



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

Vinicius Neres de Lima

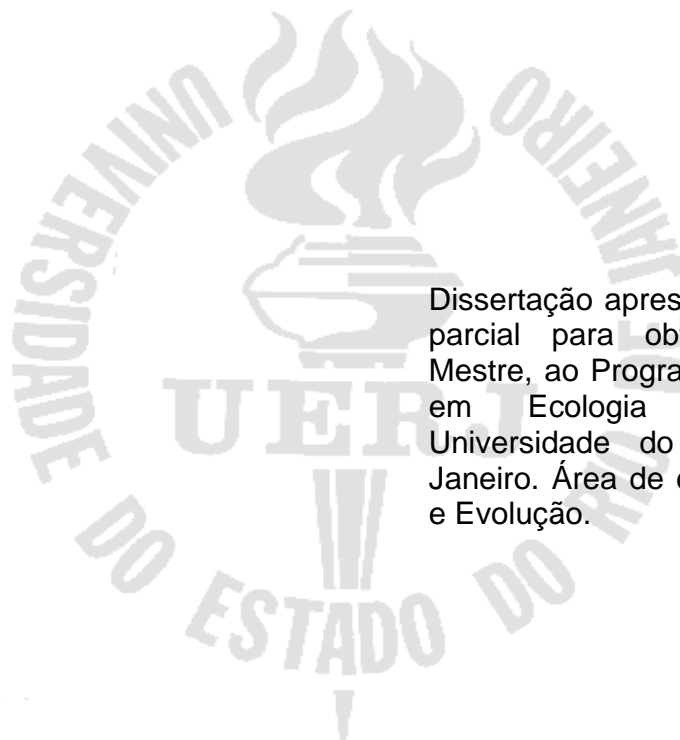
**Estudos de estruturas tróficas e de impactos
antropogênicos de córregos do sistema hidrográfico
Guapi-Macacu: isótopos estáveis.**

Rio de Janeiro

2009

Vinicius Neres de Lima

Estudos de estruturas tróficas e de impactos antropogênicos em córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu: isótopos estáveis.



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ecologia e Evolução.

Orientador: Prof. Dr. Timothy Peter Moulton

Rio de Janeiro
2009

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

L732 Lima, Vinicius Neres de.

Estudos de estruturas tróficas e de impactos antropogênicos em córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu: isótopos estáveis/Vinicius Neres de Lima. - 2009. 51f. .: il.

Orientador.: Timothy Peter Moulton.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.
Bibliografia: f. 38-44.

1. Ecologia aquática - Teses. 2. Carbono – Isótopos – Teses. 3. Nitrogênio – Isótopos – 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 dissertação.

Assinatura

Data

Vinicius Neres de Lima

Estudos de estruturas tróficas e de impactos antropogênicos em córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu: isótopos estáveis.

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Ecologia e Evolução.

Aprovado em

Orientador: Prof. Dr. Timothy Peter Moulton

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Joel Christopher Creed
Departamento de Ecologia da UERJ

Prof. Dr. Jorge Luiz Nessimian
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Vinicius Fortes Farjalla
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Profa. Dra. Helena de Godoy Bergallo
Departamento de Ecologia da UERJ

Profa. Dra. Christina Wyss Castelo Branco
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro
2009

AGRADECIMENTOS

Ao Timothy Peter Moulton, pela amizade, apoio e orientação.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia de Rios e Córregos: Andréa Franco-Oliveira, Cristiano Y S Sato, Daniela Proença, Eduardo F da Silva, Ernesto Fuentes Brito, Fausto Machado-Silva, Felipe A M Krsulovic, Marcelo de Souza, Pedro M Andrade e Rafael F de Lima.

Aos amigos do Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental – FIOCRUZ, Darcílio Fernandez Batista, Renata Bley Oliveira e Ricardo Mugnai, pela parceria no Projeto Entre Serras e Águas: Consolidação do Corredor Central Fluminense.

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

Ao Dr. Jean Ometto e ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, pelas análises de isótopos estáveis.

RESUMO

LIMA, Vinicius Neres de. Estudo de estruturas tróficas e de impactos antropogênicos em córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu: isótopos estáveis. 2009. 51f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Usamos a distribuição natural dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio para investigar qual é o principal recurso alimentar basal para as teias tróficas dos córregos florestados do sistema hidrográfico Guapi-Macacu e avaliamos se os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio de consumidores aquáticos respondem ao uso e ocupação do solo local neste sistema hidrográfico. As hipóteses do presente trabalho são: (1) a principal fonte de energia para os animais de córregos florestados é fornecida pela produção autóctone, o perifíton; (2) as $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores aquáticos são relacionadas positivamente com as percentagens das áreas impactadas por agricultura, pastagem e ocupação urbana. Coletamos perifíton, matéria orgânica particulada fina e animais em vinte e um córregos para análise de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio. Usamos fotos aéreas para classificar e calcular a área de uso antrópico em um raio de duzentos metros das coordenadas geográficas do ponto de coleta. O perifíton foi o recurso basal para: os peixes predadores, *Characidium* sp., *Rhamdioglanis* sp., *Trichomycterus* sp.; o peixe onívoro *Phalloceros caudimaculatus*; o peixe pastador, *Schizolecis guntheri*; o camarão onívoro, *Macrobrachium potiuna*; os caranguejos onívoros, *Trichodactylus* sp.; os Plecoptera predadores, *Anacroneuria* sp.; os Odonata predadores, *Aeshnidae* sp. e *Libellulidae* sp. A matéria proveniente da vegetação terrestre foi o principal recurso dos Trichoptera cortador e coletor-filtrador *Phylloicus* sp. e *Smicridea* sp., respectivamente. A $\delta^{13}\text{C}$ dos *Rhamdioglanis* sp. foi marginalmente relacionada com a percentagem da área de impacto antrópico ($p=0,072$; $N=6$). As $\delta^{13}\text{C}$ dos *Anacroneuria* sp., dos *Smicridea* sp., dos *Characidium* sp., dos Hypoptomatinae, dos *Macrobrachium* spp., dos *Phalloceros caudimaculatus*, dos *Scleromystax barbatus* e dos *Trichomycterus* sp. não foram relacionadas com a percentagem da área impactada. Apenas os *Macrobrachium* spp. ($p=0,052$; $N=11$) e os *S. barbatus* ($p=0,069$; $N=6$) tiveram suas $\delta^{15}\text{N}$ marginalmente relacionadas com a percentagem da área de impactada. Estes resultados sugerem que a $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores aquáticos não foram bons indicadores de impacto local no sistema hidrográfico Guapi-Macacu.

Palavras-chave: Estrutura trófica. Impactos antropogênicos. Isótopos estáveis. Uso e ocupação do solo. Consumidores aquáticos.

ABSTRACT

We used the natural distribution of stable isotopes of carbon and nitrogen to investigate the principal basal food resources for the food web of the forested streams of the Guapi-Macacu watershed system and we evaluated if the stable isotopes of carbon and nitrogen of aquatic consumers responded to the land use and occupation in the catchment. The hypotheses of the present work are: (1) the principal energy source for the animals from forested streams comes from autochthonous production, the periphyton; (2) the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of the aquatic consumers are positively related to the percentage of the impacted areas by agriculture, pasture and urban occupation. We collected periphyton, fine particulate organic matter and animals in twenty one streams for stable isotopes analyses of carbon and nitrogen. We used aerial photos to classify and calculate the area of human use in a radius of two hundred meters from the geographic coordinate of the collection point. Periphyton was the basal resource for: the predatory fish *Characidium* sp., *Rhamdioglanis* sp., *Trichomycterus* sp.; the omnivorous fish *Phalloceros caudimaculatus*; the grazer fish, *Schizolecis guntheri*; the omnivore shrimp, *Macrobrachium potiuna*; the omnivore crab, *Trichodactylus* sp.; the predators Plecoptera, *Anacroneuria* sp.; the predators Odonata, *Aeshnidae* sp. e *Libellulidae* sp.. The material proceeding from terrestrial vegetation was the principal source of the scraper and collector-filter Trichoptera, *Phylloicus* sp. and *Smicridea* sp., respectively. The $\delta^{13}\text{C}$ of *Rhamdioglanis* sp. was marginally related to the percentage of human impact area ($p=0,072$; $N=6$). The $\delta^{13}\text{C}$ of the *Anacroneuria* sp., *Smicridea* sp., *Characidium* sp., Hypoptomatinae, *Macrobrachium* spp., *Phalloceros caudimaculatus*, *Scleromystax barbatus* and the *Trichomycterus* sp. were not related to the percentage of the impacted area. Only the *Macrobrachium* sp. ($p=0,052$; $N=11$) and the *S. barbatus* ($p=0,069$; $N=6$) had their $\delta^{15}\text{N}$ marginally related to the percentage of the impacted area. These results suggest that the $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ of the aquatic consumers were not good indicators of local impact in the Guapi-Macacu watershed system.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| | INTRODUÇÃO | 8 |
| 1 | ISÓTOPOS ESTÁVEIS | 9 |
| 1.1 | Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos | 10 |
| 1.2 | Isótopos estáveis e impactos antropogênico em córregos | 13 |
| 1.3 | Objetivos | 15 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS | 17 |
| 2.1 | Área de Estudo | 17 |
| 2.2 | Atributos das micro-bacias e dos canais | 19 |
| 2.3 | Coleta e Preparação das amostras | 20 |
| 2.4 | Análise dos dados | 21 |
| 2.4.1 | <u>Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos</u> | 21 |
| 2.4.2 | <u>Isótopos estáveis e impactos antropogênico em córregos</u> | 22 |
| 3 | RESULTADOS | 22 |
| 3.1 | Atributos das micro-bacias e dos canais | 22 |
| 3.2 | Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos | 23 |
| 3.3 | Isótopos estáveis e impactos antropogênico em córregos | 30 |
| 4 | DISCUSSÃO | 33 |
| 4.1 | Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos | 33 |
| 4.2 | Isótopos estáveis e impactos antropogênico em córregos | 35 |
| 5 | CONCLUSÃO | 37 |
| | REFERÊNCIAS | 38 |
| | APÊNDICE A – Fotos de alguns dos pontos de coleta | 45 |
| | APÊNDICE B – Fotos dos consumidores | 46 |
| | APÊNDICE C – Tabela das $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (fluxo de energia)..... | 47 |
| | APÊNDICE D – Tabela das $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (impactos)..... | 49 |
| | APÊNDICE E – Tabela dos atributos da micro-bacia e dos córregos | 51 |

INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata da: (1) utilização da metodologia de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio para traçar os caminhos da energia e matéria nas cadeias tróficas de córregos florestados e sombreados do sistema hidrográfico Guapi-Macacu e (2) utilização e avaliação da metodologia de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio de consumidores aquáticos como variável resposta ao uso e ocupação do solo próximo aos córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu. Este estudo faz parte do Projeto Entre Serras e Águas: Consolidação do Corredor Central Fluminense que foi desenvolvido para a elaboração do plano de manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Rio Macacu, coordenado pelo Instituto BioAtlântica (IBIO). Além do presente trabalho os seguintes trabalhos também integram o projeto: (1) a tese de doutorado de Andréa Franco de Oliveira, sobre avaliação de saúde de rios usando geotecnologia; (2) a dissertação de mestrado de Fausto Machado da Silva, sobre a utilização dos isótopos estáveis do perifíton como um bioindicador, e (3) a dissertação de mestrado de Renata Bley Oliveira, sobre desenvolvimento de um índice multimétrico rápido para sistema hidrográfico Guapi-Macacu. Alguns dados que compõem o presente trabalho foram cedidos gentilmente por eles.

1 ISÓTOPOS ESTÁVEIS

Nas últimas décadas, ecólogos têm usado a distribuição natural dos isótopos estáveis para traçar as ligações e as origens da matéria orgânica na teia trófica (Mulholland *et al.*, 2000; Schindler e Lubetkin, 2004; Thompson *et al.*, 2005). Os isótopos são formas do mesmo elemento químico que diferem no número de nêutrons no núcleo. Até o momento cientistas reconhecem ou suspeitam que existam 120 elementos químicos e 3100 isótopos no planeta Terra. Destes 3100 isótopos, 283 são estáveis, ou seja, não sofrem decaimento radioativo e não liberam partículas. Os isótopos estáveis, diferente dos isótopos radioativos, não oferecem perigo à saúde humana (Fry, 2006).

Os isótopos estáveis de carbono (C) e nitrogênio (N) são amplamente utilizados nos estudos de redes tróficas. Ambos os elementos possuem dois isótopos estáveis. O carbono “leve” (^{12}C) de número atômico 12 (6 prótons e 6 nêutrons) é o isótopo de carbono estável mais abundante na Terra, contribuindo com 98,89% do carbono total do planeta. O carbono “pesado” tem número atômico 13 (6 prótons e 7 nêutrons) e sua abundância é 1,11%. O nitrogênio “leve” (^{14}N) de número atômico 14 (7 prótons e 7 nêutrons) responde por 99,64% da abundância do nitrogênio estável da Terra, sendo o restante nitrogênio “pesado” de número atômico 15 (6 prótons e 8 nêutrons) (Fry, 2006).

A maioria dos estudos de ecologia expressa a composição isotópica, também chamado de valor isotópico ou assinatura isotópica, da amostra em termos de um valor- δ (valor delta). A composição isotópica é obtida dividindo a razão isotópica da amostra pela razão isotópica de um padrão internacionalmente aceito. As composições isotópicas de carbono e nitrogênio são expressas em partes por mil e são calculados da seguinte maneira, respectivamente:

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

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\left(\frac{^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{amostra}}}{^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{padrão}}} \right) - 1 \right] \times 10^3 \quad (\text{Eq. 2})$$

onde, $\delta^{13}\text{C}$ é a composição isotópica de carbono da amostra e a $\delta^{15}\text{N}$ é a composição isotópica de nitrogênio da amostra; as razões $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}_{\text{amostra}}$ e $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{amostra}}$ são as proporções de ^{13}C por ^{12}C e de ^{15}N por ^{14}N da amostra, respectivamente; e as razões $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}_{\text{padrão}}$ e $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}_{\text{padrão}}$ são as proporções de ^{13}C

por ^{12}C e de ^{15}N por ^{14}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; Schindler e Lubedtkin, 2004; Ometto *et al.*, 2005; Fry, 2006; Hershey *et al.*, 2007).

1.1 Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos

Redes tróficas são modelos do fluxo de energia e matéria na comunidade resultante das interações entre consumidor e recurso (Schindler e Lubetkin, 2004). Segundo Thorp *et al.* (1998), a importância relativa das numerosas fontes de matéria orgânica para a rede trófica de rios é pouco entendida. Os dados existentes são insuficientes para avaliar acuradamente a importância da matéria orgânica autóctone (principalmente algas) e alóctone (vegetação terrestre) para os animais aquáticos (Thorp e DeLong, 2002). A investigação da composição isotópica do tecido do consumidor permite a determinação da contribuição relativa das potenciais fontes alimentares basais na sua dieta porque o fracionamento dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio é previsível (Minagawa e Wada, 1984; Peterson e Fry, 1987; Vander Zanden e Rasmussen, 2001). Um fracionamento isotópico origina-se, na maioria das reações bioquímicas, quando moléculas similares de massas levemente diferentes reagem em diferentes taxas (Peterson e Fry, 1987), geralmente os isótopos pesados reagem mais lentamente que os leves.

