



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro Biomédico  
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Vinicius Neres de Lima


**Fluxo de carbono em teias tróficas e métricas de estrutura trófica da  
comunidade de rios florestados e impactados da bacia do rio Guapi-  
Macacu, Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2013

Vinicius Neres de Lima

**Fluxo de carbono em teias tróficas e métricas de estrutura trófica da comunidade de rios florestados e impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro**



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Timothy Peter Moulton

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/A

L732 Lima, Vinicius Neres de.  
Fluxo de carbono em teias tróficas e métricas de estrutura trófica da comunidade de rios florestados e impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro / Vinicius Neres de Lima. 2013.  
118 f.  
Orientador: Prof. Dr. Timothy Peter Moulton.  
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.  
1. Ecologia Aquática – Teses. 2. Carbono – Isótopos – Teses. 3. Macroinvertebrados - Guapi-Macacu, Rio – Teses. I. Moulton, Timothy Peter. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. III. Título.

CDU 574.5

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

---

Autor

---

Data

Vinicius Neres de Lima

**Fluxo de carbono em teias tróficas e métricas de estrutura trófica da comunidade de rios florestados e impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2013.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Vinicius Fortes Farjalla  
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Eugenia Zandonà  
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Míriam Pilz Albrecht  
UFRJ

---

Prof. Dr. Daniel Forsin Buss  
FIOCRUZ

Rio de Janeiro

2013



## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais e a minha filha pelo amor e apoio.

## AGRADECIMENTOS

Especialmente ao meu amigo e orientador Timothy Peter Moulton, pela amizade, por confiar em mim e pela orientação. Sem dúvidas não teria feito nem o mestrado se não fosse toda a ajuda que ele tem me dado desde a minha graduação. Ajuda inclusive financeira, pois nos momentos que não tive bolsa, como fim da graduação, todo o mestrado e primeiro ano de doutorado, foi o Tim quem pagou a minha bolsa.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia de Rios e Córregos - UERJ (LERC) (Tim, Andréa Franco-Oliveira, Cristiano Y S Sato, Eduardo F da Silva, Fausto Machado-Silva, Pedro M Andrade e Rafael Feijo de Lima) e aos do Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental - FIOCRUZ (Darcílio Fernandez Baptista, Renata Bley Oliveira e Riccardo Mugnai), pelas discussões e pelas memoráveis campanhas de campo na bacia do rio Guapi-Macacu. Foram ótimos os dias de convivência, tenho muitas boas recordações dessas campanhas de campo: pescaria, piscina, churrasco, o “rally” para encontra as estações amostrais em chão de terra, e as discussões sobre física quântica que aconteciam pontualmente no final das amostragens justamente na hora de guarda no carro todas as amostras e materiais.

Ao Fausto Machado da Silva e Renata Bley da Silveira de Oliveira que me cederam, respectivamente, as bases de dados de perifíton e de macroinvertebrados das estações amostrais.

Á toda equipe do LERC que eu ainda não citei Claudia, Joanna, Priscila, Christine, e principalmente, a Eugenia, Ernesto, Felipe e Roberto pelas discussões sobre fluxo de carbono, modelagem de teia trófica, dieta de macroinvertebrados, Siar, publicação etc.

Ao Instituto BioAtlântica, que coordenou e financiou o Projeto Entre Serras e Águas: Consolidação do Corredor Central Fluminense.

Aos professores e alunos do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução (PPGEE) que contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e acadêmico. E aos amigos da secretaria Henrique e Sônia (PPGEE) e Paulo e Isabela (Departamento de Ecologia), sempre atenciosos, prestativos e eficientes.

Á equipe do Centro de Energia Nuclear na Agricultura-USP (CENA), pelas análises de isótopos estáveis. Especialmente, ao Dr. Plínio Barbosa de Camargo pela discussão do projeto e a Fabina, Edmar Mazzi, Isadora e Neliton Lara que me orientaram no encapsulamento das amostras para análises isotópicas. Ao Neliton ainda, e ao Xuleta e a Juliana pela atenção e hospedagem em Piracicaba, a um quarteirão do CENA.

À Dra. Sirlene Aparecida Felisberto do Laboratório de Análise e Gerenciamento Ambiental de Recursos Hídricos - UFG (LAMARH) e ao MSc. Weliton da Silva do Museu Nacional - UFRJ pelos treinamentos e discussões sobre identificação, amostragem e separação de algas perifíticas. Ao Weliton ainda, e principalmente, aos seus pais D. Natalice e Sr. Agostinho pelo carinho e atenção que me deram quando me hospedei em sua casa em Goiânia, que não fica a um quarteirão do LAMARH, mas a professora Sirlene sempre me dava uma carona.

Aos pesquisadores que participaram da oficina “Ecopath with Ecossim” no CENPES/Petrobrás em setembro de 2012, especialmente, ao professor Ronaldo Angelini pelas discussões sobre modelagem de ecossistema no Ecopath e apresentação do modelo empírico de produção secundária de macroinvertebrados de córregos.

Aos professores da minha banca de mestrado Joel Creed (UERJ), Vinicius Farjalla (UERJ e UFRJ) e Jorge Nessimiam (UFRJ) pelas críticas e sugestões a minha dissertação que me fizeram refletir sobre a importância de se medir os fluxos de matéria na teia trófica.

À minha querida filha Carol pelo amor, paciência, bom-humor e ajuda para triar e rotular as amostras, se bem que havia dias que triava mais as “pedrinhas muito interessantes” do que os macroinvertebrados. Acho que a deixei escapar para a Geologia.

Ao CNPq/CT-Hidro pela concessão da bolsa de doutorado (145334/2009-0) no período de janeiro de 2010 a fevereiro de 2013.

## RESUMO

LIMA, Vinicius Neres de. *Fluxo de carbono em teias tróficas e métricas de estrutura trófica da comunidade de rios florestados e impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro*. 2013. 118 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) - Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Nós estimamos a produção primária de algas perifítica, a produção secundária dos macroinvertebrados e usamos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio para quantificarmos os fluxos de matéria na teia trófica e a estrutura trófica da comunidade de pequenos rios florestados ou com distúrbios antrópicos na bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro Brasil. Em córregos florestados, o fluxo médio de ingestão foi 16,21 g (amplitude = 7,42 - 26,90) de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o fluxo de matéria alóctone representou entre 71 a 87% do fluxo de recursos basais para os macroinvertebrados e o restante foi derivado da produção autóctone. Enquanto que nos córregos que tiveram sua vegetação ripária reduzida para o uso da terra (agricultura e urbanização) o fluxo ingerido foi entre 2,87 e 7,82 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o fluxo de matéria alóctone representou 28 a 74% do fluxo de recursos basais para os macroinvertebrados e o restante foi derivado da produção autóctone. Em ambos os ambientes, menos de 3% da produção autóctone é ingerida em um ano, enquanto que os predadores podem ingerir entre 22 a 139% da produção dos consumidores primários. Poucos táxons, 2 ou 3, tiveram forte influência no fluxo de energia na teia trófica. Nos ambientes preservados, esses táxons chaves foram ou os tricópteros rasgadores *Triplectides* (Leptoceridae), ou os coletores-filtradores *Leptonema* e *Smicridea* ou os dípteros rasgadores Tipulidae; já nos ambientes perturbados, os dípteros Chironomidae se destacaram. A estrutura trófica da comunidade em córregos com distúrbios apresentaram diversidade de níveis tróficos, de recursos basais e diversidade trófica diferentes das de córregos florestados. O trabalho sugere que o fluxo de matéria na teia trófica em córregos foi sensível ao uso da terra. E apesar de mais caro e trabalhoso do que a maioria dos parâmetros comumente utilizados para a avaliação e monitoramento impacto, o fluxo de matéria pode ser complementar na investigação da cascata de causa-efeito.

Palavras-chave: Produção primária. Produção secundária. Teia Trófica Quantitativa. Fluxo de matéria. Macroinvertebrados.

## ABSTRACT

We estimated the primary production of algae of the periphyton, the secondary production of macroinvertebrates and used stable isotopes of carbon e nitrogen to quantify the flows of material in food webs and the trophic structure of community of forested and disturbed streams in the Guapi-Macacu catchment, Rio de Janeiro, Brazil. In forested streams, the average ingestion flow was 16.21 (amplitude = 7.42 - 26.90) g of dry mass.m<sup>-2</sup>.year<sup>-1</sup>, the allochthonous material flow represented between 71 to 87% of basal source flow to macroinvertebrates, the remainder was derived of autochthonous production. While, in streams that had their riparian vegetation reduced for land use (agriculture and urbanization), the flow ingested was 2.87 and 7.82 g of dry mass.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, the allochthonous material flow represented between 28 and 74% of basal source flow to macroinvertebrates, the remainder was derived of autochthonous production. In both environments, less than 3% of autochthonous production is ingested in one year, while the predators can ingest between 22 to 139% of primary consumers production. Few taxa, 2 or 3, had strong influence in the energy flow in the food web. In the preserved environment, these key-taxa were the shredder caddisfly *Triplectides* (Leptoceridae) or the collector-filterers *Leptonema* or *Smicridea* (Hydropsychidae) or the shredder crane fly Tipulidae; while in the perturbed environments, the midge Chironomidae stood out. The trophic structures of community in stream with disturb show diversity of trophic level, of basal source and trophic diversity different of the forested streams. The work suggests that the material flow in the food web in streams was sensitive to land use. In spite of being more expensive and laborious than the majority of the parameters usually used for impact assessment and monitoring, material flow can be complement in investigation of the cause-effects cascade.

Keywords: Primary production. Secondary production. Quantitative food web. Matter flow. Macroinvertebrates.

## LISTA DE FIGURAS

|             |                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 –  | Teia trófica simplificada hipotética de um córrego. As ligações indicam que as espécies acima comem as espécies ou recursos abaixo.....                                                       | 15 |
| Figura 2 –  | Esquemas de teias tróficas simplificadas segundo diferentes tipos de abordagens, as ligações representam o tipo de interação trófica entre os componentes (círculos).....                     | 16 |
| Figura 3 –  | Diagrama simplificado de corrente de energia descrevendo dois níveis tróficos (caixa dos produtores em azul e dos herbívoros em amarelo) numa cadeia alimentar linear.....                    | 17 |
| Figura 4 –  | Cenário hipotético em córregos florestados em um gradiente de cobertura florestal (dossel).....                                                                                               | 20 |
| Figura 5 –  | Mapa da área de estudo, bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                                                                | 23 |
| Figura 6 –  | Distribuição da malha amostral na bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil e variáveis respostas medidas.....                                                                        | 24 |
| Figura 7 –  | Estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                                                                  | 25 |
| Figura 8 –  | Colocação de armadilha tipo covão com isca para captura de macroconsumidores.....                                                                                                             | 32 |
| Figura 9 –  | Coleta de macroinvertebrados pelo método de <i>kick net</i> com malha de 500 $\mu\text{m}$ .....                                                                                              | 32 |
| Figura 10 – | Laboratórios do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (CENA-USP).....                                         | 34 |
| Figura 11 – | Coleta e materiais de preparação do perifíton.....                                                                                                                                            | 35 |
| Figura 12 – | Produção secundária relativa por grupos funcionais de alimentação de macroinvertebrados de estações amostrais de córregos florestados, bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil..... | 43 |
| Figura 13 – | Valores isotópicos de carbono e nitrogênio dos recursos e consumidores de estações amostrais florestadas de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                | 44 |
| Figura 14 – | Teia de assimilação das estações amostrais dos córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                 | 48 |
| Figura 15 – | Teia de fluxo energético ( $\text{g matéria seca.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ) das estações                                                                                                      |    |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|             | amostrais dos córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                                                                                                                                                                                                                | 53 |
| Figura 16 – | Relações entre o gradiente natural do rio (altitude, cobertura de dossel e ordem do rio) e o fluxo de energia de matéria alóctone absoluta (g matéria seca.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> ) e proporcional (fração) para os macroinvertebrados das estações amostrais de córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil..... | 56 |
| Figura 17 – | Relações entre cobertura de canopia e produção primária, secundária de macroinvertebrados raspadores e rasgadores (g matéria seca.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> ) e proporcional (fração) para os macroinvertebrados das estações amostrais de córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                          | 56 |
| Figura 18 – | Logaritmo da produção primária (g de matéria orgânica seca.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> ) por condição ambiental da estação amostral.....                                                                                                                                                                                                             | 57 |
| Figura 19 – | Valores isotópicos de carbono e nitrogênio dos recursos alimentares basais e consumidores das estações amostrais com distúrbios antrópicos.....                                                                                                                                                                                                             | 58 |
| Figura 20 – | Teia de assimilação das estações amostrais dos córregos impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                                                                                                                                                                                | 59 |
| Figura 21 – | Teia de fluxo energético (g matéria seca.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> ) das estações amostrais dos córregos impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                                                                                                                      | 61 |
| Figura 22 – | Relação entre amplitude dos $\delta^{13}\text{C}$ dos consumidores e amplitude dos $\delta^{13}\text{C}$ dos recursos basais.....                                                                                                                                                                                                                           | 64 |
| Figura 23 – | Relação entre a distância média do centróide e amplitude dos $\delta^{13}\text{C}$ dos recursos basais.....                                                                                                                                                                                                                                                 | 64 |
| Figura 24 – | Relação entre a área total e amplitude dos $\delta^{13}\text{C}$ dos recursos basais.....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 65 |
| Figura 25 – | Relação entre amplitude dos $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores e riqueza taxonômica.....                                                                                                                                                                                                                                                                | 65 |
| Figura 26 – | Relação entre desvio padrão da distância media do vizinho mais próximo (SDNND) e riqueza taxonômica.....                                                                                                                                                                                                                                                    | 66 |

## LISTA DE TABELAS

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – | Caracterização e classificação das estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                                                                                                        | 28 |
| Tabela 2 – | Produção primária de algas perifítica e produção secundária dos macroinvertebrados (g de matéria seca.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> ) das estações florestadas de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                              | 42 |
| Tabela 3 – | Fluxos anuais de energia utilizada para produção secundária e ingerida (g de matéria seca.m <sup>-2</sup> , proporcional (%) entre parênteses) para os macroinvertebrados das estações amostrais de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil..... | 52 |
| Tabela 4 – | Fluxos anuais de energia utilizada para produção secundária e ingerida (g de matéria seca.m <sup>-2</sup> ou proporcional (%) ao fluxo para os consumidores primários).....                                                                                            | 62 |
| Tabela 5 – | Sumários das métricas de estrutura trófica das comunidades bióticas de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, RJ.....                                                                                                                                                  | 63 |



## SUMÁRIO

|       |                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                                                                                                                                                                                                    | 14 |
| 1     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                                                                                                                                                                                                           | 21 |
| 1.1   | <b>Área de estudo</b> .....                                                                                                                                                                                                                | 21 |
| 1.2   | <b>Estações amostrais</b> .....                                                                                                                                                                                                            | 22 |
| 1.3   | <b>Coleta e preparação das amostras</b> .....                                                                                                                                                                                              | 31 |
| 1.4   | <b>Análise dos dados</b> .....                                                                                                                                                                                                             | 35 |
| 1.4.1 | <u>Densidade, biomassa e produção</u> .....                                                                                                                                                                                                | 35 |
| 1.4.2 | <u>Fluxo de energia assimilada e de energia ingerida</u> .....                                                                                                                                                                             | 37 |
| 1.4.3 | <u>Métricas de estrutura trófica da comunidade</u> .....                                                                                                                                                                                   | 40 |
| 1.4.4 | <u>Análises estatísticas</u> .....                                                                                                                                                                                                         | 41 |
| 2     | <b>RESULTADOS</b> .....                                                                                                                                                                                                                    | 42 |
| 2.1   | <b>Fluxo de energia na teia trófica de córregos florestados</b> .....                                                                                                                                                                      | 42 |
| 2.1   | <b>Efeitos de distúrbios antrópicos no fluxo de matéria em teias tróficas de córregos</b> .....                                                                                                                                            | 57 |
| 2.3   | <b>Métricas de estrutura trófica da comunidade</b> .....                                                                                                                                                                                   | 63 |
| 3     | <b>DISCUSSÃO</b> .....                                                                                                                                                                                                                     | 67 |
| 3.1   | <b>Fluxo de matéria em teias tróficas de córregos florestados</b> .....                                                                                                                                                                    | 67 |
| 3.2   | <b>Efeitos de distúrbios antrópicos no fluxo de matéria em teias tróficas de córregos</b> .....                                                                                                                                            | 70 |
| 3.3   | <b>Métricas de estrutura trófica da comunidade</b> .....                                                                                                                                                                                   | 71 |
|       | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                                                                                                                                                                                                   | 72 |
|       | <b>APÊNDICE A</b> - Lista dos táxons encontrados nas estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil e seus grupos funcionais de alimentação (GFA), comprimentos e coeficientes da relação massa comprimento. .... | 81 |
|       | <b>APÊNDICE B</b> - Densidade de macroinvertebrados (ind.m <sup>-2</sup> ) encontrados nas estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.....                                                                    | 90 |

**ANEXO A** - The importance of autochthonous vs. allochthonous basal food sources to the food web of a tropical stream along a shading and altitudinal gradient..... 95

## INTRODUÇÃO

A presente tese foi desenvolvida no contexto de um projeto integrado maior, chamado Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia do Rio Guapi-Macacu - Proposta de Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Bacia do rio Macacu. Esse projeto integrado teve o patrocínio do Instituto BioAtlântica e envolveu a participação de pesquisadores do Laboratório de Ecologia de Rio e Córregos - UERJ e do Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental (LAPSA).

O objetivo geral do projeto integrado foi desenvolver o uso de parâmetros funcionais de ecossistemas junto com bioindicadores baseados em estrutura de comunidade para avaliação da saúde de rio, incluindo a qualidade da água. Os parâmetros estudados foram: 1. metabolismo (produção primária, respiração); 2. decomposição de matéria orgânica; 3. ciclagem de nutrientes; 3. índice multimétrico baseado na comunidade de macroinvertebrados e 4. teia trófica. Este último é o assunto da presente tese.

Teia trófica é o caminho do fluxo de energia desde a sua captação por organismos autotróficos, principalmente através do processo de fotossíntese, até a sua dissipação por respiração heterotrófica (LOREAU, 2005) (Figura 1). As teias tróficas, geralmente, são representadas por diagramas com ligações entre consumidores e recursos alimentares, em que as ligações representam as interações tróficas entre esses componentes. A interação trófica representada pode ser de vários tipos dependendo da abordagem do estudo (BENKE, 2011), por exemplo, teia trófica de conectividade, dieta proporcional, de assimilação proporcional, de fluxo energético e da razão entre ingestão do consumidor e produção do recurso alimentar (Figura 2).

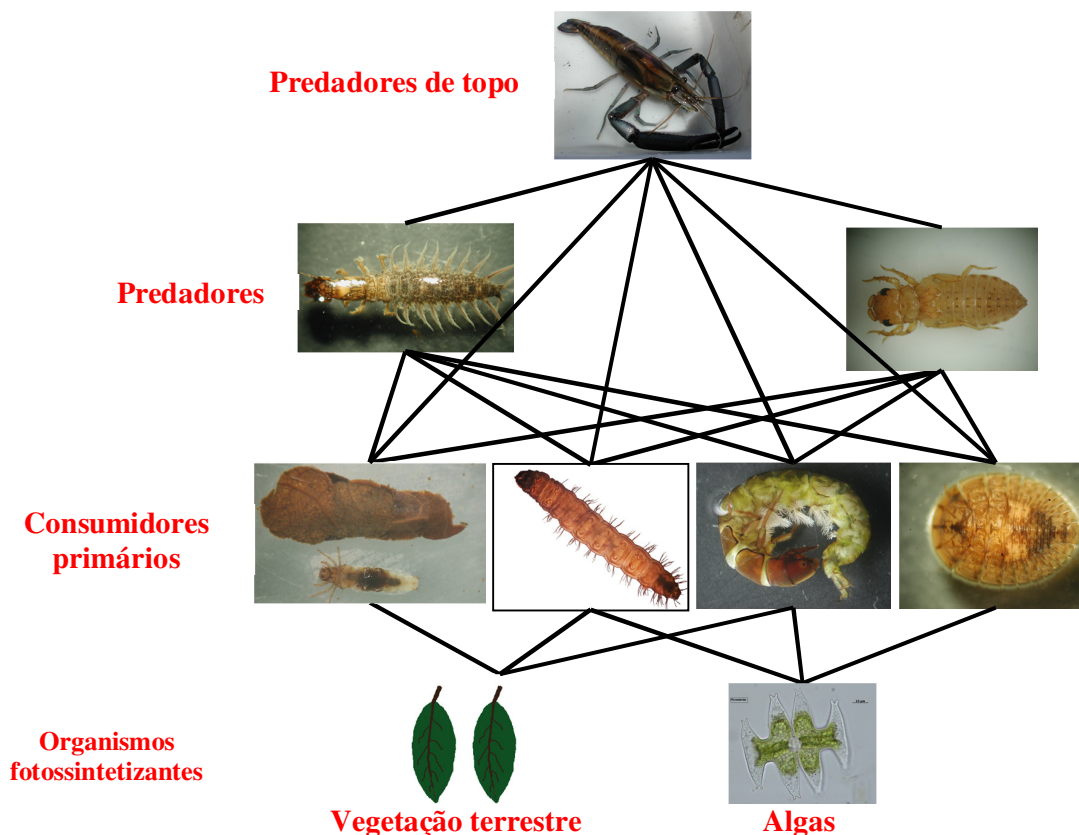


Figura 1 - Teia trófica simplificada hipotética de um córrego. As ligações indicam que as espécies acima comem as espécies ou recursos abaixo. Da esquerda para direita, no nível dos consumidores primários: *Phylloicus* (Trichoptera rasgador); Pyralidae (Lepidoptera rasgador); *Leptonema* (Trichoptera coletor-filtrador); *Psephenus* (Coleoptera raspador). No nível dos predadores: *Coridalus* (Megaloptera) e Gomphidae (Odonata). Predador de topo: *Macrobrachium acanthurus* (Decapoda).

Nas teias tróficas de conectividade, as ligações indicam as espécies ou recursos consumidos, suas bases de dados são obtidas pelas análises qualitativas de conteúdo estomacal dos consumidores. Nas teias tróficas de dieta proporcional, as ligações representam as contribuições proporcionais das espécies ou recursos alimentares na dieta dos consumidores, suas bases de dados são obtidas pelas análises quantitativas de conteúdo estomacal. Na teia trófica de assimilação proporcional as ligações representam as frações das espécies ou recursos alimentares que são assimiladas pelos consumidores. Assimilação é o fluxo de recurso alimentar que é absorvido no trato digestivo e usado no metabolismo e crescimento. As bases de dados para a construção de teias tróficas de assimilação proporcional são obtidas através de análises isotópicas dos consumidores e recursos alimentares ou de análises de conteúdos estomacais dos consumidores combinados com

estimativas das eficiências de assimilação. As eficiências de assimilação (assimilação/ingestão, ou  $A/I$ ) variam de acordo com os recursos alimentares ingeridos, por exemplo, a eficiência de assimilação de alimento de origem animal deve ser maior do que de detritos. Nas teias tróficas de fluxo energético, as ligações representam os fluxos de ingestão, assimilação ou produção absolutos entre os recursos alimentares e seus consumidores, suas bases de dados são obtidas através de análises de conteúdo estomacal e/ou análise de isótopos estáveis combinado com estimativas de produção secundária e eficiência de produção bruta. A eficiência de produção bruta é o produto de  $A/I$  e a eficiência de produção líquida, está última e a razão entre produção e assimilação ( $P/A$ ). Desta forma, a eficiência de produção bruta é a razão entre produção e ingestão ( $A/I \times P/A = P/I$ ). Outras abordagens podem ser utilizadas, como a teia trófica da razão entre o fluxo de ingestão do predador e a produção da presa, que informa a força da pressão de predação (BENKE, 2011).

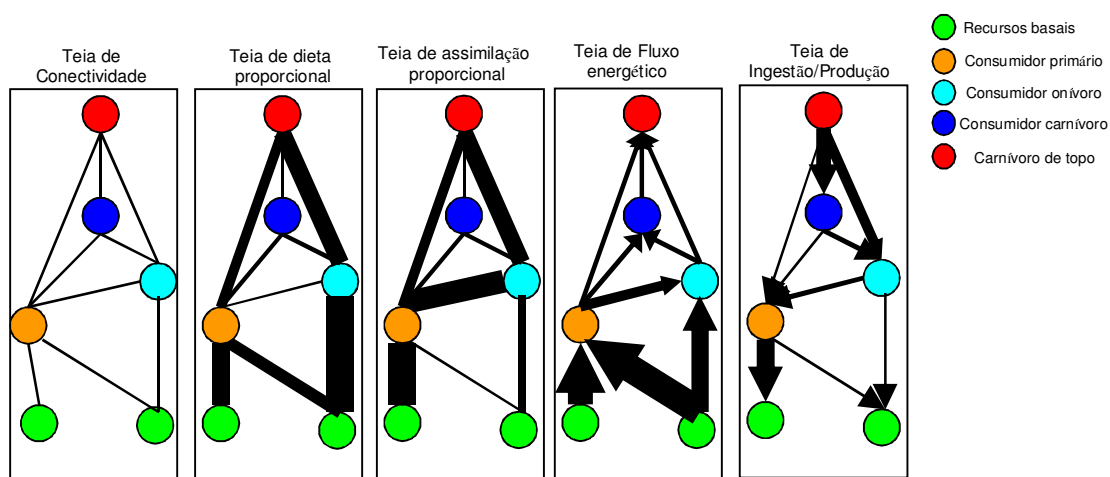


Figura 2: Esquemas de teias tróficas simplificadas segundo diferentes tipos de abordagens, as ligações representam o tipo de interação trófica entre os componentes (círculos). Modificado de BENKE, 2011.

Os princípios das estimativas desses fluxos podem ser explicados por intermédio de diagrama de fluxos proposto por Odum (1956 *apud* ODUM, 2004) (Figura 3). Nestes diagramas, as caixas representam os níveis tróficos e os tubos descrevem a entrada e saída dos fluxos de energia em cada nível. Como determina a primeira lei da termodinâmica, as entradas equilibram as saídas. Além disso, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, cada transferência de energia é acompanhada pela dispersão de energia em forma de calor (isto é, respiração) para a manutenção de um baixo estado de entropia do organismo. Descontando-se as perdas (calor, respiração [R], matéria não utilizada [NU] e não assimilada

[NA]) o que sobra é a produção que fica disponível para a ingestão do nível trófico seguinte. Já a matéria não utilizada pode ser exportada ou consumida em outra teia trófica e a matéria não assimilada fica disponível para o mesmo nível trófico.

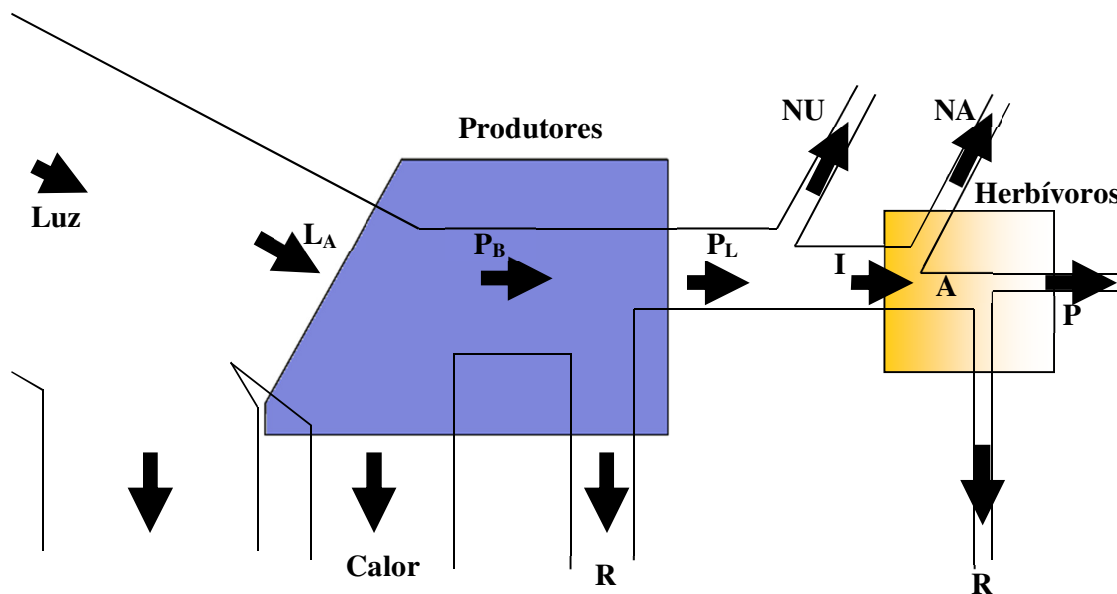


Figura 3 - Diagrama simplificado de corrente de energia descrevendo dois níveis tróficos (caixa dos produtores em azul e dos herbívoros em amarelo) numa cadeia alimentar linear. Legenda:  $L_A$  = luz absorvida pelos produtores;  $P_B$  = produção primária bruta;  $P_L$  = produção primária líquida;  $P$  = produção secundária (consumidor);  $NU$  = energia não utilizada (armazenada ou exportada);  $I$  = entrada total de energia (ingestão);  $NA$  = energia não assimilada pelos consumidores (excretada) e disponível para o mesmo nível trófico;  $R$  = respiração. Modificado de ODUM, 2004).

O marco teórico para o estudo de fluxo de matéria em rios e córregos é o Conceito de Contínuo de Rios (RCC) (VANNOTE et. al., 1980). Segundo o RCC, rios florestados de 1ª a 3ª ordem (córregos) tem um grande aporte de matéria alimentar basal alóctone (que tem origem fora do sistema), principalmente folhas da vegetação ripária que caem nesses sistemas. Além disso, nesses córregos a produção de matéria alimentar basal autóctone (que tem origem no sistema) é baixa devido ao sombreamento da vegetação ripária. Desta forma, os principais recursos alimentares basais que sustentam as teias tróficas em córregos são alóctones, principalmente, folhas da vegetação ripária que caem no rio e que por abrasão, decomposição e consumo são transformados em material orgânico particulado grosso (CPOM, partículas > 1 mm) e fino (FPOM, partículas de 50  $\mu$ m a 1 mm). Consequentemente, segundo o RCC, os animais rasgadores (= fragmentadores, *shredders*) e os coletores devem ser abundantes nestes

córregos e provem a principal ligação entre a matéria orgânica e os predadores (VANNOTE et. al., 1980). No entanto, trabalhos recentes em grandes rios têm questionado a importância do carbono de origem terrestre na rede trófica (THORP e DELONG, 2002). Destas pesquisas surgiu um novo paradigma, o *Revised Riverine Productivity Model*, RRPM, que enfatiza a importância de microalgas como fonte de carbono para a teia trófica metazoária em rios e córregos e a utilização da matéria alóctone (vegetação terrestre) por bactérias heterotróficas, fungos, ciliados, rotíferos e flagelados heterotróficos no microbial loop. A importância das fontes autóctones de carbono tem sido levantada em diversos sistemas aquáticos como, por exemplo, nos Rios Orinoco (HAMILTON, et al., 1992) e Amazonas (FORSBERG et al., 1993).

Estudos utilizando a metodologia da microscopia do conteúdo estomacal de macroinvertebrados e peixes enfatizam a importância da matéria alóctone para a teia trófica metazoária em córregos (por exemplo, no Canadá - TAVARES-CROMAR e WILLIAMS, 1996; na Inglaterra - SCHMID-ARAYA, 2002; na Nova Zelândia - THOMPSON e TOWNSEND, 2005; na Austrália - CHESHIRE et. al., 2005; no Brasil - MOTTA e UIEDA, 2005). Resultados similares foram encontrados em estudos de teia trófica utilizando isótopos estáveis de C e N em córregos de clima temperado (por exemplo, no Canadá - DOUCETT et. al., 1996; e nos USA - FINLAY, 2001, FINLAY et. al., 2002) e de clima tropicais (no Brasil - TASSONI-FILHO, 2010). Entretanto, estudos em córregos tropicais de pequena ordem indicaram a importância das algas nas cadeias tróficas (por exemplo, utilizando a metodologia de análises de isótopos estáveis, Hong Kong - SALAS e DUDGEON, 2001; MANTEL et. al., 2004; LI e DUDGEON, 2008, 2009; Porto Rico - MARCH e PRINGLE, 2003; Austrália - DOUGLAS et. al., 2005; e no Brasil - DETWEILER, 2005; BRITO et. al., 2006; LIMA, 2009; e utilizando análise microscópica do conteúdo estomacal, no Brasil - UIEDA e MOTTA, 2007). Apesar da controvérsia, o paradigma para os córregos sombreados em regiões temperadas de que a matéria orgânica alóctone é a principal fonte de energia e biomassa para as teias tróficas destes ecossistemas é amplamente divulgado, mesmo nas regiões tropicais.

Apesar da discussão, poucos estudos têm sido feitos para verificar se a produção autóctone é limitante para sustentar a produção secundária e para quantificar os fluxos de material alóctone e autóctone em córregos florestados (HALL et al., 2000; WHITING et al., 2011). Grande parte dos estudos de teias tróficas em córregos descreve a teia de conectividade ou a teia da fração de contribuição dos recursos alimentares ingeridos ou assimilados - o que pode não ser suficiente para se determinar a predominância do fluxo de matéria autóctone ou

alóctone na teia trófica. Procedimentos para quantificar esses parâmetros e assim construir teias de fluxo quantitativas podem ser obtidos com a combinação de medidas de produção e análise da dieta e assumindo eficiências ecológicas alimento-específico da literatura (BENKE, 2010, 2011; BENKE e WALLACE, 1997).

