceos e, predominantemente, insetos. As diferenças no entorno das duas áreas do Ribeirão da Quinta amostradas constituíram um fator de forte influência sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados, com uma evidente variação espacial na abundância, maior na área de pastagem. Por outro lado, uma variação temporal não foi tão evidente quando analisados os valores de abundância total, apesar de ter sido significativo um padrão de sazonalidade quando analisados separadamente os grupos, com alguns mais abundantes na estação seca e outros na chuvosa. Diferenças na abundância em relação ao tipo e estado das folhas foram mais evidentes para o segundo tratamento, com uma preferência significativa por folhas previamente condicionadas. A grande abundância e diversidade de macroinvertebrados colonizando os pacotes de folhas reforçam a importância do aporte de material vegetal alóctone, o qual pode ser utilizado como alimento ou refúgio contra predadores e perturbações ambientais.

Palavras-chave: Ambientes lóticos; Colonização; Macroinvertebrados aquáticos; Material alóctone.

INTRODUÇÃO

Os macroinvertebrados compõem um grupo de grande importância ecológica em riachos, pois estes organismos têm um papel fundamental na trama alimentar destes ambientes, ou seja, são o elo entre os recursos basais (detritos e algas) e os peixes. Sua grande diversidade e ampla distribuição também são fatores que os levam a ter um papel central no estudo da ecologia de riachos (ALLAN 1995, GILLER & MALMQVIST 2004). Os grupos de macroinvertebrados dominantes em riachos são as formas juvenis de insetos, principalmente Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera e Diptera, este último representado pelas famílias Chironomidae e Simuliidae (GILLER & MALMQVIST 2004).

Muitos destes grupos estão associados com a superfície do fundo do canal, sendo assim denominados de fauna bentônica, ou coletivamente de macrozoobentos (HAUER & RESH 1996). Assim, a estrutura do substrato do riacho tem uma grande influência na distribuição dessa comunidade (CALLISTO *et al.* 2001). A distribuição destes organismos também é determinada por muitos outros fatores, os quais operam em diferentes escalas, dependendo das características de cada riacho (CRISCI-BISPO *et al.* 2007). ALLAN (1995) destaca a velocidade da correnteza e o substrato como sendo os fatores de maior importância na composição e distribuição da fauna de macroinvertebrados.

Muitos trabalhos têm investigado a influência do substrato rochoso sobre a estrutura da comunidade bentônica (ver ALLAN 1995). No entanto, os detritos de origem alóctone também compõem um importante item do substrato bentônico, com uma significativa correlação entre os macroinvertebrados de riacho e a matéria orgânica retida no canal (GRAÇA 2001). A estabilidade do substrato, além da presença de detritos orgânicos, tem sido relacionada com um aumento na riqueza e abundância de macroinvertebrados e considerado um dos fatores de maior influência sobre sua distribuição em riachos (ALLAN 1995). De um modo geral, os fatores ambientais interagem em sua ação sobre a biota, além de determinarem uma grande diversidade e complexidade estrutural no ambiente (ALLAN 1995, GILLER & MALMQVIST 2004).

Outro fator de grande influência na estruturação de ambientes lóticos é a presença de vegetação ripária (VANNOTE *et al.* 1980, GRAÇA 2001). O tipo de cobertura vegetal existente às margens do riacho irá determinar a natureza do material alóctone importado para o ambiente aquático, que por sua vez pode influenciar na estrutura da comunidade bentônica (GRAÇA 2001). Além de fornecerem energia para o ambiente aquático, os

detritos vegetais também podem atuar como cobertura para a fauna bentônica, ou seja, como proteção contra predação e perturbações ambientais (BOULTON & BOON 1991). RINCÓN (1999) destaca os materiais de origem alóctone como uma das principais estruturas do substrato bentônico que podem proporcionar cobertura para a comunidade aquática sob a forma de micro-áreas.

No presente trabalho, a comunidade de macroinvertebrados foi amostrada em pacotes de folha submersos em um riacho de 3ª ordem, com o objetivo de verificar se havia diferença na abundância e composição desta fauna em função: 1) da estação do ano (seca e chuvosa), 2) do tipo de entorno (margens com mata de galeria e com pastagem), 3) do tipo de planta (folha da planta arbórea *Cabrlea canjerana* e da planta herbácea *Picreus decumbens*) e 4) das condições da folha (folha senescente fresca e folha pré-condicionada após 14 dias).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O presente trabalho foi realizado no Ribeirão da Quinta, Município de Itatinga, Estado de São Paulo, nos períodos de 19 de junho a 15 de julho (estação seca) e de 16 de novembro a 12 de dezembro de 2004 (estação chuvosa). O trecho do Ribeirão da Quinta, selecionado para o estudo, é um trecho de 3ª ordem, localizado no Sítio Pedra Branca (23°06'47''S, 48°29'46''W), a 750 metros de altitude.

Duas áreas do riacho com aproximadamente 120 m² foram selecionadas para o trabalho. A primeira, denominada de “Área aberta”, apresenta vegetação herbácea nas margens, o que permite a incidência direta de radiação solar no riacho. Nesta área ocorre a predominância das plantas herbáceas *Picreus decumbens* T. Koyama (Cyperaceae), *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae) e *Panicum* sp. (Gramineae). A segunda área, denominada de “Área fechada”, está localizada a 300 metros rio acima, sendo totalmente sombreada por mata de galeria. Nas margens desta área são encontradas plantas arbóreas, como *Nectandra* sp. (Lauraceae), *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae), *Acacia* sp., *Inga* sp., *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. (Mimosaceae), *Mollinedia* sp. (Monimiaceae), *Coutarea hexandra* (Jacq.) K. Schum. (Rubiaceae),

Esenbeckia febrifuga (A. St.-Hil.) A. Juss. Ex Mart. (Rutaceae), a trepadeira *Smilax* sp. (Liliaceae) e a planta herbácea *Urera baccifera* (L.) Gaudich. Ex Wedd. (Urticaceae).

Modelo experimental

Tratamentos - Para o experimento foram utilizadas folhas de duas espécies de plantas, sendo uma herbácea representante da área aberta (*Picreus decumbens*) e outra arbórea representante da área fechada (*Cabrlea canjerana*). Dezesesseis tratamentos diferentes foram testados através das combinações de quatro variáveis: a) tipo de folha – folha de *P. decumbens* (herbácea) e de *C. canjerana* (arbórea); b) tipo de entorno – área aberta (sem sombreamento) e área fechada (sombreada por mata ciliar); c) estação do ano – estação seca (junho/julho) e estação chuvosa (novembro/dezembro); d) estado da folha – folhas verdes recém-colhidas e folhas pré-condicionadas por 14 dias.

Condicionamento das folhas – Para as duas espécies de plantas foram colhidas folhas verdes, sendo uma quantidade previamente pesada (aproximadamente cinco gramas) de cada tipo de folha envolta em tela plástica com malha de 10 mm, e esta, por sua vez, envolta em tela de zooplâncton (malha 250 µm). Estes pacotes (10 réplicas por tratamento) foram instalados no fundo do riacho, permanecendo submersos por 14 dias. Após este período, foi retirada a tela de zooplâncton e, no mesmo dia, foram instaladas mais 10 réplicas por tratamento de pacotes de folhas frescas envoltos somente por tela plástica com malha de 10 mm, correspondendo ao tratamento de folhas verdes recém-colhidas e sem nenhum pré-condicionamento. Este dia foi considerado como o 1º dia para contagem do tempo de colonização por macroinvertebrados. A utilização da tela externa de zooplâncton teve por objetivo a exclusão dos macroinvertebrados durante o período de condicionamento por microorganismos, enquanto a tela interna serviu para manter as folhas juntas, após a retirada da tela externa para análise do processo de colonização por macroinvertebrados em folhas pré-condicionadas e não condicionadas.

Colonização por macroinvertebrados - Para o experimento de colonização por macroinvertebrados foram utilizados os pacotes de folhas frescas e condicionadas. Os pacotes foram distribuídos aleatoriamente no leito do riacho, na área fechada e na área aberta, durante a estação seca e chuvosa, sendo retiradas 10 réplicas por tratamento no 13º dia de colonização. Para amostragem, os pacotes com folhas foram suspensos cuidadosamente, acondicionados em sacos plásticos e armazenados em caixa térmica com gelo para transporte. No laboratório as folhas foram cuidadosamente lavadas com água destilada e vistoriadas sob estereomicroscópio, sendo o material resultante despejado em

peneiras granulométricas (GRANUTEST) com malhas de 1,00; 0,50 e 0,25 mm para triagem dos macroinvertebrados. Os animais triados foram acondicionados em frascos com álcool 70% e posteriormente identificados (PENNAK 1978, LOPRETTO & TELL 1995, MERRITT & CUMMINS 1996, FERNÁNDEZ & DOMINGUEZ 2001, COSTA *et al.* 2004, OLIFIERS 2004, COSTA *et al.* 2006) até o nível de gênero, quando possível.

Análise dos dados

Os macroinvertebrados coletados foram mensurados quanto à abundância e riqueza, sendo a partir destes dados calculada a diversidade usando o índice de Shannon-Wiener (KENNEY & KREBS 2000).

Como pré-requisito na escolha dos testes adequados para análise dos dados foram aplicados os testes de normalidade (Shapiro-Wilks; $\alpha = 0.05$) e homocedasticidade (Levene; $\alpha = 0.05$; STATSOFT 1996). Para testar se a abundância de macroinvertebrados (total e dos principais grupos taxonômicos amostrados) diferia quando comparados os tratamentos (variação temporal, variação espacial, tipo e estado da folha), foi utilizada Análise de Variância (One-Way ANOVA) para os dados transformados em arcoseno (ZAR 1999).

Padrões na composição dos grupos taxonômicos quanto ao local de amostragem (área aberta e fechada), estação do ano (seca e chuvosa), espécie de folha (*C. canjerana* e *P. decumbens*) e estado da folha (fresca e condicionada) foram examinados usando a análise de Cluster (Ward's method) aplicada para os dados de abundância (STATSOFT 1996).

RESULTADOS

Um total de 17716 macroinvertebrados foi coletado, correspondendo a dois filos, três classes e 12 ordens, totalizando 34 grupos taxonômicos. O filo Arthropoda foi o mais representativo, composto por 10 ordens, sendo nove destas pertencentes à classe Insecta (Tab. I).

Apesar da estação chuvosa apresentar valores de abundância e de diversidade maiores do que na estação seca, não foi observada uma variação temporal significativa na abundância total de macroinvertebrados (Tabs. II, III e IV), sendo 54% de indivíduos

coletados na estação seca e 46% na estação chuvosa. Porém, um padrão temporal foi bem evidenciado pela análise de cluster (Fig. 1), com uma nítida diferenciação em dois grupos, um conjunto da estação seca e outro da estação chuvosa. A formação destes dois conjuntos pode ser comprovada também quando analisada a abundância dos 15 principais grupos taxonômicos por estação, com uma diferença temporal significativa em pelo menos 14 destes grupos (Tab. V), sendo seis mais abundantes na estação seca e nove na estação chuvosa.

Quanto à variação espacial, a Área aberta apresentou um percentual maior de indivíduos (59%) do que a Área fechada (41%), sendo esta diferença significativa (Tab. IV). A diferença entre as áreas quanto à abundância de macroinvertebrados foi reforçada pelo cálculo da diversidade, com valores mais elevados para a área aberta (Tabs. II, III e IV).

Considerando o total de macroinvertebrados separadamente por tipo de folha e estado da folha, observa-se diferença significativa somente para o segundo tratamento, com maior abundância nas folhas previamente condicionadas (Tab. IV). Porém, esta diferença no tratamento não foi observada nos valores do índice de diversidade, sem um padrão definido por tipo e estado da folha (Tabs. II, III e IV).

Quando analisada a abundância destes grupos em cada estação em relação aos demais tratamentos (Tab. VI), observou-se para a estação seca diferença espacial significativa em nove grupos, com sete mais abundantes na Área aberta; diferença significativa entre os tipos de folhas em somente quatro grupos, com dois grupos mais abundantes na folha arbórea e dois na folha herbácea; diferença significativa entre o estado da folha em somente três grupos, sendo todos mais abundantes na folha condicionada. Para a estação chuvosa o padrão de resposta aos tratamentos foi semelhante, com diferença espacial significativa em 12 grupos, sendo sete mais abundantes na Área aberta; diferença significativa entre tipos de folhas em somente um grupo mais abundante na folha arbórea; diferença significativa entre estado da folha em somente cinco grupos, todos mais abundantes na folha condicionada (Tab. VI).

DISCUSSÃO

Dos diversos grupos taxonômicos que compõem a comunidade de macroinvertebrados de riacho, nenhum tem sido mais estudado que os insetos aquáticos (ALLAN 1995, HAUER & RESH 1996, GILLER & MALMQVIST 2004). De acordo com estes autores, os insetos aquáticos não são somente diversos na taxonomia e função, mas também são, freqüentemente, os organismos mais coletados em amostras bentônicas de riacho. Sua elevada representatividade também foi verificada no presente trabalho, onde 95% dos macroinvertebrados coletados em pacotes de folha submersos no Ribeirão da Quinta pertenciam à classe Insecta.

A principal função do leito do riacho é proporcionar cobertura sob a forma de micro-áreas, sendo o substrato rochoso do leito, a vegetação aquática e os materiais de origem alóctone destacados como importantes estruturas que podem proporcionar cobertura a uma fauna aquática bastante diversificada (RINCÓN 1999). No riacho aqui estudado foi mensurado um grande aporte anual de folhas de origem alóctone no leito do canal (E. M. CARVALHO & V. S. UIEDA, dados não publicados), tendo sido já verificado, em trabalhos experimentais desenvolvidos nas mesmas áreas, a presença de uma grande diversidade de invertebrados associados a pacotes de folha (E. M. CARVALHO, V. S. UIEDA & R. L. MOTTA, dados não publicados). Além disso, a comunidade amostrada foi semelhante à verificada em outros experimentos de colonização realizados no mesmo riacho, porém analisando a fauna associada a substrato rochoso (CARVALHO & UIEDA 2004, RIBEIRO & UIEDA 2005, CARVALHO & UIEDA 2006). Estes dados salientam a importância não somente das rochas, mas também do material alóctone sobre elas depositado como cobertura para uma fauna diversificada de macroinvertebrados, como também observado por CRISCI-BISPO *et al.* (2007), trabalhando em um riacho no Sudeste do Brasil.

O substrato bentônico de ambientes lóticos é povoado por vários grupos de invertebrados, que estão expostos a forças do fluxo da água, onde muitos indivíduos, móveis ou sedentários, são deslocados durante períodos de grande descarga (GILLER & MALMQVIST 2004). Diversos trabalhos analisando a composição de invertebrados bentônicos de riachos brasileiros têm demonstrado a existência de um padrão sazonal na estrutura desta comunidade, com tendência a um maior número de indivíduos durante o período de maior estiagem (UIEDA & GAJARDO 1996, OLIVEIRA & FROELICH 1997A, BISPO & OLIVEIRA 1998, KIKUCHI & UIEDA 1998, RIBEIRO & UIEDA 2005, BISPO *et al.*

2006), enquanto outros não observaram diferença sazonal significativa (CALLISTO *et al.* 2001, MELO & FROEHLICH 2001). No presente trabalho, apesar da abundância total não ter apresentado uma variação sazonal significativa, os dados mostram a existência de um padrão de sazonalidade, seja na análise da comunidade como um todo, com a formação de dois grupos na análise de cluster, seja na análise de variância por grupo taxonômico, com alguns grupos mais abundantes na estação seca e outros na chuvosa.