Plantas de ciclo fotossintético C_3 , C_4 e algas têm $\delta^{13}\text{C}$ diferentes, devido ao fracionamento isotópico. A fixação de carbono pelas plantas do ciclo fotossintético C_3 envolve um fracionamento de aproximadamente -21‰ entre o CO_2 atmosférico (que tem $\delta^{13}\text{C}$ igual a -7‰) e o carbono da planta (que tem $\delta^{13}\text{C}$ aproximadamente de -28‰). A fixação de carbono pelas plantas C_4 envolve um fracionamento de aproximadamente -6‰ , e o $\delta^{13}\text{C}$ dessas plantas é aproximadamente -13‰ (Peterson e Fry, 1987; Schindler e Lubetkin, 2004; Fry, 2006). A fixação de carbono pelo perifíton (O perifíton é uma matriz complexa composto por algas, bactérias, protozoários e matéria amorfa que crescem em um substrato rochoso.), frequentemente, envolve relativamente baixo fracionamento devido aos efeitos do

fluxo laminar (*laminar boundary layer*) que reduz a disponibilidade de carbono próximo ao substrato duro (Finlay, Power e Cabana, 1999). Assim a $\delta^{13}\text{C}$ do perifíton é similar a $\delta^{13}\text{C}$ do carbono inorgânico próximo ao substrato. Pouco fracionamento de nitrogênio ocorre durante a sua assimilação pelas plantas porque o nitrogênio frequentemente é um nutriente limitante para o crescimento da planta e assim todo o nitrogênio disponível é usado (Peterson e Fry, 1987).

A composição isotópica de um animal é determinada principalmente pela sua dieta (Fry, 1988). Porém, algumas reações biológicas subordinadas à digestão, assimilação e excreção provocam algumas modificações da composição isotópica do consumidor em relação a sua dieta, ou seja, ocorre um fracionamento isotópico (Peterson e Fry, 1987; Fry, 1988, 2006). Os processos fisiológicos de respiração e excreção liberam $^{12}\text{CO}_2$ mais rapidamente que o $^{13}\text{CO}_2$, deixando nos tecidos dos organismos uma $\delta^{13}\text{C}$ entre 0,0 e 1,0 ‰ mais enriquecida do que da sua dieta (Peterson e Fry, 1987; Vander Zanden e Rasmussen, 1999; Schindler e Lubetkin, 2004). Há um enriquecimento da $\delta^{15}\text{N}$ dos animais em relação a sua dieta, devido à excreção preferencial de ^{14}N -uréia e ^{14}N -amônia (^{14}N - NH_3) sobre ^{15}N -uréia e ^{15}N -amônia (^{15}N - NH_3) (Peterson e Fry, 1987; Vander Zanden e Rasmussen, 1999; Schindler e Lubetkin, 2004). Meta-análises de experimentos com animais de ambientes aquáticos com dieta controlada reportaram que o enriquecimento da $\delta^{15}\text{N}$ destes animais em relação a sua dieta pode ser igual a 2,3 ‰ com erro padrão de 0,28 ‰ (McCutchan *et al.*, 2003), ou igual a 2,98 ‰ (Vanderkluft e Ponsard, 2003). Post (2002) reportou um enriquecimento de 3,42 ‰ da $\delta^{15}\text{N}$ de animais aquáticos em relação a sua dieta a partir de trabalhos próprios e de outros, no laboratório e *in situ*. Devido a esta variação, consideraremos um enriquecimento entre 2 a 4 ‰ da $\delta^{15}\text{N}$ dos animais em relação a sua dieta.

Em suma, a $\delta^{13}\text{C}$ de um recurso alimentar e conservada nas transferências tróficas, podendo haver um pequeno enriquecimento de 1,0 ‰ por nível trófico. Enquanto, a $\delta^{15}\text{N}$ dos animais apresenta um enriquecimento entre 2 a 4 ‰ em relação ao seu recurso alimentar. Desta forma, os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio registram tanto as informações sobre as fontes de energia que sustentam a cadeia trófica quanto o nível trófico dos animais (Peterson e Fry, 1987; Schindler e Lubetkin, 2004; Fry, 2006).

A utilização dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio tem contribuído para os testes das previsões das três teorias correntes sobre o fluxo de energia e

biomassa nas cadeias tróficas de rios: a Conceito do Contínuo de Rio ou *River Continuum Concept* (RCC) (Vannote *et al.*, 1980), a Teoria dos Pulsos de Inundação ou *Flood Pulse Concept* (FPC) (Junk *et al.*, 1989) e o Modelo de Produtividade de Rio ou *Riverine Productivity Model* (RPM) (Thorp e Delong, 1994).

Segundo o RCC: (1) Em rios de pequeno porte (= córregos, ordem 1-3) o material orgânico particulado grosso (CPOM, > 1 mm), fino (FPOM, 50 µm – 1 mm) e ultrafino (UPOM, 0.5 – 50 µm) derivados da vegetação ripária são os recursos mais importantes na cadeia trófica. A produção das algas é reduzida devido ao sombreamento provocado pela vegetação ripária, e os grupos funcionais de alimentação dominantes são os cortadores e os coletores, refletindo assim, a importância da vegetação ripária nestes rios; (2) Em rios de médio porte (ordem 4-6) a redução da importância da entrada do material orgânico terrestre coincide com o aumento da produção algal e do aumento do material orgânico transportado derivado do processamento da vegetação terrestre a montante. Os pastadores e coletores são os grupos funcionais de alimentação dominantes; e (3) rios de grande porte (ordem > 6) recebem grandes quantidades de material orgânico derivado do processamento da vegetação terrestre a montante. O efeito de sombreamento pela vegetação ripária é insignificante, mas a produção algal é limitada pela profundidade e turbidez do rio (Vannote *et al.*, 1980).

O FPC postula, para rios de planície de inundação, que a biomassa animal é sustentada direta ou indiretamente pela produção na área alagada e não pela matéria orgânica transportada de tributários a montante. Através de migrações laterais, os animais exploram novos habitats e recursos nas áreas alagadas durante as cheias. Os recursos são principalmente sementes, frutas, folhas e insetos que caem no chão e compõem a serrapilheira da área que de tempos em tempos é inundada (Junk *et al.*, 1989).

Em contraste com o RCC e FPC, o RPM prevê que as principais fontes de matéria orgânica assimilada pelos animais em rios de grande porte são derivadas da produção autóctone (fitoplâncton, algas bentônicas, plantas vasculares aquáticas e musgo) ou da entrada direta (por ex. de folhas) da vegetação ripária (Thorp e Delong, 1994, 2002). A partir de evidências de isótopos estáveis, Thorp *et al.* (1998) concluíram que plantas C₃ e C₄ da vegetação ripária são menos importantes do que eles hipotetizavam. Segundo o RPM, o fato da matéria orgânica autóctone ser pouco abundante é compensado pelo fato dela ser mais lábil que a matéria orgânica

transportada derivada do processamento da vegetação terrestre a montante e na planície de inundação (Thorp *et al.*, 1998). Segundo Wetzel (1983 apud Thorp *et al.*, 1998) a razão C:N aumenta durante a decomposição da matéria orgânica, e o material autóctone tende a ter a razão C:N de aproximadamente 12:1, enquanto o material alóctone esta razão é de 45:1 a 50:1.

As evidências de isótopos estáveis têm confirmado que as algas são importantes fontes de energia e biomassa para os animais nas teias tróficas de planícies inundáveis do Rio Orinoco (Hamilton, Lewis e Sippel, 1992), Rio Amazonas no Brasil (Araujo-Lima *et al.*, 1986; Forsberg *et al.*, 1993), Rio Ohio nos Estados Unidos (Thorp *et al.*, 1998) e Rio Cooper na Austrália (Bunn, Davies e Winning, 2003). Em córregos tropicais, as evidências de isótopos estáveis também indicam a importância das algas nas cadeias tróficas em Hong Kong (Salas e Dudgeon, 2001; Mantel, Salas e Dudgeon, 2004), Porto Rico (March e Pringle, 2003), Austrália (Douglas, Bunn e Davies, 2005) e no Rio de Janeiro, Brasil (Detweiler, 2005; Detweiler *et al.*, 2005; Brito *et al.* 2006a,b). Apesar destes resultados, o paradigma para os córregos sombreados em regiões temperadas é que a matéria orgânica alóctone é a principal fonte de energia e biomassa para os animais. Mais estudos, principalmente comparativos, são necessários para elucidar se as algas são as principais fontes primárias de energia e matéria para a teia trófica de córregos, e se isto é um fenômeno especificamente tropical ou uma tendência mais acentuada nos trópicos (Moulton 2006a,b).

1.2 Isótopos estáveis e impactos antropogênicos em córregos

Os isótopos estáveis podem ser utilizados para avaliar a saúde do ecossistema aquático traçando a origem e o destino do carbono (Martinelli *et al.*, 1999; Detweiler, 2005) e do nitrogênio (Cabana e Rasmussen, 1996; McClelland, Valiela e Michener, 1997; Harrington *et al.*, 1998; Contanzo *et al.*, 2001; Hebert e Wassenaar, 2001; Mayer *et al.*, 2002; Cole *et al.*, 2004; Anderson e Cabana, 2005, 2006; Detweiler, 2005; Bannon e Roman, 2008) provenientes do uso e ocupação do

solo, pois eles geralmente são mais enriquecidos nos isótopos pesados do que os provenientes da floresta.

O carbono e o nitrogênio provenientes do uso e ocupação do solo (por exemplo, agricultura, pastagem e ocupação urbana) podem chegar aos rios e córregos pelos canos de esgoto, pelo escoamento superficial ou pela contaminação do lençol freático (Closs, Downes e Boulton, 2004). Estes materiais podem entrar na teia trófica aquática de duas formas: (1) sendo assimilados por algas e bactérias na forma inorgânica (CO_2 , NH_4^+ ou NO_3^-) após a mineralização do carbono orgânico ou do nitrogênio orgânico (Cole *et al.*, 2004); ou (2) sendo ingeridos pelos animais na forma particulada e sendo passados para os níveis tróficos superiores por transferências tróficas (McClelland, Valiela e Michener, 1997; deBruyn e Rasmussen, 2002).

O nitrato (NO_3^-) derivado dos esgotos e resíduos animais é relativamente mais enriquecido em ^{15}N do que o NO_3^- derivado de solos naturais (Macko e Ostrom, 1994 *apud* McClelland e Valiela, 1998). O nitrogênio inorgânico deixa a fossa séptica predominantemente na forma de íon amônio (NH_4^+) (Valiela *et al.*, 1997), com o $\delta^{15}\text{N} \sim 6 \text{ ‰}$ (McClelland e Valiela, 1998). No processo de escoamento e infiltração, este NH_4^+ torna-se mais enriquecido em ^{15}N , pois a volatilização remove mais rapidamente $^{14}\text{NH}_3$ (amônia) do que $^{15}\text{NH}_3$ (McClelland e Valiela, 1998). O NH_4^+ remanescente pode ser convertido em NO_3^- por bactérias autotróficas. E finalmente, durante a desnitrificação, as bactérias desnitrificantes reduzem mais rapidamente o $^{14}\text{NO}_3^-$ do que $^{15}\text{NO}_3^-$ (McClelland e Valiela, 1998). Assim, o NO_3^- remanescente torna-se mais enriquecido, com uma $\delta^{15}\text{N}$ entre +10 a +20 ‰ (McClelland, Valiela e Michener, 1997), enquanto a $\delta^{15}\text{N}$ do NO_3^- de córregos com a bacia hidrográfica florestada está entre +2 e +8 ‰ (McClelland, Valiela and Michener, 1997; Mayer *et al.*, 2002). Harrington *et al.* (1998) mostraram que áreas dominadas por pasto e agricultura que utilizam adubo animal como fertilizantes também apresentaram as $\delta^{15}\text{N}$ de NO_3^- , de detritos e de consumidores mais enriquecidas em ^{15}N do que as de áreas florestadas.

Os isótopos estáveis de carbono são menos utilizados do que os de nitrogênio na detecção de impacto antrópico. Entretanto, impactos como esgotos, fezes de animais, agricultura de plantas C_4 e pastagem (gramíneas são plantas C_4) liberam no rio carbono orgânico e inorgânico mais enriquecido em ^{13}C do que os liberados pela floresta (plantas C_3 , $\delta^{13}\text{C}$ entre -30 a -28 ‰). O carbono proveniente

de esgoto tem a $\delta^{13}\text{C}$ média entre -23,5 a -21,8 ‰ (Gearing, 1991; deBruyn e Rasmussem, 2002; Ulseth e Hershey, 2005). O esgoto *in natura* despejado no Rio Paineiras, Rio de Janeiro tem a $\delta^{13}\text{C}$ média igual a -23,4 ‰ (Detweiler, 2005). Martinelli *et al.* (1999) mostraram relação positiva significativa entre a $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica particulada e a percentagem da bacia coberta por planta C_4 (cana-de-açúcar, milho e pastagem, $\delta^{13}\text{C}$ aproximadamente -13 ‰).

Desta forma, o uso dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio pode ser uma ferramenta para a avaliação de impacto incipiente, ou seja, antes que o impacto cause mudanças na estrutura da comunidade. Rastrear os caminhos do carbono e do nitrogênio é uma medida direta de processos do ecossistema (Bunn e Davis, 2000). Mesmo com alguns trabalhos mostrando que as medidas de processos do ecossistema foram mais sensíveis ao impacto do que as medidas estruturais (Bunn e Davies, 2000; Moulton e Magalhães, 2003), as medidas de processos do ecossistema são frequentemente negligenciados nos programas de avaliação da saúde de rios (Bunn e Davies, 2000; Paul e Meyer, 2001; Moulton e Magalhães, 2003).

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral: (1) descrever a principal fonte de energia para os consumidores, principalmente predadores, de córregos florestados e sombreados do sistema hidrográfico Guapi-Macacu; (2) examinar a relação entre o $\delta^{15}\text{N}$ de consumidores aquáticos e o uso e ocupação do solo nas proximidades de córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu; (3) examinar a relação entre o $\delta^{13}\text{C}$ de consumidores aquáticos e o uso e ocupação do solo nas proximidades de córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu; e (4) avaliar a utilização da metodologia de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio de consumidores aquáticos como variável resposta ao uso e ocupação do solo nas proximidades de córregos do sistema hidrográfico Guapi-Macacu.

As hipóteses do presente trabalho são: (1) a principal fonte de energia para os animais de córregos florestados é fornecida pela produção autóctone, o perífíton (Fig. 1); (2) as $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores aquáticos são relacionadas positivamente

com as percentagens das áreas de agricultura, pastagem e de ocupação urbana do entorno; e (3) as $\delta^{13}\text{C}$ dos consumidores aquáticos são relacionadas positivamente com as percentagens das áreas de agricultura, pastagem e de ocupação urbana do entorno.