O entendimento de como sistemas florestados se estrutura e funciona é de grande importância para avaliação da saúde do ecossistema de rios e córregos, pois distúrbios devem afetar direta e indiretamente os parâmetros estruturais da comunidade e funcionais do ecossistema, por exemplo, distúrbios antrópicos (como desmatamento, agricultura, pastagem e urbanização) alteram o fluxo de nutriente e de matéria alóctone que entram nesses corpos d'água (BUNN et al., 1999; BENSTEAD e PRINGLE, 2004). Geralmente, esses distúrbios diminuem o aporte de material alóctone para os rios, ao mesmo tempo, aumentam o aporte de N e P, incrementando assim a produção autóctone. Esses impactos podem se propagar pela teia trófica afetando a produção secundária (controle ascendente), por exemplo, pode haver o aumento relativo da produção secundária dos animais raspadores (*scrapers*) em detrimento dos rasgadores (*shredders*). O desmatamento da vegetação ripária, por sua vez, pode provocar o aumento da erosão das margens dos rios, provocando o seu assoreamento e, conseqüentemente, gerando a perda de habitat para os animais, que devem ter sua produção secundária reduzida.

Nossos objetivos estão relacionados aos grupos de macroinvertebrados insetos e moluscos da bacia do rio Guapi-Macacu, exceto as métricas de Layman que estão relacionadas aos consumidores totais incluindo peixes e macrocrustáceos dessa bacia. Seguem-se os objetivos:

- 1) Quantificar os fluxos de energia para a teia trófica de córregos florestados, identificando qual é a via mais importante (alóctone ou autóctone);
- 2) Avaliar os efeitos do distúrbio antrópico no fluxo de energia em teia trófica de córregos.
- 3) Calcular as métricas de estrutura trófica da comunidade propostas por Layman e colaboradores (2007a)

Nosso cenário, que está relacionado com o RCC, é que, em teias tróficas de córregos florestados, (a) o fluxo de matéria alóctone para teia trófica aumente com o sombreamento, pois (b) deve haver a diminuição da produção autóctone em córregos mais sombreados, conseqüentemente (c) a produção secundária dos macroinvertebrados raspadores devem diminuir e (d) a produção dos fragmentadores deve aumentar, pois acreditamos que o aporte de matéria alóctone aumente com o sombreamento (Figura 4).



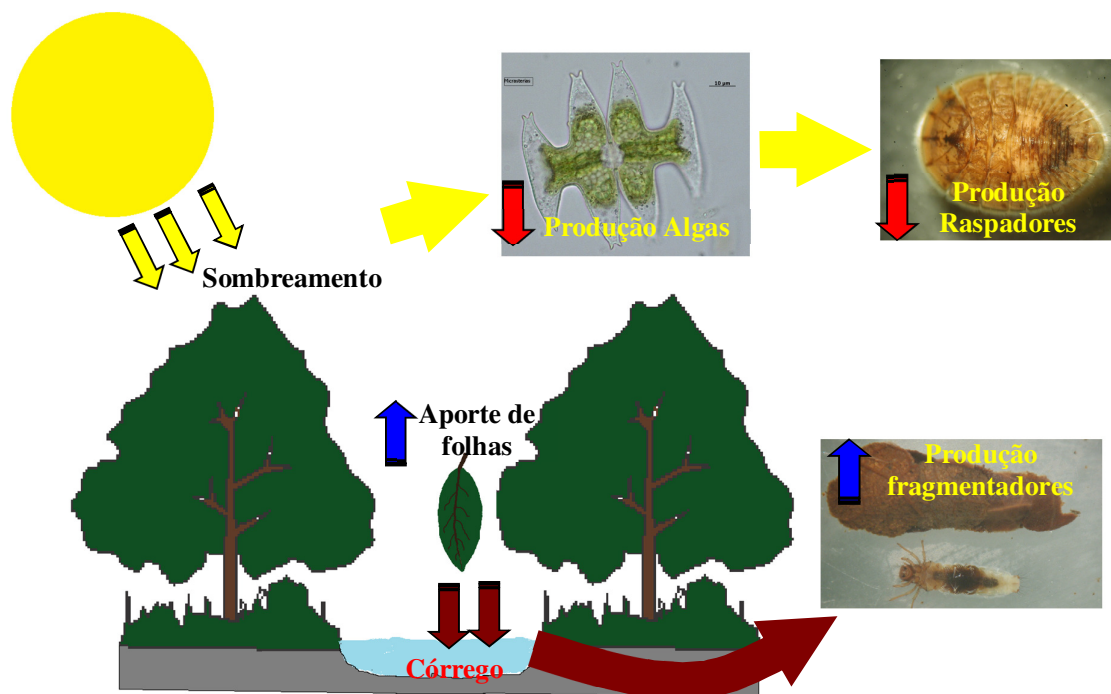


Figura 4 - Cenário hipotético em córregos florestados em um gradiente de cobertura florestal (dossel). No gradiente de cobertura florestal, o fluxo de matéria da vegetação terrestre (alóctone) para o rio deve aumentar e a produção primária de algas (autóctone) deve diminuir. Dessa forma, a importância do fluxo de energia para teia trófica pela via alóctone deve aumentar nesse gradiente e conseqüentemente, a produção secundária dos macroinvertebrados fragmentadores (= raspadores) deve aumentar e dos raspadores deve diminuir.

Além disso, acreditamos que, em córregos com distúrbios antrópicos (e) haja uma maior produção autóctone devido à diminuição da sua cobertura florestal e ao aumento do aporte de nutrientes. Assim e considerando que o aporte de matéria alóctone deve ser menor em córregos desflorestados, acreditamos que (f) deve haver uma maior contribuição proporcional do fluxo de matéria autóctone para os macroinvertebrados, (g) o fluxo de energia absoluta para a teia trófica deve diminuir devido à perda de táxons sensíveis, relacionado ao efeito do distúrbio antrópico, e, por fim, (h) a estrutura trófica de comunidades de córregos com distúrbios antrópicos deve ser diferente da estrutura de córregos florestados.

## 1 MATERIAIS E MÉTODOS

### 1.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia do rio Guapi-Macacu (BGM) situada entre as coordenadas  $43^{\circ} 03' 33,323''\text{W} / 22^{\circ} 41' 55,193''\text{S}$  (699407 E /7488252 N, projeção UTM, fuso 23) e  $42^{\circ} 33' 3,015''\text{W} / 22^{\circ} 21' 3,343''\text{S}$  (725205 E /7526124 N, projeção UTM, fuso 23), datum horizontal Córrego Alegre. A BGM possui aproximadamente 1260 km<sup>2</sup> de área distribuída pelos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí. Essa bacia corresponde a aproximadamente 31% do total da área continental de contribuição à Baía de Guanabara (COSTA, 1999). A nascente principal do rio Macacu (Guapi-Macacu) está localizada a 1800 m de altitude na serra da Boa Vista, dentro dos limites do Parque Estadual dos Três Picos (PETP), no município de Cachoeira de Macacu, e desemboca na porção nordeste na Baía da Guanabara, dentro da APA de Guapimirim, como rio Guapi-Macacu. Além do PETP e da APA de Guapimirim, as Unidades de Conservação Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Estação Ecológica Estadual do Paraíso, APA de Petrópolis e APA do rio Macacu estão presentes na BGM. A Área de Proteção Ambiental do Rio Macacu é aplicada a 150 m das margens dos rios principais (Macacu e Guapimirim) e 50 m das margens dos afluentes (OLIVEIRA, 2010). Os rios São Joaquim, Bela Vista, Bengala, Soarinho, das Pedras, Iconha e Guapimirim pela margem esquerda e pela margem direita os rios Cassiano e Guapi-Açu são os afluentes da BGM (Figura 5).

O principal uso da água nessa unidade hidrográfica é o abastecimento humano e de atividades econômicas e agrárias. Na BGM, estão localizadas as captações do sistema Imunana-Laranjal, que abastece São Gonçalo, Niterói e Itaboraí, além de captações da CEDAE para atendimento aos municípios de Cachoeiras de Macacu e Guapimirim, principalmente. Existem algumas indústrias e atividades minerais de pequenos e médios portes instaladas na região e extração de areia para construção civil. Quanto aos grandes empreendimentos destacam-se a Schincariol, o Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro (COMPERJ) e gasoduto Cabiúnas-Reduc (GasDuc III) da Petrobrás S.A. e o Arco Metropolitano. Também são desenvolvidas atividades de lazer e turismo nas áreas de serra, muito importantes em nível regional. Deve ser lembrado que os rios desta bacia estão articulados à área de mangue da baía da Guanabara, sendo indiretamente associados à

atividade de pesca e diretamente na promoção da conectividade ecológica da bacia Hidrográfica.

## 1.2 Estações amostrais

Onze estações amostrais em córregos florestados e cinco em córregos com distúrbios antrópicos foram amostradas para as estimativas de produção primária e secundária, sendo que destas cinco estações florestados e duas com distúrbios foram selecionadas para a descrição do fluxo de matéria na teia (Figura 6 e 7). As estações amostradas foram de 1ª a 3ª ordem, exceto a estação FRC11, que é de 4ª ordem. Outras estações foram amostradas, mas os valores isotópicos de carbono de perifíton e matéria alóctone foram similares, e nesses casos a metodologia de análise de isótopos estáveis não se aplica, portanto essas estações não foram incluídas na minha tese. Fotos aéreas foram utilizadas para classificar e calcular as percentagens de cobertura vegetal e de uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica a montante da estação de coleta (área de vegetação natural, agrícola, urbana, campo e pastagem). A vazão foi medida utilizando o método de injeção de sal (*slug-injection method*) (GORDON et. al., 1992) e a medição de sua diluição a jusante com um condutivímetro. A vazão foi calculada a partir da integração da curva da condutividade por tempo. A temperatura da água foi medida. Ao longo de seis transecções dos trechos amostrados, foram medidos: a cobertura de florestal (dossel) utilizando-se um densiômetro esférico (*Forest Densiometer, Bartlesville*) e as larguras e profundidades médias do canal com réguas e trenas (Tabela 1).

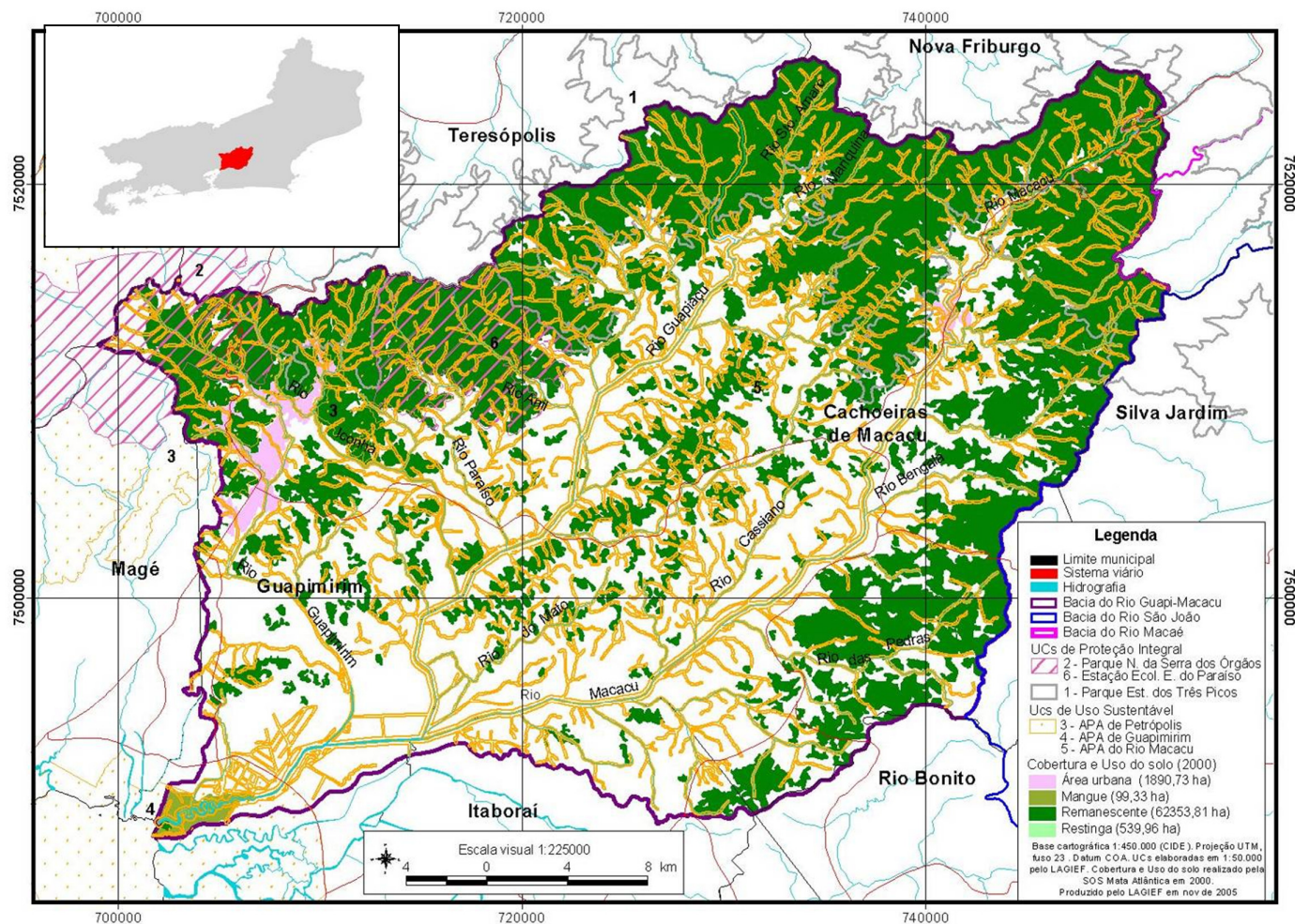


Figura 5- Mapa da área de estudo, bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.

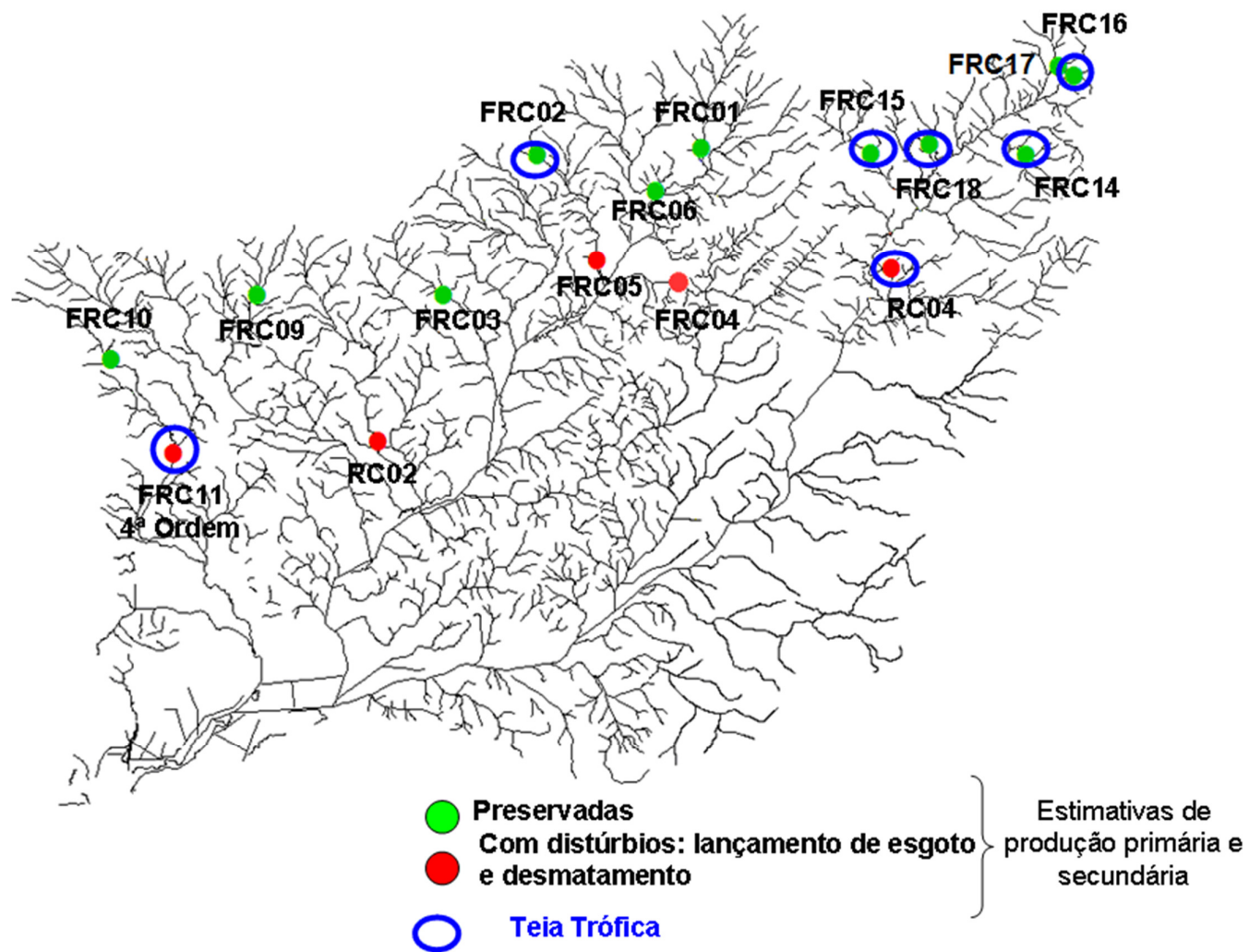


Figura 6 - Distribuição da malha amostral na bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil e variáveis respostas medidas.



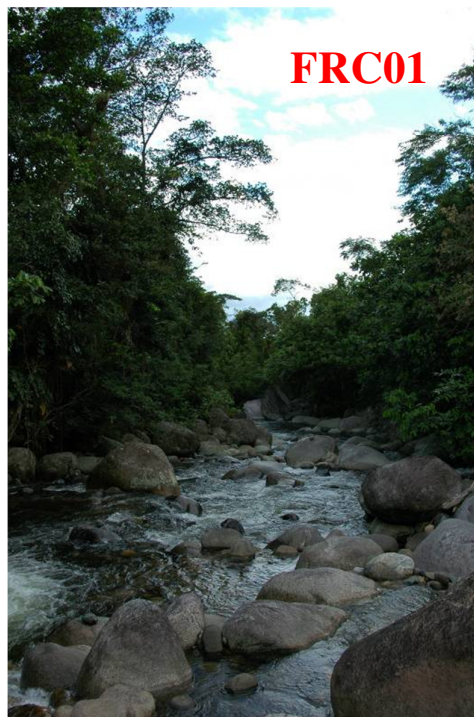
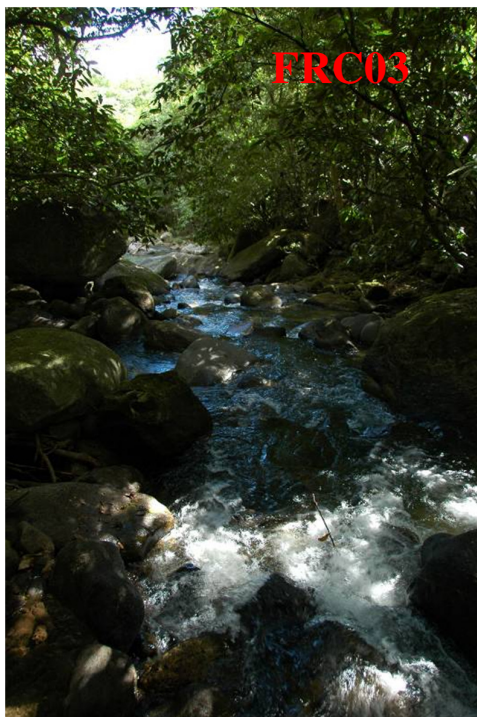


Figura 7 - Estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.  
Fotos: Moulton, T.P. (Continua)





Figura 7 - (Continuação)



Figura 7 - (Conclusão)



Tabela 1 - Caracterização e classificação das estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. (Continua)

| <b>Código da Estação</b> | <b>Bacia</b> | <b>Coordenadas (Projeção UTM, fuso 23)</b> | <b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área de Agricultura ou Pastagem (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área Urbana (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área de Campo Antrópico (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área de Floresta Ombrófila Densa (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área Florestada (%)</b> | <b>Classe</b> |
|--------------------------|--------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|---------------|
| FRC14                    | Macacu       | 748553 E<br>7518962 N                      | 6537415                           | 0                                                      | 0                                  | 24190                                          | 6513224                                                 | 99,63                      | Preservado    |
| FRC09                    | Guapimirim   | 711400 E<br>7512235 N                      | 7187326                           | 25193                                                  | 39843                              | 8363                                           | 7113927                                                 | 98,98                      | Preservado    |
| FRC03                    | Guapiaçu     | 720479 E<br>7512390 N                      | 962441                            | 0                                                      | 0                                  | 1007                                           | 961435                                                  | 99,90                      | Preservado    |
| FRC06                    | Guapiaçu     | 730700 E<br>7517252 N                      | 30596220                          | 779578                                                 | 0                                  | 0                                              | 29816642                                                | 97,45                      | Preservado    |
| FRC15                    | Macacu       | 741126 E<br>7518885 N                      | 10974387                          | 506199                                                 | 0                                  | 487418                                         | 9980769                                                 | 90,95                      | Preservado    |
| FRC16                    | Macacu       | 750824 E<br>7522644 N                      | 1493562                           | 0                                                      | 19726                              | 0                                              | 1473836                                                 | 98,68                      | Preservado    |
| FRC01                    | Guapiaçu     | 732867 E<br>7519312 N                      | 16837585                          | 234689                                                 | 0                                  | 0                                              | 16602896                                                | 98,61                      | Preservado    |
| FRC10                    | Guapimirim   | 704466 E<br>7509410 N                      | 5437079                           | 0                                                      | 436                                | 0                                              | 5436643                                                 | 99,99                      | Preservado    |

Tabela 1. (Continuação)

| <b>Código da Estação</b> | <b>Bacia</b> | <b>Coordenadas (Projeção UTM, fuso 23)</b> | <b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área de Agricultura ou Pastagem (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área Urbana (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área de Campo Antrópico (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área de Floresta Ombrófila Densa (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área Florestada (%)</b> | <b>Classe</b> |
|--------------------------|--------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|---------------|
| FRC17                    | Macacu       | 750086 E<br>7523154 N<br>724990 E          | 1851126                           | 0                                                      | 29667                              | 159194                                         | 1662264                                                 | 89,80                      | Preservado    |
| FRC02                    | Guapiaçu     | 7518992 N<br>743897 E                      | 2144963                           | 4067                                                   | 0                                  | 82553                                          | 2058343                                                 | 95,96                      | Preservado    |
| FRC18                    | Macacu       | 7519498 N<br>731339 E                      | 661223                            | 0                                                      | 0                                  | 0                                              | 661223                                                  | 100,00                     | Preservado    |
| FRC04                    | Guapiaçu     | 7512958 N<br>727860 E                      |                                   |                                                        |                                    |                                                |                                                         |                            | Impactado     |
| FRC05                    | Guapiaçu     | 7513994 N<br>717319 E                      | 16343752                          | 5828454                                                | 158394                             | 92335                                          | 10264569                                                | 62,80                      | Impactado     |
| RC02                     | Guapiaçu     | 7505566 N<br>707463 E                      | 29877514                          | 7381914                                                | 119548                             | 6893                                           | 22369158                                                | 74,87                      | Impactado     |
| FRC11                    | Guapimirim   | 7505090 N<br>741970 E                      | 90747881                          | 6127366                                                | 11025674                           | 1625954                                        | 71968888                                                | 79,31                      | Impactado     |
| RC04                     | Macacu       | 7515353 N                                  | 7691162                           | 2152349                                                | 16034                              | 61632                                          | 5461148                                                 | 71,01                      | Impactado     |

Tabela 1 - (Conclusão)

| <b>Código da Estação</b> | <b>Altitude (m)</b> | <b>Ordem</b> | <b>Inclinação (graus)</b> | <b>Largura do Canal (m)</b> | <b>Profundidade Média (cm)</b> | <b>Cobertura de dossel (%)</b> | <b>Vazão (L.s<sup>-1</sup>)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>pH</b> | <b>Condutividade</b> | <b>Alcalinidade Total</b> |
|--------------------------|---------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------|----------------------|---------------------------|
| FRC14                    | 520                 | 3            |                           | 9,12                        | 28,27                          | 77                             | 158                             | 20,82                   | 7,18      | 19,01                | 30,8                      |
| FRC09                    | 156                 | 3            | 3,50                      | 5,34                        | 32,73                          | 87                             | 129                             | 23,31                   | 6,94      | 17,6                 | 26,7                      |
| FRC03                    | 85                  | 3            | 1,10                      | 7,66                        | 21,67                          | 70                             | 208                             | 23,51                   | 7,03      | 22,1                 | 32,86                     |
| FRC06                    | 27                  | 3            |                           | 17,66                       | 20,83                          | 60                             | 350                             | 21,16                   | 6,56      | 14,98                | 20,54                     |
| FRC15                    | 354                 | 3            | 3,20                      | 8,54                        | 46,87                          | 59                             |                                 | 23,05                   | 7,16      | 18,8                 | 32,86                     |
| FRC16                    | 822                 | 2            | 6,90                      | 3,92                        | 16,80                          | 86                             | 65                              | 19,02                   | 7,06      | 17,19                | 36,97                     |
| FRC01                    | 165                 | 3            | 4,00                      | 13,17                       | 33,23                          | 27                             | 917                             | 20,40                   | 6,85      | 15,09                | 20,54                     |
| FRC10                    | 349                 | 2            | 6,50                      | 6,88                        | 30,10                          | 81                             | 153                             | 22,26                   | 7,13      | 18                   | 20,54                     |
| FRC17                    | 887                 | 1            | 7,00                      | 2,86                        | 21,27                          | 91                             | 42                              | 19,22                   | 7,18      | 17,68                | 30,8                      |
| FRC02                    | 325                 | 2            | 9,00                      | 9,31                        | 27,42                          | 77                             | 95                              | 20,33                   | 6,91      | 16,99                | 22,6                      |
| FRC18                    | 337                 | 1            | 5,80                      | 8,07                        | 47,37                          | 84                             | 28                              | 21,58                   | 7,02      | 20,7                 | 24,65                     |
| FRC04                    | 29                  | 3            | 0,80                      | 7,61                        | 40,41                          | 30                             | 1211                            | 25,18                   | 6,29      | 24                   | 34,9                      |
| FRC05                    | 26                  | 3            | 0,33                      | 5,54                        | 22,87                          | 10                             | 266                             | 29,05                   | 6,77      | 29,7                 | 34,9                      |
| RC02                     | 19                  | 3            | 1,00                      | 5,68                        | 23,53                          | 94                             | 206                             | 25,58                   | 6,66      | 23                   | 33,7                      |
| FRC11                    | 33                  | 4            | 2,50                      | 17,27                       | 19,94                          | 0                              | 4460                            | 26,06                   | 6,06      | 105,8                | 139,7                     |
| RC04                     | 78                  | 2            | 1,00                      | 4,58                        | 38,17                          | 12                             | 357                             | 25,34                   | 7,05      | 16,92                | 30,81                     |

### 1.3 Coleta e preparação das amostras

As coletas foram realizadas entre janeiro e março de 2007 em um trecho de 50 a 100 metros em cada estação amostral e inclui pelo menos um microhabitat de poço e uma corredeira. Para quantificação do fluxo de matéria na teia trófica foi analisada a composição isotópica de carbono e nitrogênio de cinco estações amostrais preservadas e de duas com distúrbios antrópicos.

Os macroconsumidores (peixes, girino, camarões e caranguejos) foram coletados com puçás e armadilhas do tipo covó (Figura 8). Como essas amostragens não foram quantitativas, os fluxos de matéria para os macroconsumidores não foram estimados. Os macroconsumidores foram identificados com o auxílio de chaves taxonômicas (por exemplo, GÉRY, 1977; BURGESS, 1989; NELSON, 1994; MELO, 2001; GARAVELLO e BRITSKI, 2003; MUGNAI et al., 2006) e com a ajuda de especialistas. Para as análises isotópicas de carbono e nitrogênio, amostras de tecido muscular dos macroconsumidores foram retiradas. Essas amostras foram levadas para estufa para secar por 48 horas a 60°C; pulverizada (reduzidas a pó); colocadas em cápsulas de estanho e então analisadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (CENA-USP) quanto as suas composições isotópicas de carbono e nitrogênio.

Os macroinvertebrados foram coletados pelo método de *kick net* (malha de 500 µm, Figura 9). Cada amostra de macroinvertebrados foi composta de 20 retiradas de múltiplos habitats (pedra, areia e folhiço), correspondendo a uma área amostral total de 20 m<sup>2</sup> (OLIVEIRA, 2009). As amostragens foram proporcionais a disponibilidade de habitats. Uma subamostra de cada estação foi utilizada para quantificação (abundância [OLIVEIRA et. al., 2011a,b], densidade e produção secundária) do macroinvertebrados e outra subamostra foi utilizada para a análise da composição isotópica de carbono e nitrogênio desses táxons e estimativas de seus comprimentos individuais médios.



Figura 8 - Colocação de armadilha tipo covão com isca para captura de macroconsumidores.  
Fotos: Moulton, T.P.



Figura 9 - Coleta de macroinvertebrados pelo método de *kick net* com malha de 500  $\mu\text{m}$ .  
Fotos: Moulton, T.P.

Os macroinvertebrados foram identificados até o menor nível taxonômico possível (família, subfamília, gênero) utilizando chaves de identificação (por exemplo, MERRIT e CUMMINS, 1989; DA-SILVA et. al., 2003; SALLES et. al., 2004; OLIFIERS et. al., 2004; PES et. al., 2005; PASSOS et. al., 2007; MUGNAI et. al., 2009). Os macroinvertebrados foram classificados quanto ao grupo funcional de alimentação (GFA) de acordo com o descrito na literatura (por exemplo, MERRIT e CUMMINS (1989); BAPTISTA et. al., 2006; HENRIQUES-OLIVEIRA e NESSIMIAN, 2010). Os comprimentos dos macroinvertebrados foram medidos com o auxílio de paquímetro e micro réguas para a estimativa das suas biomassas individuais e populacionais. Foram medidos entre 1 e 20 espécimes por estação e táxon (Apêndice, lista dos táxons encontrados e seus GFA, comprimentos e coeficientes da relação massa comprimento).

Para as análises isotópicas de carbono e nitrogênio dos macroinvertebrados, seus tratamentos digestórios foram retirados e todo resto do corpo dos animais foram deixados na estufa por 48 horas a 60°C para secar. Para animais pequenos, como os dípteros da família Chironomidae e Simuliidae, entre cinco a dez indivíduos foram agrupados para compor uma amostra, enquanto que para os demais táxons, as amostras foram compostas por apenas um indivíduo por táxon. Depois de pulverizadas, as amostras foram colocadas em cápsulas de estanho e pesadas em balança de precisão 0,001 mg. As amostras de macroinvertebrados foram analisadas quanto à composição isotópica de carbono e nitrogênio no CENA-USP (Figura 10). Algumas amostras ficaram com menos de 0,8 mg DM, que é o limite mínimo para a análise isotópica de insetos, e então não foram analisadas.

Amostras de folhas caídas no córrego foram coletadas em seis estações florestadas e preparadas (lavadas, secas, pulverizadas, pesadas e colocadas em cápsula de estanho) para as análises isotópicas. Os valores isotópicos (médias e desvio padrão) dessas seis amostras foram utilizados como os valores isotópicos dos recursos alóctones de todas as estações.



Figura 10 - Laboratórios do o Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (CENA-USP). À esquerda, bancada para encapsulamento e pesagem das amostras para análise isotópica. À direita, espectrômetro de massas. Fotos: Lima, V.N.

A amostragem do perifíton consistiu na raspagem de três amostras por pedra e cinco pedras por estação com um amostrador de perifíton (MACHADO-SILVA, 2009). Esse amostrador consiste de um desentupidor de pia com uma escova acoplada no seu “copo” e uma seringa de 60mL inserida na sua lateral (cf LOEB, 1980). As amostras de perifíton são obtidas pressionando firmemente o desentupidor no substrato e o escovando. Depois disso, o perifíton já solto do substrato é coletado com a seringa (Figura 11). As amostras de cada estação foram agrupadas para compor uma amostra de perifíton por estação. Foi feita a leitura de clorofila *a* das amostras por fluorimetria (Fluorômetro Aquafluor 8000 - Turner Designs, Sunnyvale, CA, EUA). Posteriormente, as leituras de clorofila *a* foram convertidas em massa seca de clorofila *a* utilizando a relação empírica desenvolvida por Moulton e colaboradores (2009):

$$\text{Clorofila } a \text{ } (\mu\text{g.L}^{-1}) = 0,204 \cdot \text{fluorescência} \quad (R^2 = 0,81) \quad \text{Eq.1}$$

As medidas de clorofila *a* foram convertidas para g de matéria seca.m<sup>-2</sup> segundo a equação:

$$\text{Clorofila } a \text{ } (\mu\text{g.m}^{-2}) = (\text{Clorofila } a \text{ } (\mu\text{g.L}^{-1}) \cdot \text{Volume}) / \text{área} \quad \text{Eq.2}$$



onde:

vol - volume da amostra em L;

área - área de substrato raspada em m<sup>2</sup>.

As amostras de perifíton foram filtradas em filtros de sílica GF/D *Whatman*, deixadas na estufa por 48 horas a 60°C e analisadas quanto a composição isotópica de carbono e nitrogênio no CENA-USP.



Figura 11 - Coleta e materiais de preparação do perifíton. A esquerda, Fluorômetro Aquafluor 8000 (Turner Designs, Sunnyvale, CA, EUA) e o amostrador de perifíton. Foto: Sato, C.Y.S.; A direita, coleta de perifíton. Foto: Moulton, T.P.

## 1.4 Análise dos dados

### 1.4.1 Densidade, biomassa e produção

As biomassas de clorofila *a* (g de matéria seca.m<sup>-2</sup>) foram convertidas para biomassa de algas (g de matéria seca.m<sup>-2</sup>) assumindo-se que clorofila *a* corresponde a 1% da massa das



algas. As produções primárias foram estimadas através da relação empírica de Morin e colaboradores (1999):

$$\text{Log}_{10} \text{PPD} = 0,80 + 0,70 \cdot \text{Log}_{10} \text{Chl } a + 0,040 \cdot T \quad (R^2 = 0,69) \quad \text{Eq.3}$$

onde,

PPD - produção primária em mg carbono.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;

Chl a - clorofila *a* em mg Chl *a*.m<sup>-2</sup>;

T - temperatura em °C.