Segundo ALLAN (1995), variações ambientais, se suficientemente extremas, podem evitar que interações bióticas atuem com força e regularidade suficientes para estabelecer padrões consistentes na estrutura das comunidades. Entretanto, os eventos decorrentes do aumento do fluxo da água durante a estação chuvosa podem alterar a disponibilidade de microhabitats que normalmente funcionam como refúgio para a fauna local (BISPO *et al.* 2006). Porém, no presente trabalho, as condições artificiais dos pacotes de folha presos ao fundo do canal podem ter facilitado a permanência dos macroinvertebrados mesmo durante a estação chuvosa, quando ocorre grande arraste do substrato devido ao aumento do fluxo da água. Na estação chuvosa, período de maior ocorrência destas perturbações, os macroinvertebrados procuram por novos habitats capazes de oferecer proteção contra predadores e correnteza criando, dessa forma, áreas com super-populações, enquanto que na estação seca estes organismos são uniformemente distribuídos entre os habitats disponíveis (CALLISTO *et al.* 2001).

Os processos de colonização por macroinvertebrados podem estar fortemente relacionados aos efeitos abióticos, como a intensidade dos distúrbios hídricos, mas também dependem dos efeitos bióticos, como as características do animal (RIBEIRO 2007). Nesse sentido, a comunidade analisada apresentou um conjunto de espécies que provavelmente levaram vantagem na colonização sob um efeito ambiental forte (período chuvoso) e outro conjunto, sob um efeito maior de interações bióticas (período seco). Este padrão sazonal pode não ter sido suficiente para determinar uma diferença significativa na abundância total, mas deixou bem nítidas as diferenças entre os grupos nas adaptações a condições físicas e bióticas variadas.

A maior abundância de larvas de Chironomidae durante a estação seca provavelmente está relacionada com os menores valores de diversidade nesta estação, quando houve uma grande dominância deste grupo quando comparado à estação chuvosa. A alta diversidade de macroinvertebrados observada na estação chuvosa, em todos os tratamentos analisados, pode ter sido influenciada por um forte efeito ambiental. Neste

período, o aumento na pluviosidade pode levar à homogeneização dos substratos e aumentar a chance de ocorrência de espécies raras na ausência de grupos dominantes.

Grande parte das variações na abundância da fauna aquática é determinada não somente por aspectos climáticos regionais, mas também por sua interação com características do riacho, tais como estabilidade do substrato, velocidade da correnteza e cobertura vegetal (BISPO *et al.* 2006). As diferenças no entorno das duas áreas do Ribeirão da Quinta amostradas constituíram um fator de forte influência sobre a estrutura da comunidade de macroinvertebrados, com uma evidente variação espacial na abundância. Na Área aberta, onde foi observada maior abundância e maior diversidade de macroinvertebrados, é provável que a comunidade local seja beneficiada pelo grande aporte por drift de material alóctone transportado do trecho acima (E. M. CARVALHO & V. S. UIEDA, dados não publicados), cercado por mata de galeria. Além disso, com a incidência solar direta, em decorrência da retirada da mata de galeria, é esperado um aumento na produtividade primária, com um aumento na oferta de material autóctone. BENSTEAD & PRINGLE (2004) observaram que algumas espécies de Ephemeroptera com hábito alimentar coletor eram favorecidas pelo aumento da produção primária em um riacho afetado pela ausência de mata de galeria. Além disso, estes autores também observaram que muitos insetos de áreas com mata dependiam dos recursos alimentares de origem alóctone, sendo sua ocorrência prejudicada em riachos sem cobertura ripária. No presente trabalho, o tricóptero tipicamente fragmentador *Phylloicus* (segundo OLIVEIRA *et al.* 1999, OLIVEIRA & FROELICH 1997b) ocorreu principalmente na área com mata de galeria, o que pode estar relacionado à sua dependência de folhas senescentes, tanto para alimentação como para a construção de sua casa protetora. Os poucos indivíduos de *Phylloicus* encontrados nos trechos rio abaixo provavelmente foram acidentalmente arrastados pela correnteza. Estes especialistas de material alóctone são frequentemente micro-endêmicos e particularmente vulneráveis à alteração da cobertura florestal (BENSTEAD & PRINGLE 2004).

Alguns autores têm demonstrado em experimentos de laboratório existir uma preferência alimentar dos invertebrados aquáticos por determinados tipos de folha (ver revisão em GRAÇA 2001). Por outro lado, outros estudos têm observado uma grande plasticidade alimentar de organismos classificados tipicamente como fragmentadores especialistas (ver CARVALHO & GRAÇA 2006). As folhas podem fornecer não somente alimento na forma de material particulado grosseiro (CPOM), mas também um local para o desenvolvimento de uma densa matriz perifítica, deposição de material particulado fino

(FPOM), refúgio contra predadores e proteção contra perturbações ambientais (BOULTON & BOON 1991, KIKUCHI & UIEDA 1998, CALLISTO *et al.* 2001). Para a fauna aqui estudada, os poucos grupos taxonômicos que apresentaram diferença significativa no número de indivíduos que colonizaram as folhas arbóreas ou herbáceas estiveram proporcionalmente distribuídos entre elas, porém a maioria com uma nítida preferência por folhas previamente condicionadas. Estudos realizados com base na dieta de macroinvertebrados bentônicos também têm demonstrado nítida preferência por folhas condicionadas (ver revisão em GRAÇA 2001). O biofilme, composto por fungos, bactérias, algas e matéria orgânica, que se forma sobre as folhas pré-condicionadas, além de torná-las mais palatáveis para os grupos de invertebrados fragmentadores (ABELHO 2001, GRAÇA 2001), pode ser uma fonte alimentar direta para outros grupos tróficos de invertebrados (BOULTON & BOON 1991).

Concluindo, os grupos de macroinvertebrados amostrados no Ribeirão da Quinta apresentaram uma nítida variação espacial na abundância, com maior ocorrência na área sem mata de galeria para a maioria dos grupos. Por outro lado, a variação temporal não foi tão evidente quando analisados os valores de abundância total, apesar de ter sido significativo um padrão de sazonalidade quando analisados separadamente os grupos. A grande abundância e diversidade de macroinvertebrados colonizando os pacotes de folhas, principalmente as folhas condicionadas, reforçam a importância do aporte de material vegetal alóctone, o qual pode ser utilizado como alimento ou refúgio contra predadores e perturbações ambientais.

AGRADECIMENTOS

A Fabio Vitta (Instituto de Botânica, São Paulo) e Clemente J. Campos (UNESP, IBB) pela identificação das plantas, a Michéle O.D.A. Corrêa e Hamilton A. Rodrigues pelo auxílio nos trabalhos de campo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELHO, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a Review. **The Scientific World 1**:656-680.
- ALLAN, J.D. 1995. **Stream ecology**: structure and function of running waters. London, Chapman & Hall, XI+388p.
- BENSTEAD, J.P. & C.M. PRINGLE. 2004. Deforestation alters the resource base and biomass of endemic stream insects in eastern Madagascar. **Freshwater Biology 49**: 490-501.
- BISPO, P.C. & L.G. OLIVEIRA. 1998. Distribuição espacial de insetos aquáticos (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos de cerrado do Parque Ecológico de Goiânia, Estado de Goiás, p. 175-189. *In*: J.L. Nessimian & A.L. Carvalho (Eds), *Ecologia de insetos aquáticos. Series Oecologia Brasiliensis, vol. V*. Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ, XVII+310p.
- BISPO, P.C.; L.G. OLIVEIRA; L.M. BINI & K.G. SOUZA. 2006. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. **Brazilian Journal of Biology 66**: 611-622
- BOULTON, A.J. & P.I. BOON. 1991. A review of methodology used to measure leaf litter decomposition in lotic environments: time to turn over an old leaf? **Australian Journal of Marine Freshwater Resource 42**: 1-43.
- CALLISTO, M.; P. MORENO & F.A.R. BARBOSA. 2001. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, southeast Brasil. **Revista Brasileira de Biologia 61**: 259-266.
- CARVALHO, E.M. & V.S. UIEDA. 2004. Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia 21**: 287-293.
- CARVALHO, E.M. & V.S. UIEDA. 2006. Colonization routes of benthic macroinvertebrates in a stream in southeast Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensis 18**: 367-376.
- CARVALHO, E.M. & M.A.S. GRAÇA. 2007. A laboratory study on feeding plasticity of the shredder *Sericostoma vittatum* Rambur (Sericostomatidae). **Hydrobiologia 575**: 353-359

- COSTA, J. M.; L.O.I. SOUZA DE & B.B. OLDRINI. 2004. Chave para identificação das famílias e gêneros das larvas conhecidas de Odonata do Brasil: comentários e registros bibliográficos (Insecta, Odonata). **Publicações Avulsas do Museu Nacional** **99**: 1-44.
- COSTA, C.; S. IDE & C.E. SIMONKA (Ed.). 2006. **Insetos imaturos**: metamorfose e identificação. Ribeirão Preto, Holos, 249p.
- CRISCI-BISPO, V.L.; P.C. BISPO & C.G. FROELICH. 2007. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages in litter in a mountain stream of the Atlantic Rainforest from Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia** **24**: 545-551.
- FERNÁNDEZ, H.R. & E. DOMÍNGUEZ. 2001. **Guia para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos**. Argentina, Editorial Universitaria de Tucumán, 282p.
- GILLER, P.S. & B. MALMQVIST. 2004. **The biology of streams and rivers**. New York, Oxford University Press, VI+296p.
- GRAÇA, M.A.S. 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. **International Review of Hydrobiology** **86**: 383-93.
- HAUER, F.R. & V.H. RESH. 1996. Benthic macroinvertebrates, p. 339-369. *In*: F.R. Hauer & G.A. Lamberti (Eds). **Methods in Stream ecology**. San Diego, Academic Press, XVII + 674p.
- KENNEY, A.J. & C.J. KREBS. 2000. **Programs for ecological methodology**: version 5.2. 2nd ed. Vancouver, University of British Columbia.
- KIKUCHI, R.M. & V.S. UIEDA. 1998. Composição da comunidade de invertebrados de um ambiente lótico tropical e sua variação espacial e temporal, p. 157-173. *In*: J.L. Nessimian & A.L. Carvalho (Eds), **Ecologia de insetos aquáticos. Series Oecologia Brasiliensis, vol. V**. Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ, XVII+310p.
- LOPRETO, E.C. & G. TELL. 1995. **Ecosistema de aguas continentales**: metodologia para su estudio. Argentina, Ed. Sur., Tomo III: 897-1397.
- MELO, A.S. & C.G. FROELICH. 2001. Macroinvertebrates in neotropical streams: richness patterns along a catchment and assemblage structure between 2 seasons. **Journal of the North American Benthological Society** **20**: 1-16.
- MERRITT, R.W. & K.W. CUMMINS. 1996. **An introduction to the aquatic insects of North America**. Dubuque, Kendall/ Hunt, XIII+722p.
- OLIFIERS, M. H.; DORVILLÉ, L. F. M.; NESSIMIAN J. L. & HAMADA, N., 2004. A key to Brazilian genera of Plecoptera (Insecta) based on nymphs. **Zootaxa** **651**: 1-15.

- OLIVEIRA, L.G. & C.G. FROELICH. 1997a. Diversity and community structure of aquatic insects (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) in a mountain stream in southeastern Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia 9**: 139-148.
- OLIVEIRA, L.G. & C.G. FROELICH. 1997b. The Trichoptera (Insecta) fauna of a “cerrado” stream in Southeastern Brasil. **Naturalia 22**: 183-127.
- OLIVEIRA, L.G.; P.C. BISPO; V.L. CRISCI & K.G. SOUZA 1999. Distribuições de categorias funcionais alimentares de larvas de Trichoptera (Insecta) em uma região serrana do Brasil Central. **Acta Limnologica Brasiliensia 11**: 173-183.
- PENNAK, R.W. 1978. **Fresh-water invertebrates of the United States**. New York, Wiley-Interscience, XV+803p.
- RIBEIRO, O.L. & V.S. UIEDA. 2005. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia 22**: 613-618.
- RIBEIRO, L.O. 2007. **Resistência e resiliência de macroinvertebrados frente a perturbações físicas em um riacho**. 71p. Tese (Doutorado em Zoologia) – Instituto de Biociências, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo.
- RINCÓN, P.A. 1999. Uso do micro-habitat em peixes de riacho: métodos e perspectivas, p. 23-90. *In*: E.P. Caramaschi; R. Mazzoni & P.R. Peres (Eds), *Ecologia de peixes de riacho*. **Series Oecologia Brasiliensis, vol. VI**. Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ, XVII+260p.
- STATSOFT. 1996. **Statistica 5.1 for Windows**. Tulsa, Computer Program Manual, OK 74104, USA.
- UIEDA, V.S. & I.C.S.M. GAJARDO, 1996. Macroinvertebrados perifíticos encontrados em poções e corredeiras de um riacho. **Naturalia 21**: 31-47.
- VANNOTE, R.L.; G.W. MINSHAL; K.W. CUMMINS; J.R. SEDELL & C.E. CUSHING. 1980. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37**: 130-7.
- ZAR, J.H. 1999. **Biostatistical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, XII+663.

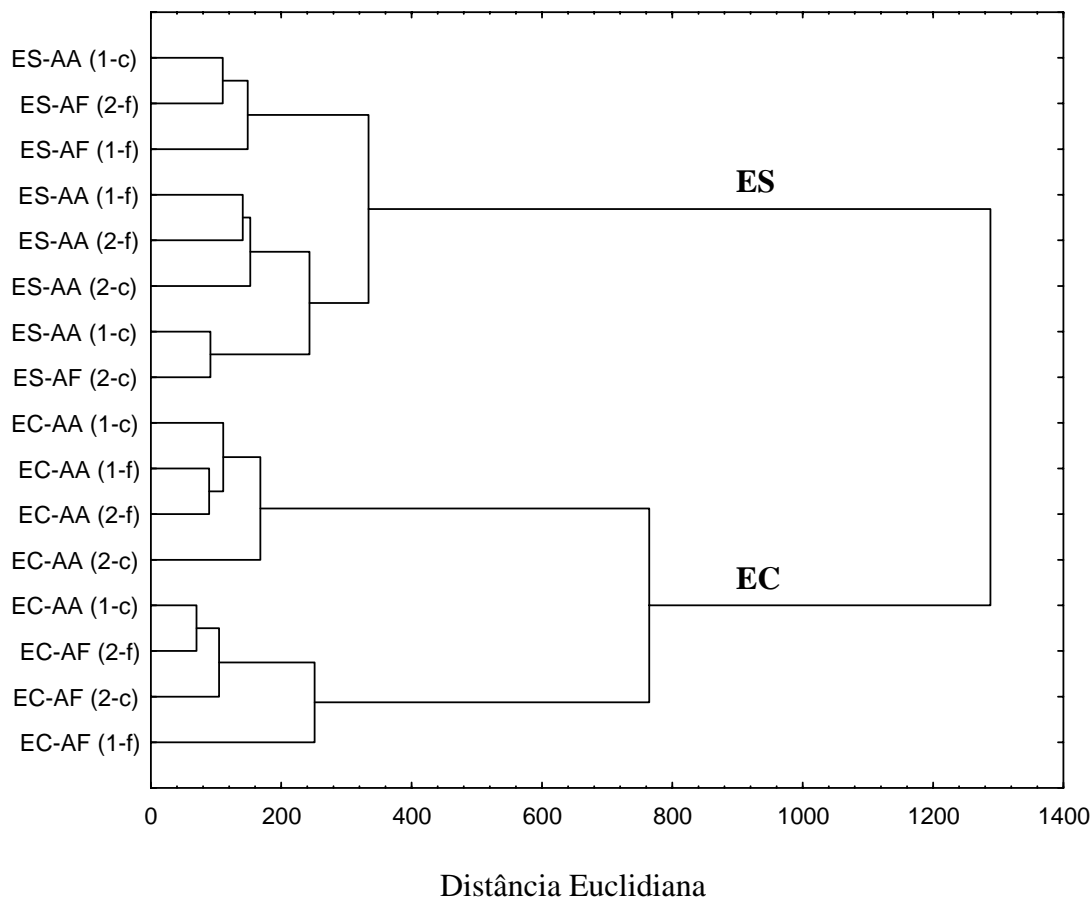


Figura 1. Dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento (Cluster Analysis) aplicada para os dados de abundância dos grupos taxonômicos amostrados no experimento de colonização, com os grupos separados por estação do ano (ES – seca, EC – chuvosa), por área (AA – aberta, AF – fechada), por tipo de planta (1 - *Cabralea canjerana*, 2 - *Picreus decumbens*) e por tipo de condição da folha (f – fresca, c – condicionada).