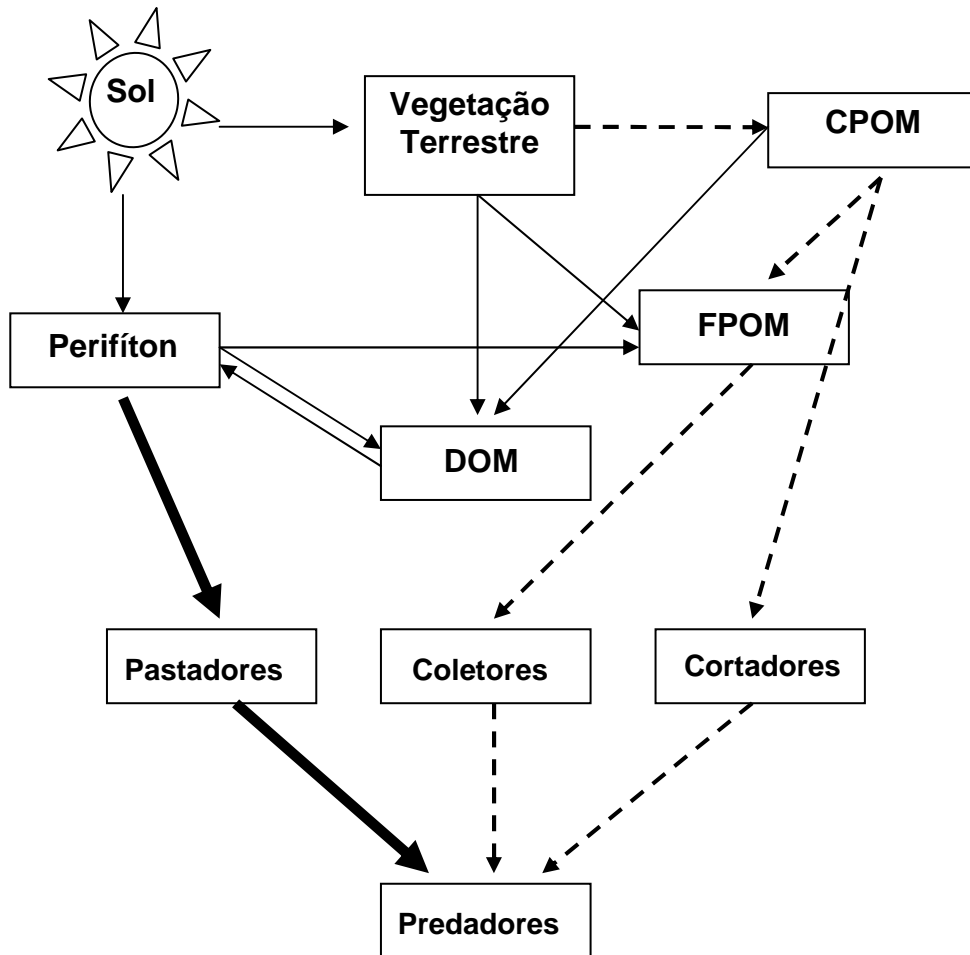


Figura 1: Fluxo de energia em córregos.

Nota: CPOM, FPOM e DOM são as matérias orgânicas: particulada grossa, particulada fina e dissolvida, respectivamente. Setas tracejadas - modelo proposto pelo RCC para o fluxo de energia em córregos florestados. Setas grossas – novo modelo proposto pelo presente trabalho para o fluxo de energia em córregos florestados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Este estudo foi realizado em 21 córregos (Apêndice A), de primeira a terceira ordem, do sistema Hidrográfico Guapi-Macacu, Rio de Janeiro, Brasil, durante os meses de fevereiro e março de 2007 (Fig. 2). Este sistema hidrográfico é composto pelas sub-bacias do Rio Guapimirim, no município de Guapimirim, do Rio Guapiaçu e Rio Macacu, ambos localizados no município de Cachoeiras de Macacu.

Segundo o Estudo Socioeconômico 2003 Guapimirim (Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro [TCE-RJ], 2003), a população de Guapimirim estimada em 2002 era de 40.325 pessoas. A área total de 361,9 Km², segundo o levantamento de 2001, da seguinte maneira: 24% de formações florestais, 11% de formações pioneiras, 11% de vegetação secundária, 24% de área agrícola, 16% de campo/pastagem e 13,2% de área urbana. No ano 2000, a rede coletora de esgoto sanitário chegava 21,8% dos domicílios do município, 47,0% tinham fossa séptica, 12,3% utilizavam fossa rudimentar, 15,9% estavam ligados a uma vala e 2,4% eram lançados diretamente em um corpo d'água receptor. O esgoto coletado não teve seu tratamento ou destino reportados.

Segundo o Estudo socioeconômico 2004 Cachoeiras de Macacu (TCE 2004), a população de Cachoeiras de Macacu estimada em 2003 era de 51.111 pessoas. A área total de 956,8 Km², distribuída, segundo o levantamento de 2001, da seguinte maneira: 38% de formações florestais, 26% de vegetação secundária, 13% de área agrícola, 21% de campo/pastagem e 1,6% de área urbana. No ano 2000, a rede coletora de esgoto sanitário chegava 46,8% dos domicílios do município, 18,3% tinham fossa séptica, 19,8% utilizavam fossa rudimentar, 7,4% estavam ligados a uma vala e 7,2% eram lançados diretamente em um corpo d'água receptor. O esgoto coletado não teve seu tratamento ou destino reportados.

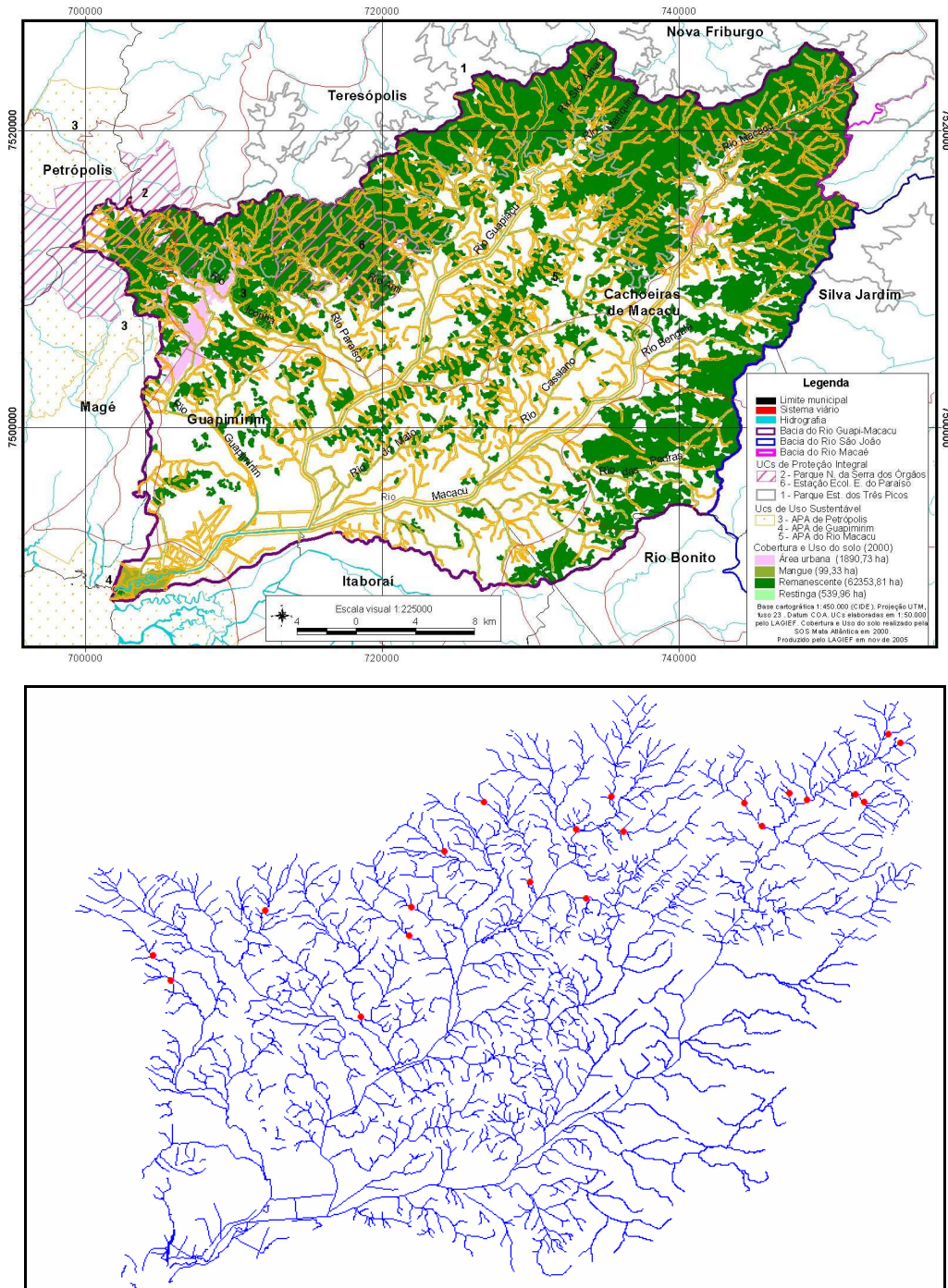


Figura 2: Sistema Hidrográfico de Guapi-Macacu - disposição das Unidades de Conservação Federais e Estaduais e dados de Uso e Cobertura do Solo (acima) e os pontos de coleta em vermelho (abaixo) (Oliveira, não publicado).

2.2 Atributos das micro-bacias e dos córregos

Obtivemos as coordenadas geográficas de cada ponto de coleta utilizando um sistema de posição global (GPS). Utilizamos fotos aéreas para classificar e calcular as percentagens de cobertura vegetal e de uso e ocupação do solo em uma área circular de 200 metros de distância das coordenadas dos pontos de coleta. Não tínhamos as fotos aéreas dos pontos Duas Barras e Estreito, e por isso usamos o mapa temático de cobertura vegetal e uso da terra da área da EMBRAPA Solos, para calcularmos as percentagens de cobertura vegetal e uso da terra. Escolhemos uma área de 200m de raio ao redor do ponto de coleta, pois os elementos da paisagem próximos ao córrego têm mais influência neste ecossistema do que os elementos mais afastados da bacia hidrográfica (Strayer *et al.*, 2003). Agrupamos a cobertura vegetal e o uso da terra em duas categorias: (1) vegetação, que engloba vegetação inicial, média e avançada e (2) impacto, que engloba as áreas agrícolas, campos antrópicos, pastos e pastagens e as áreas de ocupação urbana, áreas antrópicas e estradas. Por se tratar de impacto no entorno de cada ponto de coleta, daqui por diante chamaremos de impacto local. Determinamos as altitudes e as ordens dos córregos e calculamos as áreas de cada micro-bacia a montante dos pontos de coleta utilizando a base topográfica da área (escala 1:50.000) e o modelo digital de elevação de terrenos da Embrapa Solos. Utilizamos os *softwares* ArcGis 9.2. e ArcView para este geoprocessamento (Apêndice E).

Medimos a vazão, utilizando o método de injeção de sal (*slug-injection method*) (Gordon *et al.*, 2004) e a medição de sua diluição a jusante com um condutímetro. A vazão é calculada a partir da integração da curva da condutividade por tempo. Fizemos 6 transecções ao longo dos trechos amostrados para medirmos o dossel (com um spherical densiometer), a largura média e a profundidade média de cada canal. Medimos o pH, a condutividade e a temperatura dos pontos de coleta utilizando uma sonda multiparamétrica Hydrolab MS5. Quantificamos o peso seco de sedimentos em suspensão filtrando entre 10 a 20 L de água por ponto em filtros de sílica GF/D *Whatman* e pesando os filtros após a secagem na estufa por 48 horas a 60°C.

2.3 Coleta e Preparação das amostras

No presente trabalho, priorizamos as análises de peixes e camarões (Apêndice B), pois eles têm uma taxa de reposição (*turnover*) de tecido mais lenta do que a dos insetos aquáticos, e isso permite composições isotópicas mais consistentes temporalmente (Cabana e Rasmussen, 1996). Também priorizamos os animais predadores, pois eles integram toda a teia trófica (Fig. 1). Coletamos os animais utilizando puçás e para peixes e camarões, utilizamos também armadilhas tipo funil com isca (comida para gato sabor peixe), ao longo de uma extensão de aproximadamente 50 metros em cada ponto. Os animais foram conservados em álcool 70% e identificados. Secamos por 48 horas a 60°C as amostras da musculatura lateral dos peixes, da musculatura abdominal dos camarões, da musculatura da garra dos caranguejos e todo o corpo sem o trato digestório dos insetos aquáticos para as análises isotópicas. Colocamos apenas um indivíduo por amostra de isótopos estáveis, fizemos de 1 a 4 amostras de isótopos por táxon por ponto. As análises isotópicas de carbono e nitrogênio das amostras foram feitas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) Universidade de São Paulo (USP). As composições isotópicas de carbono e nitrogênio foram calculadas utilizando, respectivamente, as equações 1 e 2 (ver pág. 10).

Os valores das composições isotópicas de carbono e nitrogênio do perifíton e do FPOM do local foram coletados no mesmo dia e cedidos gentilmente por Machado-Silva (não publicado) e Oliveira (não publicado). Machado-Silva raspou o perifíton de cinco pedras distribuídas ao acaso para compor uma amostra de isótopos por ponto. As amostras de perifíton foram filtradas em filtros de sílica GF/D *Whatman*. Oliveira filtrou entre 10 a 20 L de água por ponto em filtros de sílica GF/D *Whatman* para compor uma amostra de FPOM por ponto. As amostras de perifíton e as de FPOM foram deixadas na estufa por 48 horas a 60°C antes de serem enviadas para o CENA.

Utilizamos os valores de $\delta^{13}\text{C}$ de plantas terrestres (C_3) bem descrito na literatura de -30‰ (por ex., na bacia do rio Amazonas, Araujo-Lima *et al.*, 1986; Forsberg *et al.*, 1993; Leite *et al.*, 2002; na bacia do córrego Andorinha, RJ,

Detweiler, 2005; Brito *et al.*, 2006a; na bacia do rio Paineiras, RJ, Detweiler, 2005; em Hong Kong, Mantel, Salas e Dudgeon, 2004; e em Taiwan, Huang *et al.*, 2007.