Os valores de PPD foram multiplicados por dois, assumindo que 1g de carbono equivale a 2 g de matéria orgânica seca, relação essa assumida para algas do fitoplâncton (ODUM, 2004). Posteriormente, os valores de produção primária (PP) foram convertidos para g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>.

As abundâncias dos macroinvertebrados foram convertidas para densidade (indivíduos.m<sup>-2</sup>). As biomassas individuais médias dos táxons por estação foram estimadas por relações empíricas de massa-comprimento (BAUMGÄRTNER e ROTHHAUPT, 2003 para os moluscos gastrópodes e BENKE et. al., 1999 para os demais táxons):

$$\text{DMM} = a \cdot L^b \quad \text{Eq.4}$$

onde,

DMM - massa seca individual média do táxon por estação amostral em mg;

L - comprimento em mm;

a e b - são constante táxon específicas (Apêndice, lista dos táxons encontrados e seus grupos funcionais de alimentação [GFA], comprimentos e coeficientes da relação massa comprimento).

As biomassas (B) dos táxons por estação expressa em g de matéria seca.m<sup>-2</sup> foram obtidas pelo produto de DMM médio de cada táxon pela sua densidade. A produção secundária (PS) foi estimada utilizando-se a relação empírica de Morin e Bourassa (1992):

$$\text{Log}_{10} \text{PS} = -0,750 + 1,010 \cdot \text{Log}_{10} \text{B} - 0,340 \cdot \text{Log}_{10} \text{M} + 0,037 \cdot T \quad (R^2 = 0,87) \quad \text{Eq.5}$$

onde,

PS - produção secundária em g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>;

B - biomassa em g de matéria seca.m<sup>-2</sup>;

M - biomassa individual média em g de matéria seca

T - temperatura em °C.

Calculamos os valores absolutos e relativos de B, PP e PS por nível trófico, GFA e táxon. Nos casos em que o táxon é classificado em mais que um grupo de alimentação, a sua densidade foi dividida pelo número de grupos.

#### 1.4.2 Fluxo de energia assimilada e de energia ingerida

A investigação da composição isotópica do tecido do consumidor permite a determinação da contribuição relativa das potenciais fontes alimentares basais na sua dieta, desde que estes recursos tenham valores isotópicos distintos (MINAGAWA e WADA, 1984; PETERSON e FRY, 1987; VANDER ZANDEN e RASMUSSEN, 2001). A composição isotópica de um animal é determinada principalmente pela sua dieta (FRY, 1988), porém, reações biológicas subordinadas à digestão, assimilação e excreção provocam modificações (fracionamento isotópico) da composição isotópica do consumidor em relação a sua dieta. Os processos fisiológicos de respiração e excreção liberam <sup>12</sup>CO<sub>2</sub> mais rapidamente que o <sup>13</sup>CO<sub>2</sub>, deixando nos tecidos dos organismos uma razão de <sup>13</sup>C: <sup>12</sup>C maior do que o do seu recurso alimentar, o que é chamado de enriquecimento ou fracionamento nas transferências tróficas. Da mesma forma, a razão <sup>15</sup>N: <sup>14</sup>N de um animal também é mais enriquecida em <sup>15</sup>N do que do seu recurso alimentar, devido à excreção preferencial de <sup>14</sup>N-uréia e <sup>14</sup>N-amônia (<sup>14</sup>N-NH<sub>3</sub>) sobre <sup>15</sup>N-uréia e <sup>15</sup>N-amônia (<sup>15</sup>N- NH<sub>3</sub>) (PETERSON e FRY, 1987; VANDER ZANDEN e RASMUSSEN, 1999).

A composição isotópica, também chamada de valor isotópico ou assinatura isotópica, geralmente é expressa em termos de um valor-δ (valor delta) em partes por mil (‰ ou ppm) e é obtida dividindo a razão isotópica da amostra pela razão isotópica de um padrão internacionalmente aceito e multiplicado por mil, assim:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[ \left( \frac{^{13}\text{C}:^{12}\text{C}_{\text{amostra}}}{^{13}\text{C}:^{12}\text{C}_{\text{padrão}}} \right) - 1 \right] \cdot 10^3 \quad \text{Eq.6}$$

$$\delta^{15}\text{N} = \left[ \left( \frac{^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{amostra}}}{^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{padrão}}} \right) - 1 \right] \cdot 10^3 \quad \text{Eq.7}$$

onde,

$\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  - assinaturas (ou valores) isotópicas de carbono e nitrogênio da amostra, respectivamente;

$^{13}\text{C}:^{12}\text{C}_{\text{amostra}}$  e  $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{amostra}}$  - proporções de  $^{13}\text{C}$  por  $^{12}\text{C}$  e de  $^{15}\text{N}$  por  $^{14}\text{N}$  da amostra, respectivamente;

$^{13}\text{C}:^{12}\text{C}_{\text{padrão}}$  e  $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{padrão}}$  - proporções de  $^{13}\text{C}$  por  $^{12}\text{C}$  e de  $^{15}\text{N}$  por  $^{14}\text{N}$  do padrão, respectivamente.

O material padrão para o carbono é a rocha calcária Pee Dee Belamite, que tem a razão isotópica de 0,0112372, e o material padrão para o nitrogênio é o nitrogênio atmosférico, que tem a razão isotópica de 0,0036765 (PETERSON e FRY, 1987; OMETTO et al., 2005).

A  $\delta^{13}\text{C}$  do consumidor pode ser enriquecida ou sofrer um fracionamento de 0 a 1 ‰ em relação a sua dieta. Portanto, os isótopos estáveis de carbono servem como indicadores da fração assimilada dos recursos alimentares pelos consumidores (PETERSON e FRY, 1987; VANDER ZANDEN e RASMUSSEN, 1999). Enquanto que, a  $\delta^{15}\text{N}$  do consumidor pode ser enriquecida ou sofrer um fracionamento de 2,30 a 3,42 ‰ em relação a sua dieta (POST, 2002; MCCUTCHAN et al., 2003; VANDERKLIFT e POSNSARD, 2003). Portanto, a  $\delta^{15}\text{N}$  de um consumidor reflete o seu nível trófico.

As contribuições proporcionais dos recursos alimentares assimilados por um consumidor podem ser calculadas a partir dos dados de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{15}\text{N}$  dos recursos e dos consumidores utilizando-se os planilhas ou programas IsoError (PHILLIPS e GREGG, 2001), IsoConc (PHILLIPS e KOCH, 2002) e IsoSource (PHILLIPS e GREGG, 2003) disponíveis em <http://www.epa.gov/wed/pages/models.htm>. Ou ainda, utilizando-se o pacote SIAR (Stable Isotope Analysis in R) (PARNELL et. al., 2010a,b) disponível para download na seção Comprehensive R Archive Network site (CRAN) – <http://cran.r-project.org/>. O SIAR é um modelo desenvolvido com a lógica Bayesiana, e como o IsoSource, permite calcular a contribuição de múltiplos recursos alimentares na dieta de um predador a partir dos valores isotópicos de ambos. Entretanto, o SIAR permite incorporar variabilidade dos valores isotópicos dos recursos, do consumidor e do fracionamento.

A ferramenta de isótopos estáveis foi utilizada para determinar a dieta dos consumidores de cinco estações amostrais florestadas e de duas com distúrbios antrópicos (Figura 6). Foi assumido o fracionamento isotópico de acordo com o material analisado, já que o fracionamento do tecido muscular pode ser diferente do fracionamento de todo corpo do animal (MCCUTCHAN et al., 2003). Para amostras de tecido muscular utilizamos o fracionamento de C e N, respectivamente de 1,3 ‰ (DP=1,3) e 2,9 (1,2). Enquanto, que para

amostras em que todo o animal foi analisado, assumimos o fracionamento de  $0,3\text{‰}$  (DP=1,3) para C e de 2,1 (1,60) para N (MCCUTCHAN et al., 2003).

Não foi possível separar as algas do restante do perifíton. Como o perifíton (biofilme ou epilítion) é uma assembléia complexa composta por algas, bactérias, fungos, meiofauna e matéria orgânica de origem alóctone os seus valores isotópicos devem ser diferentes dos valores de algas. Então os valores isotópicos médios dos macroinvertebrados raspadores obrigatórios, que ocorreram na maioria das estações amostrais foram utilizados como substitutos dos valores de algas (material autóctone), considerando-se os fracionamentos isotópicos nas transferências tróficas. Entre os herbívoros obrigatórios coletados estão os tricópteros Helichopsychidae e *Grumichella*; os efemerópteros *Baetodes* e *Camelobaetidius*; e os coleópteros Psephenidae. Nas estações com distúrbios, não foi obtida massa suficiente desses herbívoros obrigatórios para as análises isotópicas. Então, os valores isotópicos de macroinvertebrados facultativo *Phanoceros* (coleóptero) e Baetidae (efemeróptero) foram utilizados como substitutos dos valores de material autóctone. Procedimentos similares são utilizados para a determinação da posição trófica dos consumidores com base nos valores isotópicos de um herbívoro *baseline* (VANDER ZANDEN e RASMUSSEN, 1999; POST, 2002).

Diferentemente da análise do conteúdo estomacal, a análise de isótopos estáveis representa não o material ingerido, mas sim o que foi assimilado descontando a fração que foi gasta na respiração para a manutenção de um estado de baixa entropia do organismo. A distinção é importante, pois apenas uma fração do que é ingerido é assimilado no trato do animal, o restante é perdido como fezes. Essa fração, ou seja, assimilação (A)/ingestão (I) dá-se o nome de eficiência de assimilação e assumimos que é de 0,13 para o consumo de folhas (PERRY et al., 1987), 0,30 para o consumo de algas (BENKE, 2011; BENKE e WALLACE, 1980) e 0,70 para o consumo de animais (LAWTON, 1970). Já a razão entre produção e assimilação (P/A) é chamada de eficiência de produção líquida e, geralmente é assumido o valor de 0,50 (BENKE & WALLACE, 1997, WHITING et al., 2011). O produto dessas duas eficiências chama-se eficiência de produção bruta e representa a fração da ingestão que foi utilizada para a produção (P/I).

As frações dos recursos alimentares autóctones e alóctones assimilado pelos animais foram estimadas. Nos casos de consumidores primários, foi utilizado o modelo de mistura de isótopos simples ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e dois recursos (autóctone e alóctone) da planilha IsoError 1.04 (PHILLIPS e GREGG, 2001). Enquanto que, nos casos de animais predadores, foi utilizado o modelo com os dois isótopos (C e N) no SIAR (PARNELL et. al., 2010). O produto da

produção secundária de cada táxon pela fração assimilada do recurso foi calculado para estimar o fluxo de energia alimento específico para a produção (g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>). Então, o fluxo de energia ingerido foi obtido calculando-se a razão entre o fluxo de energia para a produção pela eficiência de produção bruta. A soma dos fluxos de origem autóctone e alóctone para os macroinvertebrados foi calculada. Finalmente, a razão entre o fluxo de ingestão dos predadores e a produção dos consumidores primários foi calculada para medir a força da interação descendente (*top-down*), ou seja, a pressão de predação (BENKE et al, 2001).

### 1.4.3 Métricas de estrutura trófica da comunidade

Recentemente, ecólogos têm desenvolvido métricas quantitativas da estrutura da teia trófica utilizando a metodologia de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio (BEARHOP et al., 2004; LAYMAN et al., 2007a,b; NEWSOME et al., 2007; SCHMIDT et al., 2007; JACKSON et al., 2011). Isto porque isótopos estáveis provem uma representação da ecologia trófica dos organismos, pois como já foi dito, o  $\delta^{15}\text{N}$  pode ser utilizado para se estimar a posição trófica, enquanto o  $\delta^{13}\text{C}$  pode ser utilizado para a determinação do recurso basal. As métricas de estrutura trófica de comunidade propostas por Layman e colaboradores (2007a) baseiam se na posição relativa da comunidade no gráfico bivariado de  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ . Essas métricas podem revelar importantes aspectos da estrutura trófica, sendo assim uma ferramenta para teste de hipótese de ecologia teórica (por exemplo, divergência de nicho trófico) e aplicada (por exemplo, efeitos de distúrbios antrópicos). São seis as métricas propostas por Layman e colaboradores (2007a) para caracterizar a estrutura trófica da comunidade:

- 1) Amplitude de  $\delta^{15}\text{N}$  (NR,  $\delta^{15}\text{N}$  Range) - é a diferença entre o  $\delta^{15}\text{N}$ -máximo e o  $\delta^{15}\text{N}$ -mínimo dos consumidores. Uma comunidade com grande NR sugere a ocorrência de alta diversidade de nível trófico;
- 2) Amplitude de  $\delta^{13}\text{C}$  (CR,  $\delta^{13}\text{C}$  Range) - é a diferença entre o  $\delta^{13}\text{C}$ -máximo e o  $\delta^{13}\text{C}$ -mínimo dos consumidores. Uma comunidade com grande CR é esperado em sistemas com alta diversidade de recursos basais;
- 3) Área total (TA, Total Area) - é a área convexa mínima encerrando todas as espécies do gráfico bidimensional  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{15}\text{N}$ . TA representa o nicho realizado e desta forma é um indicador para a diversidade trófica na teia alimentar.

- 4) Distância média do centróide (CD, *Mean Distance to Centroide*) – é a distância Euclidiana média de cada espécie até o centróide do gráfico bivariado de  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ , onde o centróide é a coordenada composta pela média de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{15}\text{N}$  de todos os componentes da teia trófica. CD representa a diversidade trófica média na teia alimentar;
- 5) Distância média do vizinho mais próximo (NND, *Mean nearest neighbor distance*) - é a média da distância Euclidiana entre cada espécie (ou indivíduo) e seu vizinho mais próximo no gráfico bivariado de  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ . Teia trófica ou população com, respectivamente, alta proporção de espécies ou indivíduos com ecologia trófica similares terão menores NND (aumento da redundância trófica) do que teias tróficas ou populações com espécies ou indivíduos com nichos tróficos mais divergentes.
- 6) Desvio padrão da distância média do vizinho mais próximo (SDNND, *Standard deviation of nearest neighbor distance*) - é o desvio padrão da distância Euclidiana entre cada espécie (ou indivíduo) e seu vizinho mais próximo no gráfico bivariado de  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ . Assim como o NND, o SDNND representa a redundância ou divergência de nicho trófico, mais é menos influenciado pelo tamanho da amostra que o NND.

As seis métricas (NR, CR, TA, CD, NND, SDNND) foram calculadas para as cinco estações preservadas e para as duas com distúrbios. O programa SIAR foi utilizado para calcular essas métricas.

#### 1.4.4 Análises estatísticas

Fizemos testes T e regressões para testar o efeito do gradiente de sombreamento e distúrbios antrópicos na produção e nos fluxos de matéria para teia trófica. Fizemos as análises estatísticas no programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

## 2 RESULTADOS

### 2.1 Fluxo de energia na teia trófica de córregos florestados

A produção primária de algas perifíticas variou de 101 a 346 g de matéria orgânica seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Enquanto que, a produção secundária dos macroinvertebrados variou de 0,867 a 2,580 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (Tabela 2). Os consumidores primários representaram em média 69% (amplitude = 52-90%) da produção secundária e os predadores 31% (amplitude = 10-48%). Entre os consumidores primários, os grupos funcionais dos consumidores-apanhadores, consumidores-filtradores, raspadores e rasgadores representaram em média, respectivamente, 13% (amplitude = 8-19%), 22% (amplitude = 7-59%), 16% (amplitude = 8-24%) e 18% (amplitude = 1-51%) da produção dos macroinvertebrados. A riqueza e a densidade (indivíduos.m<sup>-2</sup>) de macroinvertebrados rasgadores foram baixas nas onze estações florestadas. Encontramos seis rasgadores obrigatórios (*Pyralidae*, *Curculionidae*, *Dryopidae*, *Phylloicus*, *Notalina*, *Triplectides* e *Tipulidae*) e um facultativo (*Nectopsyche*). A densidade desses macroinvertebrados representou em média 8% (amplitude = 1-18%) da densidade dos macroinvertebrados (Figura 12).

Tabela 2 - Produção primária de algas perifítica e produção secundária dos macroinvertebrados (g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>) das estações florestadas de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.

| Estação | Dossel | Algas | Macroinv. | C1    | Pr    | Sc    | GC    | FC    | Sh    |
|---------|--------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| FRC14   | 77     | 251   | 1,469     | 1,117 | 0,352 | 0,264 | 0,228 | 0,108 | 0,517 |
| FRC09   | 87     | 316   | 1,344     | 0,912 | 0,431 | 0,285 | 0,254 | 0,307 | 0,067 |
| FRC03   | 70     | 199   | 1,268     | 0,602 | 0,665 | 0,183 | 0,139 | 0,264 | 0,016 |
| FRC06   | 60     | 122   | 1,227     | 0,766 | 0,461 | 0,292 | 0,182 | 0,092 | 0,200 |
| FRC15   | 59     | 346   | 2,580     | 2,321 | 0,259 | 0,247 | 0,276 | 0,484 | 1,315 |
| FRC16   | 86     | 92    | 2,202     | 1,727 | 0,475 | 0,435 | 0,387 | 0,446 | 0,458 |
| FRC01   | 27     | 65    | 1,380     | 1,012 | 0,368 | 0,296 | 0,226 | 0,101 | 0,389 |
| FRC10   | 81     | 107   | 1,092     | 0,656 | 0,436 | 0,242 | 0,146 | 0,169 | 0,099 |
| FRC17   | 91     | 101   | 0,867     | 0,454 | 0,413 | 0,068 | 0,094 | 0,243 | 0,049 |
| FRC02   | 77     | 101   | 1,657     | 1,082 | 0,575 | 0,160 | 0,135 | 0,503 | 0,283 |
| FRC18   | 84     | 327   | 0,898     | 0,762 | 0,136 | 0,103 | 0,079 | 0,530 | 0,051 |

Legenda: Dossel - cobertura de dossel (%), Macroinv - macroinvertebrados, C1 - consumidores primários, Pr - predadores, Sc - raspadores, GC - coletor-apanhador, FC - coletor-filtrador e Sh - rasgadores.

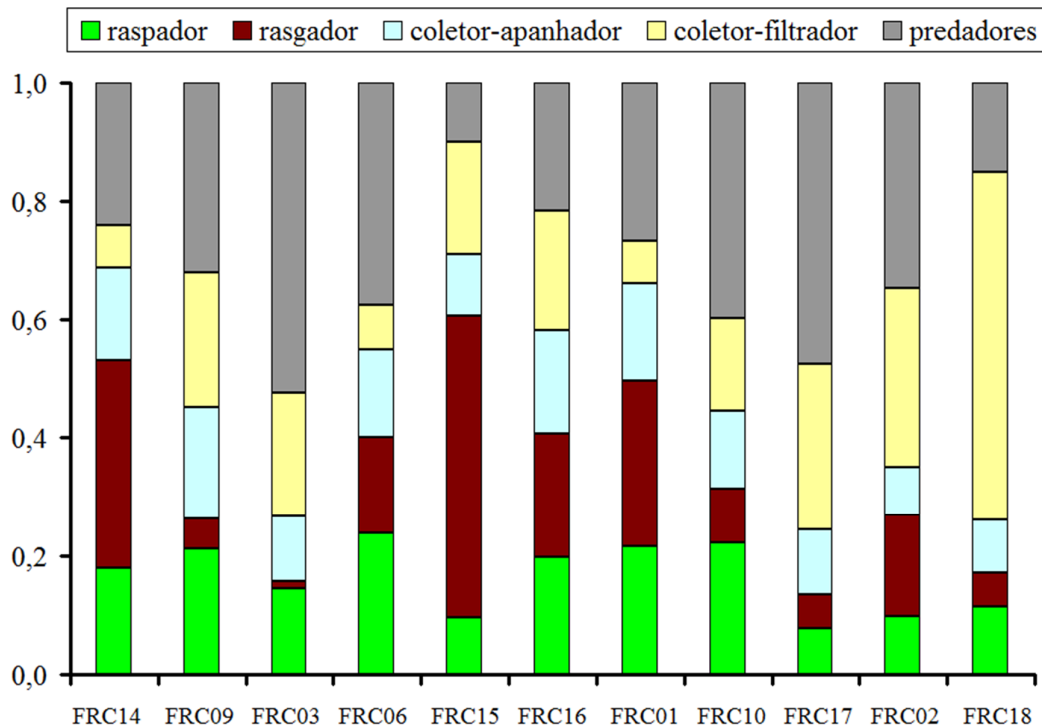


Figura 12 - Produção secundária relativa por grupos funcionais de alimentação de macroinvertebrados de estações amostrais de córregos florestados, bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.

Os valores isotópicos de carbono dos recursos alimentares alóctones e dos herbívoros *baseline* que selecionamos para estimar os valores isotópicos do recurso alimentar autóctone divergiram nas sete estações amostrais que coletamos para a análise isotópica, sendo que os dos recursos alóctones tiveram menores valores isotópicos de carbono do que desses herbívoros (Figura 13). No entanto, alguns animais raspadores facultativos tiveram valores isotópicos de carbono mais empobrecidos em carbono-13 do os raspadores obrigatórios, por exemplo, os coleópteros *Phanocerus* (Elmidae). Os macroinvertebrados rasgadores, como os tricópteros *Phylloicus* e *Triplectides* e os dípteros Tipulidae e *Stenochironomus*, tiveram menores valores isotópicos de carbono-13, próximos dos recursos alóctones, refletindo a assimilação desses recursos. Os peixes e os crustáceos decápodes tiveram os maiores valores isotópicos de nitrogênio, como já era de se esperar já que esses animais são os predadores de topos (Figura 13).



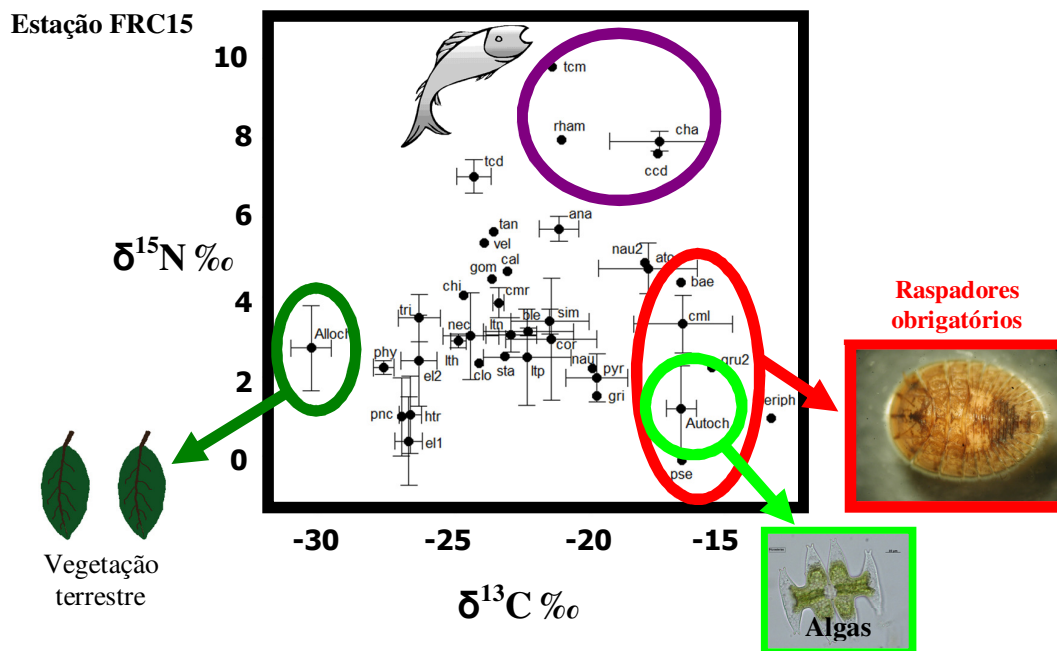


Figura 13 - Valores isotópicos de carbono e nitrogênio dos recursos e consumidores de estações amostrais florestadas de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. Para estação amostral FRC16, assumimos que os desvios padrões dos valores isotópicos dos recursos autóctones são iguais às médias dos desvios das demais estações. Legenda: Autoch - recursos autóctones; Alloch - recursos alóctones e periph - perífiton. Coleoptera: Elmidae Larva C - el1, Elmidae Larva D - el2, Gyrinidae - gyr, *Heterelmis* - het, *Hexanchorus* - hex, Macrelmis - mcm, *Phanocerus* - pnc, Psephenidae - pse, Staphilinidae - sta, *Xenelmis* - xen. Diptera: Blephariceridae - ble, Chironomidae - chi, Simuliidae - sim, Tanyptodinae - tan, Tipulidae - tip. Ephemeroptera: Baetidae - bae, *Baetodes* - btd, *Camelobaetidius* - cml, *Campylocia* - cpl, *Cloeodes* - clo, Leptohiphidae - lth, Leptophlebiidae - ltp. Hemiptera: Naucoridae - nau, Veliidae - vel. Lepidoptera: Pyralidae - pyr. Megaloptera: *Corydalus* - cor, Odonata: Aeshnidae - aes, Calopterygidae - cal, Gomphidae - gom, Libellulidae - lib. Plecoptera: *Anacroneuria* - ana, *Kempnyia* - Ken, *Gripopteryx* - gri, *Guaraniperla* - gua. Trichoptera: *Atopsyche* - ato, *Chimarra* - cmr, *Grumichella* - gru2, Helicopsychidae - hel; *Leptonema* - lpt, *Nectopsyche* - nec, *Phylloicus* - phy, Polycentropodidae - pol, *Smicridea* - smi, *Triplectides* - tri. Decapoda: *Macrobrachium olfersi* - mac, *Macrobrachium potiuna* - m.poti, *Trichodactylus* - tcd. Anura: Girinos não identificados - tad. Peixes: *Characidium* - cha, *Geophagus brasiliensis* - geo, *Mimagoniates microlepis* - mim, *Phalloceros* - pha, *Poecilia reticulata* - poe, *Rhamdioglanis* - rham, *Scleromystax barbatus* - scl, *Trichomycterus* - tcm. (Continua)

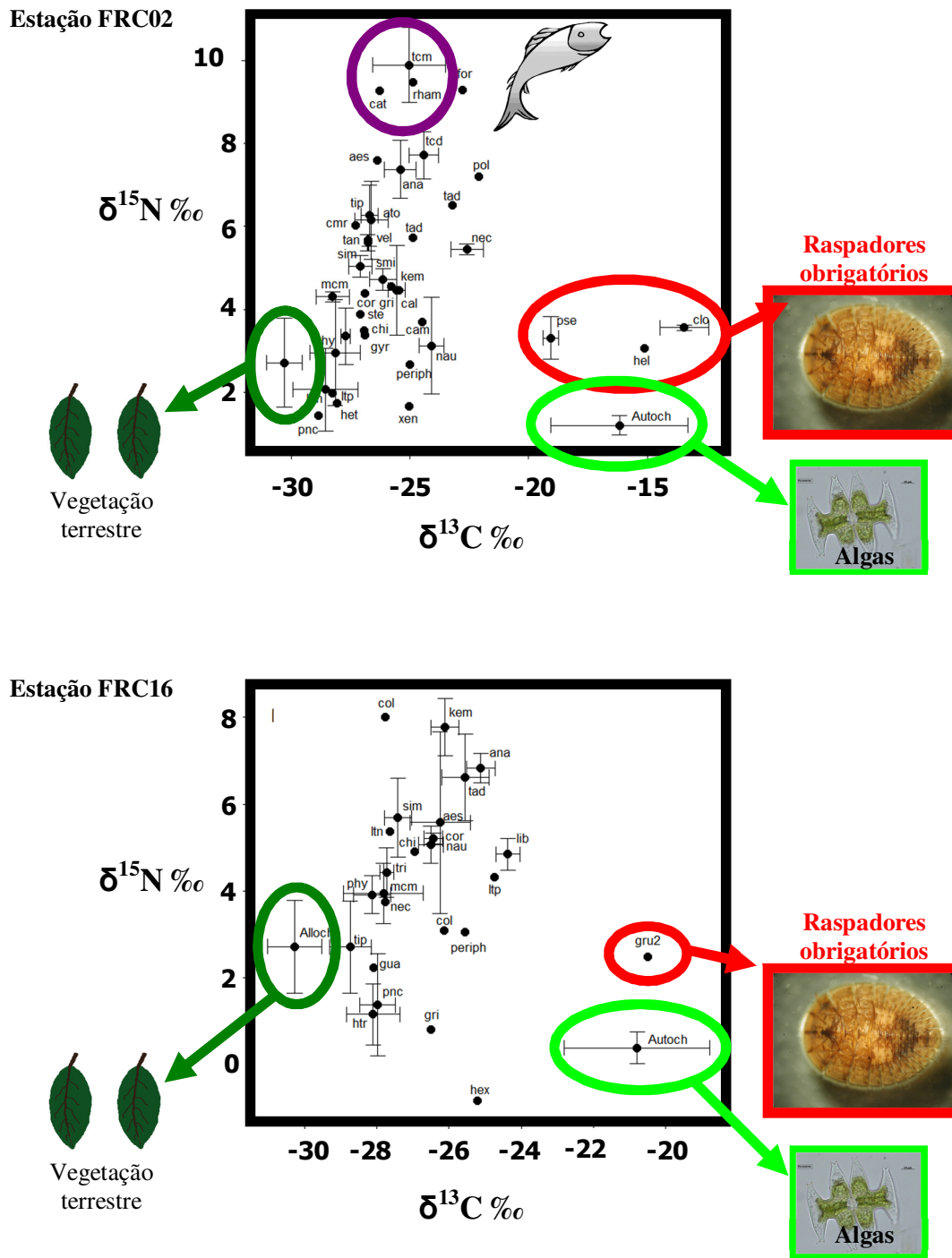


Figura 13 - (Continuação).

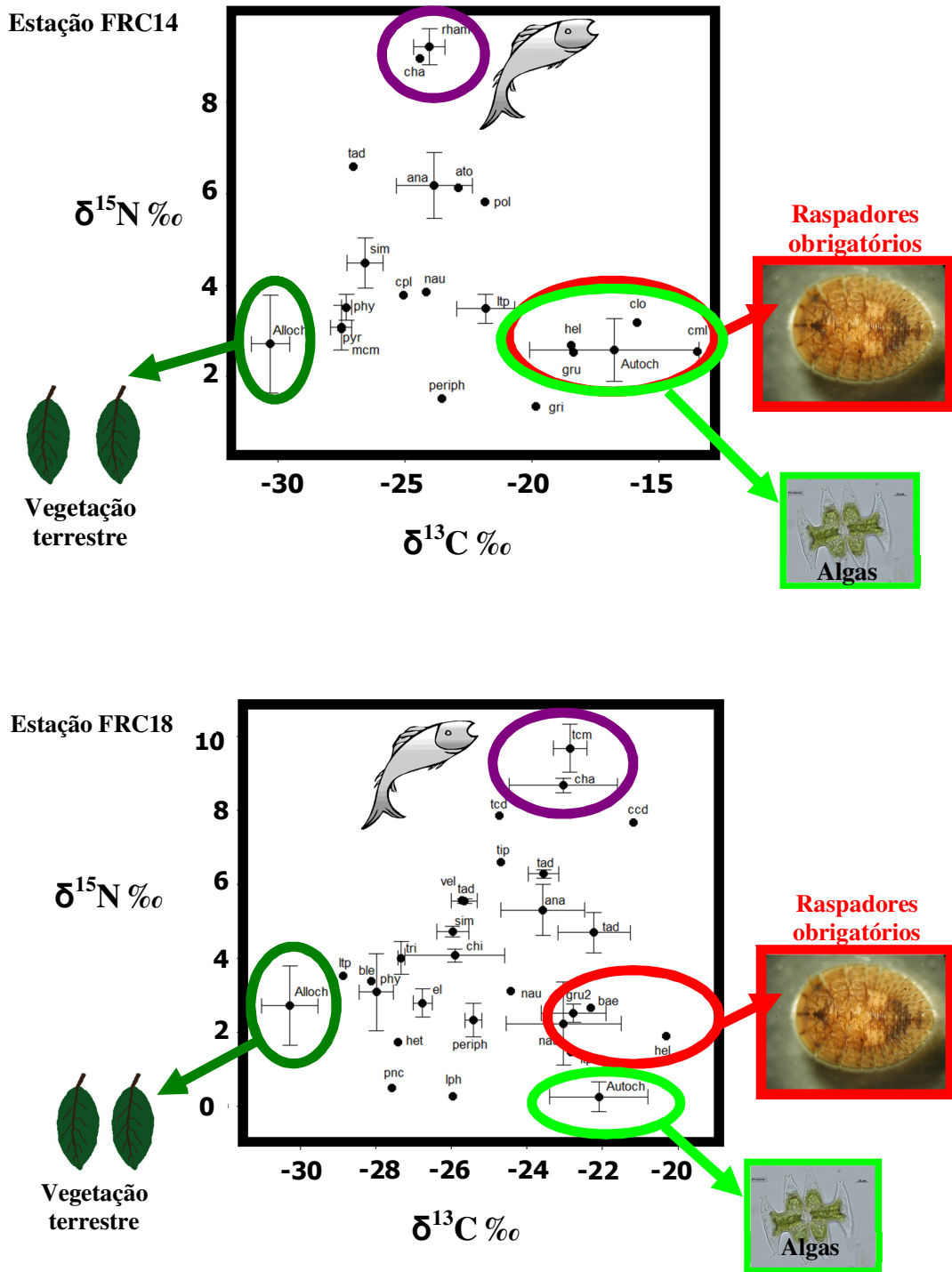
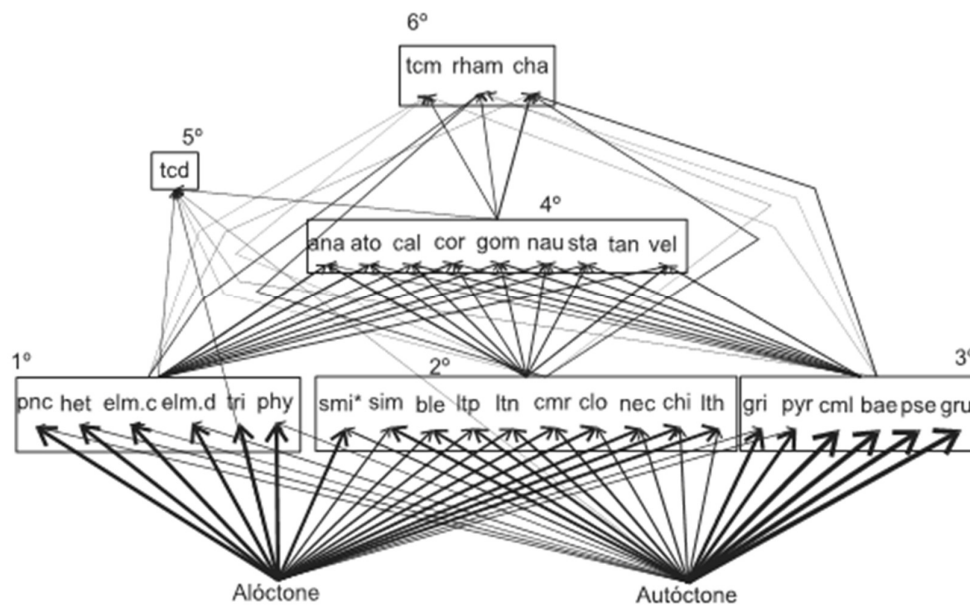


Figura 13 - (Conclusão).