Tabela I. Macroinvertebrados coletados em pacotes de folhas submersos no Ribeirão da Quinta durante a estação seca (junho a julho/2004) e chuvosa (novembro a dezembro/2004). *estádios iniciais, sem possibilidade de identificação ao nível de gênero.

<p>MOLLUSCA - GASTROPODA Ancyliidae Lymnaeidae</p> <p>ARTHROPODA - CRUSTACEA Decapoda Aeglidae (<i>Aegla castro</i> Schmidt, 1942)</p> <p>ARTHROPODA - INSECTA Coleoptera Elmidae <i>Heterelmis</i> Gyrinidae</p> <p>Diptera Chironomidae Empididae Simuliidae (<i>Simulium lutzianum</i> Pinto, 1932)</p> <p>Ephemeroptera Baetidae <i>Americabaetis</i> <i>Baetodes</i> <i>Cloeodes</i> <i>Camelobaetidius</i> Caenidae <i>Caenis</i> Leptohyphidae <i>Traverhyphes</i> <i>Tricorythopsis</i> Leptophlebiidae <i>Farrodes</i> <i>Meridialaris</i> Ephemeroptera *</p> <p>Hemiptera Pleidae <i>Neoplea</i></p>	<p>ARTHROPODA - INSECTA Lepidoptera Pyralidae Nymphulinae</p> <p>Megaloptera Corydalidae Corydalinae</p> <p>Odonata Calopterygidae <i>Hetaerina</i> Megapodagrionidae <i>Heteragrion</i></p> <p>Plecoptera Gripopterygidae <i>Gripopteryx</i> <i>Tupiperla</i> Perlidae <i>Anacroneuria</i></p> <p>Trichoptera Calamoceratidae <i>Phylloicus</i> Glossosomatidae <i>Protoptila</i> Hydropsychidae <i>Smicridea</i> Hydroptilidae <i>Neotrichia</i> <i>Ochrotrichia</i> <i>Hydroptila</i> Leptoceridae <i>Nectopsyche</i> Trichoptera *</p>
--	---

Tabela II. Abundância dos grupos de macroinvertebrados amostrados no experimento de colonização utilizando pacotes de folhas de *Picreus decumbens* e de *Cabranea canjerana*, frescas (F) e condicionadas (C), imersos por 13 dias na Área aberta e na Área fechada do Ribeirão da Quinta, durante a estação seca. M-Mollusca, C-Coleoptera, D-Diptera, E-Ephemeroptera, H-Hemiptera, Me-Megaloptera, O-Odonata, P-Plecoptera, T-Trichoptera, *juvenis não identificados ao nível de gênero.

ESTAÇÃO SECA	Área aberta				Área fechada			
	Picreus		Cabranea		Picreus		Cabranea	
	F	C	F	C	F	C	F	C
M-Ancylidae	12	15	14	14	7	15	21	21
C- <i>Heterelmis</i>	51	71	11	34	20	23	7	10
C-Gyrinidae	-	-	-	1	-	1	-	-
D-Chironomidae	438	929	411	1090	241	674	304	1020
D-Empididae	5	6	-	2	1	2	-	-
D-Simuliidae	46	108	49	155	2	22	4	269
E- <i>Americabaetis</i>	72	198	129	249	6	27	18	40
E- <i>Baetodes</i>	40	72	47	99	-	-	-	6
E- <i>Cloeodes</i>	-	-	-	-	-	4	-	1
E- <i>Traverhyphes</i>	145	288	27	86	131	259	103	192
E- <i>Farrodes</i>	38	83	36	76	19	49	66	105
E- <i>Meridialaris</i>	-	1	1	1	-	-	-	-
Ephemeroptera *	-	46	8	34	0	59	4	39
H- <i>Neoplea</i>	-	-	-	-	4	8	3	3
Me-Corydalinae	-	-	-	1	-	-	-	-
O- <i>Hetaerina</i>	3	6	1	2	1	2	3	4
P- <i>Gripopteryx</i>	-	2	-	-	-	-	-	-
P- <i>Tupiperla</i>	1	1	-	-	3	7	-	1
P- <i>Anacroneuria</i>	5	9	9	11	1	1	3	6
T- <i>Phylloicus</i>	-	-	1	1	-	1	4	5
T- <i>Protoptila</i>	2	3	-	1	-	-	-	-
T- <i>Smicridea</i>	29	44	18	32	-	-	-	1
T- <i>Neotrichia</i>	8	15	2	7	15	67	44	106
T- <i>Ochrotrichia</i>	1	3	6	7	-	-	-	-
T- <i>Hydroptila</i>	13	18	4	5	-	-	-	-
T- <i>Nectopsyche</i>	1	1	-	-	-	-	-	-
Trichoptera *	-	1	2	7	-	4	-	2
Abundância total	910	1920	776	1915	451	1225	584	1831
Diversidade	2,61	2,62	2,42	2,31	1,93	2,18	2,24	2,19

Tabela III. Abundância dos grupos de macroinvertebrados amostrados no experimento de colonização utilizando pacotes de folhas de *Picreus decumbens* e de *Cabranea canjerana*, frescas (F) e condicionadas (C), imersos por 13 dias na Área aberta e na Área fechada do Ribeirão da Quinta, durante a estação chuvosa. M-Mollusca, Cr-Crustacea, C-Coleoptera, D-Diptera, E-Ephemeroptera, H-Hemiptera, L-Lepidoptera, O-Odonata, P-Plecoptera, T-Trichoptera, *juvenis não identificados ao nível de gênero.

ESTAÇÃO CHUVOSA	Área aberta				Área fechada			
	Picreus		Cabranea		Picreus		Cabranea	
	F	C	F	C	F	C	F	C
M-Ancylidae	33	41	31	36	113	152	156	166
M-Lymnaeidae	3	8	5	11	10	11	12	12
Cr-Aeglididae	1	1	-	1	2	4	1	2
C- <i>Heterelmis</i>	32	40	16	28	74	100	60	69
C-Gyrinidae	-	1	-	-	3	5	2	2
D-Chironomidae	128	347	194	450	86	219	147	335
D-Empididae	14	21	30	41	-	-	-	-
D-Simuliidae	1	10	-	-	-	-	-	-
E- <i>Americabaetis</i>	73	164	97	146	3	6	1	1
E- <i>Baetodes</i>	-	-	-	1	-	-	-	-
E- <i>Camelobaetidius</i>	-	1	-	-	-	-	-	-
E- <i>Caenis</i>	1	1	-	-	2	2	-	1
E- <i>Traverhypes</i>	101	145	37	91	116	214	95	142
E- <i>Tricorythopsis</i>	2	7	3	6	-	-	1	1
E- <i>Farrodes</i>	30	40	17	23	33	64	35	47
Ephemeroptera *	58	64	6	12	99	132	59	72
H- <i>Neoplea</i>	-	-	-	-	-	1	1	2
L-Nymphulinae	-	1	-	-	-	-	-	-
O- <i>Hetaerina</i>	2	3	1	2	1	3	-	1
O- <i>Heteragrion</i>	-	-	-	-	-	1	4	6
P- <i>Anacroneuria</i>	21	26	5	7	-	-	-	1
T- <i>Phylloicus</i>	2	5	-	-	21	62	32	47
T- <i>Protoptila</i>	10	11	4	4	-	-	-	-
T- <i>Smicridea</i>	145	214	102	146	1	3	-	4
T- <i>Neotrichia</i>	2	6	1	2	35	61	23	45
T- <i>Ochrotrichia</i>	33	54	57	77	0	1	-	-
T- <i>Hydroptila</i>	144	192	148	205	1	1	-	1
T- <i>Nectopsyche</i>	1	2	-	-	1	4	-	-
Trichoptera *	172	181	108	111	1	3	-	-
Abundância total	1009	1586	862	1410	602	1049	629	957
Diversidade	3,49	3,48	3,25	3,06	3,06	3,11	2,91	2,84

Tabela IV. Resultados da análise de variância (One-way ANOVA) usada para comparar a abundância total de macroinvertebrados entre as estações (ES- seca e EC- chuvosa), áreas (Aa- aberta e Af- fechada), tipo de folha (Arb- arbórea e Herb- herbácea) e estado foliar (Ff- fresca e Fc- pré-condicionada) e valores do Índice de diversidade (H') calculado para cada uma das variáveis analisadas.

Variáveis	F _{1,158}	<i>p</i>	H'	
Estação	1,16	0,28	ES = 2,513	EC = 3,631
Área	43,10	<0,001	Aa = 3,600	Af = 3,154
Tipo de folha	0,12	0,73	Arb = 3,710	Herb = 3,430
Estado da folha	5,32	0,02	Ff = 3,782	Fc = 3,488

Tabela V. Resultados da análise de variância (One-way ANOVA) usada para comparar a abundância dos 15 grupos taxonômicos mais representativos entre as estações seca (ES) e chuvosa (EC). *juvenis não identificados ao nível de gênero. S - Valor significativo em $\alpha=0,05$

Grupos taxonômicos	ES	EC	F_{1,158}	p
Gastropoda-Ancylidae	119	728	31.41	S
Coleoptera-Elmidae - <i>Heterelmis</i>	227	419	8.10	S
Diptera-Chironomidae	5107	1906	53.80	S
Diptera-Empididae	16	106	28.81	S
Diptera-Simuliidae	655	11	17.13	S
Ephemeroptera-Baetidae - <i>Americabaetis</i>	739	491	3.33	0.07
Ephemeroptera-Leptohyphidae - <i>Traverhyphes</i>	1231	941	9.64	S
Ephemeroptera-Leptophlebiidae - <i>Farrodes</i>	472	289	38.68	S
Ephemeroptera*	190	502	15.15	S
Trichoptera-Calamoceratidae - <i>Phylloicus</i>	12	169	19.09	S
Trichoptera-Hydropsychidae - <i>Smicridea</i>	124	615	17.94	S
Trichoptera-Hydroptilidae - <i>Neotrichia</i>	264	175	4.44	S
Trichoptera-Hydroptilidae - <i>Ochrotrichia</i>	17	222	20.74	S
Trichoptera-Hydroptilidae - <i>Hydroptila</i>	40	692	34.71	S
Trichoptera *	16	576	42.09	S

Tabela VI. Resultados da análise de variância (One-way ANOVA) usada para comparar a abundância dos 15 grupos taxonômicos mais representativos, separadamente para as estações seca e chuvosa. Para as comparações significativamente diferentes ($p < 0.05$) foi indicado em qual das situações comparadas a abundância foi maior, considerando as variáveis: tipo de entorno (Aa- área aberta e Af- área fechada), tipo de folha (Arb- *Cabralea canjerana* e Herb- *Picreus decumbens*) e condições da folha (Ff- folha fresca e Fc- folha condicionada). Grupos taxonômicos: Mollusca-Ancylidae (Anc), Coleoptera-*Heterelmis* (Het), Diptera-Chironomidae (Chi), Diptera-Empididae (Emp), Diptera-Simuliidae (Sim), Ephemeroptera-*Americabaetis* (Ame), Ephemeroptera-*Traverhyphes* (Tra), Ephemeroptera-*Farrodes* (Far), Ephemeroptera estádios iniciais (Eph), Trichoptera-*Phylloicus* (Phy), Trichoptera-*Smicridea* (Smi), Trichoptera-*Neotrichia* (Neo), Trichoptera-*Ochrotrichia* (Orc), Trichoptera-*Hydroptila* (Hyd), Trichoptera estádios iniciais (Tri).

Variáveis		Grupos taxonômicos																
		Anc	Het	Chi	Emp	Sim	Ame	Tra	Far	Eph	Phy	Smi	Neo	Orc	Hyd	Tri		
Estação seca	Área aberta	F _{1,78}	2.98	1.03	0.27	40.01	16.01	42.47	19.74	0.14	0.21	1.02	49.09	40.41	6.14	4.71	1.01	
	versus	p	0.09	Aa	0.60	Aa	Aa	Aa	Af	0.71	0.65	0.31	Aa	Af	Aa	Aa	0.32	
	Área fechada																	
	<i>C. canjerana</i>	F _{1,78}	2.49	38.48	0.08	1.73	0.01	6.86	21.36	4.49	1.84	2.91	0.49	0.97	3.01	1.27	1.00	
	versus	p	0.12	Herb	0.78	0.19	0.92	Arb	Herb	Arb	0.18	0.09	0.48	0.33	0.09	0.26	0.32	
	<i>P. decumbens</i>																	
Estação chuvosa	Folha fresca	F _{1,78}	2.49	1.14	0.10	1.73	0.01	0.49	1.40	5.72	1.84	2.91	1.01	0.07	6.14	4.71	1.00	
	versus	p	0.12	0.29	0.80	0.19	0.95	0.48	0.24	Fc	0.18	0.09	0.32	0.79	Fc	Fc	0.32	
	condicionada																	
	Área aberta	F _{1,78}	23.19	10.66	13.65	55.34	3.82	62.51	0.30	0.07	8.21	23.19	42.05	43.11	31.47	70.69	89.06	
	versus	p	Af	Af	Aa	Aa	0.06	Aa	0.58	0.79	Af	Af	Aa	Af	Aa	Aa	Aa	
	Área fechada																	
Estação chuvosa	<i>C. canjerana</i>	F _{1,78}	2.71	0.08	16.94	3.77	3.82	0.63	0.72	0.22	1.97	2.04	0.34	0.01	2.33	0.08	0.7	
	versus	p	0.10	0.77	Arb	0.06	0.06	0.43	0.40	0.64	0.16	0.16	0.56	0.95	0.13	0.78	0.78	
	<i>P. decumbens</i>																	
	Folha fresca	F _{1,78}	13.67	2.47	10.86	1.95	1.33	3.66	2.83	15.40	1.97	5.71	0.73	5.55	0.08	3.22	0.01	
versus	p	Fc	0.12	Fc	0.17	0.25	0.06	0.10	Fc	0.16	Fc	0.39	Fc	0.78	0.08	0.98		
condicionada																		

CAPÍTULO IV

DIET OF INVERTEBRATES SAMPLED ON LEAF-BAGS INCUBATED IN A TROPICAL HEADSTREAM

Trabalho a ser submetido à publicação na *Acta Limnologica Brasiliensia*.