2.4 Análise dos dados

2.4.1 Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos

Selecionamos apenas os pontos com 90% ou mais de vegetação para examinar a principal fonte de energia para os animais de córregos florestados. Para este exame utilizamos a representação gráfica das $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ (*biplot* de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$) dos consumidores e dos recursos (perifíton, FPOM, folhas da vegetação terrestre). O *biplot* de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ é muito utilizado na literatura para examinar importância relativa dos recursos basais (por ex., Fry, 1991; Thorp *et al.*, 1998; Peterson, 1999; Mulholland *et al.*, 2000; Benstead e Pringle, 2004; Brito *et al.*, 2006a; Northington e Hershey, 2006). Delimitamos as áreas no *biplot* de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ onde esperamos que os consumidores primários, os secundários e os terciários que têm o perifíton como recurso basal se encontrem, com base no enriquecimento a cada transferência trófica. Consideramos um enriquecimento a cada transferência trófica de 0 a 1 ‰ para a $\delta^{13}\text{C}$ e de 2 a 4 ‰ para o $\delta^{15}\text{N}$ com base nas meta-análises de Post (2002), McCutchan *et al.* (2003) e Vanderkliift e Ponsard (2003). Delimitamos a área no *biplot* de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ onde esperamos que os animais que consomem principalmente material proveniente de folhas da vegetação ripária se encontrem, considerando um enriquecimento de 0 a 3 ‰ para a $\delta^{13}\text{C}$ que engloba os consumidores primários, secundários e os terciários. Consumidores que estão equidistantes das duas áreas têm ambos os recursos, perifíton e vegetação terrestre, como fonte basal.

2.4.2 Isótopos estáveis e impactos antropogênico em córregos

Fizemos regressões lineares simples para examinarmos a relação entre $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ médios dos diferentes táxons de consumidores aquáticos por ponto *versus* as percentagens de impacto local. Utilizamos os táxons que ocorreram em pelo menos seis dos vinte e um pontos. Para compararmos a sensibilidade das $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ dos consumidores ao impacto local, também fizemos regressões lineares simples entre as variáveis dossel, logaritmo na base 10 dos sedimentos em suspensão, pH, temperatura e logaritmo na base 10 da condutividade vs. a percentagem de impacto local.

3 RESULTADOS

3.1 Atributos das micro-bacias e dos córregos

A área da micro-bacia a montante do ponto de coleta varia de 1 (Sete Quedas e Tim) a 46 Km². Há a predominância de córregos de terceira ordem. A vazão variou de 28 (Boca do Mato e Sete Quedas) a 1211 L/s (Duas Barras). O impacto local (200 m de raio do ponto de coleta) predominante é o agropecuário e varia de 0 (Caneca Fina, Coruja, Monte Olivetti e Sete Quedas) a 100% (Estreito). Cinco pontos apresentaram impactos urbanos iguais ou superiores a 10% (Caneca Fina, Mariquitas, Coruja, Boca do Mato e Renata) (Apêndice E). O dossel variou de 10 a 91% e teve uma relação positiva marginalmente significativa ($0,05 < p < 0,10$) com a percentagem de impacto total ($p=0,063$; $r=0,170$; $N=21$). O logaritmo na base 10 do sedimento em suspensão ($p < 0,001$; $r=0,634$; $N=19$), a temperatura ($p=0,003$; $r=0,388$; $N=21$) e o logaritmo da condutividade ($p=0,001$; $r=0,420$; $N=21$) aumentaram com a percentagem de impacto total. O pH apresentou uma tendência negativa não significativa com a percentagem de impacto total ($p=0,011$; $r=0,312$; $N=20$).

3.2 Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos

Seis pontos tiveram uma percentagem de cobertura vegetal igual ou superior a 90%, são eles: Alex, Caneca Fina, Macumba, Monte Olivetti, Prefeito e Sete Quedas. O dossel desses pontos variou de 77 a 87% e a ordem foi de 1º a 3º.

A $\delta^{13}\text{C}$ do perifíton variou de -25,42 a -19,66‰, valores distintos dos -30‰ da matéria proveniente da vegetação terrestre. O perifíton foi o recurso basal para: os peixes predadores, *Characidium* sp., *Rhamdioglanis* sp., *Trichomycterus* sp.; o peixe onívoro *Phalloceros caudimaculatus*; o peixe raspador, *Schizolecis guntheri*; o camarão onívoro, *Macrobrachium potiuna*; os caranguejos onívoros, *Trichodactylus* sp.; os Plecoptera predadores, *Anacroneuria* sp.; os Odonata predadores, *Aeshnidae* sp. e *Libellulidae* sp. A matéria proveniente da vegetação terrestre foi o principal recurso dos Trichoptera *Phylloicus* sp. (cortador) e *Smicridea* sp. (coletor-filtrador). Seguem os resultados dos fluxos de energia e matéria por ponto.

No ponto Alex (Fig. 3), córrego de 3º ordem e 77% de dossel, a $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton foi $-23,54\text{‰}$ e $1,53\text{‰}$, respectivamente. O perifíton foi o principal recurso basal para os peixes *Rhamdioglanis* e *Trichomycterus* e para os dois *Anacroneuria* mais à direita na figura 2. O *Trichomycterus* teve a $\delta^{13}\text{C}$ mais enriquecida do que o perifíton, pode ser que ele tenha consumido animais que consumiram um componente do perifíton mais enriquecido em $\delta^{13}\text{C}$ do que o perifíton como um todo. A $\delta^{13}\text{C}$ do FPOM foi mais enriquecida do que a matéria proveniente da vegetação terrestre, e assim concluímos que o perifíton contribuiu mais para o FPOM do que a vegetação terrestre. Os Trichoptera filtradores (*Smicridea*) e o cortador (*Phylloicus*) consumiram, principalmente, matéria proveniente da vegetação terrestre. O girino, Hylidae, também tem a matéria da vegetação terrestre como o seu principal recurso basal. Podemos classificar os peixes deste ponto como consumidores secundários ou terciários com base no enriquecimento das $\delta^{15}\text{N}$ dos peixes em relação ao seu recurso basal, e os Plecoptera podem ser classificados como consumidores secundários.

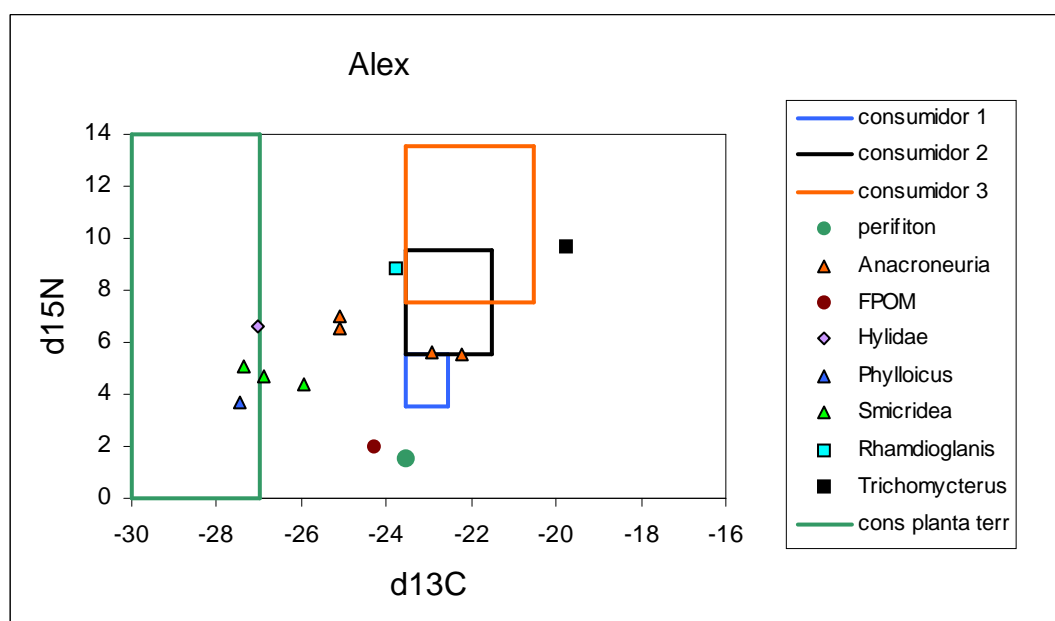


Figura 3: Biplot de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ do ponto Alex.

Nota: Consumidor 1 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários que consomem principalmente o perifíton se encontrem; consumidor 2 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores secundários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; consumidor 3 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores terciários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; e cons plantas terr = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários, secundários ou terciários que tem a matéria da vegetação terrestre como seu principal recurso basal se encontrem.

No ponto Caneca Fina (Fig. 4), córrego de 3º ordem e 87% de dossel, a $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton foi $-24,95 \text{ ‰}$ e $2,54 \text{ ‰}$, respectivamente. O perifíton foi o principal recurso basal para os peixes *Rhamdioglanis*, *Trichomycterus*, *Characidium*, *Phalloceros caudimaculatus* e para o camarão *Macrobrachium potiuna*. O peixe raspador *Schizolecis guntheri* teve a $\delta^{13}\text{C}$ mais enriquecida do que o perifíton, pode ser que ele tenha assimilado um componente do perifíton mais enriquecido em $\delta^{13}\text{C}$ do que o perifíton como um todo. Podemos classificar os peixes predadores e os onívoros e o camarão deste ponto como consumidores secundários ou terciários com base no enriquecimento das $\delta^{15}\text{N}$ dos peixes em relação ao seu recurso basal. O FPOM foi empobrecido em ^{13}C , concluímos que ele foi derivado da vegetação terrestre.

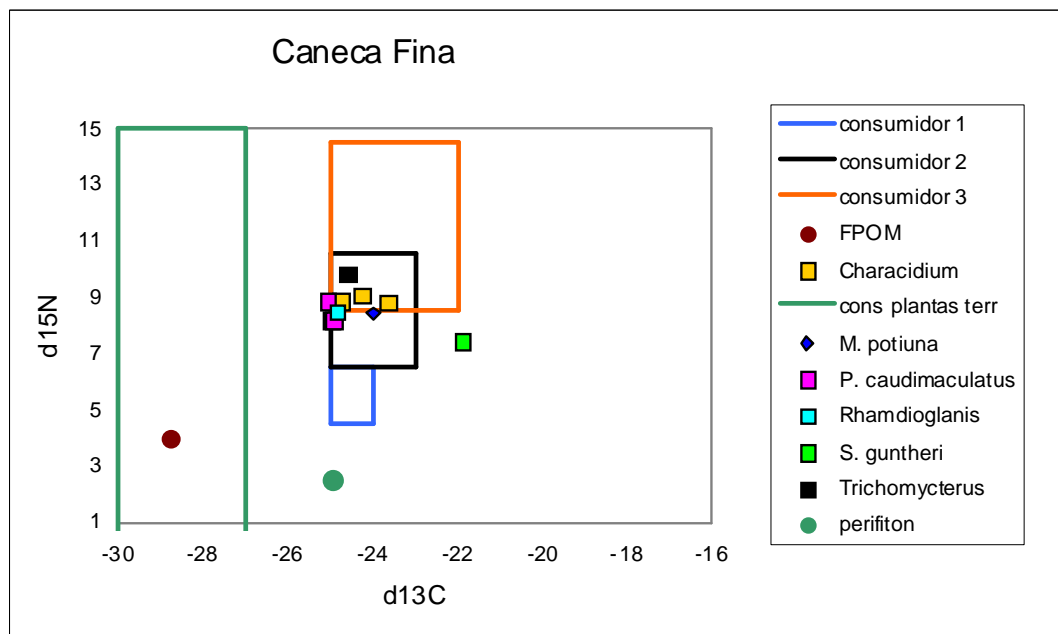


Figura 4: Biplot de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ do ponto Caneca Fina.

Nota: Consumidor 1 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários que consomem principalmente o perifíton se encontrem; consumidor 2 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores secundários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; consumidor 3 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores terciários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; e cons plantas terr = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários, secundários ou terciários que tem a matéria da vegetação terrestre como seu principal recurso basal se encontrem.

No ponto Macumba (Fig. 5), córrego de 2º ordem e 86% de dossel, a $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton foi $-25,55\text{‰}$ e $3,05\text{‰}$, respectivamente. O perifíton foi o principal recurso basal para os *Anacroneuria*, para o *Aeshnidae* e para os *Libellulidae*. Os *Smicridea* consumiram, principalmente, matéria proveniente da vegetação terrestre. Os *Anacroneuria* e principalmente os *Libellulidae* deste ponto tiveram um menor enriquecimento das $\delta^{15}\text{N}$ nas transferências tróficas do que o esperado para um predador. O FPOM foi empobrecido em ^{13}C , concluímos que ele foi derivado da vegetação terrestre.

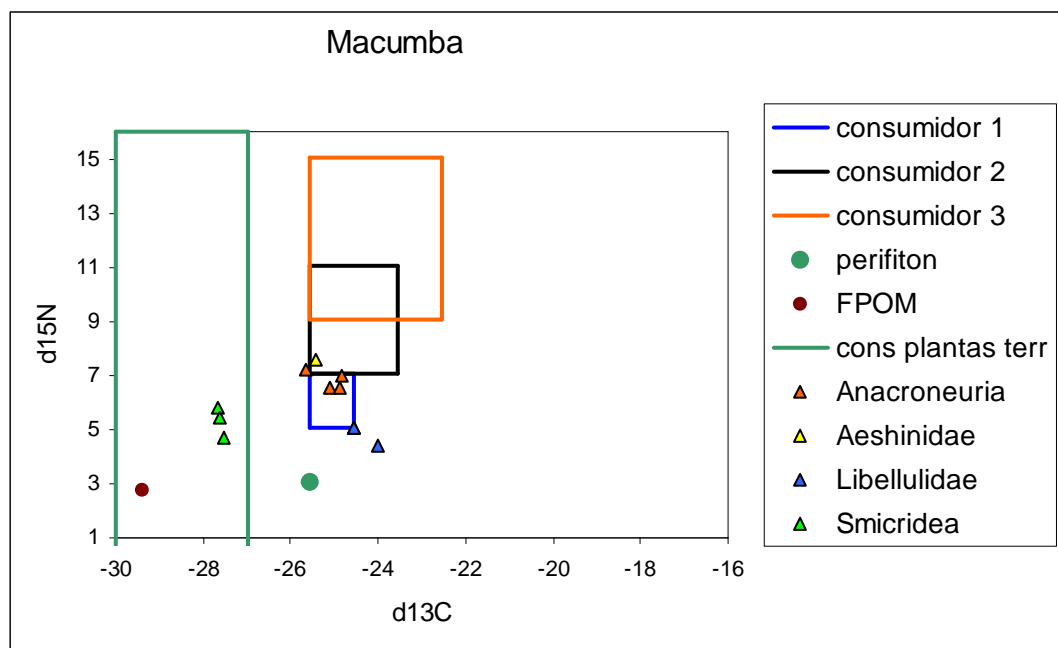


Figura 5: *Biplot* de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ do ponto Macumba.

Nota: Consumidor 1 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários que consomem principalmente o perifíton se encontrem; consumidor 2 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores secundários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; consumidor 3 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores terciários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; e cons plantas terr = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários, secundários ou terciários que tem a matéria da vegetação terrestre como seu principal recurso basal se encontrem.

No ponto Monte Olivetti (Fig. 6), córrego de 2º ordem e 81% de dossel, a $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton foi $-19,66\text{‰}$ e $1,31\text{‰}$, respectivamente. O perifíton foi o principal recurso basal para um dos *Trichomycterus*. Os *Characidium* e o outro *Trichomycterus* dependeram de ambos os recursos basais, perifíton e vegetação terrestre. A partir da $\delta^{15}\text{N}$ dos peixes deste ponto em relação à $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton eles podem ser classificados como consumidores secundários ou terciários.