Na estação FRC15, seis táxons assimilaram mais que 70% de material alóctone, seis assimilaram mais que 70% de material autóctone e dez assimilaram entre 30 a 70% de ambos os recursos (Figura 14). Na estação FRC02, 14 táxons assimilaram mais que 70% de material alóctone, três assimilaram mais que 70% de material autóctone e cinco assimilaram entre 30 a 70% de ambos os recursos (Figura 14). Na estação FRC16, dez táxons assimilaram mais que 70% de material alóctone, um assimilou mais que 70% de material autóctone e seis assimilaram entre 30 a 70% de ambos os recursos (Figura 14). Na estação amostral FRC14, cinco táxons assimilaram mais que 70% de material alóctone, cinco assimilaram mais que 70% de material autóctone e três assimilaram entre 30 a 70 % de ambos os recursos (Figura 14). Na estação FRC18, quatro táxons assimilaram mais que 70% de material alóctone, quatro assimilaram mais que 70% de material autóctone e nove assimilaram entre 30 a 70% de ambos os recursos (Figura 14).

Os animais onívoros e predadores (macroinvertebrados, peixes e crustáceos) assimilaram, de forma geral, frações similares dos seus recursos alimentares nas cinco estações amostrais (Figura 14).

### Estação FRC15



Escala (fração)

→ 0,1 → 0,3 → 0,5 → 0,7 → 1,0

### Estação FRC02

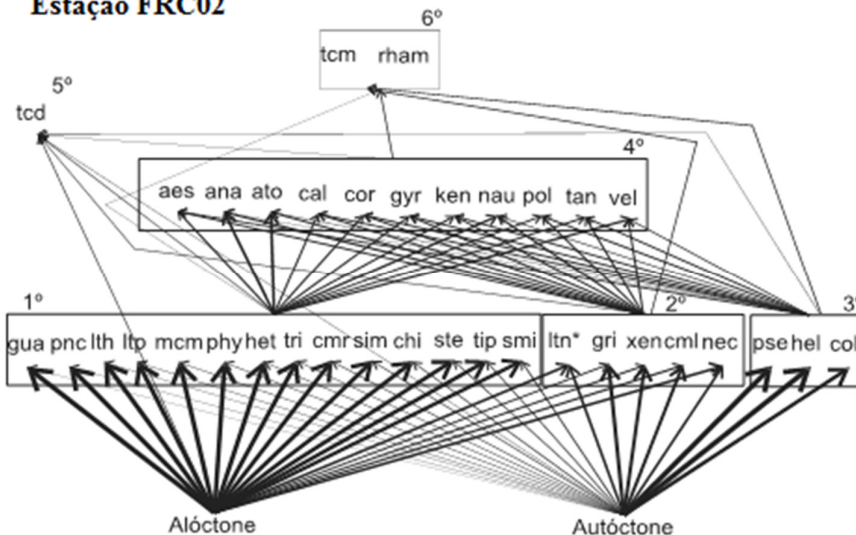
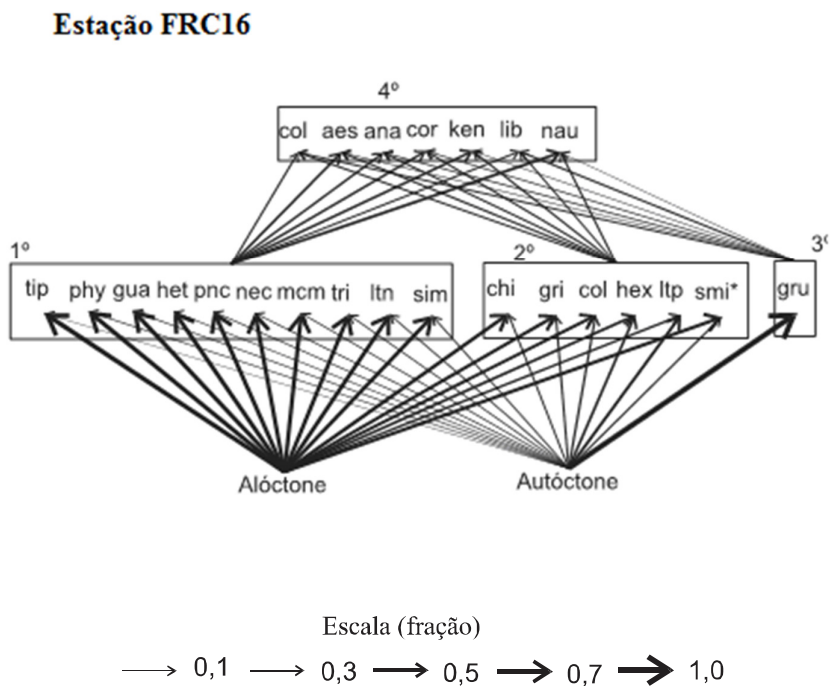


Figura 14 - Teia de assimilação das estações amostrais dos córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. Espessuras das setas indicam a fração de alimento que contribui para a produção do consumidor (i.e. que é assimilada). Legenda: retângulos numerados indicam a guilda trófica, sendo que 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> representam macroinvertebrados que assimilam, respectivamente, mais que 70% de recursos alóctones; entre 30 a 70% de ambos os

recursos e mais que 70% de recursos autóctones; 4ª - macroinvertebrados predadores; 5ª e 6ª - Peixes e/ou crustáceos onívoros ou predador de topo. \* Indica que a fração assimilada pelo táxon foi estimada com base na média desse mesmo táxon nas outras estações. Código dos táxons ver legenda da figura 13. (Continua)



**Estação FRC14**

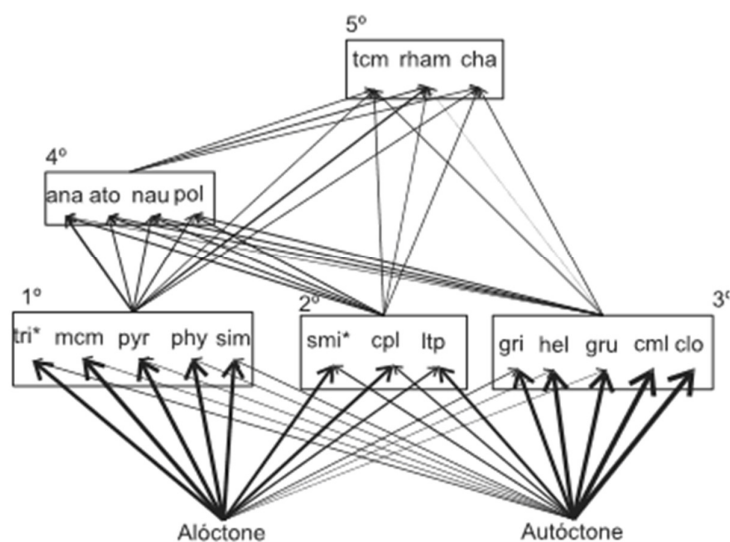


Figura 14 - (Continuação)

### Estação FRC18

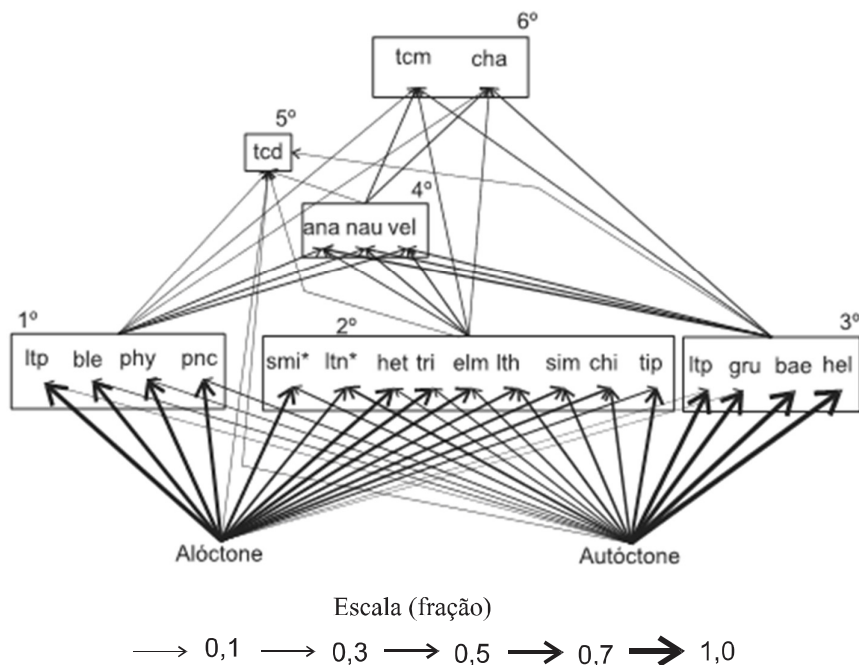


Figura 14 - (Conclusão)

Na estação amostral FRC15, o fluxo de energia para a produção dos macroinvertebrados foi de 2,32 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (90% da produção total), sendo que 93% desse fluxo foi para os consumidores primários e 7% para os predadores. Do fluxo para os consumidores primários, 64% foi de material alóctone e 36% foi de material autóctone. Os consumidores primários que mais contribuíram para o fluxo de energia nessa estação foram os tricópteros rasgadores *Triplectides* e *Phylloicus* (Figura 15). O fluxo de material alóctone ingerido pelos macroinvertebrados foi 21,31 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 81% do recurso basal ingerido. Já o fluxo de material autóctone ingerido foi de 5,12 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Apenas 1,5% da produção primária anual das algas perifíticas pode ter sido ingerida anualmente pelos macroinvertebrados nessa estação amostral e cerca de 22% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários pode ser ingerida pelos macroinvertebrados predadores (Tabela 3).

Na estação amostral FRC02, o fluxo de energia para produção dos macroinvertebrados representada foi de 1,51 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (93% da produção total) sendo que 67% desse fluxo foi para os consumidores primários e 33% para os predadores. Do fluxo para os consumidores primários, 68% foi de material alóctone e 32% foi de material autóctone. Os

consumidores primários que mais contribuíram para o fluxo de energia nessa estação foram os tricópteros coletores-filtradores *Leptonema* e os rasgadores *Phylloicus* (Figura 15). O fluxo de material alóctone ingerido foi 10,61 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 83% do recurso basal ingerido. Já o fluxo de material autóctone ingerido foi de 2,191 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Apenas 2,2% da produção primária anual das algas perifíticas pode ter sido ingerida anualmente pelos macroinvertebrados nessa estação amostral. Em contrapartida, 139% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários pode ter sido ingerida pelos macroinvertebrados predadores (Tabela 3).

Na estação amostral FRC16, o fluxo de energia para a produção dos macroinvertebrados foi de 2,08 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (95% da produção total), sendo que 82% desse fluxo foi para os consumidores primários e 18% para os predadores. Do fluxo para os consumidores primários, 74% foi de material alóctone e 26% foi de material autóctone. Os consumidores primários que mais contribuíram para o fluxo de energia nessa estação foram os tricópteros coletores-filtradores *Leptonema* e os dípteras rasgadores da família Tipulidae (Figura 15). O fluxo de material alóctone ingerido foi 19,45 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 87% do recurso basal ingerido. Já o fluxo de material autóctone ingerido foi de 2,94 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Apenas 3,2% da produção primária anual das algas perifíticas pode ter sido ingerida anualmente pelos macroinvertebrados nessa estação amostral e cerca de 63% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários pode ter sido ingerida pelos macroinvertebrados predadores (Tabela 3).

Em relação ao fluxo de energia para a produção secundária dos macroinvertebrados, na estação amostral FRC14, o fluxo de energia representado foi de 0,94 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (64% da produção total) sendo que 71% desse fluxo foi para os consumidores primários e 29% para os predadores. Do fluxo para os consumidores primários, 66% foi de material alóctone e 34% foi de material autóctone. Os consumidores primários que mais contribuíram para o fluxo de energia nessa estação foram os tricópteros rasgadores *Tripletides* e *Phylloicus* (Figura 15). O fluxo de material alóctone ingerido pelos macroinvertebrados foi 6,74 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 82% do recurso basal ingerido. Já o fluxo de material autóctone ingerido foi de 1,52 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Menos que 1% da produção primária anual das algas perifíticas pode ter sido ingerida pelos macroinvertebrados nessa estação amostral. Em contrapartida, 116% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários pode ter sido ingerida pelos macroinvertebrados predadores (Tabela 3).



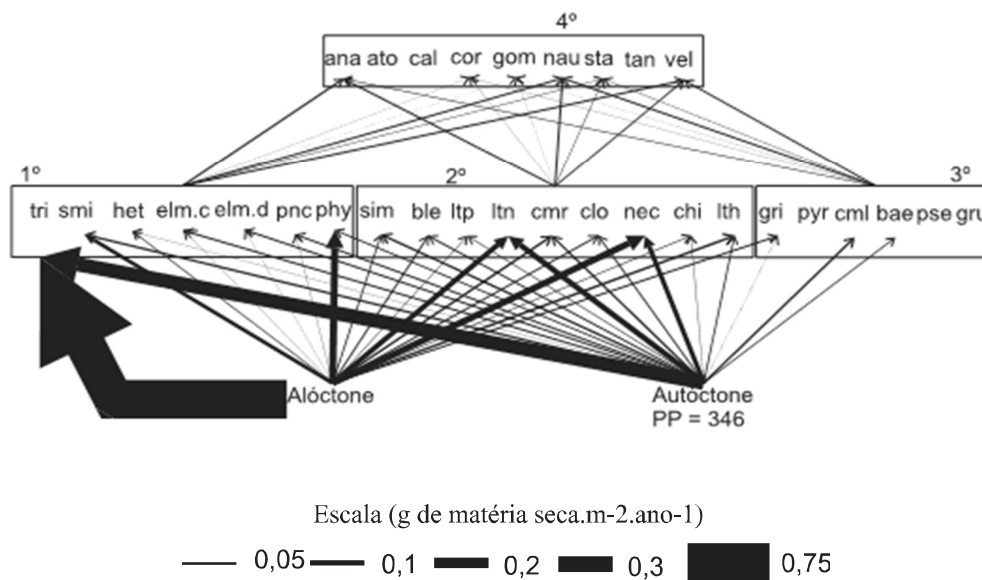
Na estação amostral FRC18, o fluxo de energia total para a produção dos macroinvertebrados representada foi de 0,74 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (82% da produção total), sendo que 87% desse fluxo foi para os consumidores primários e 13% para os predadores. Do fluxo para os consumidores primários, 51% foi de material alóctone e 49% foi de material autóctone. Os consumidores primários que mais contribuíram para o fluxo de energia nessa estação foram os tricópteros coletores-filtradores *Leptonema* (Figura 15). O fluxo de material alóctone ingerido foi 5,08 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 71% do recurso basal ingerido. Já o fluxo de material autóctone ingerido foi de 2,07 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Menos que 1% da produção primária anual das algas perifíticas pode ter sido ingerida anualmente pelos macroinvertebrados nessa estação amostral e 43% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários pode ter sido ingerida pelos macroinvertebrados predadores (Tabela 3).

Tabela 3 - Fluxos anuais de energia utilizada para produção secundária e ingerida (g de matéria seca.m<sup>-2</sup>, proporcional (%) entre parênteses) para os macroinvertebrados das estações amostrais de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.

| <b>TAXA</b>                          | <b>FRC14</b> | <b>FRC15</b> | <b>FRC16</b> | <b>FRC02</b> | <b>FRC18</b> |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>F<sub>Total</sub></b>             | 0,94         | 2,32         | 2,08         | 1,51         | 0,74         |
| <b>F<sub>Pr</sub></b>                | 0,27         | 0,16         | 0,38         | 0,5          | 0,1          |
| <b>F<sub>C1</sub></b>                | 0,67         | 2,15         | 1,71         | 1,02         | 0,64         |
| <b>F<sub>alóctone</sub></b>          | 0,44 (66)    | 1,39 (64)    | 1,26 (74)    | 0,69 (68)    | 0,33 (51)    |
| <b>F<sub>autóctone</sub></b>         | 0,23 (34)    | 0,77 (36)    | 0,44 (26)    | 0,33 (32)    | 0,31 (49)    |
| <b>I<sub>Pr</sub></b>                | 0,77         | 0,47         | 1,08         | 1,42         | 0,27         |
| <b>I<sub>C1</sub></b>                | 8,26         | 26,43        | 22,39        | 12,8         | 7,15         |
| <b>I<sub>Autóc</sub></b>             | 1,52 (18)    | 5,12 (19)    | 2,94 (13)    | 2,19 (17)    | 2,07 (29)    |
| <b>I<sub>Alóc</sub></b>              | 6,74 (82)    | 21,31 (81)   | 19,45 (87)   | 10,61 (83)   | 5,08 (71)    |
| <b>I<sub>Pr</sub>/F<sub>C1</sub></b> | 1,16         | 0,22         | 0,63         | 1,39         | 0,43         |

Legenda: F - fluxo de energia utilizada na produção secundária, I - fluxo de alimento ingerido, Pr - predadores, C1 - consumidores primários, Alóc e Autóc - origem do recurso alóctone e autóctone, respectivamente.

### Estação FRC15



### Estação FRC02

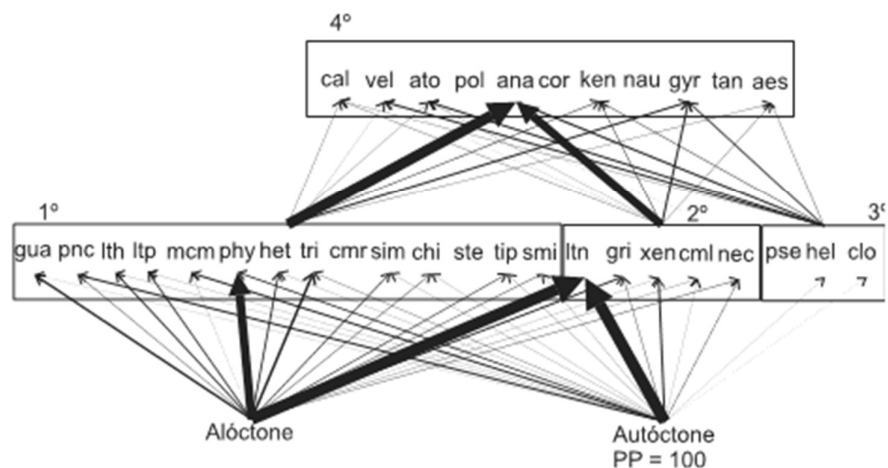
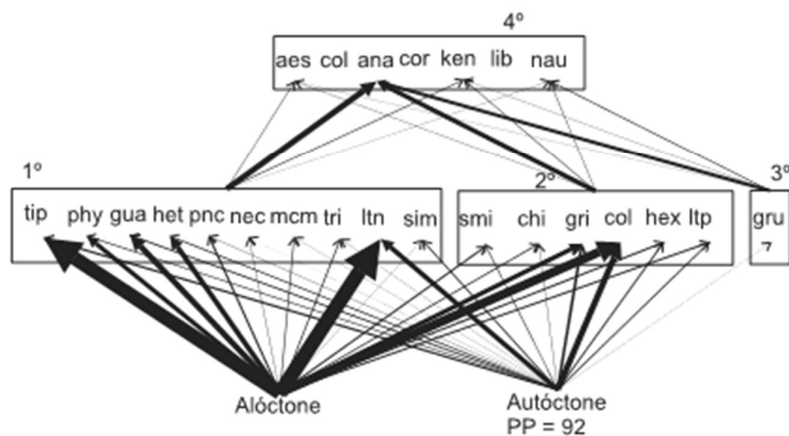


Figura 15 - Teia de fluxo energético (g matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>) das estações amostrais dos córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. Espessuras das setas indicam o fluxo de alimento utilizado para a produção do consumidor. Legenda: retângulos numerados indicam a guilda trófica, sendo que 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> representam macroinvertebrados que assimilam, respectivamente, mais que 70% de recursos alóctones; entre 30 a 70% de ambos os recursos e mais que 70% de recursos autóctones; 4<sup>a</sup> - macroinvertebrados predadores; 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> - Peixes e/ou crustáceos onívoros ou predador de topo;

5ª e 6ª - Peixes e/ou crustáceos onívoros ou predador de topo. PP - produção autóctone (g matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>). Código dos táxons ver legenda da figura 13. (Continua)

### Estação FRC16



Escala (g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>)

— 0,05 — 0,1 — 0,2 — 0,3 — 0,75

### Estação FRC14

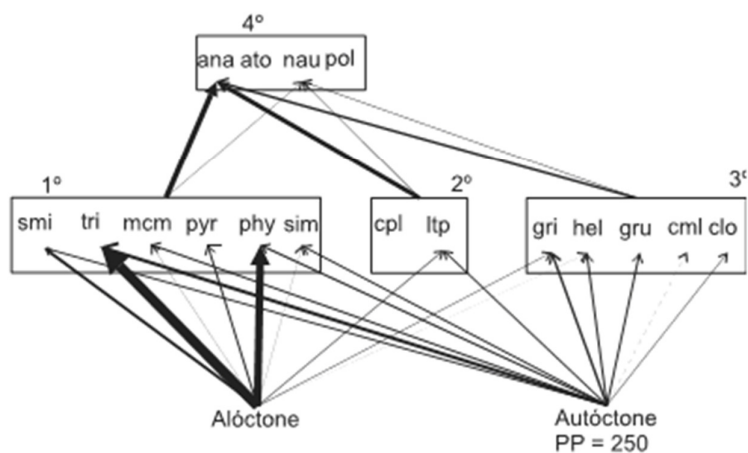


Figura 15 - (Continuação)

## Estação FRC18

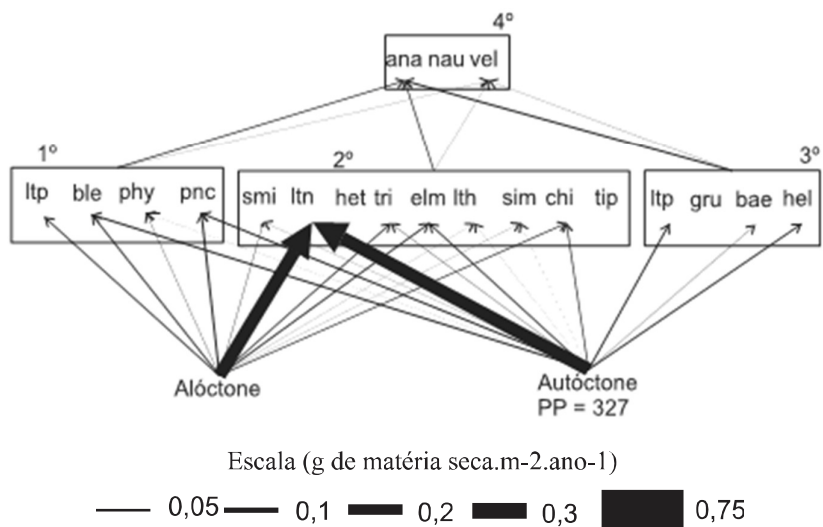


Figura 15 - (Conclusão)

O fluxo de matéria alóctone absoluta (g matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>) ou a proporcional (fração) para os macroinvertebrados das estações amostrais de córregos florestados não aumentou com os gradientes naturais do rio, como altitude, cobertura de canopia e ordem (Figura 16). Considerando as 11 estações florestadas, também não houve diminuição da produção primária e da produção secundária dos macroinvertebrados rasgadores e aumento da produção dos rasgadores com o sombreamento (Figura 17).

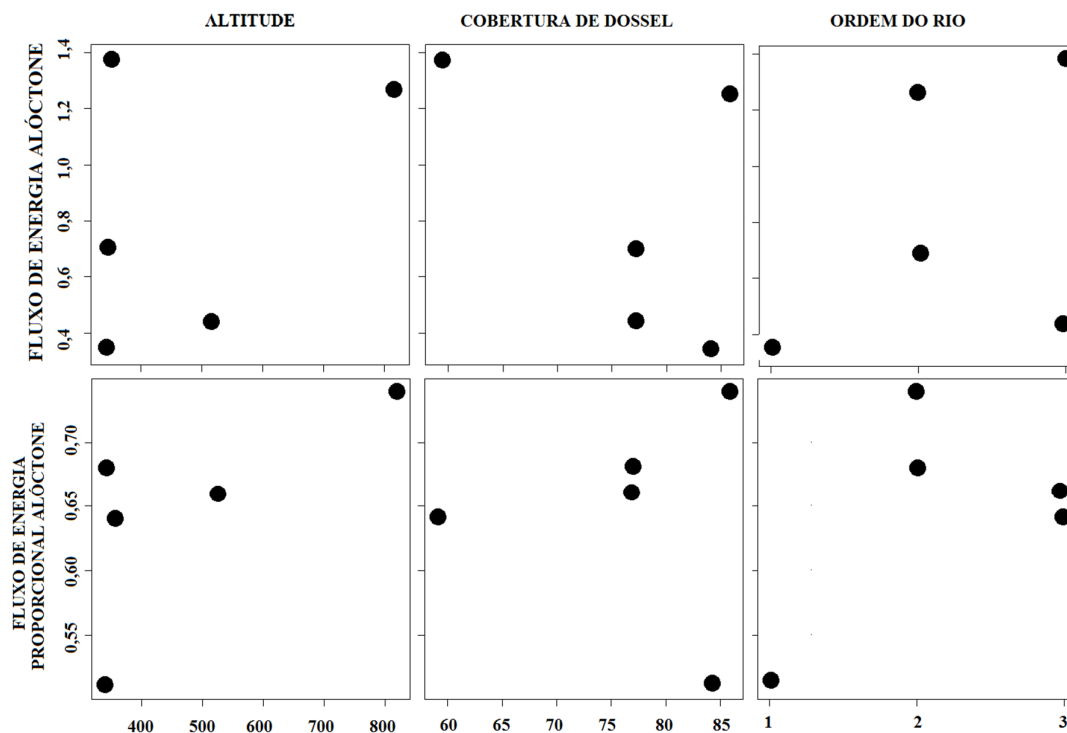


Figura 16 - Relações entre o gradiente natural do rio (altitude, cobertura de dossel e ordem do rio) e o fluxo de energia de matéria alóctone absoluta ( $\text{g matéria seca.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ) e proporcional (fração) para os macroinvertebrados das estações amostrais de córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.

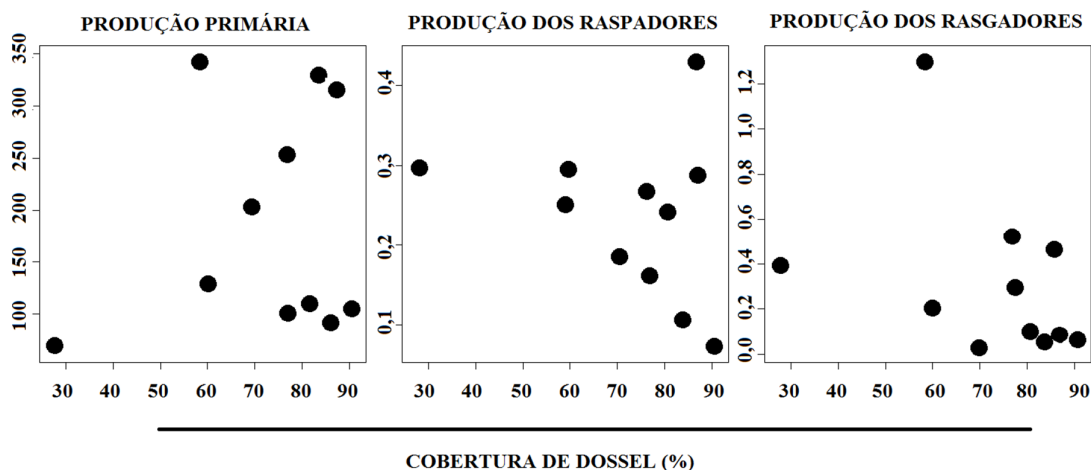


Figura 17 - Relações entre cobertura de canopia e produção primária, secundária de macroinvertebrados raspadores e rasgadores ( $\text{g matéria seca.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ) e proporcional (fração) para os macroinvertebrados das estações amostrais de córregos florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil.

## 2.2 Efeitos de distúrbios antrópicos no fluxo de matéria em teias tróficas de córregos

A produção primária de algas perifíticas nas estações com distúrbios antrópicos variou de 102 a 657 g de matéria orgânica seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, enquanto, como já foi dito, nas estações preservadas esta variou de 101 a 346 g de matéria orgânica seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Logo, a produção autóctone nas estações com distúrbios não foi maior que a de locais preservados (Figura 18).

As distribuições dos valores isotópicos das duas estações amostrais com distúrbios antrópicos tiveram valores isotópicos de carbono dos recursos alimentares alóctones e dos herbívoros *baseline* distintos. Assim como nas estações amostrais florestadas, os valores dos recursos alóctones das estações com condições ambientais ruins foram mais pobres em carbono-13 (menores valores isotópicos) do que desses herbívoros (Figura 19).

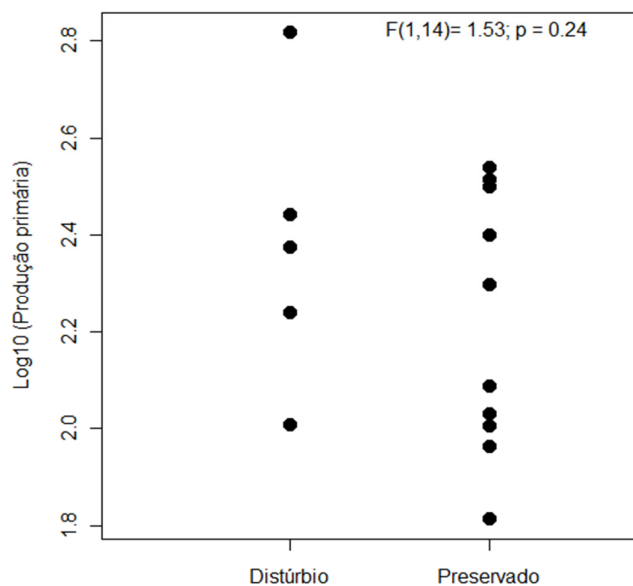
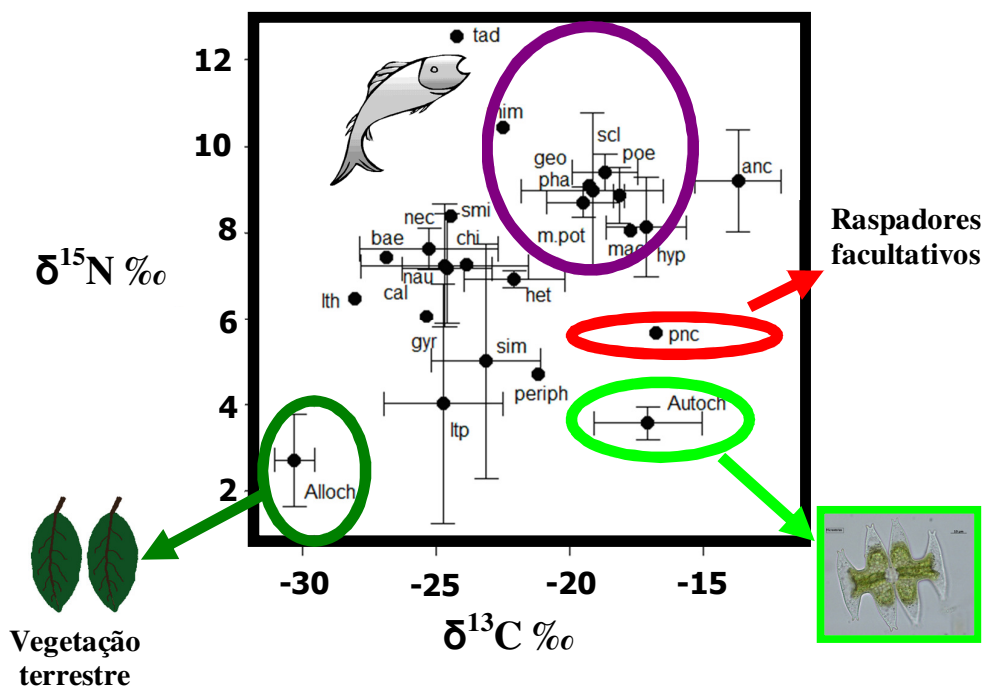


Figura 18 - Logaritmo da produção primária (g de matéria orgânica seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>) por condição ambiental da estação amostral.