Diet of invertebrates sampled on leaf-bags incubated in a tropical headstream

ABSTRACT

The diet of macroinvertebrates sampled in leaf-bags immersed in a tropical stream was analyzed in a spatial (a forested and a deforested area) and temporal scale (dry and wet season). The macroinvertebrates were represented mostly by detritivores specialized in fine detritus (69%), followed by generalist detritivores (10% with diet based on fine and coarse detritus), carnivores (10%), omnivores (8%), and one detritivore genera specialized on coarse detritus (3%). The detritivores also presented a broad spatial and temporal distribution and they were represented mainly by Ephemeroptera, Trichoptera and Diptera. The genus *Phylloicus* (Trichoptera) consumed mostly coarse detritus (CPOM) and can be classified as the unique shredder specialist in this stream. Carnivorous were represented by *Anacroneturia* (Plecoptera), *Hetaerina* and *Heteragrion* (Odonata). The omnivory was observed for the taxa *Anacroneturia* and *Smicridea*, which showed evident spatial and temporal variation on the proportion of the food consumed. The high diversity and wide distribution of the taxa that ingested organic matter as a food resource demonstrated the great importance of this food item for the macroinvertebrates community of the Ribeirão da Quinta.

Key words: Brazilian stream; Detritus, Gut content, Macroinvertebrates, Trophic groups.

RESUMO

A dieta de macroinvertebrados amostrados em pacotes de folhas submersos em um riacho tropical foi analisada em escala espacial (área com mata de galeria e sem mata) e temporal (estação seca e chuvosa). Os macroinvertebrados estiveram representados principalmente por detritívoros especialistas em detritos finos (69%), seguido por detritívoros generalistas (10% com dieta baseada em detritos finos e grossos), carnívoros (10%), onívoros (10%) e um gênero de detritívoro especialista em detritos grossos (3%). Os detritívoros também apresentaram uma ampla distribuição espacial e temporal e estiveram representados principalmente pelas ordens Ephemeroptera, Trichoptera e Diptera. O gênero *Phylloicus* (Trichoptera) consumiu principalmente detritos grossos (CPOM) e pode ser classificado com o único fragmentador especialista deste riacho. Os carnívoros estiveram representados por *Anacroneuria* (Plecoptera), *Hetaerina* and *Heteragrion* (Odonata). Onivoria foi observada para os táxons *Anacroneuria* e *Smicridea*, os quais apresentaram uma evidente variação espacial e temporal na proporção dos itens consumidos. A grande diversidade e ampla distribuição dos táxons que consumiram matéria orgânica como recurso alimentar reforça a grande importância deste item alimentar para a comunidade de macroinvertebrados do Ribeirão da Quinta.

Palavras-chave: Conteúdo estomacal, Detritos, Grupo trófico, Macroinvertebrados, Riacho brasileiro.

INTRODUCTION

Headstreams are particularly influenced by riparian vegetation because the ratio of shoreline to the area of stream bottom is high and because vegetation provides shade and organic input (Cummins, 1977; Vannote *et al.*, 1980). The intimate relationship between the stream and its riparian zone forms the basis for a significant portion of the annual energy input (Cummins, 1973, Cummins & Klug, 1979). Also, the study of the aquatic fauna interaction during the utilization of the food resources is an important knowledge in the understanding of the trophic structure and organization of an ecosystem (Uieda & Motta, 2007).

Every year streams receive great quantities of litter, a large part of which consisted of leaves from the riparian vegetation (Abelho, 2001; Eloisegi & Pozo, 2005), an important source of allochthonous organic matter assimilated by the aquatic fauna (Uieda & Motta, 2007). After entering low order streams, leaves are subject to physical abrasion, microbial degradation and invertebrate fragmentation (Graça, 2001; Abelho, 2001), with shredders very well-known for reducing detritus to fecal particles (Graça, 2001). These particles become part of the fine particulate organic matter (Cummins, 1973), which is ecologically important to populations of collectors inhabiting lower reaches of streams (Graça, 2001; Graça & Canhoto, 2006). The shredders and collectors are thus the major primary consumers in streams, proving the main link between the organic input and the predatory invertebrates and vertebrates (Cheshire *et al.*, 2005).

Because of the importance of detritus in stream ecosystems, major emphasis has been directed toward the compartmentalization of this food source. A considerable amount of information on the processing of detritus in low-order forested streams is available in the literature (e.g. Abelho, 2001). The comprehension of the relationship between this basal resource and the aquatic invertebrates is based mainly on gut content studies (Basaguren *et al.*, 2002; Rosi-Marshall & Wallace, 2002; Benstead & Pringle, 2004; Motta & Uieda, 2004; 2005; Cheshire *et al.*, 2005; Lancaster *et al.*, 2005; Albariño & Villanueva, 2006).

According to Motta & Uieda (2004), the great importance of invertebrates in the trophic structure of streams in contrast with the scanty data available in the literature about their feeding habits indicates the need of more studies on this subject. The objective of our study was to contribute with data on stream macroinvertebrates diet. The trophic dynamics of a macroinvertebrate community was analyzed in two scales: (i) a spatial scale, comparing the diet of macroinvertebrates sampled in two consecutive areas of the same stream, one shaded by riparian vegetation (forested area) and other surrounded only by herbaceous vegetation and pasture (deforested area); (ii) a temporal scale, comparing the diet of macroinvertebrates sampled during one month of the dry season (July 2004) and one of the wet season (December 2004).

MATERIAL AND METHODS

Study area

The study was carried out in the Ribeirão da Quinta stream (23°06'47"S, 48°29'46"W), located in the municipality of Itatinga, São Paulo State, southeast Brazil, at an elevation of 743m a.s.l.. This is a third-order stream, located on a cattle raising farm, distant from urban areas. In the investigated region, the climate is tropically warm and wet, with only one dry month (August) and two distinguishable seasons: a dry season between April and September and a wet season between October and March (E. M. Carvalho & V. S. Uieda, unpublished data).

Macroinvertebrates sampling

Two areas of this stream, each with surface area of about 120m², were chosen for the study. The first is shaded by a well-preserved gallery forest and, in this way, is called "Forested area". The second is located about 300m downstream and is surrounded only by herbaceous vegetation, being called "Deforested area".

The study was performed during July 2004 (dry season) and December 2004 (wet season). The macroinvertebrates were sampled using leaf-bags incubated on the stream bottom for 13 days. The bags were prepared with a plastic screen (20 x 15 cm, with 10mm mesh opening) and were filled with 5.00 ± 0.05 g of freshly cut leaves of two plant species: *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae), a common tree in the gallery forest area, and *Pycreus decumbens* T. Koyama (Cyperaceae), an herbaceous plant common in the deforested area. The leaf-bags (10 of each plant installed on each area and season) were maintained on the stream bottom with the aid of fishing weights to keep them below the water column. The bags were removed after 13 days of immersion, placed into a plastic container and transported to the laboratory in an icebox.

In the laboratory the leaves were rinsed with distilled water on three granulometric sieves (GRANUTEST, mesh of 1.00; 0.50 and 0.25 mm). The sieves were inspected under stereomicroscope for sorting the macroinvertebrates. The animals were identified to the genera level when possible (Pennak, 1978; Lopretto & Tell, 1995; Merritt & Cummins, 1996; Fernández & Domínguez, 2001; Costa *et al.*, 2004; Olifiers, 2004; Costa *et al.*, 2006) and counted for the determination of abundance. In a way to estimate the relative space used by

each macroinvertebrate group when colonizing the leaves, the area occupied (number of grid squares) by each taxa was determined using a graduate slide.

Diet analysis

The diet was determined for all taxa that achieved values of abundance and occupied area higher than 1% on each season and area, except for Chironomidae larvae. As has been pointed out by some authors (Nessimian & Sanseverino, 1998; Nessimian *et al.*, 1999; Henriques-Oliveira *et al.*, 2003, Motta & Uieda, 2004), this family shows great diet variation with genera belonging to different trophic groups. In function of this genera flexibility on diet it is necessary the identification of Chironomidae until genera level for a correct diet analysis, what was not possible to do in this study. This material will be identified and analyzed in a future work.

When possible, ten animals of each taxa and of each treatment (season and area) were dissected. Their guts were extracted and analyzed under a stereomicroscope and a microscope. Gut contents were classified into four categories: coarse detritus (coarse particulate organic matter - CPOM), fine detritus (fine particulate organic matter - FPOM), filamentous and unicellular algae, and animals. The area occupied (number of grid squares) by each food type was measured using a graduate slide. The relative area (%) covered by each food type was determined and the taxa were assigned to one of the three trophic groups: (1) detritivores consuming CPOM and FPOM, (2) carnivores preying on animals, (3) omnivores consuming resources from two or more food categories. The herbivorous trophic group was not considered due to the origin of the material consumed (only decomposing leaf litter).

Although the macroinvertebrates were sampled in leaf-bags of two plant species, the diet analysis showed for the same taxa no differences in function of the species of leaves colonized. Thus, this variable was not considered and the diet differences were analyzed only in relation to the area and season that the taxa was sampled.

To visualize the seasonal and spatial organization of the macroinvertebrates in relation to the diet we used the Bray-Curtis measure of dissimilarity and cluster analysis performed with the program Biodiversity Professional version 2 (McAleece, 2004).

RESULTS

The macroinvertebrates sampled in leaf-bags resulted in a total of 5,826 specimens belonging to 22 families and nine orders, most represented by aquatic insects (Table I). During the dry season Chironomidae was the dominant taxa, representing more than 50% of the abundance (Table II). During the wet season Trichoptera was the dominant family in the deforested area, while Ephemeroptera was the dominant family in the forested area (Table III). The number of taxa represented by more than 1% of abundance and occupied area, and then used for diet analysis, varied between seasons and areas: 11 in the dry season-deforested area, 10 in the dry season-forested area, 17 in the wet season-deforested area, 11 in the wet season-forested area (Tables II and III). Except for Chironomidae larvae, not analyzed, the taxa analyzed but with the diet not represented in the Figure 1 had all individuals with the gut empty.

Fine detritus was the main food category consumed by the macroinvertebrates of Ribeirão da Quinta stream, with few exceptions (Figure 1). This food resource was the only food ingested for most taxa or was, in some cases, consumed in association with coarse detritus, animal material, and algae. The four taxa found on both seasons and areas, *Ancylidae*, *Heterelmis*, *Traverhyphes* and *Farrodes*, showed feeding specialization for fine detritus. The Trichoptera genus *Phylloicus* fed mainly on coarse detritus and was sampled only in the forested area. Animal material was consumed mainly by two Odonata genera and by the Plecoptera genera *Ancroneuria*. This last taxon was the only one that showed temporal variation on diet (Figure 1). Algae was not consumed isolated and was found in the gut content always in low percentage.

Grouping the species by similarity in the diet (Figure 2) indicated the presence of five groups. The trophic group of detritivores that consumed predominantly or exclusively fine detritus (Group I) was the most representative in the two areas and seasons and comprised 69% of the analyzed taxa. The last 31% were grouped in carnivores that consumed mainly or exclusively animal material (Group II -10%), omnivores consuming two or more resources, including animal material (Group III – 8%), detritivores that consumed fine and of coarse detritus in a similar amount (Group IV – 10%), and one detritivore genus specialized on coarse detritus (Group V – 3%).

DISCUSSION

Allochthonous litter is the dominant energy resource for organisms in low-order shaded streams (Dobson, 2005; Graça, 2001; Abelho, 2001). A considerable amount of litter entering streams is retained within the channel (Pozo, 2005) and is available as food to the vast majority of detritivores and microbial decomposers (Dobson, 2005). This litter can be colonized by a great biomass of macroinvertebrates (Uieda & Gajardo, 1996), which can use it not only as food but also as shelter.

The macroinvertebrates community sampled in leaf-bags was composed mostly by Insecta, represented by seven orders, usually cited as representatives of the benthic community associated with litter (Crisci-Bispo *et al.*, 2007). Of the diverse taxonomic groups that comprise the stream macroinvertebrates community, none has been more studied than the aquatic insects. The aquatic insects are not only diverse taxonomically and functionally, but they are frequently the most abundant large macroinvertebrates collected in stream benthic samples (Hauer & Resh, 1996).

Other authors analyzing the benthic macroinvertebrates associated to the rocky substratum of the Ribeirão da Quinta stream found a benthic community similar to the present work (Carvalho & Uieda, 2004; Ribeiro & Uieda, 2005; Carvalho & Uieda, 2006). Once that the community sampled in the leaf-bags is similar to the one usually observed in rocky substratum, then which is the intimate trophic relationship between this community and the litter? It may be over-simplistic to assume that all invertebrates collected from litter are feeding specifically on the leaves (Boulton & Boon, 1991).

Fine particulate organic matter (FPOM) or fine detritus of unidentified origin was the most abundant food resource found in the gut content of the macroinvertebrates from the Ribeirão da Quinta stream, classified as detritivores, specialists or generalists. The taxa with large occurrence and abundance also used fine detritus as the main food resource. Motta & Uieda (2004) also found particulate organic matter in the diet of most aquatic insects of a tropical stream. It has been suggested that detritus has the potential to support systems with a great diversity of species (e.g. Rosemond *et al.*, 1998; Moore *et al.*, 2004). High species richness, a great availability of detritus as a food resource and a high number of detritivore species was also found in the epiphytic compartment of a tropical stream of the same basin of Ribeirão da Quinta (Motta & Uieda, 2005).

In some cases, the fine detritus was also found associated with other resources, as coarse particulate organic matter and algae. When the main ingested food is coarse detritus, the detritivorous consumer is usually classified in the functional group of shredder (Merritt & Cummins, 1996). In this sense, the Trichoptera genus *Phylloicus* was the only one that can be classified as shredder in this study. Some works suggest that shredders are scarce in tropical streams (Dobson *et al.*, 2002), mostly because most of the common shredder taxa from temperate systems are lacking in the tropics (Rosemond *et al.*, 1998, Cheshire *et al.*, 2005). Moreover, shredding invertebrates may be less important in tropical streams because there are alternative decomposition pathways for leaves, such as faster microbial processing due to higher temperatures (Boulton & Boon, 1991; Abelho, 2001; Mathuriau & Chauvet, 2002).

Some macroinvertebrates consumed algae associated to fine detritus, or also to coarse detritus and animal material, but always in small amount and never alone. The animals that fed on a combination of algae, organic matter and microbiota by scraping submerged rocks or macrophytes are classified by some authors as periphyton feeders (Uieda *et al.*, 1997; Motta & Uieda, 2004). The trophic group of periphyton feeders used for fishes by Uieda *et al.* (1997), for macroinvertebrates by Motta & Uieda (2004), and correspondent to herbivorous and detritivorous of the functional feeding group of scrapers by Merritt & Cummins (1996), was not used here due to the low proportion of algae consumed, choosing to keep the definition of detritivores for these consumers.