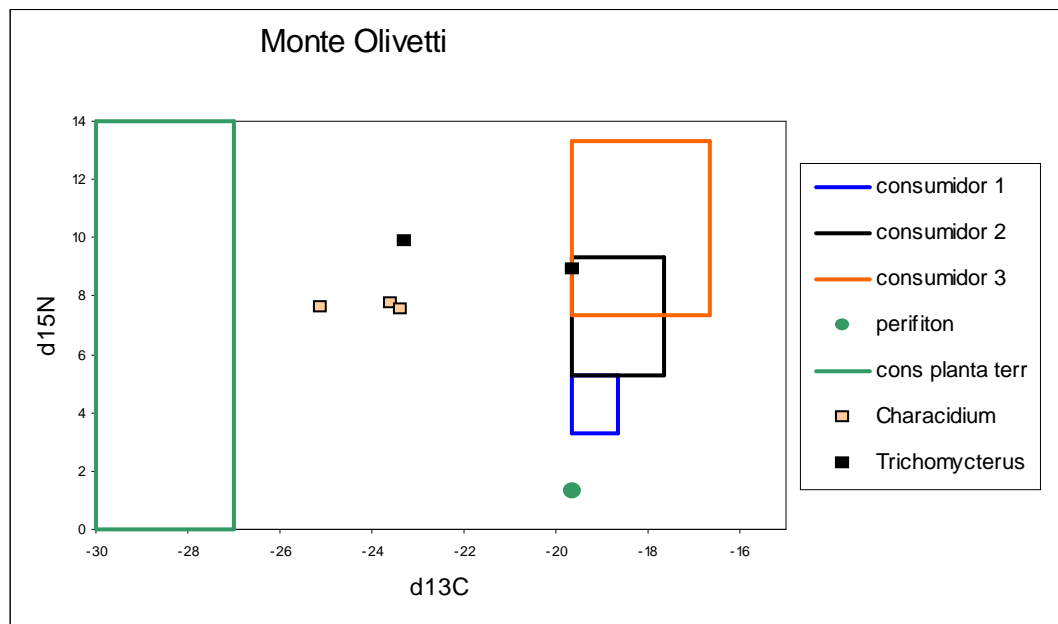


Figura 6: Biplot de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ do ponto Monte Olivetti.

Nota: Consumidor 1 = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores primários que consomem principalmente o perifíton se encontrem; consumidor 2 = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores secundários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; consumidor 3 = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores terciários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; e cons plantas terr = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores primários, secundários ou terciários que tem a matéria da vegetação terrestre como seu principal recurso basal se encontrem.

No ponto Prefeito (Fig. 7), córrego de 2º ordem e 77% de dossel, a $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton foi $-24,99\text{‰}$ e $2,67\text{‰}$, respectivamente. O perifíton foi o principal recurso basal para os peixes *Rhamdioglanis* e *Trichomycterus* e para o caranguejo *Trichodactylus*. O Trichoptera *Phylloicus* obteve o seu recurso de matéria proveniente da vegetação terrestre. Ambos os recursos, perifíton e vegetação terrestre, foram importantes para o filtrador *Smicridea* neste ponto. Podemos classificar o *Trichomycterus* e o *Rhamdioglanis* deste ponto como consumidores secundários ou terciários com base no enriquecimento das $\delta^{15}\text{N}$ destes peixes em relação ao seu recurso basal, e o *Trichodactylus*, como consumidor secundário. O FPOM foi empobrecido em ^{13}C , concluímos que ele foi derivado da vegetação terrestre.

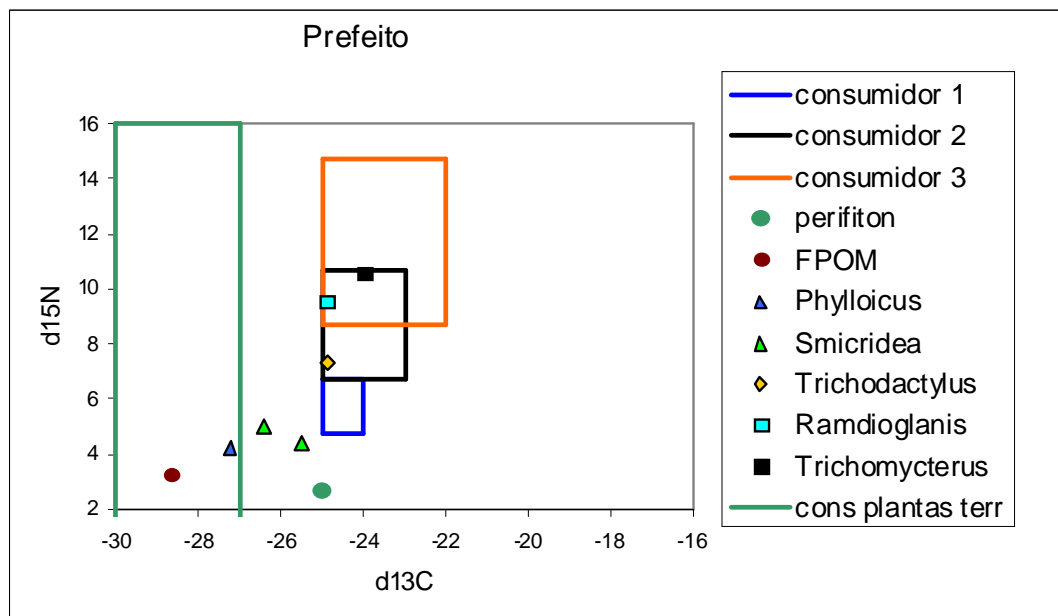


Figura 7: Biplot de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ do ponto Prefeito.

Nota: Consumidor 1 = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores primários que consomem principalmente o perifíton se encontrem; consumidor 2 = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores secundários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; consumidor 3 = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores terciários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; e cons plantas terr = área delimitando o espaço no biplot onde esperamos que os consumidores primários, secundários ou terciários que tem a matéria da vegetação terrestre como seu principal recurso basal se encontrem.

No ponto Sete Quedas (Fig. 8), córrego de 1º ordem e 84% de dossel, a $\delta^{13}\text{C}$ e a $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton foi $-25,42\text{‰}$ e $2,33\text{‰}$, respectivamente. O perifíton foi o principal recurso basal para os peixes *Characidium* e *Trichomycterus*, para o caranguejo *Trichodactylus* e para os Plecoptera *Anacroneuria*. Ambos os recursos, perifíton e vegetação terrestre, foram importantes para o filtrador *Smicridea* neste ponto. Podemos classificar o *Characidium* e *Trichomycterus* deste ponto como consumidores secundários ou terciários com base no enriquecimento das $\delta^{15}\text{N}$ destes peixes em relação ao seu recurso basal, e o *Trichodactylus*, como consumidor secundário. Os *Anacroneuria* deste ponto tiveram um menor enriquecimento das $\delta^{15}\text{N}$ nas transferências tróficas, do que o esperado para um predador. O FPOM deste ponto teve uma $\delta^{13}\text{C}$ relativamente enriquecida.

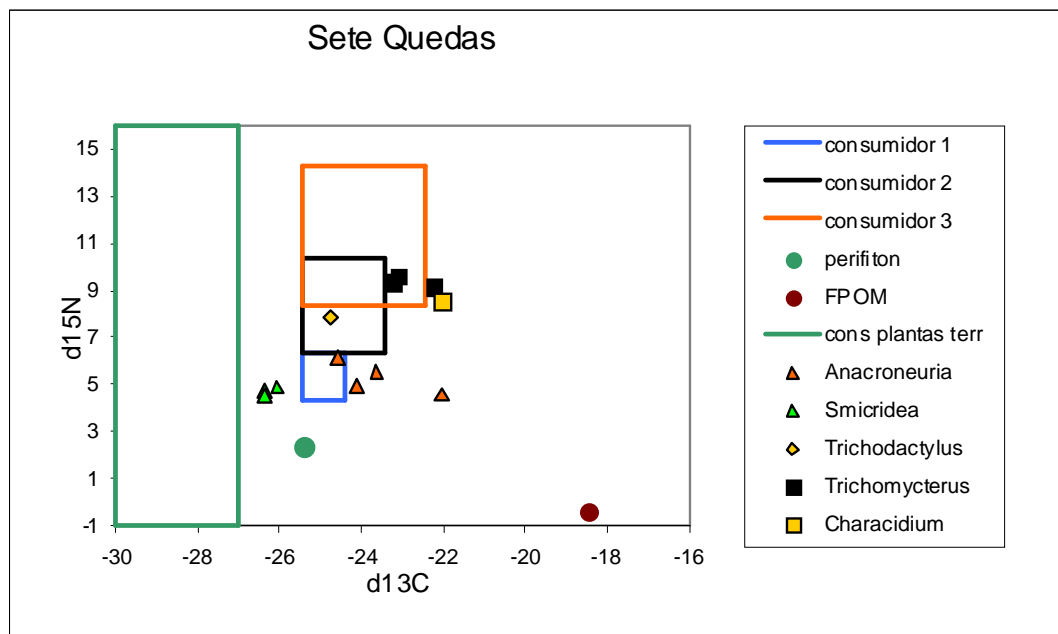


Figura 8: *Biplot* de $\delta^{13}\text{C}$ por $\delta^{15}\text{N}$ do ponto Sete Quedas.

Nota: Consumidor 1 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários que consomem principalmente o perifíton se encontrem; consumidor 2 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores secundários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; consumidor 3 = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores terciários que tem o perifíton como seu recurso basal se encontrem; e cons plantas terr = área delimitando o espaço no *biplot* onde esperamos que os consumidores primários, secundários ou terciários que tem a matéria da vegetação terrestre como seu principal recurso basal se encontrem.

3.3 Isótopos estáveis e impactos antropogênicos em córregos

Nove táxons ocorreram em pelo menos seis pontos: *Characidium* sp., Hypoptomatinae, *Phalloceros caudimaculatus*, *Rhamdioglanis* sp., *Scleromystax barbatus*, *Trichomycterus* sp., *Macrobrachium* spp, *Anacroneuria* sp., *Smicridea* sp.. A $\delta^{13}\text{C}$ dos *Smicridea* sp. teve uma relação positiva significativa com a percentagem do uso e ocupação do solo local ($p=0,018$; $N=6$), mas este resultado foi fortemente influenciado pelos valores da $\delta^{13}\text{C}$ dos *Smicridea* do ponto Creonice e da percentagem de impacto deste ponto (*Cook distance* = 7,806). Reexaminamos a relação omitindo o ponto Creonice e a $\delta^{13}\text{C}$ dos *Smicridea* sp. não foi relacionadas com a percentagem do uso e ocupação do solo local ($p=0,926$; $N=5$). A $\delta^{13}\text{C}$ dos *Rhamdioglanis* sp. apresentou um aumento marginalmente significativo com a percentagem do uso e ocupação do solo local ($p=0,072$; $r=0,597$; $N=6$). As $\delta^{13}\text{C}$ dos *Anacroneuria* sp. ($N=7$), dos *Characidium* sp. ($N=11$), dos Hypoptomatinae ($N=11$), *Macrobrachium* spp. ($N=11$), dos *Phalloceros caudimaculatus* ($N=7$), dos *Scleromystax barbatus* ($N=6$) e dos *Trichomycterus* sp. ($N=8$) não foram relacionadas com a percentagem do uso e ocupação do solo local (Fig. 9). Dos nove táxons, apenas os *Macrobrachium* spp. ($p=0,052$; $r=0,357$; $N=11$) e os *S. barbatus* ($p=0,069$; $r=0,603$; $N=6$) tiveram suas $\delta^{15}\text{N}$ positivamente relacionadas, marginalmente significativo, com a percentagem do uso e ocupação do solo local (Fig. 10).

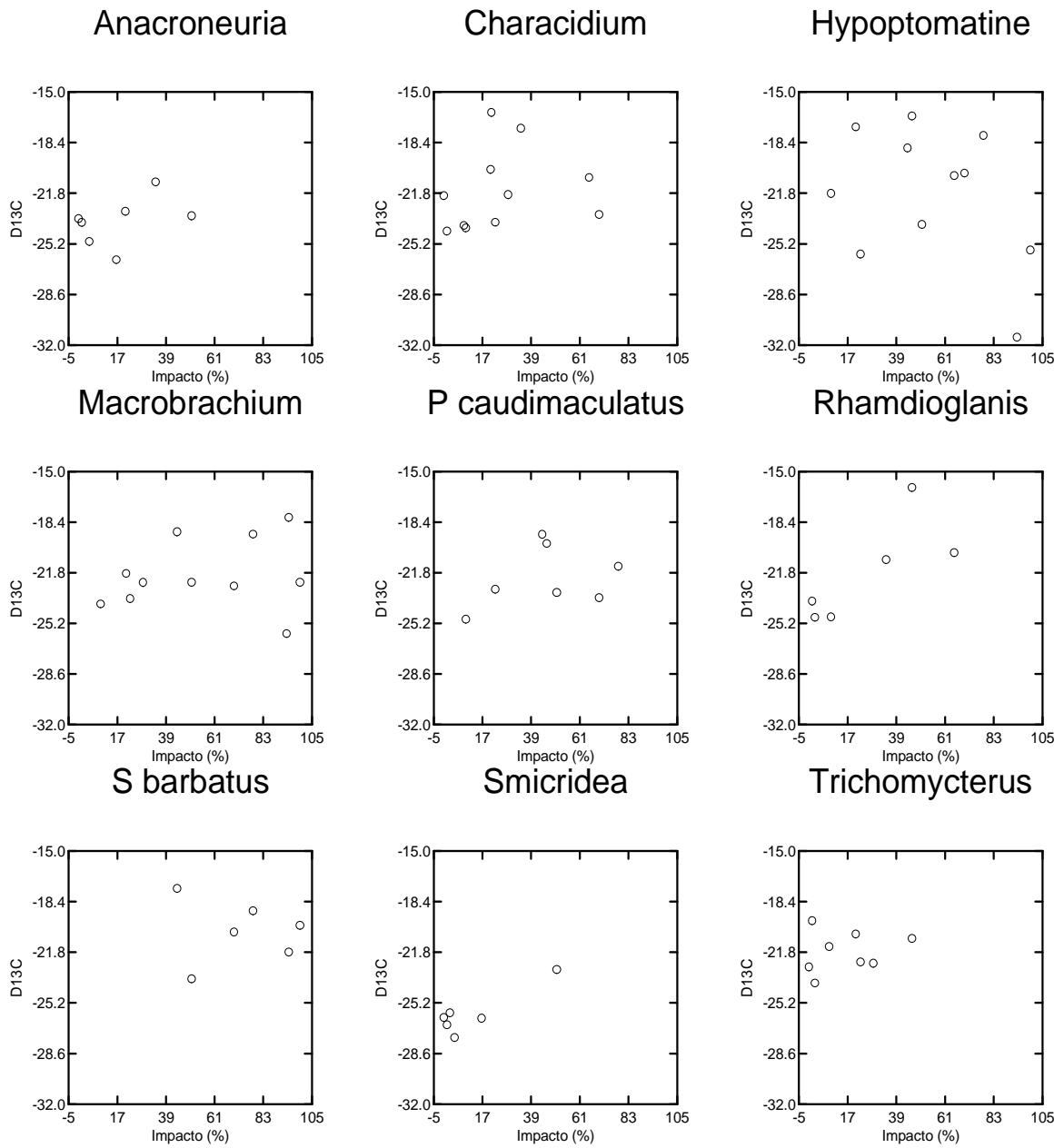


Figura 9: Gráficos da $\delta^{13}\text{C}$ média por táxon contra a percentagem de impacto total.