## Estação RC04



## Estação FRC11

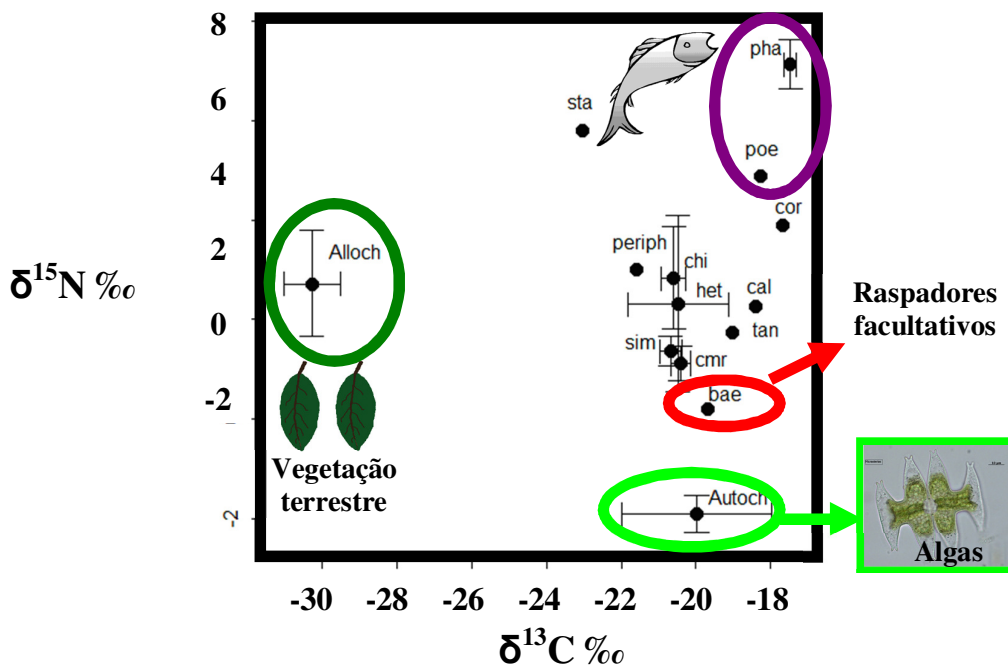


Figura 19 - Valores isotópicos de carbono e nitrogênio dos recursos alimentares basais e consumidores das estações amostrais com distúrbios antrópicos. Assumimos que os desvios padrões dos valores isotópicos dos recursos autóctones são iguais às médias dos desvios desses recursos nas estações preservadas. Código dos táxons ver legenda da Figura 13.

Os macroinvertebrados que analisamos quanto à composição isotópica representam 70% da produção total dos macroinvertebrados na estação RC04 e 98% da estação FRC11. Na estação amostral RC04, dois táxons assimilaram mais que 70% de material alóctone, um assimilou mais que 70% de material autóctone e seis assimilaram entre 30 a 70 % de ambos os recursos (Figura 20). Na estação FRC11, nenhum dos táxons assimilou mais que 70% de material alóctone, cinco assimilaram mais que 70% de material autóctone e um assimilou entre 30 a 70% de ambos os recursos (Figura 20). Entre as estações que amostramos, a estação FRC11 teve a menor riqueza de taxonômica.

### Estação RC04

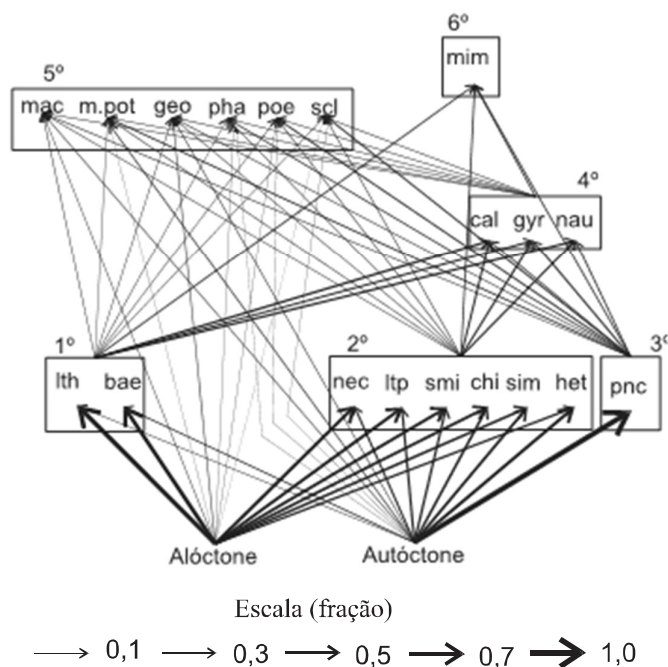


Figura 20 - Teia de assimilação das estações amostrais dos córregos impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. Espessuras das setas indicam a fração de alimento que contribui para a produção do consumidor (i.e. que é assimilada). Legenda: retângulos numerados indicam a guilda trófica, sendo que 1ª, 2ª e 3ª representam macroinvertebrados que assimilam, respectivamente, mais que 70% de recursos alóctones; entre 30 a 70% de ambos os recursos e mais que 70% de recursos autóctones; 4ª - macroinvertebrados predadores; 5ª e 6ª - Peixes e/ou crustáceos onívoros ou predador de topo. \* Indica que a fração assimilada pelo táxon foi estimada com base na média desse mesmo táxon nas outras estações. Código dos táxons ver legenda da figura 13. (Continua)



## Estação FRC11

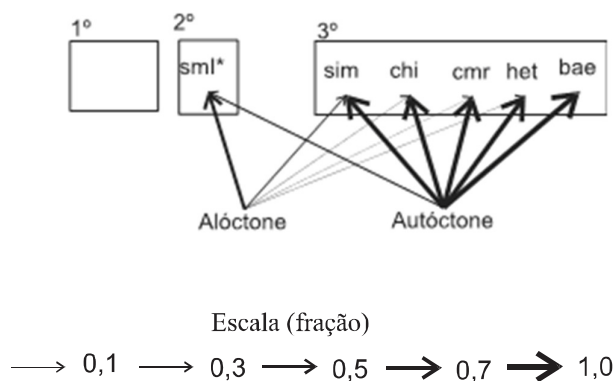


Figura 20 - (Conclusão)

Na estação amostral RC04, o fluxo de energia total para a produção dos macroinvertebrados foi de 0,79 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo que 82% desse fluxo foi para os consumidores primários e 18% para os predadores. Do fluxo para os consumidores primários, 55% foi de material alóctone e 45% foi de material autóctone. Os consumidores primários que mais contribuíram para o fluxo de energia nessa estação foram os tricópteros coletores-filtradores *Smicridea* e os dípteros Simulidae e Chironomidae (Figura 21). O fluxo de material alóctone ingerido foi 5,50 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 74% do recurso basal ingerido. Já o fluxo de material autóctone ingerido foi de 1,93 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Apenas 1,1% da produção primária anual das algas perifíticas pode ter sido ingerida anualmente pelos macroinvertebrados nessa estação amostral e 61% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários pode ter sido ingerida pelos macroinvertebrados predadores (Tabela 4).

Na estação amostral FRC11, o fluxo de energia total para a produção dos macroinvertebrados foi de 0,41 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo que 81% desse fluxo foi para os consumidores primários e 19% para os predadores. Do fluxo para os consumidores primários, 14% foi de material alóctone e 86% foi de material autóctone. Os consumidores primários que mais contribuíram para o fluxo de energia nessa estação foram os dípteros Chironomidae (Figura 21). O fluxo de material alóctone ingerido foi 0,73 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 28% do recurso basal ingerido. Já o fluxo de material

autóctone ingerido foi de 1,91 g de matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Menos que 1% da produção primária anual das algas perifíticas pode ter sido ingerida anualmente pelos macroinvertebrados nessa estação amostral e 68% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários pode ter sido ingerida pelos macroinvertebrados predadores.

Os fluxos de matéria nessas duas estações foram distintos dos fluxos nas estações preservadas. Em relação às estações preservadas, as teias tróficas das estações com distúrbios (RC04 e FRC11) tiveram menores fluxos de matéria assimilada e ingerida total pelos predadores e pelos consumidores primários; menores fluxos de matéria para os macroinvertebrados predadores e os consumidores primários; e menores fluxos de energia de origem alóctone (absoluta e proporcional) e, conseqüentemente, maiores fluxos proporcionais de matéria assimilada e ingerida de origem autóctone (Tabela 4).

### Estação RC04

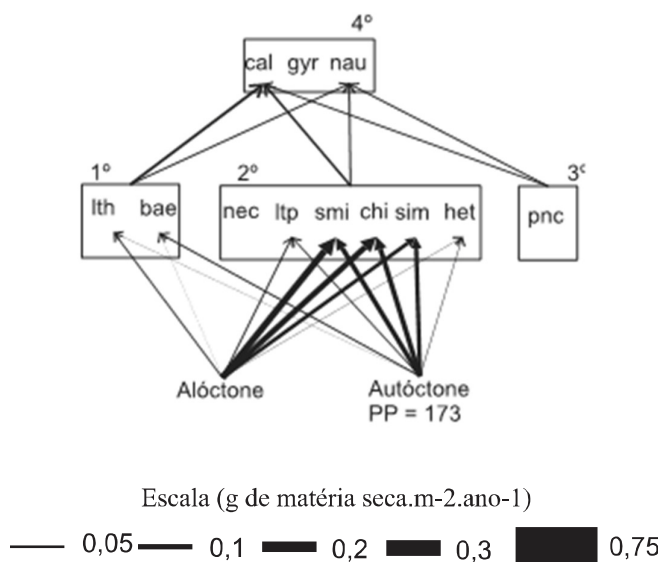


Figura 21 - Teia de fluxo energético (g matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>) das estações amostrais dos córregos impactados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. Espessuras das setas indicam o fluxo de alimento utilizado para a produção do consumidor. Legenda: retângulos numerados indicam a guilda trófica, sendo que 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> representam macroinvertebrados que assimilam, respectivamente, mais que 70% de recursos alóctones; entre 30 a 70% de ambos os recursos e mais que 70% de recursos autóctones; 4<sup>a</sup> - macroinvertebrados predadores; 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> - Peixes e/ou crustáceos onívoros ou predador de topo; 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> - Peixes e/ou crustáceos onívoros ou predador de topo. PP - produção autóctone (g matéria seca.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>). Código dos táxons ver legenda da figura 13. (Continua)

### Estação FRC11

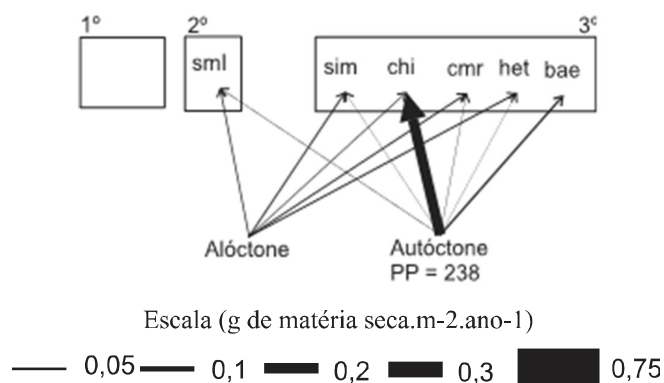


Figura 21 - (Conclusão).

Tabela 4 - Fluxos anuais de energia utilizada para produção secundária e ingerida (g de matéria seca.m<sup>-2</sup> ou proporcional (%) ao fluxo para os consumidores primários).

|                                      | Estações preservadas |        |        | Est. com distúrbios |        | Significância |
|--------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|---------------|
|                                      | Média                | Mínimo | Máximo | Riviera             | Klabin |               |
| <b>F<sub>Total</sub></b>             | 1,52                 | 0,91   | 2,12   | 0,79                | 0,41   | *             |
| <b>F<sub>Pr</sub></b>                | 0,28                 | 0,14   | 0,42   | 0,14                | 0,08   | .             |
| <b>F<sub>C1</sub></b>                | 1,24                 | 0,65   | 1,82   | 0,65                | 0,33   | .             |
| <b>F<sub>Alóctone</sub></b>          | 0,82                 | 0,40   | 1,24   | 0,36                | 0,05   | *             |
| <b>% F<sub>Alóctone</sub></b>        | 65                   | 57     | 72     | 55                  | 15     | *             |
| <b>F<sub>Autóctone</sub></b>         | 0,42                 | 0,23   | 0,60   | 0,29                | 0,29   | <i>ns</i>     |
| <b>% F<sub>Autóctone</sub></b>       | 35                   | 28     | 43     | 44                  | 87     | *             |
| <b>I<sub>Pr</sub></b>                | 0,80                 | 0,40   | 1,21   | 0,39                | 0,23   | *             |
| <b>I<sub>C1</sub></b>                | 15,41                | 7,86   | 22,95  | 7,43                | 2,64   | *             |
| <b>I<sub>Autóc</sub></b>             | 2,77                 | 1,53   | 4,00   | 1,93                | 1,91   | <i>ns</i>     |
| <b>% I<sub>Autóc</sub></b>           | 19                   | 14     | 25     | 26                  | 72     | *             |
| <b>I<sub>Alóc</sub></b>              | 12,64                | 6,17   | 19,10  | 5,50                | 0,73   | *             |
| <b>% I<sub>Alóc</sub></b>            | 81                   | 75     | 86     | 74                  | 28     | *             |
| <b>I<sub>Pr</sub>/F<sub>C1</sub></b> | 0,77                 | 0,33   | 1,20   | 0,61                | 0,68   | <i>ns</i>     |

Legenda: F - fluxo de energia utilizada na produção secundária, I - fluxo de alimento ingerido, Pr - predadores, C1 - consumidores primários, Alóc e Autóc - origem do recurso alóctone e autóctone, respectivamente; Mínimo e máximo - intervalo de confiança com a probabilidade de 95%; \* - fluxo das estações com distúrbios ficaram fora do limite de confiança das estações preservadas; . - pelo menos uma das estações com distúrbios ficou exatamente no limite mínimo ou máximo e *ns* - dentro do limite.

### 2.3 Métricas de estrutura trófica da comunidade

A amplitude de  $\delta^{15}\text{N}$  (NR) variou de 6,9 a 10,5; a amplitude de  $\delta^{13}\text{C}$  variou de 5,3 a 15,7; a área total (TA) varou de 21,9 a 78,0; a distância média do centróide (CD) variou de 2,3 a 4,1; a distância media do vizinho mais próximo (NND) variou de 0,7 a 1,3 e o desvio padrão da distância media do vizinho mais próximo (SDNND) variou de 0,6 a 1,1 (Tabela 5). A estação com distúrbios antrópicos FRC11, que é de 4ª ordem, teve os menores valores de NR, CR, CD e TA. Enquanto que, o RC04, a outra estação com distúrbios antrópicos, apresentou os maiores valores dessas métricas. Esse elevados valores relativos na estação FRC11 foram determinados pela presença de um girino com um alto valor isotópico de nitrogênio (12,54 ppm) e um peixe (*Ancistrus multispinus*) com um alto valor de carbono (-13,70 ppm). As estações FRC14, FRC15, FRC02 e RC04 tiveram dos  $\delta^{13}\text{C}$  dos recursos autóctones e alóctones mais discrepantes entre si do que as estações FRC16, FRC18 e FRC11, ou seja, aquelas apresentaram maiores amplitudes de  $\delta^{13}\text{C}$  dos recursos basais. As métricas CR, CD e TA tiveram relação com essa amplitude (Figuras 22, 23 e 24). Enquanto que NR e SDNND tiveram relação com a riqueza taxonômica (Figuras 25 e 26).

Tabela 5: Sumários das métricas de estrutura trófica das comunidades bióticas de córregos da bacia do rio Guapi-Macacu, RJ.

| Estação | Condição   | NR   | CR   | CD  | NND | SDNND | TA   | Dif. |
|---------|------------|------|------|-----|-----|-------|------|------|
| FRC14   | Preservado | 8,3  | 14,0 | 4,1 | 1,3 | 1,1   | 75,5 | 13,8 |
| FRC15   | Preservado | 9,9  | 12,2 | 3,4 | 0,9 | 0,7   | 78,0 | 14,0 |
| FRC16   | Preservado | 8,6  | 5,3  | 2,2 | 0,7 | 0,8   | 26,5 | 9,49 |
| FRC02   | Preservado | 9,7  | 15,7 | 3,2 | 0,8 | 0,7   | 74,9 | 14,1 |
| FRC18   | Preservado | 9,4  | 7,8  | 3,0 | 1,0 | 0,6   | 46,4 | 8,2  |
| RC04    | Distúrbio  | 10,5 | 14,4 | 3,8 | 1,3 | 1,0   | 76,7 | 13,2 |
| FRC11   | Distúrbio  | 6,9  | 5,6  | 2,3 | 1,2 | 1,1   | 21,9 | 10,3 |

Legenda: NR - amplitude de  $\delta^{15}\text{N}$ ; CR - amplitude de  $\delta^{13}\text{C}$ ; CD - distância média do centróide; NND - distância media do vizinho mais próximo; SDNND - desvio padrão da distância media do vizinho mais próximo; TA - área total; Dif - diferença dos  $\delta^{13}\text{C}$  dos recursos autóctones e alóctones.

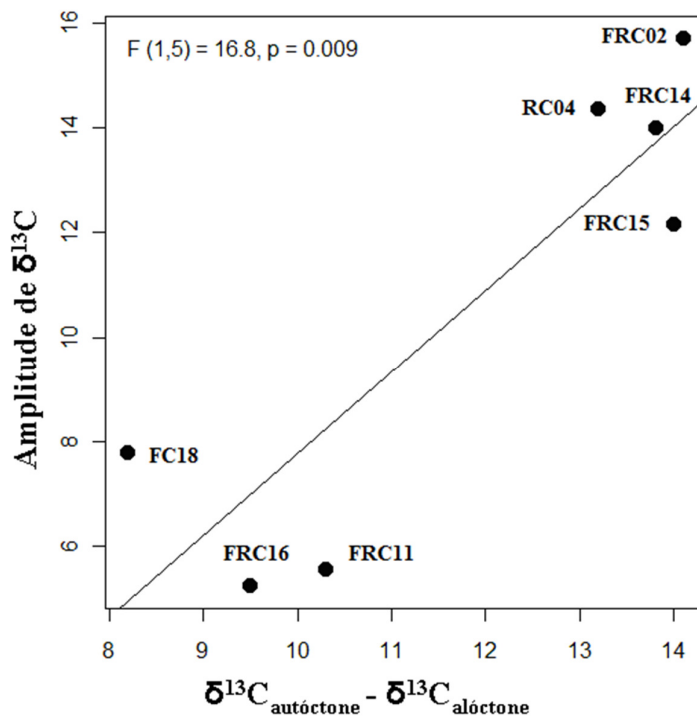


Figura 22 - Relação entre amplitude dos  $\delta^{13}\text{C}$  dos consumidores e amplitude dos  $\delta^{13}\text{C}$  dos recursos basais.

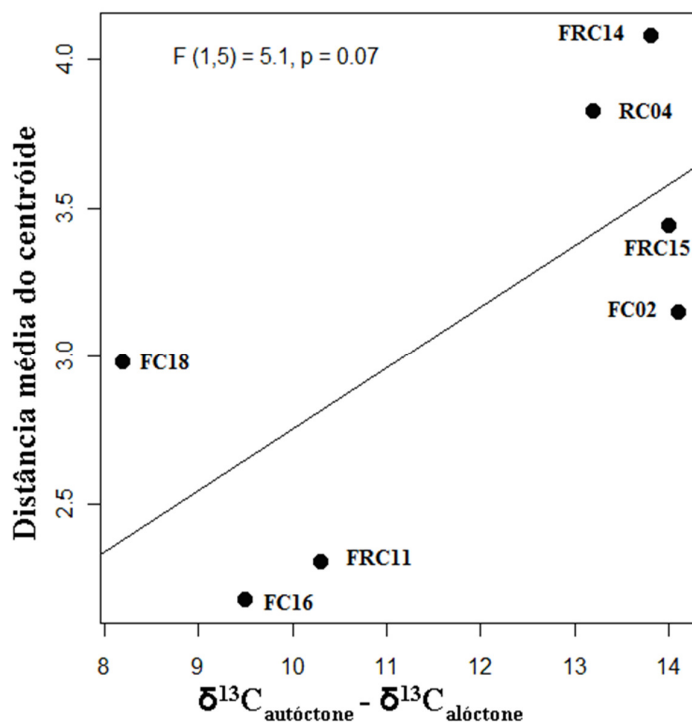


Figura 23 - Relação entre a distância média do centróide e amplitude dos  $\delta^{13}\text{C}$  dos recursos basais.

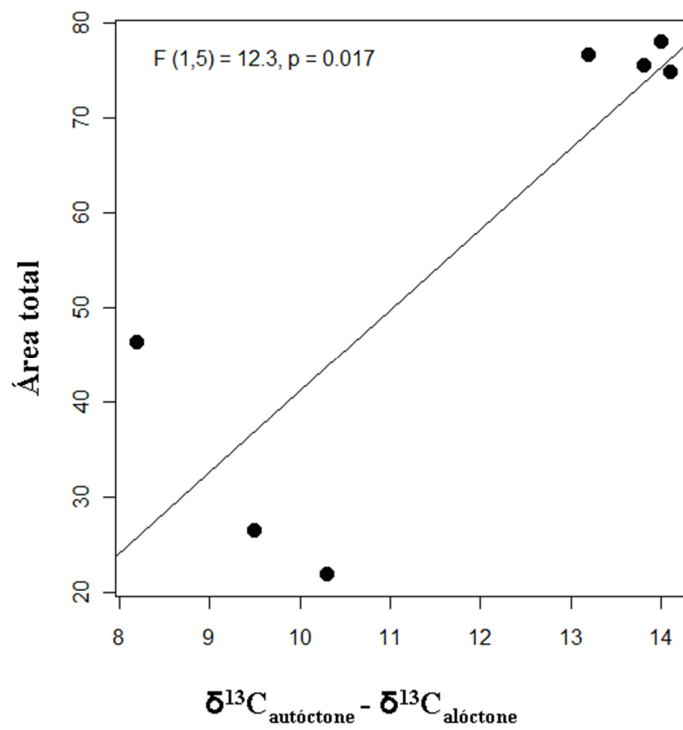


Figura 24 - Relação entre a área total e amplitude dos  $\delta^{13}\text{C}$  dos recursos basais.

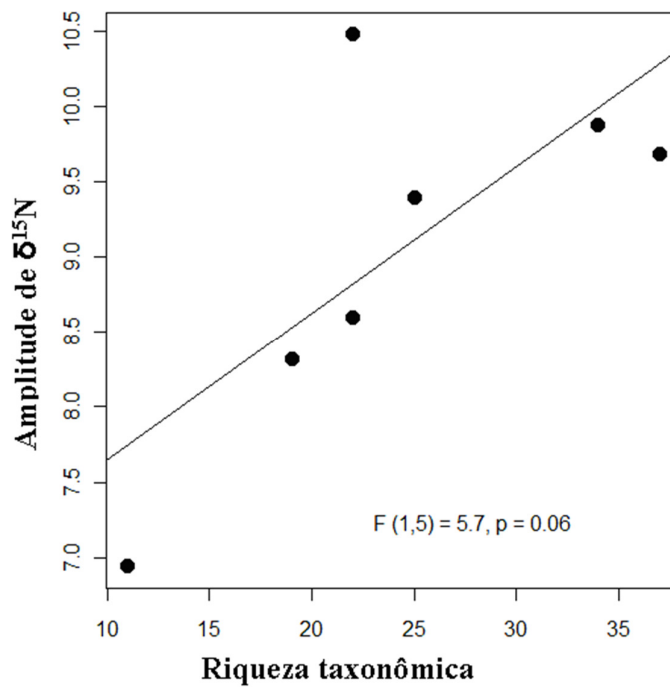


Figura 25 - Relação entre amplitude dos  $\delta^{15}\text{N}$  dos consumidores e riqueza taxonômica.

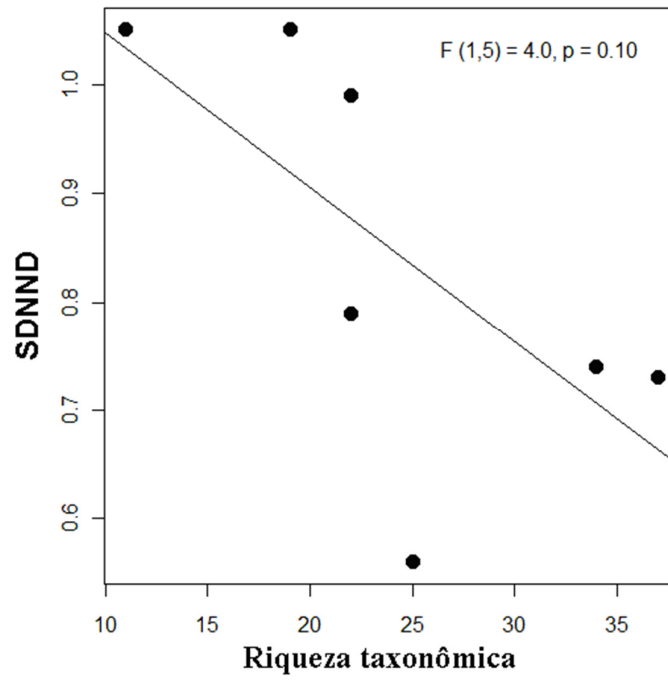


Figura 26 - Relação entre desvio padrão da distância media do vizinho mais próximo (SDNND) e riqueza taxonômica.

### 3 DISCUSSÃO

#### 3.1 Fluxo de matéria em teias tróficas de córregos florestados

Acredita-se que rios florestados de pequena ordem (1<sup>a</sup> a 3<sup>a</sup>) têm sua produção autóctone limitada pelo sombreamento, que a matéria orgânica proveniente da vegetação terrestre é o principal recurso alimentar basal para a teia trófica e que os rasgadores (ou fragmentadores) são os grupos funcionais de alimentação dominantes (VANNOTE et al. 1980). Contudo, alguns estudos indicaram que os recursos autóctones podem ser importantes para teia trófica de pequenos rios florestados tropicais (SALAS e DUDGEON, 2001; MARCH e PRINGLE, 2003; MANTEL et al., 2004; DOUGLAS et al., 2005; DETWEILER, 2005; BRITO et. al., 2006; UIEDA e MOTTA, 2007; LI e DUDGEON, 2008, 2009; LIMA, 2009), e também que os animais rasgadores podem ser raros em rios tropicais (ROSEMOND et al, 1998; DUDGEON e WU, 1999; DOBSON et. al., 2002, mas ver BOYERO et al.,1999; YULE et al. 2009).

Apesar desse debate, desconhecemos estudos que quantificaram a produção primária e a secundária e o fluxo de matéria nas teias tróficas de córregos florestados tropicais. Apenas alguns trabalhos utilizando esses procedimentos foram feitos em córregos temperados (HALL et al. 2000; WHITING et al., 2011). Muitas das teias tróficas descrita na literatura são teias de conectividade, na qual as espécies estão interligadas aos seus consumidores. Nessas teias a importância dos componentes como recurso e a força da interação predador-presa, geralmente, não são quantificadas (WOODWARD et al., 2005).

No presente trabalho, modelos empíricos da literatura foram utilizados para estimar a produção primária de algas perifíticas (MORIN e BOURASSA, 1992) e a produção secundária dos macroinvertebrados (MORIN et al. 1999). Essas produções foram combinadas com análises de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio de recursos e consumidores para quantificação dos fluxos para as teias tróficas de pequenos rios florestados da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro Brasil. A utilização de modelos empíricos para estimar a produção ao invés de medi-la por métodos diretos tem sido alvo de discussões (BENKE, 1993; RAMIREZ e PRINGLE, 1998). Contudo eles têm sido útil, sobretudo em locais onde a falta de informação da história natural dos táxons tem impossibilitado o uso de métodos



diretos para estimar a produção secundária (e.g. RAMIREZ e PRINGLE, 1998; AGUIAR, 2012), apesar de esses modelos poderem ter baixa precisão (MORIN et al., 1999).

Os rasgadores foram escassos em termos de riqueza (7 táxon rasgadores obrigatórios e 1 facultativo) e densidade (média = 8%, amplitude = 1-18% da densidade dos macroinvertebrados), mas muito variável em termos de biomassa (amplitude = 1-56% da biomassa dos macroinvertebrados) e produção (amplitude = 1-51% da produção dos macroinvertebrados). Resultados similares foram encontrados em córregos florestados de Hong Kong (LI e DUDGEON, 2009). O fluxo de matéria alóctone foi mais importante que o autóctone, e representou entre 51 a 74% do fluxo de matéria assimilada pelos macroinvertebrados consumidores primários dos córregos florestados e entre 71 a 87% do fluxo de matéria ingerida por esses organismos nesses córregos. Estudos em córregos florestados em regiões temperadas também mostraram que a via de detritos alóctone representa a maior fração do fluxo ingerido pelos consumidores primários (HALL et al., 2000; WHITING et al., 2011). Poucas espécies tiveram fortes influências no fluxo de energia na teia trófica. Esses animais foram abundantes e com as maiores biomassas médias individuais, como os *Triplectides*, *Leptonema*, *Tipulidae* e *Simicridea*. Outros estudos têm indicado que alguns poucos táxons dominantes são espécies-chaves para o entendimento do fluxo de matéria na teia trófica (DOUGLAS et al., 2005; HALL et al., 2000).

A hipótese do presente trabalho era que o fluxo de matéria alóctone para teia trófica de córregos florestados iria aumentar com o sombreamento, pois haveria uma diminuição da produção autóctone nesse gradiente e, conseqüentemente uma diminuição da produção secundária dos macroinvertebrados rasgadores e um aumento da produção dos rasgadores devido à presunção de que o aporte de matéria alóctone aumente com o sombreamento. Porém a produção primária não diminuiu com o sombreamento nem a produção secundária dos macroinvertebrados rasgadores. Além disso, as taxas de ingestão dos macroinvertebrados sugerem que no máximo apenas 3% da produção autóctone são ingeridas anualmente. Desta forma, uma grande fração de matéria autóctone pode ter sido exportada para jusante e/ou ter sido utilizada por bactérias heterotróficas, fungos, ciliados, rotíferos e flagelados heterotróficos no *microbial loop*. O *Revised Riverine Productivity Model* prevê a utilização de matéria alóctone no *loop microbial* (THORP e DELONG, 2002), contudo no presente trabalho há indícios de que esse pode ser o destino da maior parte da produção primária autóctone. Portanto, o recurso alimentar autóctone não foi limitante para os macroinvertebrados. A produção secundária dos macroinvertebrados rasgadores também não aumentou com o sombreamento, assim como não aumentou o fluxo de material alóctone

ingerido. Outros fatores devem ser determinantes para a produção secundária dos macroinvertebrados raspadores e rasgadores que não os recursos alimentares. A predação por macroinvertebrados foi descartada como um desses fatores, pois não houve uma relação negativa entre a produção do macroinvertebrados predadores e os raspadores ou rasgadores. Assim como a hipótese de a predação por macroconsumidores (peixes e camarões) poderia limitar a produção de macroinvertebrados raspadores e rasgadores, pois apenas duas das onze estações florestadas não tinham peixes. Em uma delas a produção dos macroinvertebrados foi a segunda maior (FRC16) e na outra a menor (FRC17) entre as estações florestadas. A disponibilidade de mesohabitats e substratos pode ser o fator limitante para a produção desses macroinvertebrados uma vez que seus grupos funcionais de alimentação têm preferência pelo mesohabitat e substrato (HENRIQUES-OLIVEIRA e NESSIMIAM, 2010).

Os predadores foram bem representados (média = 31%, amplitude = 10-52% da produção total dos macroinvertebrados) na comunidade de macroinvertebrados. A dominância de predadores sugere a força do controle descendente na teia trófica. Outros estudos indicaram que os predadores podem ingerir quase toda a produção dos consumidores primários (HALL et al., 2000; WHITING et al., 2011). Contudo, no presente trabalho os macroinvertebrados predadores ingeriram entre 22 a 139% da produção dos macroinvertebrados consumidores primários.

Os macroconsumidores (crustáceos decápodes e os peixes) não foram coletados quantitativamente, porém os macroconsumidores podem ser mais importantes do que os macroinvertebrados rasgadores em processar folhas (MOULTON et al., 2010) e peixes podem consumir uma alta proporção da produção primária (TOWNSEND, 2003; SIMON e TOWNSEND, 2003). A utilização dos valores isotópicos de raspadores obrigatórios como indicativo dos valores isotópicos de algas pode ser outra fonte de erros no nosso modelo. Além disso, as estimativas de produção foram baseadas em modelos empíricos e aplicados a dados de apenas uma coleta. Por isso, pode-se considerar que as estimativas do presente trabalho são grosseiras, porém válidas como uma primeira aproximação de medidas fluxos na teia trófica, que é um processo pouco investigado, apesar da sua relevância para o entendimento do funcionamento do ecossistema. Informações mais precisas serão obtidas com pesquisas de longo termo, coletas mensais e medidas diretas da produção pelo menos das espécies mais produtivas. Esforços para separar as algas dos outros componentes do perifíton em gradiente de densidade de sílica coloidal serão feitos para análise isotópica das algas (HAMILTON et al., 2005).

Finalmente, concluí-se que a via de alóctone responde pela maior fração do fluxo de matéria assimilada e ingerida na teia trófica de córregos florestados que têm alguns poucos macroinvertebrados rasgadores ingerindo grandes quantidades de matéria alóctone.

### **3.2 Efeitos de distúrbios antrópicos no fluxo de matéria em teias tróficas de córregos**

Rios são considerados as veias da paisagem, o que encerra a importância funcional destes ecossistemas. Como sistemas abertos, os rios representam a principal via de saída de materiais para a maioria dos ecossistemas terrestres e também recebem grandes subsídios de nutrientes e detritos da paisagem ao redor. Por isso, rios são particularmente sensíveis às mais diversas formas de degradação ambiental. A magnitude desses aportes de nutrientes e detritos depende do uso da terra, geologia, do tamanho da bacia hidrográfica e da extensão e do grau de integridade da vegetação ripária. Agricultura e urbanização devem exportar grande quantidade de nutrientes para os rios, enquanto que o desflorestamento provocado por esses usos devem diminuir o subsídio de detritos.

Dessa forma, córregos com distúrbios antrópicos (agricultura, urbanização e desflorestamento) devem ter maiores produções autóctones e contribuições proporcionais do fluxo de matéria autóctone para a teia trófica do que córregos florestados. Entretanto, o fluxo de energia absoluta para a teia trófica de córregos com distúrbios deve ser menor do que em córregos florestados, devido à perda de táxons sensíveis ao distúrbio antrópico. Apesar de o fluxo absoluto de matéria total (alóctone + autóctone) para a teia trófica ter sido menor em teias tróficas de córregos com distúrbio do que em preservados, o fluxo proporcional de matéria autóctone para a teia trófica foi maior naquele do que nestes. Contudo, o maior fluxo proporcional de matéria autóctone de córregos com distúrbios não pode ser explicado pelas suas produções autóctones, pois não foram diferentes em estações preservadas. Além disso, a matéria autóctone não deve ser limitante para a teia trófica de ambos os ambientes, pois menos que 3% da produção autóctone são ingeridas anualmente neles. Provavelmente, o desmatamento da vegetação ripária diminuiu o aporte de detritos da vegetação terrestre para os córregos com distúrbios, o que deve ter provocado as reduções da produção secundária, principalmente, dos rasgadores e, conseqüentemente, a redução do fluxo alóctone para teia trófica metazoária.