The trophic group of carnivores was represented by one genus of Plecoptera (*Anacroneuria*) and two of Odonata (*Hetaerina* and *Heteragrion*). Motta & Uieda (2004) also observed carnivory between genera of Odonata, which reduced the feeding overlap by consuming different insect orders, like found for the carnivorous genera of the Ribeirão da Quinta stream. *Hetaerina* consumed Ephemeroptera (*Americabaetis* and juveniles of early stages) and Trichoptera. *Heteragrion* consumed mainly Diptera (Chironomidae) and fewer amounts of early developmental stage of Ephemeroptera. The diet of *Anacroneuria* was based on aquatic insects, mainly Chironomidae, and on fewer amounts of Trichoptera (*Smicridea*, Glossosomatidae) and of Ephemeroptera (juveniles of early developmental stage). All three carnivores genera were polyphagous with respect to their animal prey, what, according to Lancaster *et al.* (2005), is common for many other predatory insects.

True omnivory (mixing plant and animal food) is common among terrestrial and marine arthropods, but poorly documented in freshwater systems (Lancaster *et al.*, 2005). The only two genera showing true omnivory in the Ribeirão da Quinta stream, *Smicridea* and

Anacroneturia, were the most representative genera of Trichoptera and Plecoptera orders, respectively.

A minor seasonal change in functional feeding groups was also found by Motta & Uieda (2004) and related by those authors with constant food resource availability. The seasonal dietary changes involved mostly modification in the proportion of food items consumed, like also found by Motta & Uieda (2004). The spatial analysis showed similar results, reinforcing the trophic structure stability of the macroinvertebrate community studied.

Benstead & Pringle (2004) hypothesized that endemic macroinvertebrates population respond mainly to changes in the relative availability of food sources. According to the authors, several lines of evidence point toward relatively greater use of biofilm as a food resource in agriculture streams. Nevertheless, the specialist shredder *Phylloicus* have limited distribution and appear to be restricted to the forested area. For Albariño & Villanueva (2006), the hydraulic conditions and food availability were responsible for a higher density of a specialist shredder. In the same way, our results suggest that food availability (high leaf litter availability in forested area) and stream retentiveness (high leaf litter standing stock during the dry season) are suitable habitat traits to this species.

Like argued by Benstead & Pringle (2004), some of the negative impacts of deforestation on sensitive taxa could be reduced by maintenance of vegetated riparian zones. Shredders and collectors are considered the major primary consumers in forest streams, providing the main link between the organic inputs and the predatory invertebrates (Cheshire *et al.*, 2005). However, these forest specialists are often micro-endemic and particularly vulnerable to deforestation (Cummins & Klug, 1979; Benstead & Pringle, 2004; Baxter *et al.*, 2005).

In general, we identified five dietary groups: (1) generalist detritivores consuming fine detritus associated with coarse detritus and or algae, (2) specialist detritivores feeding mainly on fine detritus, (3) detritivores specialized on coarse detritus, (4) specialist carnivores consuming aquatic insects, and (5) omnivores feeding on animal and vegetal material. Together, the specialist and generalist detritivores represented 82% of the taxa sampled in leaf-bags, followed by the carnivores and omnivores that represented 18% of the studied macroinvertebrates. According to Mihuc (1997), in stream systems generalist habit is a common strategy among primary consumers. This study corroborated the recent literature (Rosi-Marshall & Wallace, 2002; Benstead & Pringle, 2004; Moore *et al.*, 2004; Motta & Uieda, 2004; Baxter *et al.*, 2005; Cheshire *et al.*, 2005; Lancaster *et al.*, 2005; Albariño &

Villanueva, 2006), which emphasizes the great importance of organic matter as food resource for the macroinvertebrates community.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Hamilton A. Rodrigues and Michelé O. D. Corrêa for assistance in the field. The first author was funded by a scholarship from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

REFERENCES

- Abelho, M. 2001. From litterfall to breakdown in streams: a Review. *Sci. World*, 1:656-680.
- Albariño, R.J. & Villanueva, V.D. 2006. Feeding ecology of two plecopterans in low order Andean-Patagonian stream. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 91:122-135.
- Basaguren, A., Riaño, P. & Pozo, J. 2002. Life history patterns and dietary changes of several caddisfly (Trichoptera) species in a northern Spain stream. *Arch. Hydrobiol.*, 155:23-41.
- Baxter, C.V., Fausch, K.D. & Saunders, W.C. 2005. Tangled webs: reciprocal flows of invertebrate prey link stream and riparian zones. *Freshwat. Biol.*, 50:201-220.
- Benstead, J.P. & Pringle, C.M. 2004. Deforestation alters the resource base and biomass of endemic stream insects in eastern Madagascar. *Freshwat. Biol.*, 49:490-501.
- Boulton, A.J. & Boon, P.I. 1991. A review of methodology used to measure leaf litter decomposition in lotic environments: time to turn over an old leaf? *Aust. J. Freshwater Res.*, 42:1-43.
- Carvalho, E.M. & Uieda, V.S. 2004. Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho de serra de Itatinga, São Paulo, Brasil. *Rev. Bras. Zool.*, 21:287-293.
- Carvalho, E.M. & Uieda, V.S. 2006. Colonization routes of benthic macroinvertebrates in a stream in southeast Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, 18:367-376.
- Cheshire, K., Boyero, L. & Pearson, R.G. 2005. Food webs in tropical Australian streams: shredders are not scarce. *Freshwat. Biol.*, 50:748-769.

- Costa, C., Ide, S. & Simonka, C.E. (Ed.). 2006. Insetos imaturos: metamorfose e identificação. Holos, Ribeirão Preto. 249p.
- Costa, J.M., Souza, L.O.I. de & Oldrini, B.B. 2004. Chave para identificação das famílias e gêneros das larvas conhecidas de Odonata do Brasil: comentários e registros bibliográficos (Insecta, Odonata). Publicações Avulsas do Museu Nacional 99: 1-44.
- Crisci-Bispo, V.L., Bispo, P.C. & Froehlich, C.G. 2007. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages in litter in a mountain stream of the Atlantic Rainforest from Southeastern Brazil. *Rev. Bras. Zool.*, 24:545-551.
- Cummins, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 18:183-206.
- Cummins, K.W. & Klug, M.J. 1979. Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 10:147-172.
- Dobson, M. 2005. Manipulation of stream retentiveness. In: Graça, M.A.S, Bärlocher, F. & Gessner, M.O. (Eds) *Methods to study litter decomposition: a practical guide*. Spring Publ. – Netherlands. p.19-24.
- Dobson, M., Magana, A., Mathooko, J.M. & Ndegwa, F.K. 2002. Detritivores in Kenyan highland streams: more evidence for the paucity of shredders in the tropics? *Freshwat. Biol.*, 47:909-919.
- Elosegi, A. & Pozo, J. 2005. Litter input. In: Graça, M.A.S, Bärlocher, F. & Gessner, M.O. (Eds) *Methods to study litter decomposition. A practical guide*. Spring Publ. – Netherlands. p.3-11.
- Fernández, H.R. & Domínguez, E. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán – Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo. 282p.
- Graça, M.A.S. 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in stream: a Review. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 86:383-393.
- Graça, M.A.S. & Canhoto, C. 2006. Leaf litter processing in low order streams. *Limnetica*, 25:1-10.
- Hauer, F.R. & Resh, V.H. 1996. Benthic macroinvertebrates. In: F.R. Hauer & Lamberti, G.A. (eds). *Methods in Stream ecology*. San Diego, Academic Press. p. 339-369.
- Henriques-Oliveira, A.L., Nessimian, J.L. & Dorvillé, L.F.N. 2003. Feeding habits of Chironomid Larva (Insecta: Diptera) from a stream in the Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 63:269-281.

- Lancaster, J., Bradley, D.C., Hogan, A. & Waldron, S. 2005. Intraguild omnivory in predatory stream insects. *J. Anim. Ecol.*, 74:619-629.
- Lopretto, E.C. & Tell, G. 1995. Ecosistema de aguas continentales: metodologias para su estudio. Argentina, Ed. Sur, Tomo III. p.897-1397.
- McAleece, N. 2004. Biodiversity Professional 2.0. The Natural History Museum and the Scottish Association for Marine Science. Available in: www.nhm.ac.uk/zoology/bdpro.
- Mathuriau, C. & Chauvet, E. 2002. Breakdown of leaf litter in a neotropical stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 21:384-396.
- Merrit, R.W. & Cummins, K.W. 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. Dudaque, Kendal/ Hunt. 862p.
- Mihuc, T.B. 1997. The functional trophic role of lotic primary consumers: generalist versus specialist strategies. *Freshwat. Biol.*, 37:455-462.
- Moore, J.C., Berlow, E.L., Coleman, D.C., Ruitter, P.C., Dong, Q., Hastings, A., Johnson, N.C., McCann, K. S., Melville, K., Morin, P.J., Nadelhoffer, K., Rosemond, A.D., Post, D.M., Sabo, J.L., Scow, K.M., Vanni, M.J. & Wall D.H. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecol. Lett.*, 7:584-600.
- Motta, R.L. & Uieda, V.S. 2004. Diet and trophic groups of an aquatic insect community in a tropical stream. *Braz. J. Biol.*, 64:809-817.
- Motta, R.L. & Uieda, V.S. 2005. Food web structure in a tropical stream ecosystem. *Austral Ecology*, 30: 58-73.
- Nessimian, J.L. & Sanseverino, A.M. 1998. Trophic functional categorization of the chironomid larvae (Diptera: Chironomidae) in first-order stream at the mountain region of Rio de Janeiro State, Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 26:2115-2119.
- Nessimian, J.L., Sanseverino, A.M. & Oliveira, A. 1999. Relações tróficas de larvas de Chironomidae (Diptera) e sua importância na rede alimentar em um brejo de dunas no Estado do Rio de Janeiro. *Revta. Brasil. Entomol.*, 43:4753
- Olifiers, M.H., Dorvillé, L.F.M., Nessimian, J.L. & Hamada, N. 2004. A key to Brazilian genera of Plecoptera (Insecta) based on nymphs. *Zootaxa* 651: 1-15.
- Pennak, R.W. 1978. Fresh-water invertebrates of the United States. New York, Wiley-Interscience. 803p.
- Pozo, J. 2005. Coarse particulate organic matter budgets. In: Graça, M.A.S, Bärlocher, F. & Gessner, M.O. (Eds) *Methods to study litter decomposition: a practical guide*. Spring Publ. – Netherlands. p.43-50.

- Ribeiro, L.O. & Uieda, V.S. 2005. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 22:613-618.
- Rosemond, A.D., Pringle, C.M. & Ramírez, A. 1998. Macroconsumer effects on insect detritivores and detritus processing in a tropical stream. *Freshwat. Biol.*, 39:515-523.
- Rosi-Marshall, E.J. & Wallace, B. 2002. Invertebrate food webs along a stream resource gradient. *Freshwat. Biol.*, 47:129-142.
- Uieda, V.S. & Gajardo, I.C.S.M. 1996. Macroinvertebrados perifíticos encontrados em poções e corredeiras de um riacho. *Naturalia*, 21:31-47.
- Uieda, V.S., Buzzato, P. & Kikuchi, R.M. 1997. Partilha de recursos alimentares em peixes em um riacho de serra do Sudeste do Brasil. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 69:243-252.
- Uieda, V.S. & Motta, R.L. 2007. Trophic organization and food web structure of southeastern brazilian streams: a review. *Acta Limnol. Bras.*, 19:15-30.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37:130-137.

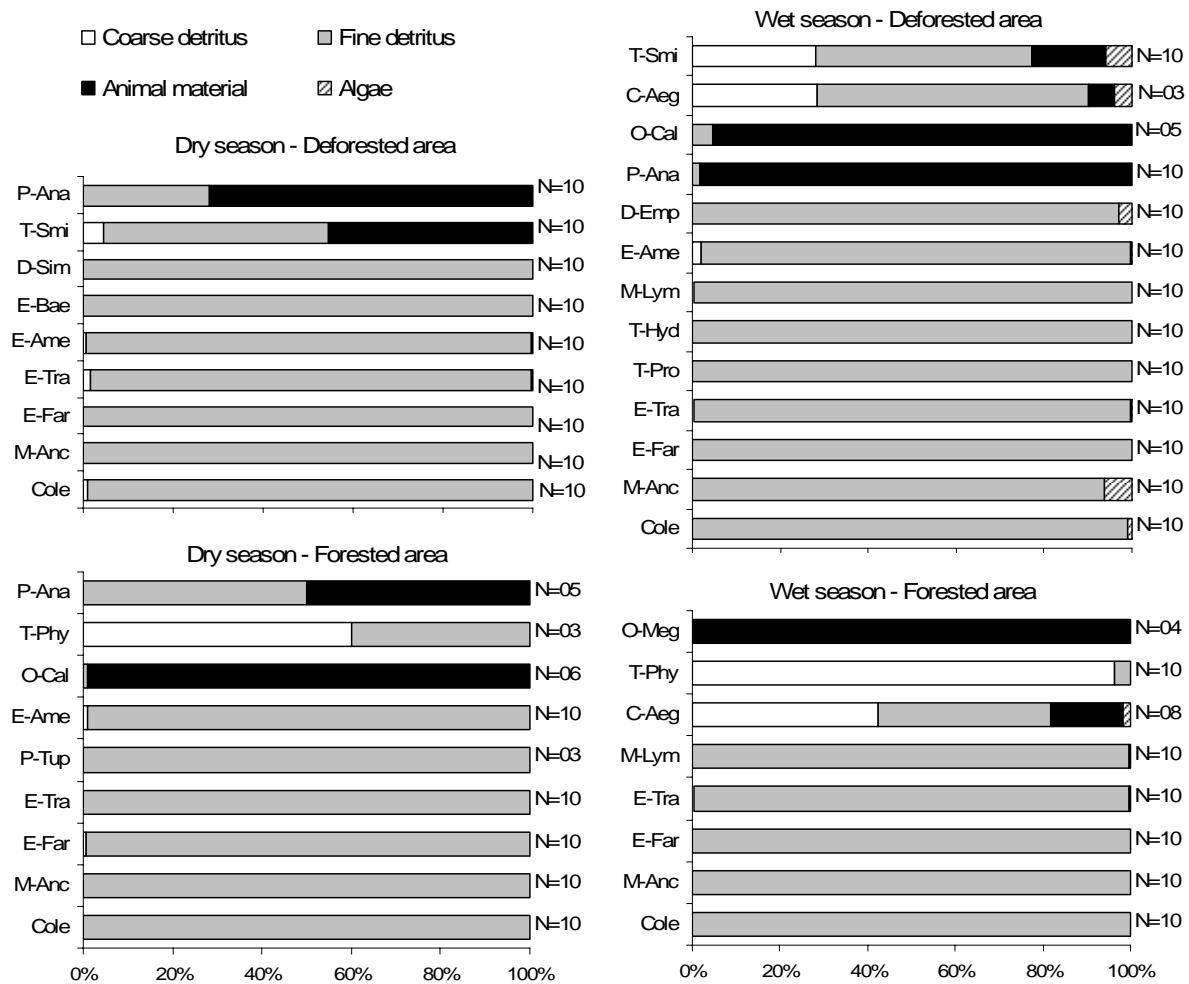


Figure 1. Diet composition (percentage of each food type in gut contents) of the invertebrates sampled in leaf-bags incubated in the Ribeirão da Quinta stream, during the dry (July 2004) and wet (December 2004) seasons and at two areas. (C-Aeg) Crustacea-*Aegla castro*, (Cole) Coleoptera-*Heterelmis*, (D-Emp) Diptera-Empididae, (D-Sim) Diptera-Simuliidae, (E-Ame) Ephemeroptera-*Americabaetis*, (E-Bae) Ephemeroptera-*Baetodes*, (E-Far) Ephemeroptera-*Farrodes*, (E-Tra) Ephemeroptera-*Traverhyphes*, (M-Anc) Mollusca-Ancylidae, (M-Lym) Mollusca-Lymnaeidae, (O-Cal) Odonata-*Hetaerina*, (O-Meg) Odonata-*Heteragrion*, (P-Ana) Plecoptera-*Anacroneuria*, (P-Tup) Plecoptera-*Tupiperla*, (T-Phy), (T-Hyd) Trichoptera-*Hydroptila*, Trichoptera-*Phylloicus*, (T-Pro) Trichoptera-*Protoptila*, (T-Smi) Trichoptera-*Smicridea*. N = number of individuals with gut contents.