Nota: apenas a $\delta^{13}\text{C}$ dos *Rhamdioglanis* sp. apresentaram um aumento marginalmente significativo com a percentagem do uso e ocupação do solo local ($p=0,072$; $r=0,597$; $N=6$).

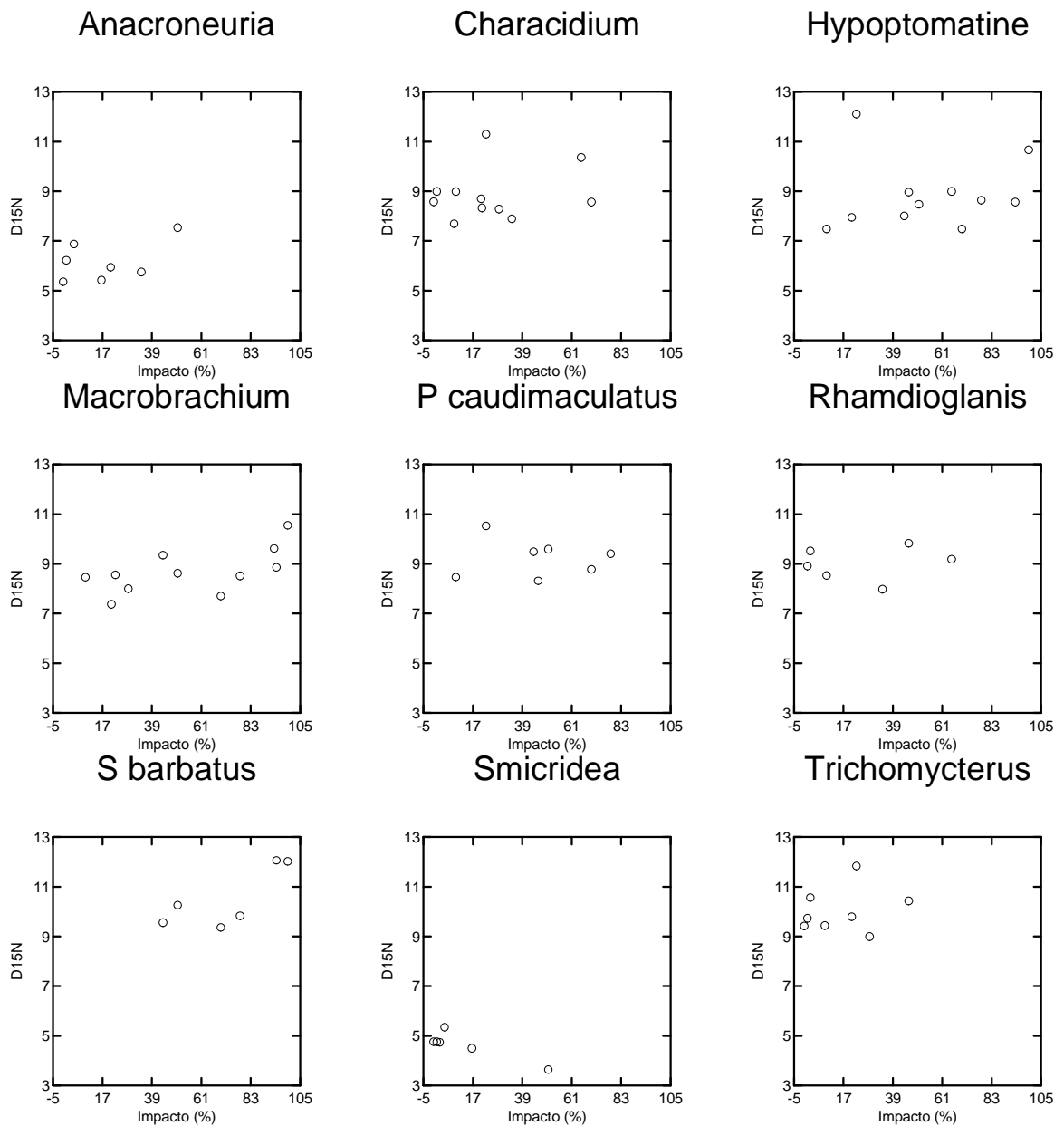


Figura 10: Gráficos da $\delta^{15}\text{N}$ média por táxon contra a percentagem de impacto total.

Nota: apenas as $\delta^{15}\text{N}$ dos *Macrobrachium* spp. ($p=0,052$; $r=0,357$; $N=11$) e dos *S. barbatus* ($p=0,069$; $r=0,603$; $N=6$) mostraram uma relação positiva, marginalmente significativa, com a percentagem do uso e ocupação do solo local.

4 Discussão

4.1 Isótopos estáveis e fluxo de energia e matéria em córregos

Nossos resultados reforçam o novo modelo proposto pelo presente trabalho para o fluxo de energia e matéria em córregos florestados, que o perifíton e o principal recurso basal para estes ecossistemas. Nos seis córregos florestados que estudamos o perifíton foi o principal recurso basal para os predadores. Como os predadores integram toda a cadeia trófica, inferimos que a principal fonte de energia e biomassa para os níveis tróficos inferiores é o perifíton e a principal via para o fluxo de energia e biomassa no sistema é sol → perifíton → pastadores → predadores. Os Trichoptera coletores-filtradores, *Smicridea* sp., e os cortadores, *Phylloicus* sp., têm a composição isotópica esperada para animais que consomem principalmente matéria proveniente da vegetação terrestre. As evidências de isótopos estáveis mostraram que esses macroinvertebrados não são as principais presas dos predadores (peixes, camarões, caranguejo, Odonata e Plecoptera).

O RCC prevê uma zona de transição onde o córrego muda de um sistema heterotrófico, onde o material alóctone é o principal recurso, para um autotrófico, onde o material autóctone passa a ser o recurso mais importante (Vannote *et al.* 1980). A localização desta zona de transição depende do sombreamento (Vannote *et al.* 1980). Segundo o RCC, em florestas decíduas e de coníferas, esta zona provavelmente está em córregos de 3º ordem (Vannote *et al.* 1980). No presente trabalho, os seis pontos amostrados são de 1º a 3º ordem, têm entre 77 a 87% de dossel e a vegetação terrestre não foi a principal fonte de energia e matéria para os consumidores. No ponto Monte Olivetti (córrego de 2º ordem e 81% de dossel), ambos, a vegetação terrestre e o perifíton, foram importantes para os consumidores. Pode ser que este ponto seja uma zona de transição, análises de isótopos estáveis da teia trófica a montante e a jusante deste ponto são necessárias para confirmar esta suposição.

O perifíton, a despeito de ser o componente que, geralmente, contribui menos do que a vegetação terrestre para o estoque biomassa nos córregos (por ex. Brito *et al.* 2006a; Andrade *et al.* não publicado), pode sustentar a produção secundária nesses sistemas devido sua rápida reposição (*turnover*) (Brito *et al.*, 2006a; Moulton

et al., 2006). Além da sua rápida reposição, o perifíton é mais lábil e nutritivo do que a matéria proveniente da vegetação terrestre e por isso é utilizado mais eficientemente do que a vegetação terrestre pelos consumidores. As plantas terrestres possuem baixo valor energético, pois elas usam carboidratos de baixa energia para suas estruturas e para seus estoques energéticos (Boyd, 1968; Platt e Irwin 1973, ambos *apud* Bowen, Lutz e Ahgren, 1995). Algas possuem mais proteínas do que as plantas porque requerem menos fibras para sustentação (Bowen, Lutz e Ahgren, 1995). Segundo Howard-Williams (1974) e Klinger *et al.* (1983), ambos *apud* Forsberg *et al.* (1993), em estudos na Amazônia, as folhas da vegetação terrestre são compostas em média 8% do seu peso seco de proteínas e 63% de fibras, o peso seco das algas é composto por em média 51% de proteína e 6% de fibra. A razão de C:N média do perifíton dos córregos que estudamos foi 9,21 (mínimo=5,04 e máximo=12,28) bem menor que a razão 45:1 do material proveniente da vegetação terrestre (Wetzel, 1983 *apud* Thorp *et al.*, 1998).

Outros trabalhos em córregos tropicais utilizando os isótopos estáveis também mostraram que o perifíton foi o principal recurso basal para as cadeias tróficas nestes sistemas (Salas e Dudgeon, 2001; March e Pringle, 2003; Mantel, Salas e Dudgeon, 2004; Detweiler, 2005; Detweiler *et al.*, 2005; Douglas *et al.*, 2005; Brito *et al.* 2006a,b). Pode ser que isto seja um fenômeno tropical, pois a incidência solar nos trópicos pode propiciar uma produção algal suficiente para sustentar a produção secundária. Estudos comparativos nos trópicos e nas regiões temperadas são necessários para testar a generalidade deste fenômeno (Moulton 2006a,b). De qualquer forma, precisamos de um novo modelo de fluxo de energia e matéria em córregos tropicais florestados (Moulton, 2006b).

As evidências de que a produção autóctone é o principal recurso para os córregos tropicais (Salas e Dudgeon, 2001; March e Pringle, 2003; Mantel, Salas e Dudgeon, 2004; Detweiler, 2005; Detweiler *et al.*, 2005; Douglas *et al.*, 2005; Brito *et al.* 2006a,b; e o presente trabalho) e para os rios de grande porte Rio (Araujo-Lima *et al.*, 1986; Hamilton, Lewis e Sippel, 1992; Forsberg *et al.*, 1993; Thorp *et al.*, 1998; Bunn, Davies e Winning, 2003) têm importantes implicações para o manejo e proteção desses ecossistemas, pois fatores que influenciam a distribuição, composição e produção autóctone (por exemplo regulação do fluxo d'água, nutrientes e luz) terão, provavelmente, maiores impactos na teia trófica de rios de grande porte (Bunn, Davies e Winning, 2003) e de córregos do que variações nos

estoques de carbono terrestre. Contudo, isto não quer dizer que a vegetação ripária não é importante para os rios e córregos, a sua existência é crítica para a manutenção de alta diversidade biótica, mesmo não suportando diretamente boa parte da produção secundária destes ecossistemas.

4.2 Isótopos estáveis e impactos antropogênicos em córregos

Nossa hipótese, que as $\delta^{13}\text{C}$ e as $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores aquáticos iriam aumentar com o aumento das percentagens das áreas de uso e ocupação do solo local, foi rejeitada. Dos 9 táxons estudados, apenas a $\delta^{13}\text{C}$ dos *Rhamdioglanis* sp. apresentou um aumento marginalmente significativo com a percentagem do uso e ocupação do solo local e apenas as $\delta^{15}\text{N}$ dos *Macrobrachium* spp. e dos *S. barbatus* aumentaram com a percentagem do uso e ocupação do solo local. Por isso, concluímos que os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio dos consumidores não foram bons bioindicadores da saúde dos córregos estudados

Os indicadores comumente usados nos programas de avaliação como condutividade, temperatura, pH, dossel e sedimentos em suspensão foram sensíveis ao impacto em um raio de 200 metros das coordenadas do ponto de coleta. A $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton ($p=0,006$; $r=0,367$; $N=19$) e do FPOM ($p<0,001$; $r=0,609$; $N=17$) da nossa área de estudo também aumentaram significativamente com a percentagem do uso e ocupação do solo local (Machado-Silva, não publicado).

Diversos trabalhos mostraram uma relação positiva entre a $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores e o uso e ocupação do solo. Harrington *et al.* (1998) encontraram uma relação positiva significativa entre $\delta^{15}\text{N}$ do peixe *Salmo salar* e a percentagem de agricultura numa área quadrada de 400 x 400 metros a montante do seu ponto de coleta em 6 córregos. McClelland, Valiela e Michener (1997) encontraram um enriquecimento de ^{15}N no NO_3^- , nos produtores, nos consumidores primários e secundários em um estuário que tinha 63% da sua carga de nitrogênio derivado de esgoto em comparação com um estuário onde o esgoto contribuía com 16% da carga de nitrogênio total lançada nesse sistema. Em 40 lagos, Cabana e Rasmussen (1996) mostraram que a $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores primários aumentou com a densidade populacional da bacia. Bannon e Roman (2008), em estuários, também

encontraram uma relação positiva significativa entre as $\delta^{15}\text{N}$ da grama-marinha *Spartina alterniflora* e do peixe *Fundulus heteroclitus* com o logaritmo da densidade populacional de 6 bacias hidrográficas, mas a relação com a $\delta^{15}\text{N}$ do bivalve *Geukensia demissa* não foi significativa. A relação das $\delta^{15}\text{N}$ das três espécies aumentou significativamente com a percentagem de área residencial na bacia (Bannon e Roman, 2008). Anderson e Cabana (2005, 2006), em 82 pontos em córregos da bacia Saint-Laurence, Canadá, mostraram que a $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores primários, dos invertebrados predadores e dos peixes invertívoros aumentaram significativamente com a carga de nitrogênio proveniente da população humana, dos animais das fazendas (bovinos, equínos e suínos) e dos fertilizantes sintéticos levados para os córregos.

Em relação a $\delta^{13}\text{C}$, Martinelli *et al.* (1999) mostraram relação positiva significativa entre a $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica particulada e a percentagem da bacia coberta por plantação de cana-de-açúcar ou milho e pastagem. Em córregos na Califórnia, a adição de esterco de vaca que foram alimentadas com ração de milho promoveu o enriquecimento da $\delta^{13}\text{C}$ dos invertebrados cortadores, coletores, filtradores e raspadores em 8 semanas (Rosario, Betts e Resh, 2002).

Detweiller (2005) comparou as $\delta^{15}\text{N}$ e as $\delta^{13}\text{C}$ dos consumidores de um córrego urbano (Rio Paineiras, Jacarepaguá, RJ) e de um córrego preservado (Rio Andorinha, Ilha Grande, RJ). As $\delta^{15}\text{N}$ e a $\delta^{13}\text{C}$ do esgoto lançado *in natura* no Rio Paineiras foi, respectivamente, 7,3 ‰ (EP=0,8 e N=7) e -23,4 ‰ (EP=0,5 e N=7) (Detweiller, 2005). Dos cinco táxons estudados por Detweiller (2005), apenas os *Macrobrachium* spp. mostraram um enriquecimento significativo da $\delta^{15}\text{N}$ no córrego urbano. As $\delta^{13}\text{C}$ de quatro consumidores (os peixes Poecillidae, os Odonata *Hetaerina* sp., os Diptera *Simulium* sp. e o caranguejo *Trichodactylus fluviatilis*) do córrego urbano apresentaram um enriquecimento significativo em relação aos consumidores dos pontos preservados.