O trabalho indicou que o fluxo de matéria na teia trófica em córregos foi sensível ao uso da terra. Apesar de mais caro e trabalhoso do que a maioria dos parâmetros comumente utilizados para a avaliação e monitoramento de impacto, o fluxo de matéria pode ser bem informativo na investigação das cascatas de causa-efeito, ou seja, da causalidade do impacto. Dessa forma, o fluxo do carbono pode ser utilizado como indicador da saúde dos rios, assim como outros parâmetros ecossistêmicos, como decomposição e ciclagem de nutrientes (por ex., MOULTON, 1998; BUNN e DAVIES, 2000; GESSNER e CHAUVET, 2002; MOULTON e MAGALHÃES, 2003; SILVA-JUNIOR e MOULTON, 2011).

### 3.3 Métricas de estrutura trófica da comunidade

Um procedimento comum entre os pesquisadores de teia trófica tem sido apresentar os seus resultados em gráficos bivariados de isótopos de carbono e nitrogênio (e.g. FRY, 1991; BRITO et al., 2006). Embora esse procedimento muitas vezes seja informativo, pesquisas recentes têm procurado expressar seus resultados com medidas quantitativas como às métricas proposta por Layman e colaboradores (2007). Essas métricas podem revelar importantes aspectos da comunidade, como, os relacionados com a diversidade de níveis tróficos (NR), de recursos basais (CR), diversidade trófica (TA e CD) e redundância ou divergência trófica (NND). Contudo, essas métricas podem ser influenciadas pela amplitude de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  dos recursos (NEWSOME et al., 2007; HOEINGHAUS e ZEUG, 2008), o que dificulta a interpretação dos resultados. Contudo, os resultados podem ser comparáveis entre as estações que têm amplitudes isotópicas dos recursos basais similares. No presente trabalho, as métricas de comunidade das estações com distúrbios (RC04 e FRC11) tiveram valores de métricas tróficas de comunidade no extremo oposto. Além disso, essas estações têm amplitude  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  dos recursos basais, ordens e graus de distúrbios antrópicos diferentes. Tudo isso dificulta qualquer conclusão sobre o que poderia ter causado as diferenças nas métricas tróficas de comunidade, pois muitos fatores, além de distúrbios antrópicos, podem influenciar a estrutura trófica da comunidade, como por exemplo, a amplitude dos valores isotópicos dos recursos basais (NEWSOME et al., 2007; HOEINGHAUS e ZEUG, 2008), presença de espécies invasoras e os seus nichos tróficos (LAYMAN et al., 2007) e contínuo de rio (VANNOTE et al., 1980).

## REFERÊNCIAS

AGUIAR ACF. 2012. Produção secundária instantânea das comunidades de macroinvertebrados bentônicos no Rio das Mortes, MG. Dissertação de mestrado. São João del Rei, MG: Universidade Federal de São João del Rei.

BAPTISTA DF, BUSS DF, DIAS LG, NESSIMIAN JL, DA-SILVA ER, DE MORAES NETO AHA, DE CARVALHO SN, DE OLIVEIRA MARLR. 2006. Functional feeding groups of Brazilian Ephemeroptera nymphs: ultrastructure of mouthparts. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*. 42 (2): 87-96.

BAUMGÄRTNER D, ROTHHAUPT K.-O. 2003. Predictive length-dry mass regressions for freshwater invertebrates in a pre-alpine lake littoral. *International Review of Hydrobiology*. 88 (5):453-63.

BEARHOP S, ADAMS CE, WALDRON S, FULLER RA, MACLEOD H. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*. 73:1007-12.

BENKE AC. 1993. Concepts and patterns of invertebrate production in running waters. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*. 25: 15-38.

BENKE AC. 2010. Secondary production. *Nature Education Knowledge*. 1 (8):5.

BENKE AC. 2011. Secondary production, quantitative food webs, and trophic position. *Nature Education Knowledge*. 2 (2):2.

BENKE AC, WALLACE JB. 1980. Trophic basis of production among net-spinning caddisfly in a southern Appalachian stream. *Ecology*. 61 (1):108-18.

BENKE AC, WALLACE J B. 1997. Trophic basis of production among riverine caddisflies: implications for food web analysis. *Ecology*. 78 (4):1132-45.

BENKE AC, HURYN AD, SMOCK LA, WALLACE JB. 1999. Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United State. *Journal of the North American Benthological Society*. 18 (3):308-43.

BENKE AC, WALLACE JB, HARRISON JW, KOEBEL JW. 2001. Food web quantification using secondary production analysis: predaceous invertebrates of the snag habitat in a subtropical river. *Freshwater Biology*. 46:329-46.

BENSTEAD JP, PRINGLE, CM. 2004. Deforestation alters the resource base and biomass of endemic stream insects in eastern Madagascar. *Freshwater Biology*. 49:490-501.

BOYERO L, RAMÍREZ A, DUDGEON D, PEARSON DG. 2009. Are tropical streams really different? *Journal of North American Benthological Society*. 28:397-403.

BRITO EF, MOULTON TP, SOUZA ML, BUNN SE. 2006. Stable isotope analysis indicates microalgae as the predominant food source of fauna in a coastal forest stream, south-east Brazil. *Austral Ecology*. 31:623-33.

BUNN SE, DAVIS PM. 2000. Biological processes in running waters and their implications for assessment of ecological integrity. *Hydrobiologia*. 423:61-70.

BUNN SE, DAVIES PM, MOSISCH TD. 1999. Ecosystem measures of river health and their response to riparian and catchment degradation. *Freshwater Biology*. 41:333-45.

BURGESS, WE. 1989. An atlas of freshwater and marine catfishes. A preliminary survey of the Siluriformes. Neptune City: TFH Publications.

CHESHIRE K, BOYERO L, PEARSON G. 2005. Food webs in tropical Australian stream: shredders are not scarce. *Freshwater Biology*. 50:748-69.

COSTA, H. 1999. Subsídios para Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu. Rio de Janeiro: SEMA.

DA-SILVA ER, SALLES FF, NESSIMIAN JL, COELHO LBN. 2003. A identificação das famílias de Ephemeroptera (Insecta) ocorrentes no estado do Rio de Janeiro: Chave pictórica para as ninfas. *Boletim do Museu Nacional*. 508:1-6.

DETWEILER AM. 2005. The effects of urbanization on the food web of a mid-order stream in Rio de Janeiro, Brazil. Masters thesis. Greenboro, USA: University of North Carolina.

DOBSON M, MATHOOKO JM, MAGANA A, NDEGWA FK. 2002. Macroinvertebrate assemblages and detritus processing in Kenyan highland streams: more evidence for the paucity of shredders in the tropics? *Freshwater Biology* 47:909-19.

DOUCETT RR, POWER G, BARTON D, DRIMMIE RJ, CUNJAK RA. 1996. Stable isotope analysis of nutrient pathways leading to Atlantic salmon. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Science*. 53:2058-66.

DOUGLAS MM, BUNN SE, DAVIES PM. 2005. River and wetland food webs in Australia's wet-dry tropics: general principles and implications for management. *Marine Freshwater Research*. 56:329-42.

DUDGEON D, WU KKY. 1999. Leaf litter in a tropical stream: food or substrate for macroinvertebrates? *Archiv Für Hydrobiol*. 146:65-82.

FINLAY JC. 2001. Stable-carbon-isotope ratios of river biota: implications for energy flow in lotic food webs. *Ecology*. 82 (4):1052-64.

FINLAY JC, KHANDWALA S, POWER ME. 2002. Spatial scale of carbon flow in a river food web. *Ecology*. 83 (7):1845-59.

FORSBERG BR, ARAUJO-LIMA CARM, MARTINELLI LA, VICTORIA RL, BONASSI JA. 1993. Autotrophic carbon sources for fish of the Central Amazon. *Ecology*. 74 (3):643-52.

FRY B. 1988. Food web structure on George Bank from stable C,N, and isotopic compositions. *Limnology and Oceanography*. 33 (5):1182-90.

FRY B. 1991. Stable isotope diagrams of freshwater food webs. *Ecology*. 72 (6):2293-97.

GARAVELLO JC, BRITSKI HA. 2003. *Parotocinclus planicauda*, a new species of the subfamily Hypoptomatinae from southeastern Brazil (Ostariophysi: Loricariidae). *Brazilian Journal of Biology*. 63:253-60.

GESSNER MO, CHAUVETT E. 2002. A case for using litter breakdown to assess functional stream integrity. *Ecological Application*. 12 (2):498-510.

GORDON NT, MCMAHON TA, FINDLAYSON, BL. 1992. *Stream hydrology: An introduction for ecologists*. Chichester, UK: Wiley.

GÉRY J. 1977. *Characoids of the world*. Neptune City: TFH Publications.

HALL JR RO, WALLACE B, EGGERT S. 2000. Organic matter flow in stream food webs with reduced detrital resource base. *Ecology*. 81 (12):3445-63.

HAMILTON SK, LEWIS, WM, SIPPEL SJ. 1992. Energy sources for aquatic animals in the Orinoco River floodplain: evidence from stable isotopes. *Oecologia*. 89:324-30.

HAMILTON SK, SIPPEL SJ, BUNN SE. 2005. Separation of algae from detritus for stable isotope or ecological stoichiometry studies using density fractionation in colloidal silica. *Limnology and Oceanography: Methods*. 3:149-57.

HOEINGHAUS DJ, ZEUG SC. 2008. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Comment. Ecology*. 89 (8):2353-57.

HENRIQUES-OLIVEIRA AL, NESSIMIAM JL. 2010. Spatial distribution and functional feeding groups of aquatic insect communities in Serra da Bocaina streams, southeastern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 22 (4):424-41.

JACKSON AL, INGER R, PARNELL AC, BEARHOP S. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*. 80:595-602.

LAWTON JH. 1970. Feeding and food energy assimilation in larvae of the damselfly *Pyrrosoma nymphula* (Sulz.) (Odonata: Zygoptera). *Journal of Animal Ecology*. 40:385-423.

LAYMAN CA, ARRINGTON DA, MONTANA CG, POST DM. 2007a. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology*. 88 (1):42-8.

LAYMAN CA, QUATTROCHI JP, PEYER CM, ALLGEIER JE. 2007b. Niche width collapse in a resilient top predator following ecosystem fragmentation. *Ecology Letters*. 10:937-44.

LI AOY, DUDGEON D. 2008. Food resources of shredders and other benthic macroinvertebrates in relation to shading conditions in tropical Hong Kong streams. *Freshwater Biology*. 53:2011-25.

LI AOY, DUDGEON D. 2009. Shredders: species richness, abundance, and role in litter breakdown in tropical Hong Kong stream. *Journal of the North American Benthological Society*. 28 (1):167-180.

LIMA VN. 2009. Estudos de estruturas tróficas e de impactos antropogênicos de córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu usando isótopos estáveis. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro.



- LOEB SL. 1981. An in situ method for measuring the primary productivity and standing crop of the epilithic periphyton community in lentic systems. *Limnology and Oceanography*. 26:349-99.
- LOREAU M. 2005. Current and future perspectives on food webs. In: Belgrano A, Scharler UM, Dunne J, Ulanowicz RE, editors. *Aquatic food webs an ecosystem approach*. Oxford: Oxford University Press. p v-vi.
- MACHADO-SILVA F. 2009. Estoque e variação de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio em perifíton, material particulado e algas em gradiente de impacto antropogênico no sistema hidrográfico de Guapi-Macacu. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio Janeiro.
- MANTEL SK, SALAS M, DUDGEON D. 2004. Foodweb structure in a tropical Asian forest stream. *Journal of the North American Benthological Society*. 23 (3):728-55.
- MARCH JG, PRINGLE CM. 2003. Food web structure and basal resource utilization along a tropical island stream continuum, Puerto Rico. *Biotropica*. 35 (1):84-93.
- MCCUTCHAN JH, LEWIS JR WM, KENDALL C, MCGRATH CC. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*. 102 (2):378-90.
- MELO FAG. 2001. Revisão taxonômica das espécies do gênero *Astyanax* Baird & Gaimard, 1854, (Teleostei: Characiformes: Characidae) da região da Serra dos Órgãos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*. 59:1-46.
- MERRIT RW, CUMMINS KW. 1989. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall: Hunt Publishing Company.
- MINAGAWA M, WADA E. 1984. Stepwise enrichment of N-15 along food-chains - further evidence and the relation between delta-N-15 and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48:1135-40.
- MORIN A, BOURASSA N. 1992. Modeles empiriques de la production annuelle et du rapport P/B d'invertébrés benthiques d'eau courante. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 49:532-39.
- MORIN A, LAMOUREUX W, BUSNARDA J. 1999. Empirical models predicting primary productivity from chlorophyll a and water temperature for stream periphyton and lake and ocean phytoplankton. *Journal of the North American Benthological Society*. 18 (3):299-307.

MOTTA RL, UIEDA V. 2005. Food web structure in a tropical stream ecosystem. *Austral Ecology*. 30:58-73.

MOULTON TP. 1998. Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos. In Nessimian JL, Carvalho AL, editors. *Insetos Aquáticos*. Rio de Janeiro: Oecologia Brasiliensis. p. 123-40.

MOULTON TP, MAGALHÃES SAP. 2003. Responses of leaf processing to impacts in streams in Atlantic rainforest, Rio de Janeiro, Brazil - A test of the biodiversity-ecosystem functioning relationship? *Brazilian Journal of Biology*. 63(1):87-95.

MOULTON TP, SOUZA ML, WALTER TL, KRSULOVIC FAM. 2009. Pattern of periphyton chlorophyll and dry mass in a neotropical stream: a cheap and rapid analysis using a hand-held fluorometer. *Marine and Freshwater Research*. 60:224-33.

MOULTON TP, MAGALHÃES-FRAGA S, BRITO E, BARBOSA F. 2010. Macroconsumers are more important than specialist macroinvertebrate shredders in leaf processing in urban forest streams of Rio de Janeiro, Brazil. *Hydrobiologia*. 638: 55-66.

MUGNAI R, NESSIMIAN JL, BAPTISTA DF. 2009. Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos. Rio de Janeiro: Technical Books.

NELSON JS. 1994. *Fishes of the world*. New York: John Wiley & Sons.

NEWSOME SD, MARTINEZ DEL RIO C, BEARHOP S, PHILLIPS DL. 2007. A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5(8):429-36.

ODUM EP. 2004. *Fundamentos de Ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

OLIFIERS MH, DORVILLÉ LFM, NESSIMIAN JL. 2004. A key to Brazilian genera of Plecoptera (Insecta) based on nymphs. *Zootaxa*. 651: 1-15.

OLIVEIRA AF, MOULTON TP, BAPTISTA DF, ANDRADE PM, LIMA VN, MACHADO-SILVA F, SATO CYS, SILVA-JUNIOR EF, OLIVEIRA RBS, MUNGNAI R, CASTRO CM. 2010. Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia Guapi-Macacu. In: Moreira GV, editor. *Proposta de plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da bacia do rio Macacu*. Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica. p 115-145.

OLIVEIRA RBS. 2009. Desenvolvimento de um índice multimétrico rápido baseado na comunidade de macroinvertebrados bentônicos para avaliação da integridade ecológica de riachos do complexo Guapiacu-Macacu, RJ. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

OLIVEIRA RBS, BAPTISTA DF, MUGNAI R, CASTRO CM, HUGHES RM. 2011a. Toward rapid bioassessment of wadeable stream in Brazil: Development of the Guapiaçu-Macacu Multimetric Index (GMMI) based on benthic macroinvertebrates. *Ecological Indicators*. 11(6):1584-93.

OLIVEIRA RBS, MUGNAI R, CASTRO CM, BAPTISTA DF. 2011b. Determining subsampling effort for the development of a rapid bioassessment protocol using benthic macroinvertebrates in streams of Southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*. 175:75-85.

OMETTO JPHB, MARTINELLI LA, CAMARGO PB, MOREIRA MZ. 2005. Uso de isótopos estáveis em estudos ambientais. In: Roland F, Cesar D, Marinho M, editors. *Lições de Limnologia*. São Carlos: RiMa. p 459-85

PARNELL A, JACKSON A. 2010. SIAR: Stable Isotope Analysis in R. R package version 4.0.2. Available from: <http://CRAN.R-project.org/package=siar>.

PARNELL A, JACKSON A. 2010. Source partitioning using stable isotope: coping with too much variation. *PLoS ONE*. 5(3):e9672.

PASSOS MIS, NESSIMIAN JL, FERREIRA JR N. 2007. Chaves para identificação dos gêneros de Elmidae (Coleoptera) ocorrentes no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*. 51(1):42-53.

PERRY WB, BENFIELD EF, PERRY SA, WEBSTER JR. 1987. Energetics, growth, and production of a benthic insect assemblage in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*. 17:443-463.

PES AMO, HAMADA N, NESSIMIAN JL. 2005. Chaves de identificação de larvas para família e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*. 49:181-204.

PETERSON BJ, FRY B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 18:293-320.

PHILLIPS DL, GREGG JW. 2001. Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. *Oecologia*. 127:171-79.

PHILLIPS DL, KOCH PL. 2002. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models. *Oecologia*. 130:114-25.

PHILLIPS DL, GREGG JW. 2003. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia*. 136:261-269.

POST DM. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology*. 83 (3):703-18.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2010. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria : R Foundation for statistical Computing.

RAMIREZ A, PRINGLE CM. 1998. Structure and production of a benthic insect assemblage in a neotropical stream. *Journal of the North American Benthological Society*. 17 (1):443-63.

ROSEMOND AD, PRINGLE DM, RAMIREZ A. 1998. Macroconsumer effects on insect detritivores and detritus processing in a tropical stream. *Freshwater Biology*. 39:359-73.

SALAS M, DUDGEON D. 2001. Stable-isotope determination of mayfly (Insecta : Ephemeroptera) food sources in three tropical Asian Streams. *Archiv für Hydrobiologie*. 151:17-32.

SALLES FF, DA-SILVA ER, SERRAO JE, FRANCISCHETTI CN. 2004. Baetidae (Ephemeroptera) na região sudeste do Brasil: Novos registros e chave para os gêneros no estágio ninfal. *Neotropical Entomology*. 33:725-35.

SCHMID-ARAYA JM, HILDREW AG, ROBERTSON A, SCHMID PE, WINTERBOTTOM J. 2002. The importance of meiofauna in food webs: evidence from an acid stream. *Ecology*. 83 (5):1271-85.

SCHMIDT SN, OLDEN JD, SOLOMON CT, VANDER ZANDEN MJ. 2007. Quantitative approaches to the analysis of stable isotope food web data. *Ecology*. 88 (7):2793-2802.

SILVA-JUNIOR EF, MOULTON TP. 2011. Ecosystem functioning and community structure for assessing environmental impacts: leaf processing and macroinvertebrates in Atlantic forest streams. *International Review of Hydrobiology*. 96 (6):656-66.

SIMON KS, TOWNSEND CR. 2003. Impacts of freshwater invaders at different levels of ecological organisation, with emphasis on salmonids and ecosystem consequences. *Freshwater Biology*. 48: 982-94.

TASSONI-FILHO MT. 2010. Estudo da assembléia de macroinvertebrados em riacho da Mata Atlântica, utilizando a técnica de isotópica de  $d^{13}C$  e  $d^{15}N$ . Dissertação de mestrado. São Paulo:Universidade de São Paulo-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

- TAVARES-CROMAR AF, WILLIAMS DD. 1996. The importance of temporal resolution in food web analysis: evidence from a detritus-based stream. *Ecological Monographs*. 66 (1):99-113.
- THOMPSON RM, TOWNSEND CR. 2005. Energy availability, spatial heterogeneity and ecosystem size predict food-web structure in streams. *Oikos*. 108 (1):137-48.
- THORP JH, DELONG MD. 2002. Dominance of autochthonous autotrophic carbon in food webs of heterotrophic rivers. *Oikos*. 96 (3):543-50.
- TOWNSEND CR. 2003. Individual, Population, Community, and Ecosystem Consequences of a Fish Invader in New Zealand Streams. *Conservation Biology*. 17: 38-47.
- UIEDA VS, MOTTA RL. 2007. Trophic organization and food web structure of southeastern Brazilian stream: a review. *Acta Limnologica Brasiliensis*. 19 (1):15-30.
- VANDER ZANDEN MJ, RASMUSSEN JB. 1999. Primary consumer delta C-13 and delta N-15 and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*. 80 (4):1395-1404.
- VANDER ZANDEN MJ, RASMUSSEN JB. 2001. Variation in d15N and d13C trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*. 46 (8):2061-66.
- VANDERKLIFT MA, PONSARD S. 2003. Sources of variation in consumer-diet delta N-15 enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*. 136:169-82.
- VANNOTE RL, MINSHALL GW, CUMMINS KW, SEDELL JR, CUSHING CE. 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37:130-137.
- WHITING DP, EHILES MR, STONE ML. 2011. Patterns of macroinvertebrate production, trophic structure, and energy flow along tallgrass prairie stream continuum. *Limnology and Oceanography*. 56(3):887-898.
- WOODWARD G, SPEIRS DC, HILDREW AG. 2005. Quantification and resolution of a complex, size-structured food web. *Advances in Ecological Research*. 36:85-135.
- YULE CM, LEONG MY, LIEW KC, RATNARAJAH L, SCHMIDT K, WONG HM, PEARSON RG, BOYERO L. 2009. Shredders in Malaysia: abundance and richness are higher in cool upland tropical streams. *Journal of the North American Benthological Society*. 28:404-15.

**APÊNDICE A** - Lista dos táxons encontrados nas estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil e seus grupos funcionais de alimentação (GFA), comprimentos e coeficientes da relação massa comprimento. (Continua)

| Ordem/Família/Gênero   | GFA   | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|------------------------|-------|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Caenogastropoda</b> |       |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Ampullariidae</b>   |       |       |        |                  |                        |                  |
| Pomacea                | Sc    | 3,210 | 0,0086 | FRC07            | 35,00                  | 3                |
| <b>Mesogastropoda</b>  |       |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Thiaridae</b>       |       |       |        |                  |                        |                  |
| Melanoides             | Sc    | 3,21  | 0,0086 | FRC05            | 14,5                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC07            | 16,00                  | 6                |
| <b>Coleoptera</b>      |       |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Elmidae</b>         |       |       |        |                  |                        |                  |
| NI                     | CG/Sc | 2,879 | 0,0074 | FRC21            | 5,75                   | 4                |
|                        |       |       |        | FRC03            | 5,00                   | 1                |
|                        |       |       |        | FRC04            | 4,42                   | 6                |
|                        |       |       |        | FRC16            | 5,00                   | 5                |
|                        |       |       |        | FRC08            | 4,20                   | 1                |
|                        |       |       |        | FRC02            | 4,90                   | 1                |
|                        |       |       |        | FRC18            | 6,35                   | 5                |
| Elmidae.LarvaC         | CG/Sc | 2,879 | 0,0074 | FRC15            | 7,67                   | 3                |
| Elmidae.LarvaD         | CG/Sc | 2,879 | 0,0074 | FRC15            | 8,50                   | 2                |
| Heterelmis             | CG/Sc | 2,879 | 0,0074 | FRC21            | 4,00                   | 1                |
|                        |       |       |        | FRC03            | 4,17                   | 3                |
|                        |       |       |        | FRC04            | 4,00                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC05            | 4,39                   | 14               |
|                        |       |       |        | FRC15            | 3,80                   | 8                |
|                        |       |       |        | FRC11            | 4,50                   | 3                |
|                        |       |       |        | FRC16            | 4,06                   | 10               |
|                        |       |       |        | FRC08            | 4,26                   | 7                |
|                        |       |       |        | FRC02            | 4,89                   | 1                |
|                        |       |       |        | RC04             | 4,00                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC18            | 4,07                   | 3                |
| Hexanchorus            | CG/Sc | 2,879 | 0,0074 | FRC16            | 4,00                   | 1                |
|                        |       |       |        | FRC18            | 3,00                   | 1                |
| Macrelmis              | CG/Sc | 2,879 | 0,0074 | FRC21            | 5,85                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC16            | 6,50                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC02            | 7,00                   | 3                |

## APÊNDICE A - (Continuação)

| Ordem/Família/Gênero     | GFA      | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|--------------------------|----------|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|
| Phanocerus               |          |       |        |                  |                        |                  |
|                          | CG/Sc    | 2,879 | 0,0074 | FRC05            | 4,00                   | 3                |
|                          |          |       |        | FRC15            | 3,74                   | 5                |
|                          |          |       |        | FRC16            | 4,25                   | 4                |
|                          |          |       |        | FRC02            | 4,55                   | 2                |
|                          |          |       |        | RC04             | 5,50                   | 1                |
|                          |          |       |        | FRC18            | 3,50                   | 3                |
|                          | Xenelmis | 2,879 | 0,0074 | FRC16            | 2,40                   | 1                |
|                          |          |       |        | FRC15            | 2,40                   | 1                |
|                          |          |       |        | FRC02            | 3,00                   | 1                |
| <b>Gyrinidae</b>         | Pr       | 2,586 | 0,0531 | FRC05            | 11,00                  | 2                |
|                          |          |       |        | FRC02            | 4,00                   | 1                |
|                          |          |       |        | RC04             | 12,00                  | 1                |
|                          |          |       |        | FRC18            | 4,00                   | 1                |
| <b>Psephenidae</b>       | SC       | 2,906 | 0,123  | FRC20            | 5,65                   | 2                |
|                          |          |       |        | FRC05            | 5,03                   | 6                |
|                          |          |       |        | FRC15            | 6,00                   | 1                |
|                          |          |       |        | FRC02            | 7,00                   | 2                |
| <b>Staphilinidae</b>     | Pr       | 2,586 | 0,0531 | FRC03            | 3,20                   | 1                |
|                          |          |       |        | FRC15            | 4,00                   | 1                |
|                          |          |       |        | FRC11            | 3,80                   | 1                |
|                          |          |       |        | FRC18            | 4,40                   | 1                |
| <b>Coleoptera.adulto</b> | CG/Sc    | 2,586 | 0,0531 | FRC21            | 2,17                   | 12               |
|                          |          |       |        | FRC03            | 2,33                   | 9                |
|                          |          |       |        | FRC04            | 2,00                   | 5                |
|                          |          |       |        | FRC05            | 2,20                   | 4                |
|                          |          |       |        | FRC15            | 2,27                   | 12               |
|                          |          |       |        | FRC16            | 8,00                   | 2                |
|                          |          |       |        | FRC16            | 3,85                   | 10               |
|                          |          |       |        | FRC02            | 2,59                   | 11               |
|                          |          |       |        | FRC18            | 2,37                   | 12               |
| <b>Diptera</b>           |          |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Blephariceridae</b>   | Sc       | 3,292 | 0,0067 | FRC18            | 5,78                   | 13               |
|                          |          |       |        | FRC15            | 5,00                   | 12               |
|                          |          |       |        | FRC16            | 5,73                   | 3                |
|                          |          |       |        | FRC18            | 5,50                   | 2                |

## APÊNDICE A - (Continuação)

| Ordem/Família/Gênero | GFA         | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|----------------------|-------------|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Chironomidae</b>  | CG/CF/Sc/Pr | 2,617 | 0,0018 | FRC21            | 4,00                   | 2                |
|                      |             |       |        | FRC03            | 5,00                   | 4                |
|                      |             |       |        | FRC04            | 2,88                   | 4                |
|                      |             |       |        | FRC15            | 3,01                   | 8                |
|                      |             |       |        | FRC11            | 4,20                   | 11               |
|                      |             |       |        | FRC08            | 3,20                   | 6                |
|                      |             |       |        | FRC02            | 4,25                   | 1                |
|                      |             |       |        | FRC18            | 3,80                   | 16               |
| <b>Empididae</b>     | CG          | 2,546 | 0,0054 | FRC16            | 3,00                   | 1                |
|                      |             |       |        | FRC15            | 3,10                   | 1                |
|                      |             |       |        | FRC18            | 3,00                   | 1                |
| <b>Simulidae</b>     | CF          | 3,011 | 0,002  | FRC14            | 2,07                   | 4                |
|                      |             |       |        | FRC20            | 3,70                   | 10               |
|                      |             |       |        | FRC03            | 3,91                   | 11               |
|                      |             |       |        | FRC04            | 3,10                   | 5                |
|                      |             |       |        | FRC05            | 4,14                   | 7                |
|                      |             |       |        | FRC15            | 3,83                   | 19               |
|                      |             |       |        | FRC11            | 4,58                   | 4                |
|                      |             |       |        | FRC08            | 3,10                   | 6                |
|                      |             |       |        | FRC17            | 2,20                   | 3                |
|                      |             |       |        | FRC02            | 2,95                   | 13               |
|                      |             |       |        | RC04             | 3,52                   | 2                |
| <b>Tipulidae</b>     | Sh          | 2,681 | 0,0029 | FRC18            | 3,59                   | 10               |
|                      |             |       |        | FRC07            | 5,28                   | 4                |
|                      |             |       |        | FRC20            | 11,00                  | 2                |
|                      |             |       |        | FRC03            | 9,00                   | 1                |
|                      |             |       |        | FRC15            | 20,00                  | 1                |
|                      |             |       |        | FRC16            | 29,44                  | 10               |
|                      |             |       |        | FRC02            | 9,43                   | 7                |
| FRC18                | 13,00       | 4     |        |                  |                        |                  |



## APÊNDICE A - (Continuação)

| Ordem/Família/Gênero | GFA                  |       | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|----------------------|----------------------|-------|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Ephemeroptera</b> |                      |       |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Baetidae</b>      |                      |       |       |        |                  |                        |                  |
|                      | NI                   | Sc/CG | 2,875 | 0,0053 | FRC20            | 5,00                   | 5                |
|                      |                      |       |       |        | FRC21            | 3,38                   | 5                |
|                      |                      |       |       |        | FRC03            | 2,30                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC04            | 4,00                   | 3                |
|                      |                      |       |       |        | FRC15            | 2,25                   | 2                |
|                      |                      |       |       |        | FRC11            | 4,00                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC08            | 3,88                   | 12               |
|                      |                      |       |       |        | RC04             | 4,00                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC07            | 3,90                   | 10               |
|                      |                      |       |       |        | FRC03            | 2,00                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC15            | 3,00                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC02            | 4,55                   | 3                |
|                      |                      |       |       |        | FRC18            | 4,25                   | 1                |
|                      | Baeatodes            | Sc    | 2,875 | 0,0053 | FRC21            | 2,28                   | 4                |
|                      |                      |       |       |        | FRC03            | 2,00                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC15            | 3,35                   | 6                |
|                      |                      |       |       |        | FRC02            | 3,25                   | 2                |
|                      |                      |       |       |        | FRC18            | 4,25                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC07            | 4,00                   | 1                |
|                      | Camelobaetidius      | Sc    | 2,875 | 0,0053 | FRC15            | 4,93                   | 5                |
|                      |                      |       |       |        | FRC02            | 3,50                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC07            | 3,00                   | 1                |
|                      | Cloeodes             | CG    | 2,875 | 0,0053 | FRC15            | 3,00                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC02            | 4,55                   | 3                |
|                      | <b>Leptohiphidae</b> | CG    | 2,772 | 0,0054 | FRC20            | 5,38                   | 13               |
|                      |                      |       |       |        | FRC21            | 3,63                   | 7                |
|                      |                      |       |       |        | FRC03            | 2,92                   | 6                |
|                      |                      |       |       |        | FRC04            | 2,50                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC05            | 4,27                   | 6                |
|                      |                      |       |       |        | FRC15            | 3,60                   | 16               |
|                      |                      |       |       |        | FRC08            | 3,50                   | 4                |
|                      |                      |       |       |        | FRC02            | 4,33                   | 3                |
|                      |                      |       |       |        | RC04             | 2,50                   | 1                |
|                      |                      |       |       |        | FRC18            | 5,67                   | 2                |
|                      |                      |       |       |        | FRC07            | 4,14                   | 8                |

## APÊNDICE A - (Continuação)

| Ordem/Família/Gênero   | GFA       | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |   |
|------------------------|-----------|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|---|
| <b>Leptophlebiidae</b> | CG/Sc     | 2,686 | 0,0047 | FRC14            | 7,15                   | 11               |   |
|                        |           |       |        | FRC20            | 5,00                   | 2                |   |
|                        |           |       |        | FRC21            | 6,55                   | 12               |   |
|                        |           |       |        | FRC03            | 5,00                   | 1                |   |
|                        |           |       |        | FRC05            | 5,00                   | 1                |   |
|                        |           |       |        | FRC15            | 6,35                   | 2                |   |
|                        |           |       |        | FRC08            | 5,00                   | 1                |   |
|                        |           |       |        | FRC02            | 6,33                   | 3                |   |
|                        |           |       |        | RC04             | 4,75                   | 2                |   |
|                        |           |       |        | FRC18            | 8,33                   | 3                |   |
| FRC07                  | 3,44      | 10    |        |                  |                        |                  |   |
| <b>Hemiptera</b>       |           |       |        |                  |                        |                  |   |
| <b>Naucoridae</b>      | Pr        | 2,734 | 0,0108 | FRC21            | 13,00                  | 1                |   |
|                        |           |       |        | RC01             | 8,30                   | 4                |   |
|                        |           |       |        | FRC03            | 9,00                   | 1                |   |
|                        |           |       |        | FRC04            | 5,70                   | 2                |   |
|                        |           |       |        | FRC15            | 10,50                  | 2                |   |
|                        |           |       |        | FRC16            | 8,54                   | 9                |   |
|                        |           |       |        | FRC02            | 7,50                   | 5                |   |
|                        |           |       |        | RC04             | 6,00                   | 2                |   |
|                        |           |       |        | FRC18            | 7,96                   | 5                |   |
|                        |           |       |        | FRC07            | 5,75                   | 4                |   |
| <b>Veliidae</b>        | Pr        | 2,719 | 0,0126 | FRC21            | 4,50                   | 1                |   |
|                        |           |       |        | FRC04            | 2,50                   | 1                |   |
|                        |           |       |        | FRC15            | 3,00                   | 1                |   |
|                        |           |       |        | FRC02            | 2,69                   | 11               |   |
|                        |           |       |        | FRC18            | 2,75                   | 15               |   |
| <b>Lepidoptera</b>     |           |       |        |                  |                        |                  |   |
| <b>Pyralidae</b>       | Sh        | 2,918 | 0,0033 | FRC15            | 10,37                  | 3                |   |
|                        |           |       |        | FRC08            | 6,00                   | 2                |   |
|                        |           |       |        | FRC02            | 4,00                   | 1                |   |
| <b>Megaloptera</b>     |           |       |        |                  |                        |                  |   |
| <b>Corydalidae</b>     | Corydalus | Pr    | 2,873  | 0,0037           | FRC15                  | 18,75            | 5 |
|                        |           |       |        |                  | FRC16                  | 11,50            | 2 |
|                        |           |       |        |                  | FRC02                  | 16,00            | 1 |