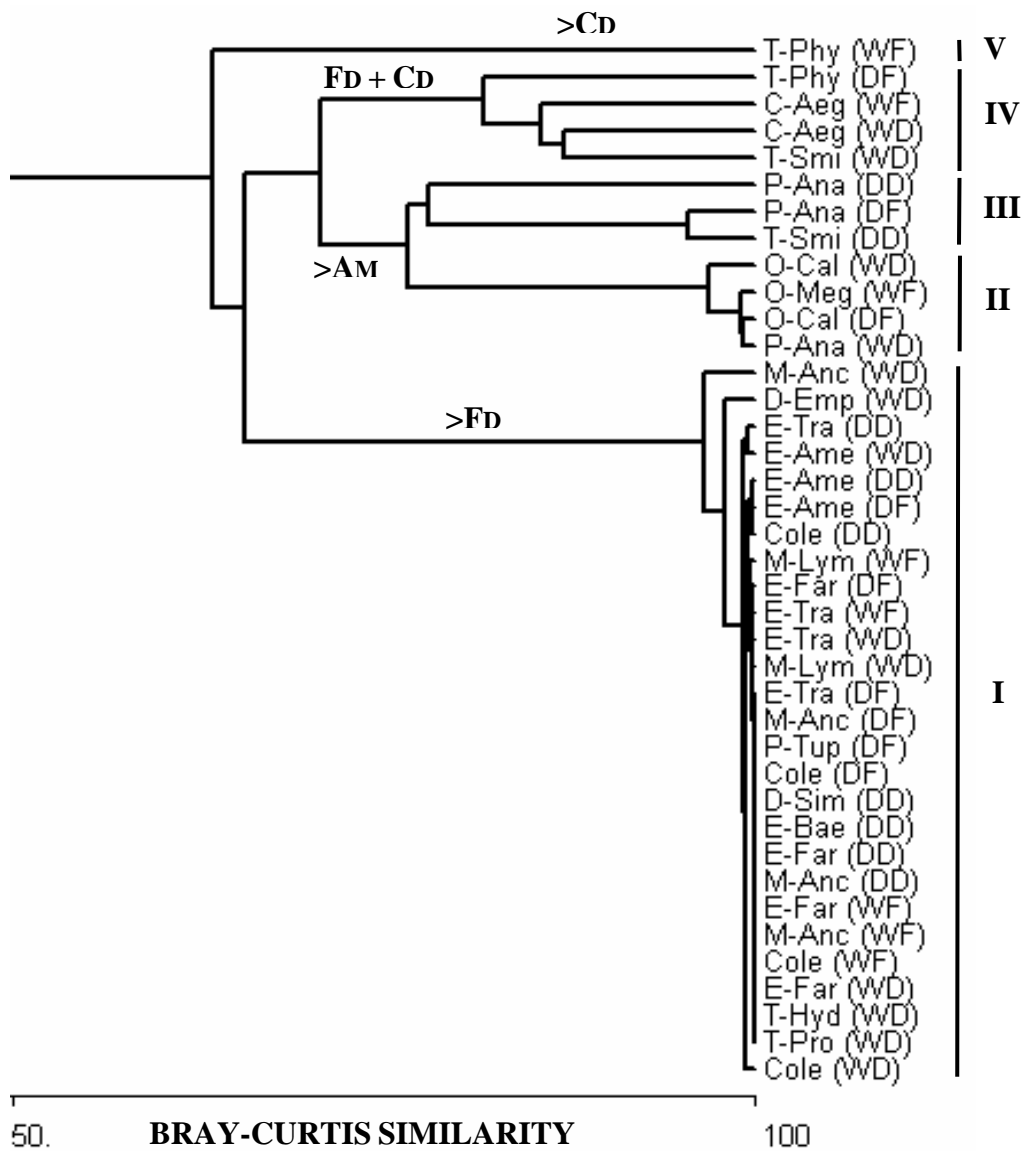


Figure 2. Dendrogram of similarity grouping 39 macroinvertebrates taxa based on diet data. Taxa that consumed mainly coarse detritus (>Cd), fine and coarse detritus (Fd + Cd), mainly animal material (>Am), and mainly fine detritus (>Fd). (C-Aeg) Crustacea-*Aegla castro*, (Cole) Coleoptera-*Heterelmis*, (D-Emp) Diptera-Empididae, (D-Sim) Diptera-Simuliidae, (E-Ame) Ephemeroptera-*Americabaetis*, (E-Bae) Ephemeroptera-*Baetodes*, (E-Far) Ephemeroptera-*Farrodes*, (E-Tra) Ephemeroptera-*Traverhyphes*, (M-Anc) Mollusca-Ancylidae, (M-Lym) Mollusca-Lymnaeidae, (O-Cal) Odonata-*Hetaerina*, (O-Meg) Odonata-*Heteragrion*, (P-Ana) Plecoptera-*Anacroneuria*, (P-Tup) Plecoptera-*Tupiperla*, (T-Hyd) Trichoptera-*Hydroptila*, (T-Phy) Trichoptera-*Phylloicus*, (T-Pro) Trichoptera-*Protoptila*, (T-Smi) Trichoptera-*Smicridea*, (WF) wet season-forested area, (WD) wet season-deforested area, (DF) dry season-forested area, (DD) dry season-deforested area. For explanation about the groups classification (I to V) see text.

Table I. Macroinvertebrates sampled in leaf-bags incubated in the Ribeirão da Quinta stream, during the dry (July 2004) and wet (December 2004) seasons. *early stages of juveniles unidentified to the genera level.

<p>MOLLUSCA - GASTROPODA Ancylidae Lymnaeidae</p> <p>ARTHROPODA - CRUSTACEA Decapoda Aeglidae (<i>Aegla castro</i> Schmidt, 1942)</p> <p>ARTHROPODA - INSECTA Coleoptera Elmidae <i>Heterelmis</i> Gyrinidae</p> <p>Diptera Empididae Simuliidae (<i>Simulium lutzianum</i> Pinto, 1932) Chironomidae</p> <p>Ephemeroptera Baetidae <i>Americabaetis</i> <i>Baetodes</i> Caenidae <i>Caenis</i> Leptohyphidae <i>Traverhyphes</i> <i>Tricorythopsis</i> Leptophlebiidae <i>Farrodes</i> <i>Meridialaris</i> Ephemeroptera *</p>	<p>ARTHROPODA - INSECTA Hemiptera Pleidae <i>Neoplea</i></p> <p>Odonata Calopterygidae <i>Hetaerina</i> Megapodagrionidae <i>Heteragrion</i></p> <p>Plecoptera Gripopterygidae <i>Tupiperla</i> Perlidae <i>Anacroneuria</i></p> <p>Trichoptera Calamoceratidae <i>Phylloicus</i> Glossosomatidae <i>Protoptila</i> Hydropsychidae <i>Smicridea</i> Hydroptilidae <i>Neotrichia</i> <i>Ochrotrichia</i> <i>Hydroptila</i> Leptoceridae <i>Nectopsyche</i> Trichoptera *</p>
---	--

Table II. Macroinvertebrates sampled in leaf-bags incubated in two areas of the Ribeirão da Quinta stream during the dry season (July 2004). Absolute (n) and relative (Ab%) abundance, absolute (mm²) and relative (Oa%) occupied area. M-Mollusca, C-Coleoptera, D-Diptera, E-Ephemeroptera, H-Hemiptera, O-Odonata, P-Plecoptera, T-Trichoptera, * early stages of juveniles unidentified to the genera level.

DRY SEASON Taxa	Deforested area				Forested area			
	n	Ab%	mm ²	Oa%	n	Ab%	mm ²	Oa%
M-Ancylidae	26	2	73	2	28	3	85	4
C- <i>Heterelmis</i>	62	4	99	3	27	3	35	2
D-Chironomidae	849	50	723	21	545	53	492	22
D-Empididae	5	<1	9	<1	1	<1	1	<1
D-Simuliidae	95	6	163	5	6	1	13	1
E- <i>Americabaetis</i>	201	12	527	15	24	2	46	2
E- <i>Baetodes</i>	87	5	192	5	-	-	-	-
E- <i>Traverhypes</i>	172	10	434	12	234	23	492	22
E- <i>Farrodes</i>	74	4	360	10	85	8	396	17
E- <i>Meridialaris</i>	1	<1	24	<1	-	-	-	-
Ephemeroptera *	8	<1	9	<1	4	<1	2	<1
H- <i>Neoplea</i>	-	-	-	-	7	<1	21	<1
O- <i>Hetaerina</i>	4	<1	43	1	4	<1	100	4
P- <i>Tupiperla</i>	1	<1	12	<1	3	<1	13	<1
P- <i>Anacroneuria</i>	14	1	421	12	4	<1	117	5
T- <i>Phylloicus</i>	1	<1	67	2	4	<1	389	17
T- <i>Protoptila</i>	2	<1	30	<1	-	-	-	-
T- <i>Smicridea</i>	47	3	236	7	-	-	-	-
T- <i>Neotrichia</i>	10	1	16	<1	59	6	74	3
T- <i>Ochrotrichia</i>	7	<1	13	<1	-	-	-	-
T- <i>Hydroptila</i>	17	1	44	1	-	-	-	-
T- <i>Nectopsyche</i>	1	<1	4	<1	-	-	-	-
Trichoptera *	2	<1	1	<1	-	-	-	-
Total	1686		3503		1038		2275	

Table III. Macroinvertebrates sampled in leaf-bags incubated in two areas of the Ribeirão da Quinta stream during the wet season (December 2004). Absolute (n) and relative (Ab%) abundance, absolute (mm²) and relative (Oa%) occupied area. M-Mollusca, Cr-Crustacea, C-Coleoptera, D-Diptera, E-Ephemeroptera, H-Hemiptera, O-Odonata, P-Plecoptera, T-Trichoptera, * early stages of juveniles unidentified to the genera level.

WET SEASON Taxa	Deforested area				Forested area			
	n	Ab%	mm ²	Oa%	n	Ab%	mm ²	Oa%
M-Ancylidae	64	3	128	3	269	22	354	8
M-Lymnaeidae	8	<1	68	2	22	2	78	2
Cr-Aeglididae	1	<1	132	3	3	<1	193	4
C- <i>Heterelmis</i>	48	2	67	1	134	11	174	4
C-Gyrinidae	-	-	-	-	5	<1	10	<1
D-Chironomidae	322	18	165	4	233	18	184	4
D-Empididae	44	2	31	1	-	-	-	-
D-Simuliidae	1	<1	1	<1	-	-	-	-
E- <i>Americabaetis</i>	170	9	657	15	4	<1	18	<1
E- <i>Caenis</i>	1	<1	4	<1	2	<1	10	<1
E- <i>Traverhypes</i>	138	7	419	10	211	17	527	12
E- <i>Tricorythopsis</i>	5	<1	23	<1	1	<1	2	<1
E- <i>Farrodes</i>	47	3	232	5	68	6	313	7
Ephemeroptera *	64	3	28	1	158	13	85	2
H- <i>Neoplea</i>	-	-	-	-	1	<1	2	<1
O- <i>Hetaerina</i>	3	<1	128	3	1	<1	3	<1
O- <i>Heteragrion</i>	-	-	-	-	4	<1	237	5
P- <i>Anacroneuria</i>	26	1	440	10	-	-	-	-
T- <i>Phylloicus</i>	2	<1	38	1	53	4	2259	50
T- <i>Protoptila</i>	14	<1	208	5	-	-	-	-
T- <i>Smicridea</i>	247	13	594	14	1	<1	2	<1
T- <i>Neotrichia</i>	3	<1	3	<1	58	5	50	1
T- <i>Ochrotrichia</i>	90	5	145	3	-	-	-	-
T- <i>Hydroptila</i>	292	16	658	15	1	<1	3	<1
T- <i>Nectopsyche</i>	1	<1	14	<1	1	<1	15	<1
Trichoptera *	280	15	122	3	1	<1	1	<1
Total	1871		4303		1231		4518	

CAPÍTULO V

A LABORATORY STUDY ON FEEDING PLASTICITY OF THE SHREDDER *SERICOSTOMA VITTATUM* RAMBUR (SERICOSTOMATIDAE)

Trabalho publicado: Carvalho, E.M. & Graça, M.A.S. 2007. A laboratory study on feeding plasticity of the shredder *Sericostoma vittatum* Rambur (Sericoatomatidae). **Hydrobiologia** 575:353-359.

A laboratory study on feeding plasticity of the shredder *Sericostoma vittatum* Rambur (Sericostomatidae)

ABSTRACT

Since litter input and availability of leaves in many streams is highly seasonal in Portugal, we investigated whether *Sericostoma vittatum*, a typical shredder, was able to grow using alternative food sources. To test this hypothesis we fed *Sericostoma vittatum* with *Alnus glutinosa* (alder, CPOM, coarse particulate organic matter), leaf powder from *A. glutinosa* and *Acacia dealbata* and FPOM (fine particulate organic matter) from a 5th and a >6th order river, the macrophyte *Myriophyllum aquaticum* and biofilm. Growth in *S. vittatum* was significantly influenced by the food item given (ANOVA, $p = 0.0082$). The food item promoting the highest growth was *A. glutinosa*, in the form of FPOM (6.48 % day⁻¹) and CPOM (4.24 % day⁻¹); all other forms of FPOM and biofilm provided relatively low growth rates (0.77 – 1.77 % day⁻¹). The macrophyte *M. aquaticum* was also used as food source by *S. vittatum* and promoted intermediate growth (1.96 % day⁻¹). Neither nitrogen, phosphorus nor caloric content was correlated with growth. However, since higher growth was achieved with alder, in the form of CPOM and FPOM, we concluded that the chemical content of food was more important for *S. vittatum* than the physical form of such food. This may partially explain why shredders are able to survive when leaves are scarce in streams.

Key Words: Food quality, Growth rates, Laboratory study, Sericostomatidae, Shredder.