Não coletamos amostras de esgoto, esterco animal, carbono e nitrogênio inorgânicos para isótopo e por isso não temos como responder se a ausência de uma relação positiva entre as composições isotópicas de carbono e nitrogênio e o impacto local é um indicativo de que a matéria proveniente do uso e ocupação do solo não esta sendo assimilada pelos consumidores.

5 CONCLUSÃO

As evidências de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio mostraram que o perifíton foi o principal recurso basal para os predadores de cinco pontos de coleta florestados do sistema hidrográfico Guapi-Macacu. Ambos, vegetação terrestre e perifíton, foram importantes no ponto Monte Olivetti. A partir deste resultado inferimos que o perifíton é a principal fonte de recurso basal para as cadeias tróficas destes pontos florestados.

A $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ dos consumidores não foram bons indicadores de impacto local nos 21 córregos estudados do sistema hidrográfico Guapi-Macacu. Os indicadores de impacto comumente usados nos programas de avaliação como condutividade, temperatura, pH, dossel e sedimentos em suspensão foram sensíveis ao impacto provocado pelo uso e ocupação do solo em um raio de 200 metros das coordenadas do ponto de coleta.

REFERÊNCIAS

Anderson C. and G. Cabana. 2005. Delta 15N in riverine food webs: effects of N inputs from agricultural watersheds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62**:333-340.

Anderson C. and G. Cabana. 2006. Does delta 15N in river food webs reflect the intensity and origin of N loads from the watershed? *Science of the Total Environment*, **367**:968-978.

Araujo-Lima C. A. M., B. R. Forsberg, R. Victoria, and L. Martinelli. 1986. Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science*, **234**:1256-1258.

Bannon R. O. and C. T. Roman. 2008. Using stable isotopes to monitor anthropogenic nitrogen inputs to estuaries. *Ecological Applications*, **18**:22-30.

Benstead J. P. and C. M. Pringle. 2004. Deforestation alters the resource base and biomass of edemic stream insects in eastern Madagascar. *Freshwater Biology*, **49**:490-501.

Bowen, S. H., Lutz, E. V., and Ahlgren, M. O. 1995. Dietary protein and energy as determinants of food quality: trophic strategies compared. *Ecology* 76[3], 899-907.

Boyd C. E. 1968. Fresh-water plants: a potential source of protein. *Economic Botany*, **22**:359-368.

Brito E. F., T. P. Moulton, M. L. Souza, and S. E. Bunn. 2006a. 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.

Brito E. F., A. M. Detweiler, F. A. M. Krsulovic, M. L. Souza, V. N. Lima, A. E. Hershey, and T. P. Moulton. 2006b. Stable isotope analysis of food webs along a gradient of light and altitude in tropical streams, southeastern Brazil. *Bulletin of the North American Benthological Society*, **23**:125.

Bunn S. E. and P. M. Davies. 2000. Biological processes in running waters and their implications for the assessment of ecological integrity. *Hydrobiologia*, **422/423**:61-70.

Bunn S. E., P. M. Davies, and M. Winning. 2003. Sources of organic carbon supporting the food web of an arid zone floodplain river. *Freshwater Biology*, **48**:619-635.

Cabana G. and J. B. Rasmussen. 1996. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proceedings National Academy of Science U.S.A.*, **93**:10844-10847.

Closs G., B. Downes, and A. Boulton 2004. *Freshwater Ecology: a scientific introduction*, Blackwell.

Cole M. L., I. Valiela, K. D. Kroeger, G. L. Tomasky, J. Cebrian, C. Wingand, R. A. McKinney, S. P. Grady, and M. H. C. Silva. 2004. Assessment of a delta ¹⁵N isotopic method to indicate anthropogenic eutrophication in aquatic ecosystems. *Journal of Environ. Qual.*, **33**:124-132.

Costanzo S. D., M. J. O'Donohue, W. C. Dennilson, N. R. Loneragan, and M. Thomas. 2001. A new approach for detecting and mapping sewage impacts. *Marine Pollution Bulletin*, **42**:149-156.

deBruyn A. M. H. and J. B. Rasmussen. 2002. Quantifying assimilation of sewage-derived organic matter by riverine benthos. *Ecological Applications*, **12**:511-520.

Detweiler A. M. The effects of urbanization on the food web of a mid-order stream in Rio de Janeiro, Brazil. University of North Carolina, Greenboro, USA, 2005.

Detweiler A. M., Hershey A.E., T. P. Moulton, and E. F. Brito. 2005. The effects of urbanization on the food web of a mid-order stream in Rio de Janeiro, Brasil. *Bulletin of the North American Benthological Society*, **22**:263-264.

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 Research*, **56**:329-342.

Finlay J. C., M. E. Power, and G. Cabana. 1999. Effects of water velocity on algal carbon isotope ratios: implications for river food web studies. *Limnology and Oceanography*, **44**:1198-1203.

Forsberg, B. R., Araujo-Lima, C. A. R. M., Martinelli, L. A., Victoria, R. L., and Bonassi, J. A. Autotrophic Carbon Sources for Fish of the Central Amazon. *Ecology* 74[3], 643-652. 1993.

Fry B. 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and Oceanography*, **33**:1182-1190.

Fry B. 1991. Stable isotope diagrams of freshwater food webs. *Ecology*, **72**:2293-2297.

Fry B. 2006. *Stable isotope ecology*, Springer, USA.

Gearing P. J., J. N. Gearing, J. T. Maughan, and C. A. Ovlatt. 1991. Isotopic distribution of carbon from sewage sludge and eutrophication in the sediments and food web of estuarine ecosystems. *Environmental Science & Technology*, **25**:295-301.

Gordon N. D., T. A. McMahon, B. L. Finlayson, C. J. Gippel, and R. J. Nathan 2004. *Stream Hydrology: an Introduction for Ecologists*, 2nd edition. John Wiley and Sons.

Hamilton S. K., W. M. Lewis, and S. J. Sippel. 1992. Energy sources for aquatic animals in the Orinoco River floodplain: evidence from stable isotopes. *Oecologia*, **89**:324-330.

Harrington R. R., B. P. Kennedy, C. P. Chamberlain, J. D. Blum, and C. L. Folt. 1998. ¹⁵N enrichment in agricultural catchments: field patterns and applications to tracking Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Chemical Geology*, **147**:281-294.

Hebert C. E. and L. I. Wassenaar. 2001. Stable nitrogen isotope in waterfowl feathers reflect agricultural land use in western Canada. *Environmental Science & Technology*, **35**:3482-3487.

Hershey A. E., K. Fortino, A. J. Ulseth, and B. J. Peterson. 2007. Stream food webs. Pages 637-659 *in* FR Hauer and GA Lamberti, editors. *Methods in Stream Ecology*. Academic Press.

Howard-Williams C. 1974. Nutritional quality and calorific value of Amazonian forest litter. *Amazoniana*, **5**:67-75.

Huang I. Y., Y. S. Lin, C. P. Chen, and H. L. Hsieh. 2007. Food web structure of a subtropical headwater stream. *Marine and Freshwater Research*, **58**:596-607.

Junk W. J., P. B. Bayley, and R. E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Pages 110-127 *in* DP Dodge, editor. Proceedings of the International Large River Symposium. Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences.

Klinge H., K. Furch, E. Harms, and J. Revilla. 1983. Foliar nutrient levels of native tree species from Central Amazonia. *Amazoniana*, **8**:19-45.

Leite, R. G., Araujo-Lima, C. A. R. M., Victoria, R. L., and Martinelli, L. A. Stable isotope analysis of energy sources for larvae of eight fish species from the Amazon floodplain. *Ecology of Freshwater Fish* 11, 56-63. 2002.

Macko S. A. and N. E. Ostrom. 1994. Source of variation in the stable isotopic composition of plants. Pages 45-62 *in* K Lajtha and RH Michener, editors. *Stable isotope in ecology*. Blackwell.

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., J. P. Benstead, C. M. Pringle, and M. W. Ruebel. 2001. Linking shrimp assemblages with rates of detrital processing along an elevational gradient in a tropical stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **58**:470-478.

Martinelli L. A., M. V. Ballester, A. V. Krusche, R. L. Victoria, P. B. de Camargo, M. Bernardes, and J. P. H. B. Ometto. 1999. Landcover changes and delta ¹³C composition of riverine particulate organic matter in the Piracicaba River basin (southeast region of Brazil). *Limnology and Oceanography*, **44**:1826-1833.

Mayer B., E. W. Boyer, C. Goodale, and et al. 2002. Sources of nitrate in rivers draining sixteen watersheds in the northeastern U.S.: isotopic constraints. *Biogeochemistry*, **57/58**:171-197.

McClelland J. W. and I. Valiela. 1998. Linking nitrogen in estuarine producers to land-derived sources. *Limnology and Oceanography*, **43**:577-585.

McClelland J. W., I. Valiela, and R. H. Michener . 1997. Nitrogen-stable isotope signatures in estuarine food webs: A record of increasing urbanization in coastal watersheds. *Limnology and Oceanography*, **42**:930-937.

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.

Minagawa M. and E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**:1135-1140.

Moulton T. P. 2006a. Why the world is green, the water are blue and food webs in small streams in the atlantic rainforest are predominantly driven by microalgae. *Oecologia Brasiliensis*, **10**:78-89.

Moulton T. P. 2006b. Do we need a Revised Riverine Productivity Model for tropical streams? *Bulletin of the North American Benthological Society*, **23**:108.

Moulton T. P. and S. A. P. Magalhães. 2003. Response of leaf processing to impacts in stream in atlantic rain forest, Rio de Janeiro, Brazil - a test of biodiversity-ecosystem functional relationship? *Brazilian Journal of Biology*, **63**:87-95.

Mulholland P. J., J. L. Tank, D. M. Sanzone, W. M. Wollheim, B. J. Peterson, J. R. Webster, and J. L. Meyer. 2000. Food resources of stream macroinvertebrates determined by natural-abundance stable C and N isotopes and a ^{15}N tracer addition. *Journal of the North American Benthological Society*, **19**:145-157.

Northington R. M. and A. E. Hershey. 2006. Effects of stream restoration and wastewater treatment plant effluent on fish communities in urban streams. *Freshwater Biology*, **51**:1959-1973.

Ometto J. P. H. B., L. A. Martinelli, P. B. Camargo, and M. Z. Moreira. 2005. Uso de isótopos estáveis em estudos ambientais. Pages 459-485 *in* F Roland, D Cesar, and M Marinho, editors. *Lições de limnologia*. RiMa, São Carlos, SP.

Paul M. J. and J. L. Meyer. 2001. Stream in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **32**:333-365.

Peterson B. J. 1999. Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs: A review. *Acta Oecologia*, **20**:479-487.

Peterson B. J. and B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **18**:293-320.

Platt T. and B. Irwin. 1973. Caloric content of phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, **18**:306-310.

Post D. M. 2002. Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. *Ecology*, **83**:703-718.

Rosario R. B., E. A. Betts, and V. H. Resh. 2002. Cow manure in headwater streams: tracing aquatic insect responses to organic enrichment. *Journal of North American Benthological Society*, **21**:278-289.

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

Schindler D. E. and S. C. Lubetkin. 2004. Using stable isotopes to quantify material transport in food webs. *in* GA Polis, ME Power, and GR Huxley, editors. *Food webs at the Landscape level*. University of Chicago Press.

Strayer, D. L., R. E. Beighley, L. C. Thompson, S. Brooks, C. Nilsson, G. Pinay, and R. J. Naiman. 2003. Effects of land cover on stream ecosystems: roles of empirical models and scaling issues. *Ecosystems*, **6**:407-423.

Thompson D. R., S. J. Bury, K. A. Hobson, L. I. Wassenaar, and J. P. Shannon. 2005. Stable isotope in ecological studies. *Oecologia*, **144**:517-519.

Thorp J. H. and M. D. DeLong. 1994. The riverine productivity model: an heuristic view of carbon sources and organic processing in large river ecosystems. *Oikos*, **70**:305-308.

Thorp J. H., M. D. DeLong, K. S. Greenwood, and A. F. Casper. 1998. Isotopic analysis of three food web theories in constricted and floodplain regions of a large river. *Oecologia*, **117**:551-563.

Thorp J. H. and Delong Michael D. 2002. Dominance of autochthonous autotrophic carbon in food webs of heterotrophic rivers. *Oikos*, **96**:543-550.

Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro S.-G. d. P. 2003. Estudo socioeconômico 2003 Guapimirim.

Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro S.-G. d. P. 2004. Estudo Socioeconômico 2004 Cachoeiras de Macacu.

Ulseth A. J. and A. E. Hershey. 2005. Natural abundances of stable isotopes trace anthropogenic N and C in an urban stream. *Journal of the North American Benthological Society*, **24**:270-289.

Valiela I., G. Collins, K. Lajtha, M. Geist, B. Seely, J. Brawley, and C. H. Sham. 1997. Nitrogen loading from coastal watersheds to receiving estuaries: new method and application. *Ecological Applications*, **7**:358-380.

Van der 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.

Vanderklift M. A. and S. Ponsard. 2003. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*, **136**:169-182.

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. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**:130-137.

Wetzel R. G. 1983. *Limnology*, 2nd edition. W.B.Saunders Company, Philadelphia.

APÊNDICE A – Fotos de alguns dos pontos de coleta.

Fotos de alguns pontos de coleta: A – Mariquitas, B – Caneca Fina, C – Manoel Alexandre, D – Prefeito, E – Tim, F- Macumba, G – Gato e H – Duas Barras. Fotos: Mouton, T.P.

APÊNDICE B - Fotos dos consumidores.



Fotos de alguns consumidores: A – *Rhamdioglanis* sp., B - Hypoptomatinae, C – *Scleromystax barbatus*, D – *Trichomycterus* sp., E – *Characidium* sp., F – *Phalloceros caudimaculatus*, G – *Trichodactylus* sp., H – *Macrobrachium olfersi*, I – *Anacroneuria* sp., e J – *Libellulidae* sp.. Fotos: Lima, V.N.