## APÊNDICE A - (Continuação)

| Ordem/Família/Gênero     | GFA | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|--------------------------|-----|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Odonata</b>           |     |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Aeshinidae</b>        | Pr  | 2,813 | 0,0082 | RC01             | 12,00                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC16            | 23,83                  | 3                |
|                          |     |       |        | FRC17            | 20,45                  | 2                |
| <b>Calopterygidae</b>    | Pr  | 2,742 | 0,005  | RC03             | 16,41                  | 10               |
|                          |     |       |        | RC01             | 11,75                  | 2                |
|                          |     |       |        | FRC04            | 18,37                  | 3                |
|                          |     |       |        | FRC15            | 20,00                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC11            | 22,00                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC17            | 21,20                  | 1                |
|                          |     |       |        | RC04             | 12,98                  | 4                |
|                          |     |       |        | FRC07            | 13,63                  | 3                |
|                          |     |       |        | FRC12            | 15,64                  | 7                |
| <b>Coenagrionidae</b>    | Pr  | 2,785 | 0,0051 | FRC08            | 5,00                   | 1                |
| <b>Gomphidae</b>         | Pr  | 2,787 | 0,0088 | FRC21            | 15,00                  | 1                |
|                          |     |       |        | RC01             | 14,60                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC05            | 21,00                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC15            | 11,00                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC02            | 11,50                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC08            | 9,00                   | 1                |
|                          |     |       |        | FRC12            | 21,50                  | 1                |
| <b>Libellulidae</b>      | Pr  | 2,809 | 0,0076 |                  |                        |                  |
|                          |     |       |        | RC03             | 14,00                  | 1                |
|                          |     |       |        | RC01             | 11,73                  | 4                |
|                          |     |       |        | FRC04            | 9,70                   | 3                |
|                          |     |       |        | FRC16            | 19,17                  | 3                |
|                          |     |       |        | FRC17            | 18,03                  | 3                |
|                          |     |       |        | FRC07            | 11,90                  | 1                |
|                          |     |       |        | FRC12            | 15,24                  | 5                |
| <b>Megapodagrionidae</b> | Pr  | 2,792 | 0,0078 | FRC20            | 10,80                  | 1                |
|                          |     |       |        | RC03             | 12,10                  | 1                |
|                          |     |       |        | RC01             | 12,10                  | 2                |

## APÊNDICE A - (Continuação)

| Ordem/Família/Gênero   | GFA   | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|------------------------|-------|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Plecoptera</b>      |       |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Gripopterygidae</b> |       |       |        |                  |                        |                  |
| Gripopteryx            | CG/Sc | 2,754 | 0,0094 | FRC21            | 3,55                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC03            | 6,25                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC15            | 5,20                   | 1                |
|                        |       |       |        | FRC16            | 10,00                  | 1                |
|                        |       |       |        | FRC02            | 6,27                   | 11               |
|                        |       |       |        | FRC18            | 5,60                   | 2                |
| Guaranyperla           | CG    | 2,754 | 0,0094 | FRC16            | 4,33                   | 1                |
|                        |       |       |        | FRC02            | 5,00                   | 1                |
| <b>Perlidae</b>        |       |       |        |                  |                        |                  |
| Anacroneuria           | Pr    | 2,879 | 0,0099 | FRC14            | 8,39                   | 10               |
|                        |       |       |        | FRC21            | 10,47                  | 22               |
|                        |       |       |        | RC01             | 9,58                   | 4                |
|                        |       |       |        | FRC03            | 7,46                   | 12               |
|                        |       |       |        | FRC04            | 6,75                   | 4                |
|                        |       |       |        | FRC05            | 11,00                  | 1                |
|                        |       |       |        | FRC15            | 8,35                   | 11               |
|                        |       |       |        | FRC16            | 8,35                   | 11               |
|                        |       |       |        | FRC17            | 11,60                  | 1                |
|                        |       |       |        | FRC02            | 11,82                  | 11               |
|                        |       |       |        | FRC18            | 7,37                   | 15               |
|                        |       |       |        | FRC07            | 8,31                   | 8                |
| Kempnya                | Pr    | 2,879 | 0,0099 | FRC16            | 14,57                  | 3                |
| <b>Trichoptera</b>     |       |       |        |                  |                        |                  |
| <b>Calamoceratidae</b> |       |       |        |                  |                        |                  |
| Phylloicus             | Sh    | 2,839 | 0,0056 | FRC14            | 9,70                   | 2                |
|                        |       |       |        | FRC21            | 12,40                  | 11               |
|                        |       |       |        | RC01             | 10,00                  | 1                |
|                        |       |       |        | FRC15            | 13,42                  | 12               |
|                        |       |       |        | FRC16            | 6,88                   | 12               |
|                        |       |       |        | FRC02            | 10,78                  | 10               |
|                        |       |       |        | FRC18            | 11,08                  | 16               |
| <b>Helicopsychidae</b> | Sc    | 2,839 | 0,0056 | FRC21            | 3,29                   | 7                |
|                        |       |       |        | FRC15            | 1,97                   | 3                |
|                        |       |       |        | FRC02            | 3,30                   | 3                |
|                        |       |       |        | FRC18            | 2,69                   | 8                |

## APÊNDICE A - (Continuação)

| Ordem/Família/Gênero  | GFA   | b     | a      | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|-----------------------|-------|-------|--------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Hydrobiosidae</b>  |       |       |        |                  |                        |                  |
| Atopsyche             | Pr    | 2,839 | 0,0056 | FRC15            | 8,67                   | 3                |
|                       |       |       |        | FRC02            | 10,67                  | 3                |
| <b>Hydropsychidae</b> |       |       |        |                  |                        |                  |
| Leptonema             | CF    | 2,926 | 0,0046 | FRC14            | 23,10                  | 10               |
|                       |       |       |        | FRC15            | 24,33                  | 3                |
|                       |       |       |        | FRC16            | 19,00                  | 9                |
|                       |       |       |        | FRC02            | 19,90                  | 10               |
|                       |       |       |        | FRC18            | 20,91                  | 11               |
| Smicridea             | CF    | 2,926 | 0,0046 | FRC21            | 4,85                   | 13               |
|                       |       |       |        | RC01             | 12,07                  | 3                |
|                       |       |       |        | FRC03            | 6,14                   | 7                |
|                       |       |       |        | FRC04            | 4,91                   | 11               |
|                       |       |       |        | FRC05            | 5,13                   | 12               |
|                       |       |       |        | FRC15            | 5,36                   | 17               |
|                       |       |       |        | FRC16            | 5,73                   | 3                |
|                       |       |       |        | FRC18            | 5,50                   | 2                |
| <b>Leptoceridae</b>   |       |       |        |                  |                        |                  |
| Grumichella           | Sc    | 3,212 | 0,0034 | FRC14            | 6,00                   | 2                |
|                       |       |       |        | FRC21            | 4,79                   | 9                |
|                       |       |       |        | RC01             | 12,68                  | 4                |
|                       |       |       |        | FRC15            | 4,68                   | 11               |
|                       |       |       |        | FRC18            | 4,62                   | 5                |
| Nectopsyche           | CG/Sh | 3,212 | 0,0034 | FRC21            | 8,64                   | 11               |
|                       |       |       |        | FRC04            | 5,00                   | 1                |
|                       |       |       |        | FRC15            | 7,17                   | 13               |
|                       |       |       |        | FRC16            | 7,00                   | 1                |
|                       |       |       |        | FRC02            | 9,83                   | 4                |
|                       |       |       |        | RC04             | 7,00                   | 2                |
|                       |       |       |        | FRC18            | 5,00                   | 1                |
| Tripletides           | Sh    | 3,212 | 0,0034 | FRC21            | 12,94                  | 17               |
|                       |       |       |        | RC01             | 12,38                  | 4                |
|                       |       |       |        | FRC03            | 11,90                  | 4                |
|                       |       |       |        | FRC15            | 11,09                  | 10               |
|                       |       |       |        | FRC16            | 9,67                   | 6                |
|                       |       |       |        | FRC02            | 11,29                  | 7                |
|                       |       |       |        | FRC18            | 11,29                  | 7                |

**APÊNDICE A - (Conclusão)**

| Ordem/Família/Gênero  | GFA | b     | a     | Estação amostral | Comprimento médio (mm) | No. Ind. medidos |
|-----------------------|-----|-------|-------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Philopotamidae</b> |     |       |       |                  |                        |                  |
| Chimarra              | CF  | 2,511 | 0,005 | FRC03            | 8,18                   | 9                |
|                       |     |       |       | FRC04            | 8,00                   | 1                |
|                       |     |       |       | FRC05            | 8,50                   | 8                |
|                       |     |       |       | FRC15            | 8,70                   | 10               |
|                       |     |       |       | FRC11            | 8,00                   | 4                |
|                       |     |       |       | FRC08            | 7,00                   | 1                |
|                       |     |       |       | FRC02            | 10,00                  | 1                |
|                       |     |       |       | FRC07            | 6,67                   | 3                |

**APÊNDICE B** - Densidade de macroinvertebrados (ind.m<sup>-2</sup>) encontrados nas estações amostrais da bacia do rio Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. (Continua)

| Táxons   Estação       | FRC14 | FRC20 | FRC21 | RC03 | FRC09 | FRC13 | FRC04 | FRC03 | FRC05 | FRC06 | FRC15 | FRC11 | FRC01 | FRC16 | FRC10 | FRC08 | RC02 | FRC17 | FRC02 | FRC19 | RC04 | FRC18 | FRC07 | FRC12 |
|------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| <b>GASTROPODA</b>      |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| <b>Ampullariidae</b>   |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Pomacea                | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,0   |
| <b>Thiaridae</b>       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Melanoides             | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 22,6  | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 93,8  |
| <b>Physidae</b>        |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Physa                  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 5,0   |
| <b>EPHEMEROPTERA</b>   |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| <b>Baetidae</b>        |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| NI                     | 1,6   | 0,0   | 4,4   | 1,4  | 0,4   | 0,0   | 3,4   | 0,2   | 0,2   | 3,0   | 0,8   | 1,2   | 2,2   | 0,0   | 0,2   | 0,6   | 0,0  | 0,0   | 0,8   | 0,6   | 0,8  | 0,2   | 0,6   | 0,4   |
| Baetodes               | 10,4  | 10,4  | 1,8   | 0,6  | 1,6   | 0,0   | 0,0   | 5,8   | 0,4   | 0,6   | 5,4   | 0,0   | 7,8   | 1,2   | 2,0   | 0,0   | 0,0  | 1,6   | 2,8   | 1,4   | 3,6  | 1,8   | 0,0   | 0,0   |
| Camelobaetidius        | 1,0   | 1,8   | 2,8   | 0,6  | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,8   | 0,0   | 0,6   | 5,2   | 0,0   | 2,0   | 0,0   | 1,2   | 0,2   | 0,0  | 1,2   | 3,6   | 2,2   | 3,4  | 0,0   | 0,8   | 0,0   |
| <b>Caenidae</b>        |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Caenis                 | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 2,6  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Leptohyphidae</b>   |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Leptohyphidae          | 8,2   | 7,2   | 9,2   | 2,8  | 7,8   | 1,2   | 1,6   | 8,2   | 1,6   | 13,2  | 16,6  | 0,6   | 15,4  | 3,2   | 1,2   | 0,8   | 0,4  | 0,6   | 7,0   | 9,4   | 10,6 | 0,8   | 4,4   | 0,4   |
| <b>Leptophlebiidae</b> |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Leptophlebiidae        | 4,8   | 2,2   | 3,0   | 5,4  | 2,0   | 0,0   | 0,4   | 2,0   | 0,0   | 1,4   | 3,2   | 0,0   | 2,8   | 0,2   | 2,0   | 0,4   | 5,2  | 0,0   | 3,8   | 0,4   | 0,4  | 0,2   | 1,2   | 0,0   |
| <b>ODONATA</b>         |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| <b>Aeshinidae</b>      |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Aeshinidae             | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,2  | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Haeterina</b>       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Haeterina              | 0,4   | 0,2   | 0,4   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,2  | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 2,8  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Coenagrionidae</b>  |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Coenagrionidae         | 0,6   | 0,0   | 0,0   | 0,4  | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2  | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,4  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Cordullidae</b>     |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Cordullidae            | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,4  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Gomphidae</b>       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Gomphidae              | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4  | 0,0   | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,2   | 0,0  | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,2  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |

| Táxons   Estação       | FRC14 | FRC20 | FRC21 | RC03 | FRC09 | FRC13 | FRC04 | FRC03 | FRC05 | FRC06 | FRC15 | FRC11 | FRC01 | FRC16 | FRC10 | FRC08 | RC02 | FRC17 | FRC02 | FRC19 | RC04 | FRC18 | FRC07 | FRC12 |
|------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| <b>Libellulidae</b>    | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,6   |
| <b>Perilestidae</b>    |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Perilestes             | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,2   |
| <b>PLECOPTERA</b>      |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| <b>Gripopterygidae</b> | 3,8   | 0,0   | 0,8   | 0,0  | 2,2   | 0,0   | 0,0   | 1,4   | 0,0   | 0,6   | 0,6   | 0,0   | 1,0   | 10,2  | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 3,0   | 6,6   | 0,0   | 0,0  | 1,0   | 0,2   | 0,0   |
| <b>Perlidae</b>        |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Anacroneuria           | 8,2   | 1,4   | 4,8   | 0,0  | 8,6   | 0,0   | 0,0   | 14,6  | 0,0   | 9,4   | 2,6   | 0,0   | 5,2   | 11,0  | 7,2   | 0,0   | 0,0  | 1,4   | 7,4   | 2,2   | 1,0  | 3,4   | 1,0   | 0,0   |
| Kempnyia               | 0,4   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,6   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,6   | 0,6   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| Macrogynoplax          | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,6   | 0,4   | 0,0   | 1,2   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>HEMIPTERA</b>       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Helotrephidae          | 0,8   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| Naucoridae             | 1,4   | 0,0   | 0,2   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,2   | 0,0   | 0,2   | 1,8   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| Pleidae                | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 1,8   | 0,0   | 1,4  | 0,0   | 0,8   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| Veliidae               | 0,2   | 0,0   | 0,2   | 0,0  | 1,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,2   | 0,4   | 1,2   | 0,0   | 2,4   | 0,2   | 1,8   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 2,4   | 0,4   | 4,2  | 4,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>MEGALOPTERA</b>     |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| <b>Corydalidae</b>     |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Corydalus              | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,4  | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,6   | 0,2   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2  | 2,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>TRICHOPTERA</b>     |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| <b>Calamoceratidae</b> |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Phylloicus             | 7,4   | 0,2   | 3,2   | 0,0  | 1,2   | 0,0   | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 2,6   | 3,0   | 0,0   | 3,4   | 10,0  | 1,8   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 6,6   | 1,0   | 0,0  | 0,4   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Hydrobiosidae</b>   |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Atopsyche              | 0,0   | 0,0   | 2,4   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 7,4   | 0,6   | 0,0   | 0,0  | 0,2   | 0,0   | 0,0   |





| Táxons   Estação       | FRC14 | FRC20 | FRC21 | RC03 | FRC09 | FRC13 | FRC04 | FRC03 | FRC05 | FRC06 | FRC15 | FRC11 | FRC01 | FRC16 | FRC10 | FRC08 | RC02 | FRC17 | FRC02 | FRC19 | RC04 | FRC18 | FRC07 | FRC12 |
|------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| <b>Curculionidae</b>   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,0   |
| <b>Hydrophilidae</b>   |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Hydroblus              | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,6   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,2   | 0,0   | 0,0   |
| Hidrophilidae ad.      | 0,6   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 1,2   | 0,0   | 0,0  | 0,4   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Dryopidae</b>       | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 3,4   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Elmidae</b>         |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Heterelmis             | 0,2   | 2,0   | 1,6   | 0,0  | 5,8   | 8,8   | 1,8   | 0,0   | 8,0   | 17,4  | 4,8   | 0,8   | 3,4   | 25,0  | 4,0   | 3,0   | 0,0  | 0,0   | 4,2   | 2,6   | 3,0  | 0,0   | 9,0   | 0,2   |
| Hexanchorus            | 3,0   | 2,4   | 1,4   | 0,0  | 2,6   | 0,0   | 0,0   | 4,0   | 0,2   | 5,0   | 1,0   | 0,0   | 3,0   | 0,4   | 0,0   | 0,2   | 0,0  | 1,2   | 0,6   | 0,4   | 0,2  | 0,2   | 0,0   | 0,0   |
| Macrelmis              | 0,6   | 0,0   | 0,6   | 0,0  | 1,6   | 0,0   | 1,2   | 2,4   | 0,0   | 2,2   | 0,0   | 0,0   | 2,6   | 2,2   | 3,4   | 0,0   | 0,2  | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0  | 1,4   | 0,0   | 0,0   |
| Phanocerus             | 1,8   | 1,0   | 4,2   | 0,0  | 0,8   | 0,0   | 0,0   | 2,2   | 1,0   | 1,8   | 2,0   | 0,0   | 0,6   | 9,4   | 0,4   | 0,2   | 0,0  | 0,0   | 2,2   | 0,2   | 0,0  | 0,8   | 0,2   | 0,0   |
| Xenelmis               | 0,4   | 0,0   | 0,8   | 0,0  | 1,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 3,2   | 0,6   | 0,0   | 3,2   | 0,6   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,2   | 1,6   | 0,0   | 0,0  | 0,6   | 0,2   | 0,0   |
| NI                     | 1,0   | 0,2   | 0,0   | 1,6  | 1,2   | 7,2   | 1,0   | 2,2   | 5,0   | 0,0   | 1,8   | 0,0   | 2,2   | 0,4   | 0,0   | 0,4   | 6,8  | 4,0   | 4,4   | 0,0   | 0,8  | 0,4   | 2,8   | 0,0   |
| Elmidae adulto         | 18,0  | 5,6   | 25,0  | 1,6  | 29,6  | 0,0   | 0,8   | 12,8  | 7,8   | 9,2   | 21,8  | 0,0   | 16,8  | 22,6  | 19,8  | 0,0   | 3,8  | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 2,0  | 12,2  | 1,2   | 0,0   |
| <b>Gyrinidae</b>       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| Gyrinus                | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 1,6   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,8   | 0,2   | 0,4   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,2   | 0,0  | 0,0   | 0,6   | 0,0   |
| <b>Lutrochidae</b>     | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0  | 0,6   | 0,0   | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,8   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 1,0   | 0,0   | 0,8  | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Psephenidae</b>     | 0,4   | 0,2   | 0,6   | 0,0  | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,6   | 1,2   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,8   | 0,2   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Staphilinidae</b>   | 0,6   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,8   | 0,2   | 0,0   | 5,0   | 0,0   | 0,0   | 2,0   | 0,2   | 2,8   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 1,0   | 0,0   | 0,2   |
| <b>DIPTERA</b>         |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |      |       |       |       |
| <b>Blephariceridae</b> | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,6   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,2   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Ceratopogonidae</b> | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,4   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,2   |
| <b>Chironomidae</b>    | 4,2   | 80,6  | 8,6   | 27,8 | 5,6   | 6,8   | 12,0  | 13,8  | 1,6   | 6,8   | 11,0  | 84,0  | 17,4  | 18,2  | 7,2   | 2,6   | 0,0  | 40,8  | 7,8   | 8,0   | 61,8 | 18,6  | 16,0  | 71,8  |
| <b>Dixidae</b>         | 0,2   | 0,0   | 0,6   | 0,0  | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| <b>Ephryidae</b>       | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,2  | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,0   | 0,2   | 0,0   |
| <b>Empididae</b>       | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0  | 0,4   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,0  | 0,2   | 0,8   | 0,0   | 0,0  | 0,2   | 0,0   | 0,0   |

| <b>Táxons   Estação</b> | <b>FRC14</b> | <b>FRC20</b> | <b>FRC21</b> | <b>RC03</b> | <b>FRC09</b> | <b>FRC13</b> | <b>FRC04</b> | <b>FRC03</b> | <b>FRC05</b> | <b>FRC06</b> | <b>FRC15</b> | <b>FRC11</b> | <b>FRC01</b> | <b>FRC16</b> | <b>FRC10</b> | <b>FRC08</b> | <b>RC02</b> | <b>FRC17</b> | <b>FRC02</b> | <b>FRC19</b> | <b>RC04</b> | <b>FRC18</b> | <b>FRC07</b> | <b>FRC12</b> |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Psychodidae</b>      | 0,0          | 0,2          | 0,0          | 0,4         | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0         | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,2         | 0,2          | 0,0          | 0,2          |
| <b>Simuliidae</b>       | 2,4          | 27,8         | 8,4          | 0,0         | 8,4          | 32,2         | 1,4          | 14,8         | 1,2          | 3,4          | 24,8         | 1,6          | 4,2          | 3,0          | 0,0          | 1,6          | 0,0         | 0,0          | 18,2         | 3,8          | 45,8        | 2,4          | 6,6          | 4,6          |
| <b>Stratiomyidae</b>    | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0         | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0         | 0,0          | 0,0          | 0,2          | 0,0         | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| <b>Syrphidae</b>        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0         | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,6          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,6         | 16,0         | 0,0          | 0,0          | 0,0         | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| <b>Tipulidae</b>        | 0,4          | 0,2          | 0,4          | 0,0         | 0,2          | 0,0          | 0,0          | 0,4          | 0,6          | 1,2          | 0,2          | 0,0          | 0,0          | 4,0          | 0,8          | 0,2          | 0,2         | 0,0          | 2,2          | 0,2          | 0,0         | 0,0          | 0,2          | 0,0          |

**ANEXO A - The importance of autochthonous vs. allochthonous basal food sources to the food web of a tropical stream along a shading and altitudinal gradient**

**Vinicius N. Lima\***, Ernesto, F. Brito, Felipe A. M. Krsulović, Angela M. Detweiler, Anne E. Hershey, Timothy P. Moulton

Departamento de Ecologia, IBRAG, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

\*Corresponding author: [vinicius.lima.eco@gmail.com](mailto:vinicius.lima.eco@gmail.com)

**Running title:** tropical stream food web in shading gradient

## Abstract

According to the prevalent paradigm, the major source of carbon and energy for small forested streams in temperate regions is allochthonous material from the surrounding forest. Tropical streams have not been as well studied and there has been some speculation that their food webs are more aligned with in-stream, algal production (autochthonous carbon). We studied 4 sites in a coastal tropical stream along an altitudinal gradient (36 to 254 m asl) that corresponded to a shading gradient (8% to 73%) with the expectation that allochthonous sources would become more prevalent in upper sites. We sampled basal resources and fauna at each site and analyzed the stable isotope ratios of carbon and nitrogen in their tissues. We compared the stable isotope values of consumers to the potential sources using a mixing model to estimate the proportion of allochthonous and autochthonous material in their diets. The predominant source of carbon in the primary consumers, predators and omnivores was from algal production at all sites. There was no distinct gradient of increasing allochthonous input with increasing shading for primary consumers and predators, although % allochthonous decreased in omnivores from about 70% to about 54%. Most fauna were distinctly more enriched in  $^{13}\text{C}$  than the allochthonous (C3-plant) source and aligned with autochthonous (periphytic algal) ratios. Fauna did not generally change their diet with shading, although some taxa appeared to do this at the highest elevation and most allochthonous-based site. We conclude that in this tropical stream, the food web is shifted more toward use of autochthonous resources than would be expected based on the paradigm for temperate forested streams. Our result adds to recent evidence of such a trend in small tropical streams.

## Introduction

The most used and cited model of carbon flow in streams food web is the River Continuum Concept (Vannote et al. 1980). The model predicts that in small, shaded, forested streams, the major input of organic matter comes from the surrounding forest (allochthonous sources); algal production is small because of the limitation of light due to shading. The community metabolism is, overall, heterotrophic (i.e.,  $P < R$  or gross primary productivity less than respiration). Amongst the animals that inhabit the system, the functional feeding group of 'shredders' is important because they process the leaves, twigs and other coarse particulate matter into fine particulate matter, which is collected and used by other functional feeding groups – the active and filtering collectors. As the stream becomes larger downstream and the canopy is more open, algal production becomes more important and grazing animals comprise a significant proportion of the fauna. The stream may become autotrophic,  $P > R$ . In other words, as stream size increases, the reduced importance of terrestrial organic input coincides with enhanced significance of autochthonous primary production. This zone through which the food web stream shifts from a system based on allochthonous material to autochthonous material depends upon the degree of shading. In tropical streams the transition may occur in at higher levels of shading than in temperate streams because well-shaded tropical streams can have sufficient light input to sustain a reasonable level of primary production, especially in east-west oriented streams (Bunn et al. 1999).

Stable isotope analysis can be used to determine food web architecture and dynamics in streams (Peterson and Fry 1987, Hershey and Peterson 1996) as long as basal sources have distinct signatures (Boon & Bunn, 1994). The carbon signature for terrestrial C3 plants, for example, tends to be more depleted ( $\sim -28\text{‰}$ ) than that of terrestrial C4 plants ( $\sim -13\text{‰}$ ) (Peterson and Fry 1987). This isotopic difference is due

to the different photosynthetic pathways of fixing carbon. On the other hand, algal signatures can be more variable (ranging from -16‰ to -49‰), depending on habitat and seasonality (Peterson and Fry 1987, Rosenfeld and Roff 1992, Boon and Bunn 1994, MacLeod and Barton 1998, Finlay 2004, Hadwen et al. 2010) and the resolution of sources of carbon from naturally-occurring signatures will depend on the particular situation.

Whereas gut analysis indicates what a consumer has recently ingested, stable isotope analysis is indicative of what consumers assimilate over time (Hershey and Peterson 1996). Nitrogen isotopes indicate the different trophic levels (~2.2‰ shift per trophic level), and carbon isotopes are indicative of which sources are most important to consumers (~0.8‰ shift per trophic level) (DeNiro and Epstein 1978, Peterson and Fry 1987, Fry 1991, Vander Zanden and Rasmussen 2001, McCutchan et al. 2003). Moreover, a multiple-source mixing model allows the estimation of the proportion of source contributing to consumers (Parnell et al. 2010).

We used C and N stable isotope analysis of food sources and aquatic consumers in 4 sites to test the hypothesis that the food web shifts from a system based on autochthonous sources to one based on allochthonous sources along the course of a stream with a gradient of shading and altitude. We predicted that there would be two ways in which the food chain would become more allochthonous-based with stream height: (i) the composition of the fauna would change to include proportionately more shredders and collectors of organic matter, and (ii) fauna with flexible diets would change to become more allochthonous-based.

## **Methods**

### **Study area**

We collected samples along a third-order coastal stream Córrego da Andorinha. Córrego da Andorinha is the largest stream in well-preserved dense Atlantic rainforest within the State Park of Ilha Grande Island (23°04' to 23°14' S and 44°05' to 44°23' W) in Rio de Janeiro State, Brazil. The total catchment of Córrego da Andorinha is approximately 1410 ha and the highest point is 1030 m asl. For the majority of its course, the stream has a steep bed slope (2–10%) and it discharges into a small tidal estuary without a meander or transition zone. The substrate is generally well embedded, with large boulders and some sandy stretches. The geology is principally Pre-Cambrian granite; the water chemistry is oligotrophic (total-N = 180  $\mu\text{gL}^{-1}$ , total-P = 10  $\mu\text{gL}^{-1}$ , pH = 6.6, conductivity = 25  $\mu\text{Scm}^{-1}$ ). Discharge at base flow is  $\sim 200 \text{ Ls}^{-1}$ .

The four sites each consisted of wadeable sampling areas of approximately 40 m of stream length, including pool and riffle habitats (Table 1).

### **Sample collection and analysis**

We collected samples for stable isotope analysis from February 2002 to December 2005 at four sites in Córrego da Andorinha (Table 1). We obtained the geographical coordinates, altitude and dimensions of the sites by Global Positioning System and measuring tape. We measured the canopy cover using a spherical densitometer Model-C (Forest Densimeters, Oklahoma, USA); we averaged four readings facing North, South, East and West, at all sites. We measured water current velocity immediately above the point of collection using a current meter (Gurley Pygmy meter, Troy, NY).

We collected leaf samples from the stream and washed them to remove inorganic material. We collected periphyton (biofilm) samples by either removing rocks and scrubbing them in a tray or, for very large rocks or bedrock, by scrubbing them



using an in situ sampling device. We attempted to separate the microalgal fraction from the rest of the periphyton by centrifuging the collected material at different speeds. We observed that the less dense material in the supernatant contained a higher density of algae than the precipitate, which appeared to be mainly fine particulate organic matter. We removed the supernatant and repeated the procedure until we obtained a fraction that appeared predominantly of algal origin on microscopic inspection.

We sampled aquatic macroinvertebrates, tadpoles and fish at all the sites with a variety of nets and traps. The aquatic insects were placed in filtered water for several hours or we removed the guts of the consumers by dissection in order for them to void part of their intestinal contents before they were processed whole. We dissected the fish, tadpoles and shrimps and took lateral muscle tissue for processing for isotope analysis.

We oven-dried all samples at 60°C and then ground them with pestle and mortar. We sent isotopic samples to the Center for Nuclear Energy in Agriculture (CENA), São Paulo, Brazil. They were analyzed in a continuous flow-isotope ratio mass spectrometer (ThermoQuest-Finnigan Delta Plus mass spectrometer, interfaced to an elemental analyzer Carlo Erba [EA 1110 CHNS]) in dual isotope mode to obtain elemental and isotopic values for carbon (C) and nitrogen (N) of the samples. The analytical precision for carbon and nitrogen were 0.2‰ and 0.3‰, respectively (Jean Ometto, personal communication). Isotope ratios are expressed as the relative per thousand (‰) difference between the sample and conventional standards; Pee Dee Belemnite (PDB) for  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\text{N}_2$  in air for  $\delta^{15}\text{N}$  as follows:

$$\delta X = [R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1] * 1000 (\text{‰}),$$

where  $X = {}^{13}\text{C}$  or  ${}^{15}\text{N}$  and  $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  or  ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$ .

### **Data analysis**

We utilized the program R (R\_Development\_Core\_Team 2010) and its stable isotope mixing model package Stable Isotope Analysis in R, SIAR, version 4.1.1 (Parnell and Jackson 2011) to estimate the potential contribution of allochthonous and autochthonous basal sources to the aquatic consumers in each site. This package takes data on organism isotopes and fits a Bayesian model to their dietary habits based upon a Gaussian likelihood with a mixture dirichlet-distributed prior on the mean (Parnell et al. 2010).

Use of stable isotope ratios to trace pathways of organic matter among consumers requires knowledge of the shift (fractionation) between diet and consumer (McCutchan et al. 2003). The mean values for fractionation and their variability were dependent on the material (McCutchan et al. 2003):

whole organism: +0.3 (SD = 1.28) e 2.1 (SD = 1.60), respectively for C and N;  
muscle: +1.3 (SD = 1.27) and 2.9 (SD = 1.24)

For animals that consume other animals, we doubled the mean fractioning and estimated the variability (SD) by propagation of error ( $\sqrt{2 \cdot SD^2}$ ):

whole organism: +0.6 (SD = 1.81) e 4.2 (SD = 2.26), respectively for C and N;  
muscle: +2.6 (SD = 1.80) and 5.8 (SD = 1.75) .

Notwithstanding our procedure for separating algae from the other components of the periphyton, it was apparent that the samples contained material other than that derived from algae – the  $\delta^{13}\text{C}$  values were highly variable and known herbivores were often more enriched than the periphyton. We therefore derived the algal (“autochthonous”) value for  $\delta^{13}\text{C}$  from known herbivores (cf. VanderZanden and Rasmussen 1999, Finlay 2001). The baetid ephemeropteran *Cloeodes irvingi* was

common at each site in pool and shallow habitats and was chosen for this purpose (Moulton et al. 2004). At the MDA site, we analyzed the pool and riffle fauna separately and used *Gripopteryx* sp. (Plecoptera: Gripopterygidae) to infer the algal signature of the riffle-inhabiting fauna.

In SIAR, we used the command `siarmcmcdirichletv4` to estimate the contributions (means, minima and maxima) of sources for all consumers except for primary consumers with only one replicate. For these, we used the equation for mass balance (single isotope,  $\delta^{13}\text{C}$  two source mixing model) to calculate the mean contribution of the source, and to estimate the maxima and minima of the contributions, we used the maxima and minima  $\delta^{13}\text{C}$  of the sources as the bases for the 95% confidence intervals in the equations.

## Results

The  $\delta^{13}\text{C}$  values of the basal sources (allochthonous and autochthonous) were distinctly different at each site (Fig. 1 a-d). In all cases, the isotopic values of C and N of the consumers lay within the limits of the isotopic values of the food sources (Fig. 1 a-d) and the mixing models were able to calculate the proportions of basal sources in the diets (Table 2). The mixing models produced great variability in the proportions of the contributions of the autochthonous and allochthonous basal sources to the consumers (Table 2).

At all sites, autochthonous sources were as important as allochthonous as the basal resource (Table 2 and Fig. 2). There was no apparent trend towards allochthony along the gradient from lower, more open sites to upper more closed sites for primary consumers and predators. Omnivores did show a decline in use of autochthonous resources along the gradient, but even at the most shaded site, use of autochthonous

resources was <50%. The well-shaded site CHA showed more primary consumers with predominantly allochthonous diets than the other sites, but the omnivores and predators did not have this pattern (Fig. 3). The trend to more allochthony at site CHA was associated with both shifts in diet of certain taxa (*Triplectides*, *Leptonema*, Pyralidae, Perlidae) and a shift in composition towards taxa with predominantly allochthonous diets (e.g. presence of tadpoles and absence of *Grumichella*) (Table 2).