INTRODUCTION

Many headwater streams are strongly influenced by riparian vegetation which reduces autotrophic production by shading and supplies energy in the form of leaves (Vannote et al., 1980; Abelho, 2001). The decomposition of litter in streams is a biological process involving both microorganisms and invertebrate consumers (Boulton & Boon, 1991; Abelho, 2001; Graça, 2001) resulting in the incorporation of energy from the litter into secondary production and in the release of large amounts of fine particulate organic matter (FPOM – Gessner et al., 1999). The production of FPOM can be ecologically important for populations of collector living further downstream (Graça, 2001).

Given the natural variability of rain and litter input in streams, which dictate retention and transport of organic matter (e.g. Pardo & Álvarez, 2006), it is plausible that many stream invertebrates exhibit some variation in their diet. This has been demonstrated specifically in shredders. For instance, Friberg & Jacobsen (1994) showed that conditioned alder leaves and fresh filamentous green algae were equally palatable for two shredder species. Mihuc & Mihuc (1995) also showed that four shredder species exhibited similarly high growth rates when fed periphyton and coarse particulate organic matter (CPOM) resources. Franken et al. (2005) showed that biofilm on leaf surfaces can be an important component of the nutritional for two shredder species. Feeding plasticity or generalist diet may allow invertebrates to cope with the variability of food sources in streams.

Some typical shredders in streams of Central Portugal include the caddisflies *Sericostoma vittatum* Rambur (Feio & Graça, 2000; Graça et al., 2001; González & Graça, 2003), *Lepidostoma hirtum* Spence (Azevedo-Pereira et al., 2006) and *Tipula spp.* (Canhoto & Graça, 1999). In the São João stream, central Portugal, the caddisflies *S. vittatum* and *L. hirtum* were calculated to consume between 2.3 and 8.6 times the mean annual CPOM standing stock in the stream (González & Graça, 2003; Azevedo-Pereira et al., 2006). Those high values and the observed variability of organic matter in the stream bed throughout the year (González & Graça, 2003) suggest that the detritivore guild, at times, may have limited food in the S. João stream and that they may be capable of modifying their behavior and diet according to food availability. Certainly the same situation occurs in many other systems (Boulton & Boon, 1991).

In the present study we hypothesize that shredders are able to maintain viable population in streams because of their capability of feeding and growing on alternative food

sources. As a test organism we used *Sericostoma vittatum* Rambur. The study was carried out in the laboratory and, besides alder leaves, we used as alternative food sources FPOM, a macrophyte, and biofilm.

MATERIALS AND METHODS

Specimens of *S. vittatum* were collected in May 2005 at the S. João stream, Lousã, Portugal (40°06' N, 8°14' W). This species was selected because it is numerically abundant and information on their trophic ecology in the studied stream was already available (e.g. Feio & Graça, 2000; Graça et al., 2001; González & Graça, 2003). The riparian trees along the stream include *Castanea sativa* Miller, *Quercus* spp., *Pinus pinaster* Aiton, *Acacia dealbata* Link and *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner. The collected specimens were acclimatized in the laboratory for five days prior to the experiments.

Seven food items were used in the experiments. CPOM was provided in the form of pieces of leaves of *Alnus glutinosa*. Leaf powder came from *Alnus glutinosa* and *Acacia dealbata*, which were obtained with a homogenizer (Poly Tron[®] PT 2100). The material was sieved and only the fraction passing through a sieve of 1.00 mm and retrieved by a sieve of 0.18 mm was used. All the above leaves were conditioned for 2 weeks in nylon bags (0.5mm mesh size) submerged in the stream. FPOM from the S. João and Ceira streams (tributaries of the Mondego River) were collected directly from the stream bed and sieved as described above. As a macrophyte food source we used *Miriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. This species is common in the lower sections of the Mondego River basin and was available during the experimental period. Biofilm was obtained by exposing stream cobbles (\approx 40 mm diameter) in a shallow in a tank at the University Botany Garden for 4 weeks. By that time, a visible apparently uniform algal grow was evident over all substrates.

The ash free dry mass (AFDM) of each food item was determined as the difference between dry mass (oven dried at 60°C, 2 days) and the ash mass (550°C, 4 h). Total nitrogen and phosphorous content in all food items were determined according to Flindt & Lillebø (2005). Chlorophyll *a* content was determined by spectrophotometry (Eaton et al., 1995). Three replicates of each food item were used for the above analyses and expressed per unit of AFDM. The energy content of each food item was determined in five replicates with a PARR 1425 pump calorimeter. Results were expressed in terms of kJ g^{-1} AFDM.

A total of 280 specimens of *S. vittatum* with sizes ranging from 3.4 to 6.8 mg were used in the experiments. Specimens were allocated individually into plastic cups containing 200 ml of filtered stream water (GF/ C Whatman) and the bottom covered by stream sand (ignited for 4 h at 550°C). Aeration was provided with pipette plastic tips connected to an air pump. The invertebrates were randomly assigned to food categories, being 40 individuals for each food items (seven treatments). Food was provided “ad libitum” – leaves: several pieces of approximately 2 X 2 cm each; FPOM: two spoons of material; macrophyte: 2 leaves; biofilm: 3 cobbles. The amount of available food was daily checked and replenish if necessary. All food items and 50% of the water were renewed weekly. The individuals who pupated were not replaced.

There were no statistical differences in the initial mass of individuals in the seven treatments (ANOVA $p > 0.86$). The experiments were carried out for 14 days under $15 \pm 1^\circ\text{C}$ and a photoperiod of 12:12 h (light:dark). The temperature 15°C was previously shown to be near the optimum for growth in this species (González & Graça, 2003).

The initial and final sizes (in mg) of each individual were estimated from the diameter (mm) of the anterior opening of the caddis case according to Canhoto (1994; $r^2 = 90.8\%$; $n = 27$). Daily growth rates (DGR) were calculated as the difference between the final and initial dry mass, divided by the elapsed time in days (14 days). The percentage of daily growth was computed by dividing the DGR by the initial mass, multiplied by 100 (Feio & Graça, 2000).

Comparison of growth rates and physicochemical properties of food among treatments were done by one-way ANOVA performed on arcsine-transformed data (Zar, 1999), followed by comparisons with the Tukey HSD test for unequal N (replicates). The relationship between growth and food properties was tested by the Spearman Rank Correlation.

RESULTS

The 7 food items differed in all physical and chemical parameters (ANOVA $p < 0.001$). Nitrogen content from leaves or leaf powder was similar to natural FPOM from S. João stream, but lower than the natural FPOM from the larger Ceira River (Table 1). The percentage of organic material in the natural FPOM was very low and different between rivers: approximately 18% in the S. João and 4% in the Ceira (Table 1). FPOM from streams had some algae, although much lower than the biofilm recovered from stones (Table 1). The mean caloric content was highest in leaves either entire or reduced to FPOM (Table 1). The

two natural FPOM differed significantly in terms of calorie content. It was lower in the Ceira than in the S. João stream (Table 1).

Survival of *S. vittatum* larvae during the experiment (two week) was 100%. However, some animals pupated and therefore growth of these specimens was not computed. The highest pupation occurred in specimens fed FPOM *A. glutinosa* (17.5%) followed by FPOM S. João (15%). The size of specimens entering pupation in the set fed with *A. glutinosa* (in the form of FPOM and CPOM) was about double that for the other food items (Fig. 1). No pupation occurred in larvae feeding on macrophyte and biofilm.

Growth rate of *S. vittatum* was significantly influenced by the food item (ANOVA, $p = 0.0082$). The food item promoting the highest growth was *A. glutinosa*, in the form of FPOM (6.48 % day⁻¹) and CPOM (4.24 % day⁻¹, Fig. 2); all other forms of FPOM and biofilm provided relatively low growth rates (0.77 – 1.77 % day⁻¹, Fig. 2). Growth on FPOM from *A. dealbata* promoted 4 times lower growth rate than FPOM from *A. glutinosa*. Neither nitrogen, phosphorus nor energy content was significantly correlated with grow (Fig. 3).

DISCUSSION

Growth values reported in the present work for sets of shredders feeding on alder (4.24 % day⁻¹) were in the upper range of those reported by Graça et al. (2001; 2.9% day⁻¹, for sets of specimens with initial size of 1.7 mg). The aim of the experiments here reported was to determine whether typical shredders can present growth using alternative food resources. The main result was that *A. glutinosa*, both in the form of whole leaves and in reduced FPOM form, promoted similar growth for *S. vittatum*. Therefore, the chemical composition of these leaves, rather than their physical form, was the important factor for growth in our laboratory experiments. This is consistent with the fact that all other forms of FPOM provided relatively low growth. FPOM from *A. dealbata* and *A. glutinosa*, were physically similar to each other, but the latter food item promoted 4 times more growth. The high value of *A. glutinosa* leaves as a food resource was also reported for other shredders (e.g. Friberg & Jacobsen, 1994, 1999, Jacobsen & Friberg, 1995, Graça et al., 2001, González & Graça, 2003).

The macrophyte *M. aquaticum* was also used as food source by *S. vittatum* and promoted some growth. However, the value was 64% lower, compared with leaves of *A. glutinosa*. Friberg & Jacobsen (1994) also showed that the second most consumed food item

was also fresh macrophyte, presenting values ranging from 73 to 37% when compared with leaves of *A. glutinosa*; however, these authors did not measure growth.

When specimens were fed biofilm, their growth was 58% lower than that obtained with leaves of *A. glutinosa*. The capability of shredders for growth when fed with periphyton was also demonstrated with five shredder species by Mihuc & Mihuc (1995). Franken et al. (2005) also showed that biofilm on leaf surfaces had a significant positive effect on the growth of two shredder species. In acidic streams where grazers were absent, Ledger & Hildrew (2005) found that typical shredders such as Leuctridae were important grazers, regulating benthic algae. It seems therefore that some shredders may, in some instances, use benthic algae as energy source.

The FPOM collected directly from the stream was high in nutrient content. FPOM is supposedly constituted by very refractive particles such as pieces of leaves not consumed by fungi or invertebrates, and very high quality resources such as fecal pellets, algae and bacteria. The quality of FPOM is therefore expected to vary seasonally and across streams and therefore its capability to promote growth is variable. In terms of nutrients, Graça et al. (2001) and Friberg & Jacobsen (1999) reported in *A. glutinosa* nitrogen values of 3.5 and 3.1% respectively, and phosphorus levels of 0.09% in both, which is comparable to the values found in the present study, 3.8 and 0.05%, respectively. The biofilm we measured on the incubated stones was 3.8 mg.m⁻² of chlorophyll *a*, which is similar to the 2.5 mg.m⁻² reported by Fisher Wold & Hershey (1999). We calculated biomass at 10 g.m⁻² AFDM, which was higher than the 4 g.m⁻² cited by the same authors. However, those differences are expected given the large differences in water chemistry, temperature and other conditions in rivers.

None of the factors – nitrogen, phosphorus or caloric content – was correlated with growth, as also reported by Friberg & Jacobsen (1999) for nitrogen content. This lack of correlation suggests that other food properties, such as the presence of plant chemical compounds and chemical defenses, micro-nutrients or others are important for shredder consumers. It is relevant to note that leaves of *A. dealbata* and *A. glutinosa* in the form of FPOM promoted the minimum and maximum animal growth rates, respectively, though they presented relatively equal energy content values. In many cases it is difficult, if not impossible, to distinguish between selective feeding and physical or chemical restriction that prevent the intake of all apparently available food material (Cummins, 1973). Since the texture of FPOM samples provided to *S. vittatum* was similar, it is clear the chemical composition of the food is important for shredders.

Pupation may also be an indicator of food quality. Diverse life-history patterns have

evolved to enable species to exploit foods that are seasonably available, to time emergence for appropriate environmental conditions, to evade unfavorable physical conditions, and to minimize repressive biotic interaction (Merritt & Cummins, 1996). Whereas individuals fed on alder entered into pupation at a large size, sets of animals feeding on other food sources diverted energy from growth into pupation. Smaller pupae may result in smaller adults and presumably, smaller-sized reproductive output (Begon et al., 1990).

In a broad ecological context, if the results shown here can be generalized for other shredder species, then the Functional Feeding Groups should be taken from a very flexible perspective, in which shredders feed on CPOM when available, but are capable of surviving, growing and reproducing using other resources. According with Mihuc, (1997) shredders can function as a generalist or specialist at any point in time. This flexible feeding strategy may explain densities of shredders higher than the expected from the available resources (e.g., González & Graça, 2003; Azevedo-Pereira et al., 2006; Graça & Canhoto, 2006). In an ecological context, a generalist strategy makes sense if consumers inhabit environments with high variability of food resources. That is the case when litter input is seasonal in temperate stream systems where hydrological events may wash away leaves (Abelho, 2001) and where spring and summer litter input is minimal. Therefore, according with Mihuc (1997), the use of Functional Feeding Groups to describe resource assimilation at the population or community level may be inappropriate, once that generalist resource partitioning seems to be predominance among lotic macroinvertebrates.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by CAPES Research Grant (BEX 1732/ 04-8) and Portuguese Science Foundation, grant POCTI/BIA-BDE/58297/2004. Nuno Coimbra assisted in the field and laboratory.

REFERENCES

- Abelho, M., 2001. From litterfall to breakdown in streams: a Review. *The Scientific World* 1: 656-680.
- Azevedo-Pereira, H. V. S., M. A. S. Graça & J. M. González, 2006. Life history of *Lepidostoma hirtum* in an Iberian stream and its role on organic matter processing. *Hydrobiologia* 559: 183-192.
- Begon, M., J.L. Harper & C.R. Townsend, 1990. *Ecology, Individuals, Populations and Communities*, 2nd ed., Blackwell Scientific Publications.
- Boulton, A. J. & P. I. Boon, 1991. A review of methodology used to measure leaf litter decomposition in lotic environments: time to turn over an old leaf? *Australian Journal of Marine and Freshwater Reserch* 42: 1-43.
- Canhoto, C., 1994. A decomposição e utilização das folhas de *Eucalyptus globulus* como fonte alimentar por detritívoros aquáticos. Master Thesis. Universidade de Coimbra, Coimbra, 94 pp.
- Canhoto, C. & M. A. S. Graça, 1999. Leaf barriers to fungal colonization and shredders (*Tipula lateralis*) consumption of decomposing *Eucalyptus globulus*. *Microbial Ecology* 37: 163-172.
- Cummins, K. W., 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 18: 183-206.
- Eaton, A. D., L. S. Clesceri, & A. E. Greenberg, 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington.
- Feio, M. J. & M. A. S. Graça, 2000. Food consumption by the larvae of *Sericostoma vittatum* (Trichoptera), an endemic species from the Iberian Peninsula. *Hydrobiologia* 439: 7-11.