APÊNDICE C - Tabela das $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (fluxo de energia).

| Site | Táxon | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{15}\text{N}$ | CN_razao |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| Alex | <i>Anacroneuria</i> | -22.22 | 5.55 | 3.83 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -22.94 | 5.62 | 3.72 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -25.12 | 7.03 | 3.67 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -25.10 | 6.52 | 3.63 |
| | <i>Characidium</i> | -24.41 | 8.95 | 3.69 |
| | FPOM | -24.29 | 2.03 | 9.64 |
| | Hylidae | -27.04 | 6.60 | 3.37 |
| | Perifiton | -23.54 | 1.53 | 9.77 |
| | <i>Phylloicus</i> | -27.44 | 3.71 | 4.05 |
| | <i>Rhamdioglanis</i> | -23.78 | 8.87 | 3.20 |
| | <i>Smicridea</i> | -26.90 | 4.71 | 4.93 |
| | <i>Smicridea</i> | -27.38 | 5.07 | 5.51 |
| | <i>Smicridea</i> | -25.96 | 4.37 | 4.08 |
| | <i>Trichomycterus</i> | -19.75 | 9.68 | 3.34 |
| Caneca Fina | <i>Characidium</i> | -24.74 | 8.88 | 3.42 |
| | <i>Characidium</i> | -24.24 | 9.10 | 3.48 |
| | <i>Characidium</i> | -23.64 | 8.84 | 3.41 |
| | FPOM | -28.76 | 3.99 | 13.93 |
| | <i>Macrobrachium potiuna</i> | -23.97 | 8.42 | 3.30 |
| | Perifiton | -24.95 | 2.54 | 8.50 |
| | <i>Phalloceros caudimaculatus</i> | -24.98 | 8.20 | 3.37 |
| | <i>Phalloceros caudimaculatus</i> | -25.06 | 8.87 | 3.50 |
| | <i>Phalloceros caudimaculatus</i> | -24.93 | 8.20 | 3.48 |
| | <i>Rhamdioglanis</i> | -24.84 | 8.49 | 3.21 |
| | <i>Schizolecis guntheri</i> | -21.88 | 7.44 | 3.36 |
| <i>Trichomycterus</i> | -24.58 | 9.85 | 3.35 | |
| Macumba | Aeshnidae | -25.42 | 7.55 | 3.76 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -25.11 | 6.56 | 3.64 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -24.87 | 6.55 | 3.50 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -24.82 | 6.98 | 3.50 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -25.67 | 7.23 | 3.56 |
| | FPOM | -29.39 | 2.79 | 15.80 |
| | Libellulidae | -23.99 | 4.42 | 3.83 |
| | Libellulidae | -24.58 | 5.06 | 3.90 |
| | Libellulidae | -24.55 | 5.07 | 3.71 |
| | Perifiton | -25.55 | 3.05 | 5.04 |
| | <i>Smicridea</i> | -27.68 | 5.79 | 4.68 |
| | <i>Smicridea</i> | -27.51 | 4.69 | 4.44 |
| | <i>Smicridea</i> | -27.64 | 5.42 | 4.77 |

APÊNDICE C - Tabela das $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (fluxo de energia) (continuação).

| Site | Táxon | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{15}\text{N}$ | CN_razao |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| Monte Olivetti | <i>Characidium</i> | -25.11 | 7.59 | 3.52 |
| | <i>Characidium</i> | -23.60 | 7.79 | 3.50 |
| | <i>Characidium</i> | -23.40 | 7.57 | 3.60 |
| | Perifiton | -19.66 | 1.31 | 9.25 |
| | <i>Trichomycterus</i> | -23.33 | 9.88 | 3.17 |
| | <i>Trichomycterus</i> | -19.66 | 8.91 | 3.17 |
| Prefeito | FPOM | -28.68 | 3.18 | 15.81 |
| | Perifiton | -24.99 | 2.67 | 9.98 |
| | <i>Phylloicus</i> | -27.22 | 4.19 | 4.37 |
| | <i>Rhamdioglanis</i> | -24.86 | 9.47 | 3.15 |
| | <i>Smicridea</i> | -26.39 | 5.00 | 4.97 |
| | <i>Smicridea</i> | -25.49 | 4.38 | 3.84 |
| | <i>Trichodactylus</i> | -24.86 | 7.32 | 3.61 |
| | <i>Trichomycterus</i> | -23.94 | 10.52 | 3.20 |
| Sete Quedas | <i>Anacroneuria</i> | -24.58 | 6.14 | 3.65 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -22.03 | 4.57 | 3.63 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -24.10 | 4.95 | 3.57 |
| | <i>Anacroneuria</i> | -23.64 | 5.57 | 3.74 |
| | <i>Characidium</i> | -22.03 | 8.53 | 3.62 |
| | FPOM | -18.46 | -0.39 | 7.42 |
| | Perifiton | -25.27 | 2.65 | 11.82 |
| | Perifiton | -25.58 | 2.01 | 10.83 |
| | <i>Smicridea</i> | -26.06 | 4.90 | 5.21 |
| | <i>Smicridea</i> | -26.37 | 4.74 | 5.46 |
| | <i>Smicridea</i> | -26.35 | 4.50 | 5.40 |
| | <i>Trichodactylus</i> | -24.74 | 7.87 | 3.58 |
| | <i>Trichomycterus</i> | -23.24 | 9.36 | 3.47 |
| | <i>Trichomycterus</i> | -22.24 | 9.14 | 3.28 |
| | <i>Trichomycterus</i> | -23.10 | 9.61 | 3.20 |

APÊNDICE D - Tabela das $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (impacto).

| Táxon | Site | N | $\delta^{13}\text{C}$ médio | $\delta^{15}\text{N}$ médio |
|-----------------------|----------------|---|--------------------------------|--------------------------------|
| <i>Anacroneuria</i> | | | | |
| | Alex | 4 | -23.84 | 6.18 |
| | Caldo Cana | 4 | -23.09 | 5.90 |
| | Creonice | 4 | -23.40 | 7.49 |
| | Jumento | 4 | -21.11 | 5.71 |
| | Macumba | 4 | -25.12 | 6.83 |
| | Placa | 1 | -26.33 | 5.38 |
| | Sete Quedas | 4 | -23.58 | 5.31 |
| <i>Characidium</i> | | | | |
| | Alex | 1 | -24.41 | 8.95 |
| | Boca Mato | 1 | -20.81 | 10.32 |
| | Caldo Cana | 3 | -20.27 | 8.65 |
| | Caneca Fina | 3 | -24.20 | 8.94 |
| | Coruja | 3 | -23.82 | 11.26 |
| | Dirley | 3 | -21.96 | 8.24 |
| | Gato | 3 | -23.30 | 8.52 |
| | Jumento | 3 | -17.51 | 7.85 |
| | M Alexandre | 3 | -16.44 | 8.28 |
| | Monte Olivetti | 3 | -24.03 | 7.65 |
| | Sete Quedas | 1 | -22.03 | 8.53 |
| <i>Hypoptomatinae</i> | | | | |
| | Boca Mato | 1 | -20.68 | 8.95 |
| | Caldo Cana | 1 | -17.42 | 7.91 |
| | Caneca Fina | 1 | -21.88 | 7.44 |
| | Coruja | 1 | -25.97 | 12.07 |
| | Creonice | 3 | -23.97 | 8.43 |
| | Estreito | 1 | -25.70 | 10.62 |
| | Gato | 1 | -20.52 | 7.44 |
| | Mariquita | 1 | -17.99 | 8.60 |
| | Paraíso | 1 | -31.54 | 8.53 |
| | Renata | 1 | -16.68 | 8.92 |
| | Tim | 3 | -18.83 | 7.96 |
| <i>Macrobrachium</i> | | | | |
| | Caneca Fina | 1 | -23.97 | 8.42 |
| | Coruja | 1 | -23.61 | 8.51 |
| | Creonice | 5 | -22.44 | 8.63 |
| | Dirley | 2 | -22.52 | 7.95 |
| | Duas Barras | 1 | -18.15 | 8.81 |
| | Estreito | 3 | -22.50 | 10.51 |
| | Gato | 6 | -22.75 | 7.66 |
| | M Alexandre | 3 | -21.91 | 7.33 |
| | Mariquita | 3 | -19.28 | 8.47 |
| | Paraíso | 1 | -25.97 | 9.57 |
| | Tim | 1 | -19.12 | 9.30 |

APÊNDICE D

Tabela das $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (impacto) (continuação)

| Táxon | Site | N | $\delta^{13}\text{C}$ médio | $\delta^{15}\text{N}$ médio |
|------------------------------|----------------|---|--------------------------------|--------------------------------|
| <i>P.caudimaculatus</i> | | | | |
| | Caneca Fina | 3 | -24.99 | 8.42 |
| | Coruja | 3 | -22.98 | 10.48 |
| | Creonice | 3 | -23.20 | 9.54 |
| | Gato | 1 | -23.54 | 8.74 |
| | Mariquita | 1 | -21.44 | 9.36 |
| | Renata | 1 | -19.91 | 8.27 |
| | Tim | 1 | -19.29 | 9.45 |
| <i>Rhamdioglanis</i> | | | | |
| | Alex | 1 | -23.78 | 8.87 |
| | Boca Mato | 1 | -20.52 | 9.14 |
| | Caneca Fina | 1 | -24.84 | 8.49 |
| | Jumento | 1 | -21.00 | 7.94 |
| | Prefeito | 1 | -24.86 | 9.47 |
| | Renata | 1 | -16.14 | 9.78 |
| <i>Scleromystax barbatus</i> | | | | |
| | Creonice | 1 | -23.66 | 10.21 |
| | Duas Barras | 1 | -21.85 | 12.02 |
| | Estreito | 1 | -20.07 | 11.97 |
| | Gato | 1 | -20.51 | 9.32 |
| | Mariquita | 2 | -19.08 | 9.79 |
| | Tim | 2 | -17.59 | 9.51 |
| <i>Smicridea</i> | | | | |
| | Alex | 3 | -26.75 | 4.72 |
| | Creonice | 3 | -23.04 | 3.59 |
| | Macumba | 3 | -27.61 | 5.30 |
| | Placa | 3 | -26.30 | 4.45 |
| | Prefeito | 2 | -25.94 | 4.69 |
| | Sete Quedas | 3 | -26.26 | 4.71 |
| <i>Trichomycterus</i> | | | | |
| | Alex | 1 | -19.75 | 9.68 |
| | Caldo Cana | 3 | -20.65 | 9.74 |
| | Caneca Fina | 1 | -24.58 | 9.85 |
| | Coruja | 3 | -22.52 | 11.80 |
| | Dirley | 1 | -22.61 | 8.95 |
| | Jumento | 1 | -21.37 | 9.78 |
| | Monte Olivetti | 2 | -21.49 | 9.39 |
| | Prefeito | 1 | -23.94 | 10.52 |
| | Renata | 3 | -20.94 | 10.38 |
| | Sete Quedas | 3 | -22.86 | 9.37 |

APÊNDICE E – Tabela dos atributos da micro-bacia e dos córregos

| Ponto | Bacia X | COORD Y | COORD Tam. | Ordem | Largura Prof. | Altitude | Vazão | pH | temp. | cond. | Dossel | Agro | Urb | Imp_L | | |
|--------------|---------|---------|------------|-------|---------------|----------|-------|-----|-------|-------|--------|------|-----|-------|----|-----|
| Caneca Fina | GA | 711400 | 7512235 | 7 | 3 | 12 | 33 | 156 | 129 | 6.9 | 23.3 | 20.9 | 87 | 0 | 10 | 10 |
| Creonice | GA | 720321 | 7510644 | 10 | 3 | 6 | 26 | 33 | 159 | 7.3 | 24.4 | 33.0 | 72 | 51 | 0 | 51 |
| Direl | GA | 720480 | 7512390 | 7 | 3 | 13 | 22 | 85 | 208 | 7.0 | 23.5 | 27.0 | 70 | 29 | 0 | 29 |
| Duas Barras | GA | 731339 | 7512958 | 46 | 3 | 14 | 40 | 29 | 1211 | 6.3 | 25.2 | 30.0 | 30 | 95 | 0 | 95 |
| Estreito | GA | 727861 | 7513995 | 16 | 3 | 11 | 23 | 26 | 266 | 6.8 | 29.1 | 41.0 | 10 | 100 | 0 | 100 |
| M. Alexandre | GA | 732867 | 7519313 | 17 | 3 | 21 | 33 | 165 | 917 | 6.9 | 20.4 | 16.0 | 27 | 21 | 0 | 21 |
| Mariquita | GA | 733661 | 7517118 | 10 | 3 | 12 | 32 | 51 | 849 | 7.1 | 21.0 | 29.0 | 67 | 53 | 26 | 79 |
| Paraiso | GA | 717320 | 7505566 | 30 | 3 | 7 | 24 | 19 | 206 | 6.7 | 25.6 | 38.2 | 94 | 92 | 2 | 94 |
| Prefeito | GA | 724990 | 7518992 | 3 | 2 | 16 | 27 | 340 | 95 | 6.9 | 20.3 | 21.0 | 77 | 3 | 0 | 3 |
| Gato | GA | 730700 | 7517252 | 30 | 3 | 22 | 21 | 26 | 350 | 6.6 | 21.2 | 19.0 | 60 | 70 | 0 | 70 |
| Tim | GA | 722487 | 7515924 | 1 | 1 | 12 | 19 | 49 | 143 | 7.2 | 27.0 | 29.0 | 32 | 44 | 0 | 44 |
| Coruja | GM | 705546 | 7507841 | 2 | 2 | 11 | 20 | 133 | 127 | 6.9 | 24.8 | 35.3 | 64 | 0 | 23 | 23 |
| M. Olivette | GM | 704467 | 7509410 | 4 | 2 | 12 | 30 | 349 | 153 | 7.1 | 22.3 | 18.8 | 81 | 0 | 9 | 9 |
| Alex | M | 748553 | 7518962 | 6 | 3 | 16 | 28 | 520 | 158 | 7.2 | 20.8 | 19.0 | 77 | 1 | 0 | 1 |
| Boca Mato | M | 744997 | 7519101 | 3 | - | 9 | 20 | 224 | 28 | 7.1 | 23.5 | 36.5 | - | 5 | 61 | 66 |
| Caldo Cana | M | 748045 | 7519411 | 11 | 3 | 12 | 27 | 470 | 197 | 7.1 | 21.8 | 21.9 | 46 | 15 | 6 | 21 |
| Jumento | M | 741127 | 7518886 | 11 | 3 | 12 | 47 | 354 | - | 7.2 | 23.1 | 20.0 | 59 | 35 | 0 | 35 |
| Macumba | M | 750824 | 7522644 | 2 | 2 | 10 | 17 | 822 | 65 | 7.1 | 19.0 | 19.0 | 86 | 2 | 2 | 5 |
| Placa | M | 750087 | 7523154 | 2 | 1 | 8 | 21 | 887 | 42 | 7.2 | 19.2 | 22.0 | 91 | 13 | 4 | 17 |
| Renata | M | 742224 | 7517433 | 15 | 3 | 20 | 49 | 174 | 743 | 7.2 | 24.1 | 19.0 | 81 | 10 | 36 | 47 |
| S. Queadas | M | 743897 | 7519499 | 1 | 1 | 14 | 47 | 337 | 28 | 7.0 | 21.6 | 15.1 | 84 | 0 | 0 | 0 |

Nota: Bacia – GA = Sub-bacia do Guapiaçu; GM = Sub-bacia de Guapimirim e M = Sub-bacia do Itacacú.

X e Y _COORD – coordenadas geográficas (UTM) dos pontos de coleta.

Tam – tamanho da micro-bacia em Km²; Largura (largura média) e prof (profundidade média) do canal e altitude do ponto de coleta em m.

Vazão em L/s; Temp (temperatura) em graus Celsius; cond (condutividade) em µS/cm; Dossel em %.

Agro (impacto agrícola e pecuária), Urb (impacto urbano) e Imp_L (impacto Local = soma dos impactos Agro e Urb) em percentagens.