## Discussion

Algae have been shown to be important in the food webs of small tropical streams (Lau et al. 2009, Lau et al. 2009b) and indeed were shown to be the predominant food source in a previous study at Córrego da Andorinha ((Brito et al. 2006). Thus the overall predominance of autochthonous sources at all sites in this study was expected. The highest site, JAR, was however considerably more distant from the stream mouth and more shaded than the other sites and we expected a gradient of more allochthonous material in the diets. The gradient occurred for omnivores, but was still more than 50% autochthony.

It is possible that, compared to temperate streams, in tropical streams the transition from primarily autochthonous to primarily allochthonous diets occurs at a relatively higher and more shaded position in the stream and in streams with smaller catchment area. In a review of studies of temperate and arctic lotic food webs, Findlay (2001) identified a catchment size of approximately 10 - 100 km<sup>2</sup> as the transition between algal sources that were not carbon limited, and hence relatively depleted in <sup>13</sup>C and larger streams and rivers in which the higher productivity implied less discrimination of <sup>13</sup>C and hence a relatively enriched  $\delta^{13}\text{C}$  signature (Fig. 2 in Findlay 2001). In the present case, where the catchment size was ca. 14 km<sup>2</sup> for the whole

catchment, we could expect that the average periphytic algal signature might be more depleted than the allochthonous source (i.e. less than about  $-30\text{‰}$ ). This was not the case, and the periphytic algal signature (“autochthonous source”) remained relatively enriched ( $\delta^{13}\text{C}$   $-20$  to  $-23.5\text{‰}$ ). At the highest site, JAR, in which the catchment size was considerably less, the autochthonous signature remained relatively enriched (ca.  $-23.5\text{‰}$ ). The food webs reflected the relative lack of change of signature and remained aligned with algae.

Our procedure for analyzing the food web possibly biased the results towards allochthonous material. We chose the baetid ephemeropteran *Cloeodes irvingi* as the reference herbivore because of its known behavior as a grazer (Moulton et al. 2004). It generally showed the most enriched signature at each site (Fig. 1). However its diet possibly consists of periphytic algae that are particularly enriched in  $^{13}\text{C}$  because of their position in relatively still and productive habitats (see Finlay 2001, Finlay 2004). Other periphytic and filamentous algae might be less enriched and their incorporation into the diet of other organisms would be interpreted at least partially as allochthonous input. This problem was partially overcome at the MDA site, where we had distinct separation of fauna from pool and riffle habitats and where we could use the grazing plecopteran *Gripopteryx* sp. to imply the autochthonous source for other riffle-dwelling fauna ( $\delta^{13}\text{C} = -23.5\text{‰}$ ) differentiated from the pool-dwelling fauna with autochthonous source  $\delta^{13}\text{C} = -20\text{‰}$ . Thus the MDA site was analyzed as having the most autochthonous-based primary consumers (Table 2, Fig. 1).

The patterns were potentially affected by the vagaries of the particular organisms of the different sites and in particular with the large dominant fauna. At lower sites in Córrego da Andorinha (site CAP in this study) fish apparently exert a large effect on the community and periphyton due to a trophic cascade with shrimps (Moulton et al. 2010).

The fish (*Bryconamericus microcephalus* and *Phalloceros anisophallos*) had a mean of 69% autochthonous diet and are apparently blocked from the upper sites by the waterfall at the MDA site. The shrimp *Macrobrachium olfersi* has a strong cascading effect on periphyton via its effects on baetid ephemeropterans (Moulton et al. 2004), but it apparently does not reach the uppermost site, JAR. Likewise the atyid shrimp, *Potimirim brasiliiana*, which has a strong effect on periphyton (Souza & Moulton, 2005) and an autochthonous-based diet was not found at JAR. These strongly-interacting fauna did not, however, overly influence the proportion of autochthonous-based fauna at lower sites.

We have indirect evidence of algal production along the altitudinal/shading gradient. In a study of Córrego da Andorinha (Moulton et al. 2009) periphyton algal stocks were found to be higher at the lowest sites, (including CAP =  $6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  chlorophyll *a*), compared to upper sites (including MDA =  $0.8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  and CHA =  $1.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  chlorophyll *a*). This result does not necessarily imply a limitation of algal production at higher sites, since the MDA site had the lowest periphyton standing stock but the most autochthonous food web. In a study of sub-tropical streams, Mosisch et al. (2001) found that shading was the most important determinant of algal production in streams and that algal composition changed and standing stock declined in sites with > 57% shading. We did not observe such a transition, but we suggest that the basis of the food web is not tightly linked to productivity.

We expected that some species would switch their diet depending on the available resources and that when allochthonous resources became relatively more important in upper, more shaded sites, they would shift towards allochthony. A certain degree of switching was observed at the most allochthonous site, CHA. The leptocerid trichopteran *Triplectides* is usually classified in the functional feeding group “shredder”

based on particulate organic matter in its gut contents (Oliveira et al. 1999), but we observed it in bare-rock microhabitats where it was apparently grazing on periphyton. It appears to shift its diet depending on the availability of resources, as has been noted for other shredding trichopterans (Friberg and Jacobsen 1994). The large variability of Pyralidae (Lepidoptera) on the other hand possibly represents lack of taxonomic discrimination.

Within sites, the stable isotope signatures and hence trophic positions of the fauna appear relatively constant over time. In the 5 collections of *Cloeodes irvingi* and 4 collections of *Gripopteryx* sp. at the MDA site, their  $\delta^{13}\text{C}$  values did not vary more than 1.5‰ (data not shown).

Our evidence for the importance of algae in the food web of a tropical stream joins a growing body of evidence showing this pattern in tropical streams elsewhere (e.g. Hong Kong: Salas and Dudgeon, (2001); Mantel et al., (2004); Li and Dudgeon, (2008), Lau et al., (2009a); Puerto Rico: March and Pringle, (2003); Australia: Douglas et al., (2005)). However reconstructions of food webs based on microscopic observation of gut contents have shown a predominance of allochthonous detritus in the diets of consumers (e.g. in subtropical Brazil: Motta and Uieda, (2005); Uieda and Motta, (2007), tropical Australia: Cheshire et al. (2005), and in tropical Colombia: Longo-Sánchez, (2012)). This apparent incongruence might at least partially be explained by the differential assimilation of generally intractable leaf material and more nutritious and digestible algae. Thus much of the allochthonous detritus in the guts might not be assimilated. Certainly many of the species that we found to have diets based primarily on autochthonous sources have large amounts of allochthonous material in their guts.

In the last few years there has been speculation about whether tropical streams are qualitatively different from temperate streams in terms of the basal resources of their

food chains (Moulton 2006, Dudgeon et al. 2010). The evidence presented here suggests in this tropical stream, the food web is shifted more toward use of autochthonous resources than would be expected based on the paradigm for temperate forested streams.

### **Acknowledgments**

The field work was carried out at Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (CEADS), Ilha Grande, a campus of Universidade do Estado do Rio de Janeiro. We would like to thank the field and administrative staff of CEADS for their help and patience. We would also like to thank Marcelo Souza, Fausto Silva, Cristiano Sato, Rafael Lima and Eduardo Silva-Junior for help with field collection and laboratory analysis; Eugenia Zandonà for advice on isotopes and Jean Ometto and the Center of Nuclear Energy in Agriculture for isotope analysis. VNL received a doctoral scholarship from CNPq/CT-Hidro (145334/2009-0). Part of the data of 2004 were obtained by AMD and used for her Masters thesis under the supervision of AEM. The research was assisted by a grant to TPM from CNPq (476951/2004-6).

### **Author Contributions**

Conceived, designed the experiments: VNL EFB FAMK AMD AEM TPM.  
Performed the experiments: VNL EFB AMD TPM. Analyzed the data: VNL. Wrote the paper: VNL TPM.



**Table 1. Characteristics of the sites**

| Site code    | Site name           | Coordinates                  | Distance from mouth (m) | Altitude (m asl) | Water current (m/s) | % canopy cover |
|--------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|----------------|
| CAP          | Capivara            | S23° 11.175'<br>W44° 11.928' | 497                     | 36               | 0.10                | 8              |
| MDA (riffle) | Mãe D'água (riffle) | S23° 10.970'<br>W44° 12.078' | 1114                    | 69               | 0.5                 | 21             |
| MDA (pool)   | Mãe D'água (pool)   | S23° 10.933'<br>W44° 12.137' | 1117                    | 70               | 0.014               | 55.3           |
| CHA          | Characidium         | S23° 10.521'<br>W44° 12.510' | 1240                    | 83               | 0.13                | 73             |
| JAR          | Jararaca            |                              | 2231                    | 254              | 0.33                |                |

Table 2. Proportion (%) of source contributing to aquatic consumers in Córrego Andorinha stream, Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brazil. Values are expressed as mean with 5-95 percentile range. (d) and (i) are direct and indirect sources for omnivores. N° refers to the number of samples of each taxon. “Allochthonous” is based on the isotopic values of aquatic CPOM of the site; “autochthonous” is based on the isotopic signature derived from a known algal grazer, which was *Cloeodes* in all cases except for MDA riffle, where *Gripopteryx* was used. Codes for the taxa are in brackets.

| Site no. | Taxon                                     | Trophic position         | N° | % Allochthonous  |                                 | % Autochthonous  |                                 |
|----------|-------------------------------------------|--------------------------|----|------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|
|          |                                           |                          |    | Mean             | Lower and upper 95% probability | Mean             | Lower and upper 95% probability |
| CAP      |                                           |                          |    |                  |                                 |                  |                                 |
|          | Chironomidae (chi)                        | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 34               | 0 - 70                          | 66               | 30 - 100                        |
|          | Tipulidae (tip)                           | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 23               | 7 - 37                          | 77               | 63 - 93                         |
|          | <i>Simulidae</i> (sim)                    | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 34               | 19 - 48                         | 66               | 52 - 81                         |
|          | <i>Cloeodes irvingi</i> (clo)             | 1 <sup>ty</sup> consumer | 6  | 10               | 0 - 25                          | 90               | 75 - 100                        |
|          | <i>Baetodes</i> (bae)                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 66               | 53 - 81                         | 34               | 19 - 47                         |
|          | Leptophlebiidae (ltp)                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 100              | 95 - 100                        | 0                | 0 - 5                           |
|          | Pyralidae (pyr)                           | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 59               | 16 - 100                        | 41               | 0 - 84                          |
|          | <i>Triplectides</i> (tri)                 | 1 <sup>ty</sup> consumer | 3  | 52               | 31 - 74                         | 48               | 26 - 70                         |
|          | <i>Leptonema</i> (ltn)                    | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 37               | 2 - 67                          | 63               | 33 - 98                         |
|          | Helicopsychidae (hel)                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 47               | 32 - 59                         | 53               | 41 - 68                         |
|          | Hydroptilidae (hyd)                       | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 50               | 36 - 63                         | 50               | 37 - 64                         |
|          | <i>Macronema</i> (mcn)                    | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 74               | 61 - 85                         | 26               | 15 - 39                         |
|          | <i>Potimirim brasiliiana</i> (pot)        | 1 <sup>ty</sup> consumer | 3  | 29               | 6 - 52                          | 71               | 48 - 94                         |
|          | Perlidae (per)                            | Predator                 | 3  | 33               | 4 - 59                          | 67               | 41 - 96                         |
|          | Calopterygidae (cal)                      | Predator                 | 2  | 51               | 18 - 86                         | 49               | 14 - 82                         |
|          | Megapodagrionidae (meg)                   | Predator                 | 1  | 46               | 31 - 58                         | 54               | 42 - 69                         |
|          | Anisoptera (ani)                          | Predator                 | 1  | 52               | 38 - 64                         | 48               | 36 - 62                         |
|          | <i>Macrobrachium olfersi</i> (mac)        | Omnivore                 | 4  | 9 (d)<br>18 (i)  | 0 - 22 (d)<br>0 - 35 (i)        | 25 (d)<br>49 (i) | 0 - 49 (d)<br>23 - 75 (i)       |
|          | <i>Bryconamericus microcephalus</i> (bry) | Omnivore                 | 6  | 9 (d)<br>22 (i)  | 0 - 24 (d)<br>1 - 40 (i)        | 17 (d)<br>52 (i) | 0 - 42 (d)<br>24 - 80 (i)       |
|          | <i>Phalloceros anisophallos</i> (pha)     | Omnivore                 | 5  | 10 (d)<br>22 (i) | 0 - 27 (d)<br>0 - 42 (i)        | 20 (d)<br>49 (i) | 0 - 45 (d)<br>19 - 80 (i)       |
| MDA      |                                           |                          |    |                  |                                 |                  |                                 |
|          | Chironomidae (riffle)                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 36               | 0 - 76                          | 64               | 24 - 100                        |
|          | Chironomidae (pool)                       | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 37               | 0 - 80                          | 63               | 20 - 100                        |
|          | <i>Baetodes</i> (bae)                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 4  | 49               | 25 - 72                         | 51               | 28 - 75                         |
|          | <i>Cloeodes irvingi</i>                   | 1 <sup>ty</sup> consumer | 11 | 5                | 0 - 10                          | 95               | 90 - 100                        |
|          | <i>Americabaetis</i> (ame)                | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 37               | 32 - 41                         | 63               | 59 - 68                         |
|          | Pyralidae (pyr)                           | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 34               | 0 - 78                          | 66               | 22 - 100                        |
|          | <i>Gripopteryx</i> (gri)                  | 1 <sup>ty</sup> consumer | 6  | 8                | 0 - 18                          | 92               | 82 - 100                        |
|          | <i>Smicridea</i> (smi)                    | 1 <sup>ty</sup> consumer | 8  | 13               | 0 - 25                          | 87               | 75 - 100                        |

|                                      |                          |    |                  |                          |                  |                           |
|--------------------------------------|--------------------------|----|------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|
| <i>Grumichella</i> (gru)             | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 15               | 11 - 20                  | 85               | 80 - 89                   |
| <i>Triplectides</i> (tri)            | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 75               | 70 - 80                  | 25               | 20 - 30                   |
| <i>Potimirim brasiliiana</i>         | 1 <sup>ty</sup> consumer | 12 | 22               | 14 - 31                  | 78               | 69 - 86                   |
| Perlidae                             | Predator                 | 2  | 40               | 3 - 74                   | 60               | 26 - 97                   |
| Calopterygidae                       | Predator                 | 1  | 64               | 59 - 69                  | 36               | 31 - 41                   |
| <i>Atopsyche</i> (ato)               | Predator                 | 1  | 29               | 25 - 35                  | 71               | 65 - 75                   |
| <i>Macrobrachium olfersi</i>         | Omnivore                 | 14 | 5 (d)<br>21 (i)  | 0 - 13 (d)<br>1 - 32 (i) | 6 (d)<br>68 (i)  | 0 - 17 (d)<br>55 - 80 (i) |
| <i>Trichodactylus</i> (tcd)          | Omnivore                 | 1  | 25 (d)<br>25 (i) | 0 - 48 (d)<br>0 - 49 (i) | 25 (d)<br>25 (i) | 0 - 48 (d)<br>0 - 49 (i)  |
| CHA                                  |                          |    |                  |                          |                  |                           |
| Elmidae (elm)                        | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 66               | 52 - 79                  | 34               | 21 - 48                   |
| <i>Cloeodes irvingi</i>              | 1 <sup>ty</sup> consumer | 3  | 22               | 0 - 57                   | 78               | 43 - 100                  |
| Pyalidae                             | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 100              | 100                      | 0                | 0                         |
| <i>Macronema</i> (mcn)               | 1 <sup>ty</sup> consumer | 3  | 71               | 39 - 100                 | 29               | 1 - 60                    |
| <i>Leptonema</i>                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 79               | 66 - 91                  | 21               | 9 - 34                    |
| <i>Triplectides</i>                  | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 94               | 82 - 100                 | 6                | 0 - 18                    |
| <i>Potimirim brasiliiana</i>         | 1 <sup>ty</sup> consumer | 4  | 36               | 18 - 53                  | 64               | 47 - 82                   |
| Tadpole (tad)                        | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 87               | 75 - 99                  | 13               | 1 - 25                    |
| Libellulidae (lib)                   | Predator                 | 1  | 0                | 0 - 13                   | 100              | 87 - 100                  |
| Perlidae                             | Predator                 | 2  | 49               | 14 - 82                  | 51               | 18 - 86                   |
| <i>Macrobrachium carcinus</i> (car)  | Omnivore                 | 1  | 24 (d)<br>25 (i) | 0 - 47 (d)<br>0 - 48 (i) | 25 (d)<br>26 (i) | 0 - 48 (d)<br>0 - 49 (i)  |
| <i>Macrobrachium olfersi</i>         | Omnivore                 | 2  | 18 (d)<br>22 (i) | 0 - 39 (d)<br>0 - 44 (i) | 28 (d)<br>32 (i) | 0 - 51 (d)<br>2 - 57 (i)  |
| <i>Characidium japyhybense</i> (cha) | Predator                 | 2  | 53               | 12 - 93                  | 47               | 7 - 88                    |
| JAR                                  |                          |    |                  |                          |                  |                           |
| <i>Psephenus</i> (pse)               | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 100              | 100                      | 0                | 0                         |
| Leptophlebiidae (ltp)                | 1 <sup>ty</sup> consumer | 4  | 45               | 29 - 59                  | 55               | 41 - 71                   |
| <i>Cloeodes irvingi</i>              | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 0                | 0 - 3                    | 99               | 97 - 100                  |
| Pyalidae                             | 1 <sup>ty</sup> consumer | 5  | 72               | 43 - 100                 | 28               | 0 - 57                    |
| <i>Grumichella</i> (gru)             | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 46               | 7 - 86                   | 54               | 14 - 94                   |
| <i>Leptonema</i>                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 2  | 52               | 18 - 90                  | 48               | 9 - 82                    |
| <i>Gripopteryx</i>                   | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 0                | 0 - 1                    | 100              | 99 - 100                  |
| Leptoceridae (lrc)                   | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 0                | 0                        | 100              | 100                       |
| <i>Macronema</i>                     | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 61               | 58 - 65                  | 39               | 33 - 41                   |
| <i>Phylloicus</i> (phy)              | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 63               | 59 - 67                  | 37               | 33 - 41                   |
| <i>Triplectides</i>                  | 1 <sup>ty</sup> consumer | 1  | 66               | 62 - 70                  | 34               | 30 - 38                   |
| Calopterygidae                       | Predator                 | 1  | 44               | 41 - 47                  | 56               | 53 - 59                   |
| Libellulidae                         | Predator                 | 1  | 30               | 27 - 33                  | 70               | 67 - 73                   |
| Gyrinidae (gyr)                      | Predator                 | 1  | 52               | 48 - 55                  | 48               | 45 - 52                   |
| Naucoridae (nau)                     | Predator                 | 4  | 44               | 26 - 63                  | 56               | 37 - 74                   |
| Gomphidae (gom)                      | Predator                 | 2  | 44               | 7 - 80                   | 56               | 20 - 93                   |
| Perlidae                             | Predator                 | 7  | 42               | 28 - 55                  | 58               | 45 - 72                   |
| <i>Trichodactylus</i>                | Omnivore                 | 2  | 21 (d)<br>26 (i) | 0 - 41 (d)<br>0 - 48 (i) | 24 (d)<br>29 (i) | 0 - 47 (d)<br>2 - 51 (i)  |

**List of figures:**

Fig 1. Diplot of delta15N and delta 13C of sources and consumers in sites of Córrego da Andorinha. The codes for the various taxa are in Table 2. Bars indicate  $\pm 1$  SD around the mean. a. site CAP, (8.3% canopy cover), b. site MDA with pool and rifle habitats separated, (21% canopy cover) c. site CHA, (69% canopy cover) d. site JAR, (73% canopy cover).

Fig. 2 Proportion of autochthonous material in diet of taxa of different trophic positions in sites of Córrego da Andorinha. Symbols indicate mean % autochthonous material of each taxon and indicate the trophic position; lines join the mean of the values of each trophic position at each site.

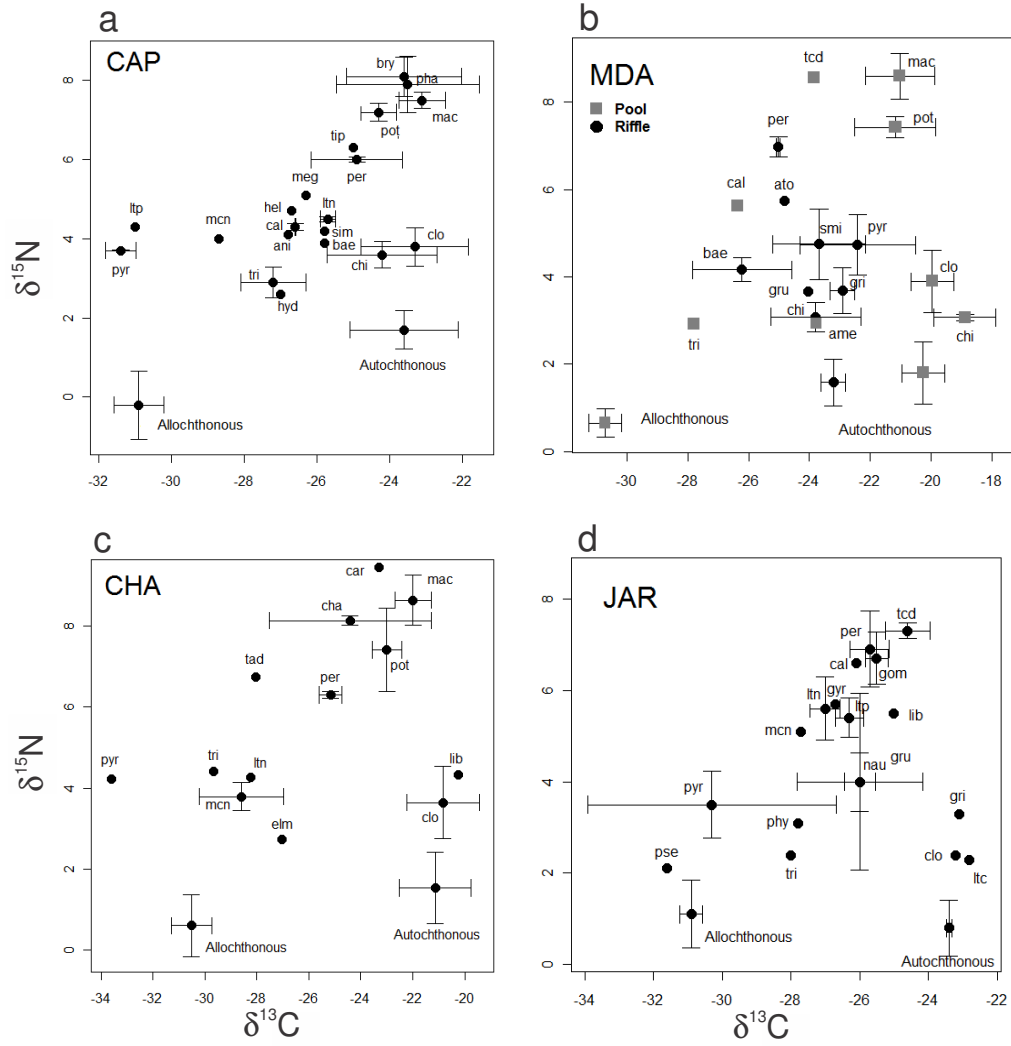


Fig. 1

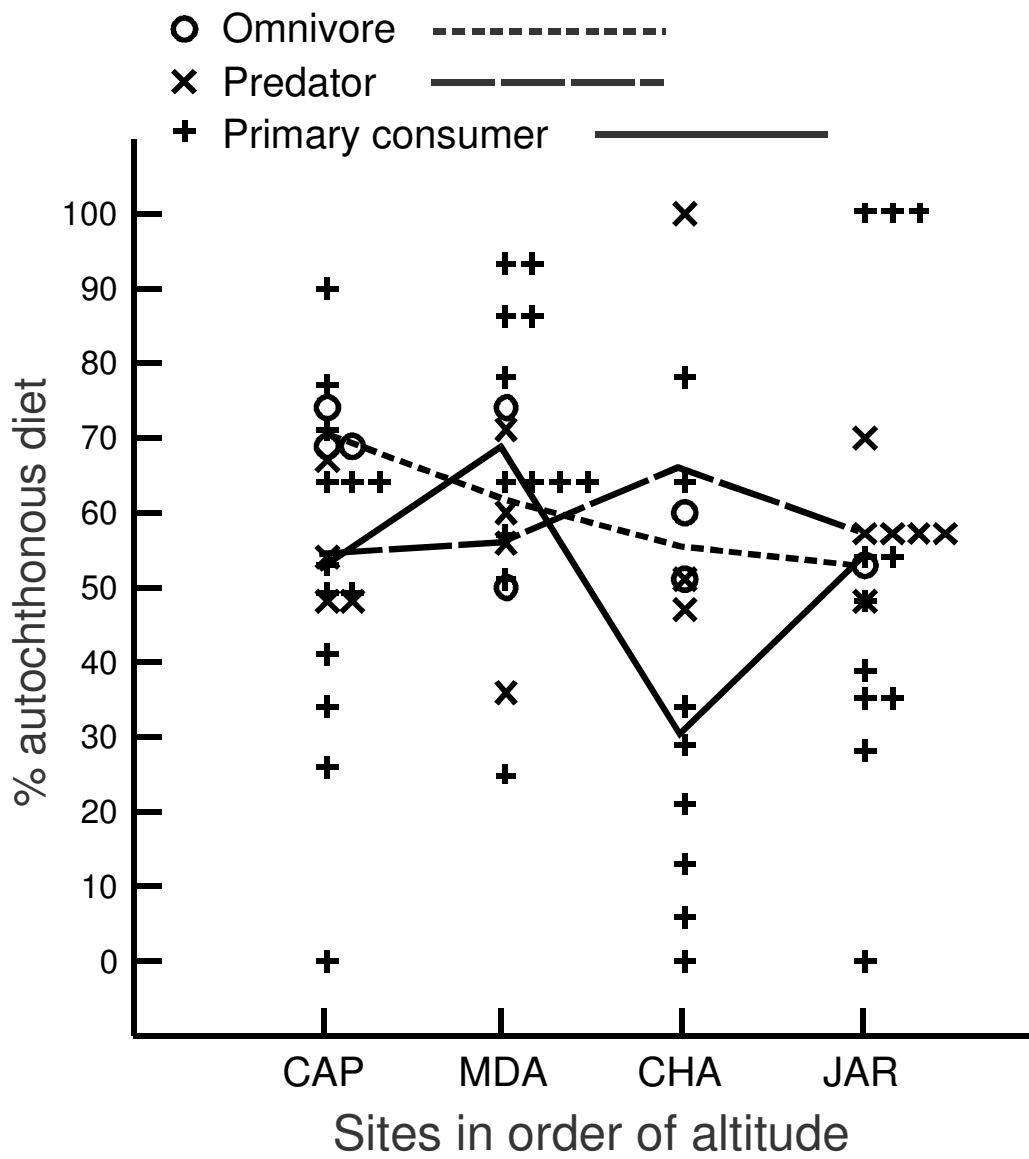


Fig. 2

## References

- Boon, P. I. and S. E. Bunn. 1994. Variations in the stable isotope composition of aquatic plants and their implications for food web analysis. *Aquatic Botany* **48**:99-108.
- Brito, E. F., T. P. Moulton, M. L. Souza, and S. E. Bunn. 2006. Stable isotope analysis indicates microalgae as the predominant food source of fauna in a coastal forest stream, south-east Brazil. *Austral Ecology* **31**:623-633.
- Bunn, S. E., P. M. Davies, and T. D. Mosisch. 1999. Ecosystem measures of river health and their response to riparian and catchment degradation. *Freshwater Biology* **41**:333-345.
- Cheshire, K., L. Boyero, and R. G. Pearson. 2005. Food webs in tropical Australian streams: shredders are not scarce. *Freshwater Biology* **50**:748-769.
- DeNiro, M. J. and S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* **45**:341-351.
- Douglas, M. M., S. E. Bunn, and P. M. Davies. 2005. River and wetland food webs in Australia's wet-dry tropics: general principles and implications for management. *Mar. Freshwater Res.* **56**:329-342.
- Dudgeon, D., F. K. W. Cheung, and S. K. Mantel. 2010. Foodweb structure in small streams: do we need different models for the tropics? *Journal of the North American Benthological Society* **29**:395-412.
- Finlay, J. C. 2001. Stable-carbon-isotope ratios of river biota: Implications for energy flow in lotic food webs. *Ecology* **82**:1052-1064.
- Finlay, J. C. 2004. Patterns and controls of lotic algal stable carbon isotope ratios. *Limnol. Oceanogr.* **49**:850-861.
- Friberg, N. and D. Jacobsen. 1994. Feeding plasticity of two detritivore-shredders. *Freshwater Biology* **32**:133-142.
- Fry, B. 1991. Stable isotope diagrams of freshwater food webs. *Ecology* **72**:2293-2297.
- Hadwen, W. L., M. Spears, and M. J. Kennard. 2010. Temporal variability of benthic algal  $\delta^{13}\text{C}$  signatures influences assessments of carbon flows in stream food webs. *Hydrobiologia* **651**:239-251.
- Hershey, A. E. and B. J. Peterson. 1996. Stream food webs. Pages 511-530 in F. R. Hauer and G. A. Lamberti, editors. *Methods in Stream Ecology*. Academic Press, New York.
- Lau, D. C. P., K. M. Y. Leung, and D. Dudgeon. 2009a. Are autochthonous foods more important than allochthonous resources to benthic consumers in tropical headwater streams? *Journal of the North American Benthological Society* **28**:426-439.
- Lau, D. C. P., K. M. Y. Leung, and D. Dudgeon. 2009b. What does stable isotope analysis reveal about trophic relationships and the relative importance of allochthonous and autochthonous resources in tropical streams? A synthetic study from Hong Kong. *Freshwater Biology* **54**:127-141.
- Li, A. O. and D. Dudgeon. 2008. Food resources of shredders and other benthic macroinvertebrates in relation to shading conditions in tropical Hong Kong streams. *Freshwater Biology* **53**:2011-2025.
- Longo-Sánchez, M. C. 2012. Gorgona Island natural national park streams bioassessment (Colombian Pacific): hierarchical controls of aquatic insect abundance and composition, diversity and spatial arrangement of shredding taxa. Doctoral thesis. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín.
- MacLeod, N. A. and D. R. Barton. 1998. Effects of light intensity, water velocity, and species composition on carbon and nitrogen stable isotope ratios in periphyton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**:1919-1925.
- Mantel, S. K., M. Salas, and D. Dudgeon. 2004. Foodweb structure in a tropical Asian forest stream. *Journal of the North American Benthological Society* **23**:728-755.

- March, J. G. and C. M. Pringle. 2003. Food web structure and basal resource utilization along a tropical island stream continuum, Puerto Rico. *Biotropica* **35**:84-93.
- McCutchan, J. H., W. M. Lewis, C. Kendall, and C. C. McGrath. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *OIKOS* **102**:378-390.
- Mosisch, T. D., S. E. Bunn, and P. M. Davies. 2001. The relative importance of shading and nutrients on algal production in subtropical streams. *Freshwater Biology* **46**:1269-1278.
- Motta, R. L. and V. S. Uieda. 2005. Food web structure in a tropical stream ecosystem. *Austral Ecology* **30**:58-73.
- Moulton, T. P. 2006. Why the world is green, the waters are blue and food webs in small streams in the Atlantic Rainforest are predominantly driven by microalgae? *Oecol. Bras.* **10**:78-89.
- Moulton, T. P., M. L. Souza, R. M. L. Silveira, and F. A. M. Krsulovic. 2004. Effects of ephemeropterans and shrimps on periphyton and sediments in a coastal stream (Atlantic forest, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of the North American Benthological Society* **23**:868-881.
- Moulton, T. P., M. L. Souza, R. M. L. Silveira, F. A. M. Krsulović, M. P. Silveira, J. C. F. d. Assis, and C. N. Francischetti. 2010. Patterns of periphyton are determined by cascading trophic relationships in two neotropical streams. *Marine and Freshwater Research* **61**:57-64.
- Moulton, T. P., M. L. Souza, T. L. Walter, and F. A. M. Krsulović. 2009. Patterns of periphyton chlorophyll and dry mass in a neotropical stream: a cheap and rapid analysis using a hand-held fluorometer. *Marine and Freshwater Research* **60**:224-233.
- Oliveira, L. G., P. C. Bispo, V. L. Crisci, and 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.
- Parnell, A. and A. Jackson. 2011. siar: Stable Isotope Analysis in R. R package version 4.1.1. <http://CRAN.R-project.org/package=siar>.
- Parnell, A. C., R. Inger, S. Bearhop, and A. L. Jackson. 2010. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PLoS ONE* **5**:e9672.
- Peterson, B. J. and B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics* **18**:293-320.
- R\_Development\_Core\_Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Rosenfeld, J. S. and J. C. Roff. 1992. Examination of the carbon base in southern Ontario streams using stable isotopes. *Journal of the North American Benthological Society* **11**:1-10.
- Salas, M. and D. Dudgeon. 2001. Stable-Isotope determination of mayfly (Insecta : Ephemeroptera) food sources in three tropical Asian streams. *Archiv Fur Hydrobiologie* **151**:17-32.
- Souza, M. L. and T. P. Moulton. 2005. The effects of shrimps on benthic material in a Brazilian island stream. *Freshwater Biology* **50**:592-602.
- Uieda, V. S. and R. L. Motta. 2007. Trophic organization and food web structure of southeastern Brazilian streams: a review. *Acta Limnol. Bras.* **19**:15-30.
- Vander Zanden, M. J. and J. B. Rasmussen. 2001. Variation in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. *LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY* **46**:2061-2066.
- VanderZanden, M. J. and J. B. Rasmussen. 1999. Primary consumer  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology* **80**:1395-1404.



Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell, and C. E. Cushing. 1980. River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**:130-137.