- Fisher Wold, A. K. & A. E. Hershey, 1999. Effects of salmon carcass decomposition on biofilm growth and wood decomposition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 767-773.
- Flindt, M. R. & A. I. Lillebø, 2005. Determination of total nitrogen and phosphorus in leaf litter. In Graça, M. A. S, F Bärlocher, & M. O. Gessner (Eds), *Methods to study litter decomposition. A practical guide*. Springer Publ., Netherlands, 53-59.
- Franken, R. J. M., B. Waluto, E. T. H. M. Peeters, J. J. P. Gardeniers, J. A. J. Beijer & M. Scheffer, 2005. Growth of shredders on leaf litter biofilm: the effect of light intensity. *Freshwater Biology* 50: 459-466.
- Friberg, N. & D. Jacobsen, 1994. Feeding plasticity of two detritivore-shredders. *Freshwater Biology* 32: 133-142.
- Friberg, N. & D. Jacobsen, 1999. Variation in growth of the detritivore-shredder *Sericostoma personatum* (Trichoptera). *Freshwater Biology* 42: 625-635.
- Gessner, M. O., E. Chauvet & M. Dobson, 1999. A perspective on leaf litter breakdown in stream. *Oikos* 85: 377-384.
- González, J. M. & M. A. S. Graça, 2003. Conversion of leaf litter to secondary production by a shredding caddis-fly. *Freshwater Biology* 48: 1578-1592.
- Graça, M. A. S., 2001. The role of invertebrates on leaf litter decomposition in stream: a Review. *International Review of Hydrobiologia* 86: 383-393.
- Graça, M. A. S. & C. Canhoto, 2006. Leaf litter processing in low order streams. *Limnetica* 25:1-10
- Graça, M. A. S., C. Gressa, M. O. Gessner, M. J. Feio, K. A. Callies & C. Barrios, 2001. Food quality, feeding preferences, survival and growth of shredders from temperate and tropical streams. *Freshwater Biology* 46: 947-957.
- Jacobsen, D. & N. Friberg, 1995. Food preference of the trichopteran larva *Anabolia nervosa* from two streams with different food availability. *Hydrobiologia* 308: 139-144.
- Ledger, M.E. & A.G. Hildrew, 2005. The ecology of acidification and recovery: changes in herbivore-algal food web linkages across a stream pH gradient. *Environmental Pollution* 133: 1003-1118.
- Merritt, R.W & K.W. Cummins, 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall/ Hunt, Dubuque, 862p.
- Mihuc, T. B., 1997. The functional trophic role of lotic primary consumers: generalist versus specialist strategies. *Freshwater Biology*. 37: 455-462.

- Mihuc, T. B. & J. R. Mihuc, 1995. Trophic ecology of five shredders in a Rocky Mountain stream. *Journal of Freshwater Ecology* 10: 209-216.
- Pardo, I. & M. Álvarez, 2006. Comparison of resources and consumer dynamics in Atlantic and Mediterranean streams. *Limnetica*: 25:271-286.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell & C. E. Cushing, 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Zar, J.H., 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 663 pp.

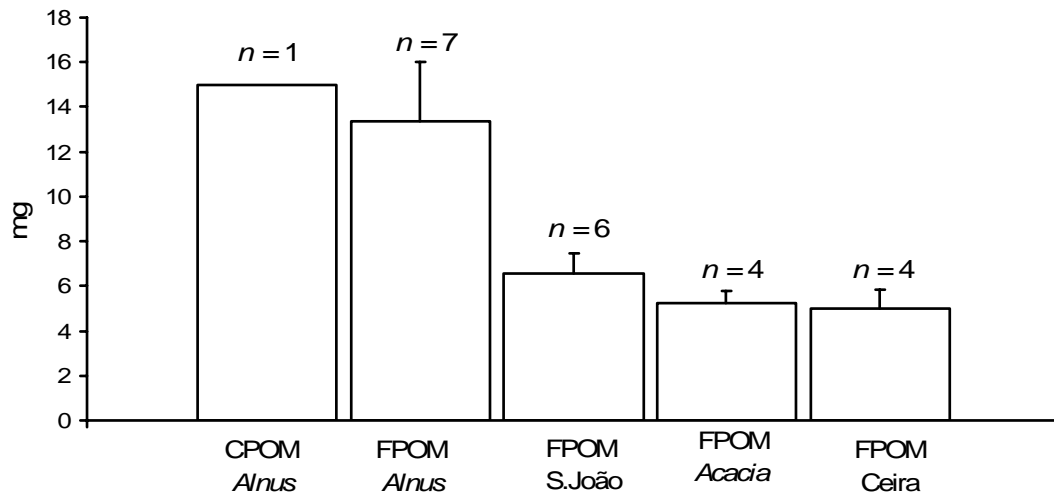


Figure 1. Biomass of *Sericostoma vittatum* (mg DM; mean + SE), pupating during the experiment and their food source.

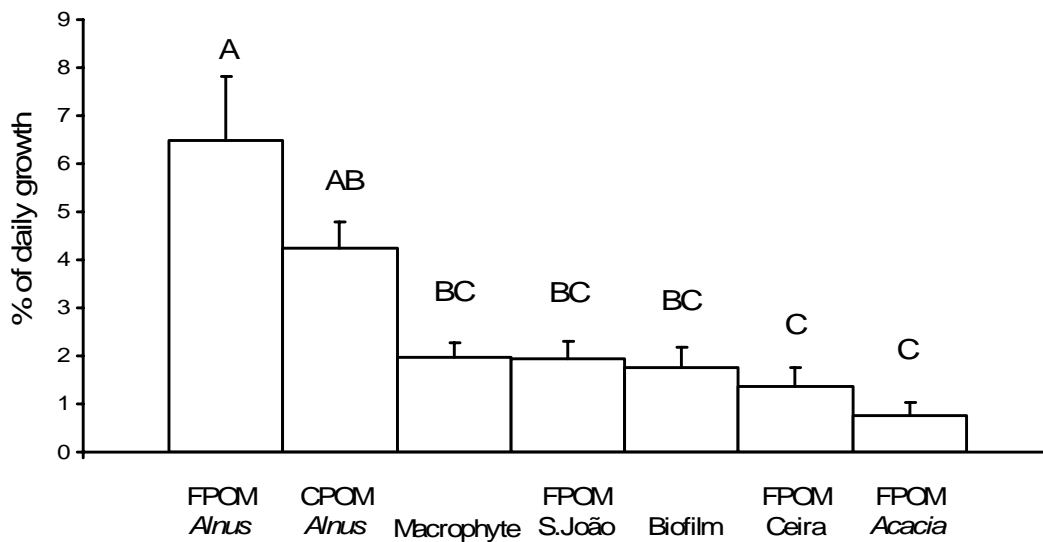


Figure 2. Percentage of daily growth (mean + SE) of *Sericostoma vitattum* fed with 7 food items during two weeks (one-way ANOVA: $p = 0.0082$). Letters above bars indicate homogeneous groups obtained with Tukey HSD test.

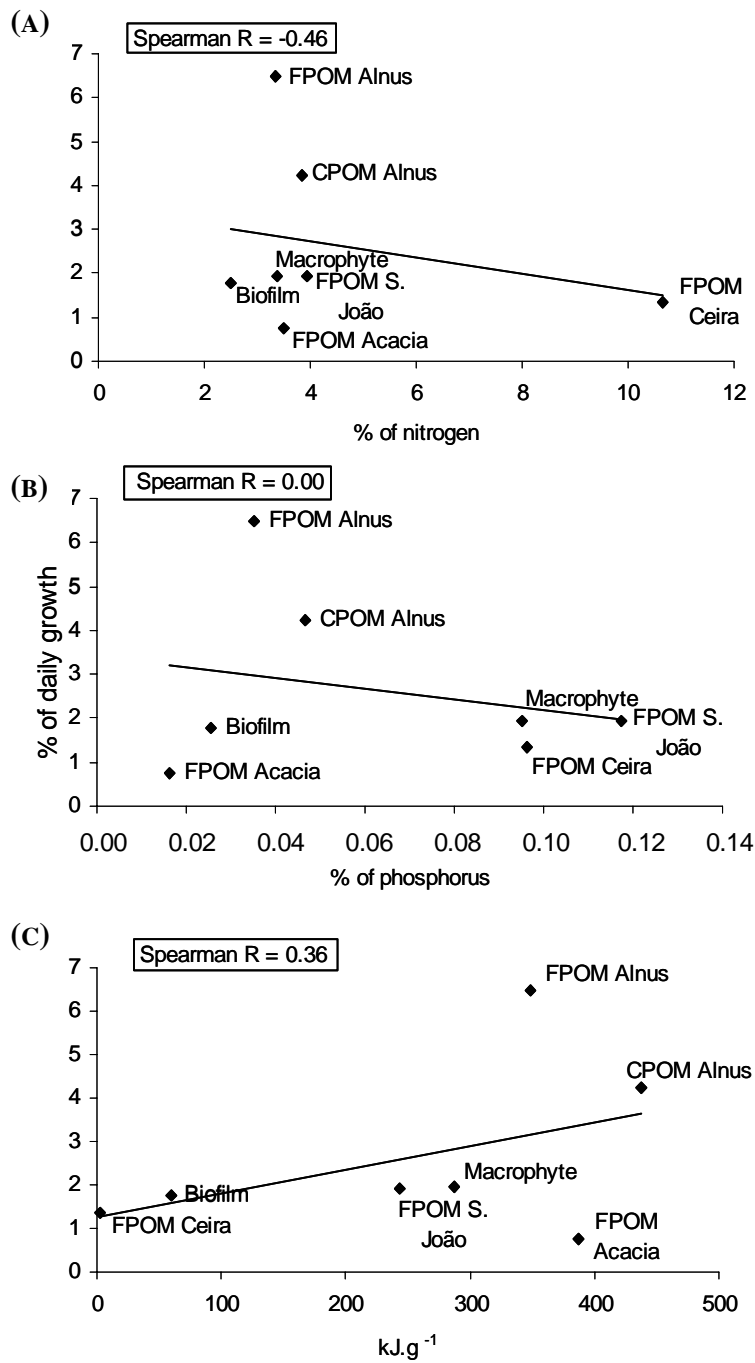


Figure 3. The relationship between percentage of daily growth of *Sericostoma vitattum* and (a) nitrogen, (b) phosphorus and (c) energy (kJ.g⁻¹) of the seven food items (Spearman Rank Correlation, $p > 0.05$).

Table1. Properties of 7 food items offered to the shredder *Sericostoma vittatum*: values are means \pm S.E. of nitrogen (N), phosphorus (P), organic material (OM), chlorophyll *a* (Cla, mg.g⁻¹), and energy contents (EC, kj.g⁻¹). Values expressed per unit of ash free dry mass. Letters indicate homogeneous groups obtained with the Tukey HSD test (Tt).

Food items	N %	Tt	P %	Tt	OM %	Tt	Cla mg.g ⁻¹	Tt	EC kj.g ⁻¹	Tt
	CPOM <i>Alnus</i>	3.8 \pm 0.1	B	0.05 \pm 0.005	AB	84.2 \pm 0.12	B	not aplicable		438 \pm 6
FPOM <i>Alnus</i>	3.3 \pm 0.1	B	0.04 \pm 0.003	AB	85.1 \pm 0.05	B	not aplicable		348 \pm 32	A
FPOM <i>Acacia</i>	3.5 \pm 0.2	B	0.02 \pm 0.001	B	93.7 \pm 0.13	A	not aplicable		387 \pm 11	A
FPOM S. João	3.9 \pm 0.1	B	0.12 \pm 0.01	A	18.8 \pm 0.38	E	2.20 \pm 0.02	B	244 \pm 106	AB
FPOM Ceira	10.7 \pm 1.4	A	0.10 \pm 0.05	AB	4.3 \pm 0.1	F	2.50 \pm 0.2	B	2.62 \pm 0.24	C
Macrophyte	3.4 \pm 0.2	B	0.10 \pm 0.004	AB	87.5 \pm 0.11	C	not aplicable		287 \pm 2.4	AB
Biofilm	2.5 \pm 0.2	B	0.03 \pm 0.002	AB	66.2 \pm 0.55	D	38.00 \pm 0.02	A	60 \pm 0.7	BC

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da dinâmica do aporte de material alóctone e de seu processamento por invertebrados bentônicos procurou reunir dados de campo e de laboratório obtidos através de trabalhos de manipulação experimental, de forma a melhor compreender a complexa relação entre os fatores bióticos e abióticos em riachos. A análise temporal e espacial desta dinâmica também foi verificada, sendo importante para melhor entender a estreita relação entre os macroinvertebrados e o material importado no riacho.

A mata de galeria presente em uma das áreas do Ribeirão da Quinta estudada foi a principal fonte de importação de material alóctone para o riacho. Por outro lado, na área desmatada para pastagem o efeito negativo da remoção da mata nativa foi bastante evidente pela baixa contribuição do material alóctone para o riacho. Porém, a conectividade entre as duas áreas amostradas permitiu o transporte de material alóctone da área com mata para a área desmatada. Os resultados demonstraram a importância da manutenção da conexão entre as duas áreas como meio de minimizar os efeitos negativos do desmatamento.

O processamento das folhas de *Cabrlea canjerana* e *Picreus decumbens* no Ribeirão da Quinta ocorreu principalmente através de uma rápida perda da massa foliar durante o lixiviamento de componentes solúveis, colonização por microorganismos durante o condicionamento das folhas e degradação por abrasão física. O processo inicial de perda foliar parece ter sido influenciado principalmente por uma forte ação de microorganismos no pré-condicionamento das folhas no riacho. Posteriormente, diferenças espaciais e sazonais também tiveram um importante papel no processo de degradação da massa foliar, através das diferenças observadas na intensidade luminosa, velocidade da correnteza e temperatura da água. Estes fatores ambientais tiveram um efeito direto ou indireto na perda de massa foliar que foi bastante rápida quando comparada com a literatura de zonas temperadas e tropicais.

Os fatores ambientais decorrentes das variações espaciais e sazonais também foram importantes na estruturação da comunidade de macroinvertebrados que colonizaram os pacotes de folha no Ribeirão da Quinta. Nesse sentido, a comunidade analisada apresentou um conjunto de espécies que provavelmente levaram vantagem na colonização sob um efeito ambiental forte e outro conjunto, sob um efeito maior de interações bióticas. As folhas pré-condicionadas no riacho parecem ter sido preferidas para colonização pelos macroinvertebrados. Por outro lado, o tipo de folha utilizado parece não ter levado a uma diferença na composição dos macroinvertebrados. A grande abundância e diversidade de

macroinvertebrados amostrados nos pacotes de folha reforçam a importância do material vegetal alóctone, o qual pode ser utilizado como alimento ou refúgio contra predadores e perturbações ambientais.

A grande diversidade e ampla distribuição de organismos que consumiram matéria orgânica como recurso alimentar também reforça a grande importância do material vegetal alóctone para a comunidade de macroinvertebrados do Ribeirão da Quinta. Dentre os macroinvertebrados amostrados, somente o gênero de Trichoptera *Phylloicus* foi classificado como fragmentador especialista, tendo ocorrido predominantemente na área cercada por mata.

Para o Trichoptera fragmentador *Sericostoma vittatum*, endêmico da Península Ibérica, a análise da dieta em laboratório mostrou a ocorrência de uma grande plasticidade alimentar. É possível que este organismo seja especialista em detritos grossos, comuns para riachos temperados, mas em períodos de escassez deste item alimentar ele pode se alimentar de outros recursos disponíveis. O objetivo de verificar através de um estudo em laboratório se o Trichoptera fragmentador *Phylloicus*, coletado no Ribeirão da Quinta, também apresenta esta plasticidade alimentar não pode ser realizado devido a dificuldades logísticas na manipulação das larvas em laboratório, problemas não encontrados para a espécie *S. vittatum*.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)