

FONTES AUTOTRÓFICAS DE ENERGIA

EVANILDE BENEDITO-CECILIO (COORDENADORA); CÉLIA DE ALMEIDA LOPES (PÓS-GRADUANDA);
ALEXANDRE LEANDRO PEREIRA (GRADUANDO); MILENA M. ORIMOTO (GRADUANDA); GISLAINE IACHSTEL
MANETTA (PÓS-GRADUANDA); MARIA CONCEIÇÃO DE SOUZA (PESQUISADORA)

Resumo

O presente subprojeto, nesta primeira fase de desenvolvimento, necessitou sofrer readequações frente a disponibilidade de recursos e de equipamentos. Neste sentido, priorizou-se questões de cunho específico, não perdendo de vista ações que alicerçariam a continuidade dos estudos. Optou-se por investigar as fontes de energia mantenedoras de uma das espécies mais importantes na pesca na bacia do rio Paraná, sensível aos impactos antrópicos e às alterações ambientais (*Prochilodus lineatus*), ao mesmo tempo em que foram analisadas as composições isotópicas dos produtores primários presentes nos principais subsistemas. Assim, embora muito exista a fazer, para as próximas etapas, o estudo das demais espécies de peixes será facilitada pelas informações básicas obtidas, nesta fase, acerca dos produtores primários.

Fontes de energia para *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) (Characiformes, Prochilodontidae) na Bacia do Rio Paraná, entre a foz dos rios Paranapanema e Iguaçu

Introdução

O conhecimento da organização estrutural e funcional dos ecossistemas aquáticos é essencial ao sucesso das medidas de manejo, bem como a previsão de como tais sistemas podem responder às alterações de qualquer natureza. Para que medidas de conservação se efetivem é necessário o entendimento da origem e do destino dos recursos no ambiente.

A análise de isótopos estáveis (SIA) em estudos de ecologia tem auxiliado a delinear e a melhor compreender a dinâmica e o fluxo das fontes de carbono e de nitrogênio entre os organismos produtores, consumidores e decompositores nas teias alimentares (Fry,

1988; Yoshioka *et al.* 1988; Neill & Cornwell, 1992; Forsberg *et al.* 1993). A crescente utilização desta análise tem sido atribuída a limitação das técnicas convencionais em estudos de dieta e migração animal (Hobson & Wassenaar, 1999).

Os diversos componentes da cadeia alimentar, refletem exatamente o $\delta^{13}\text{C}$ das suas fontes de energia, com pequenas diferenças, aumentando 0,2 a 1‰ a cada nível trófico, sendo possível avaliar, portanto, a origem do carbono de um consumidor através da análise do seu $\delta^{13}\text{C}$ (France & Peters, 1987). As fontes autotróficas para os peixes podem ser avaliadas de acordo com o ciclo fotossintético das plantas, as quais geram padrões distintos de fracionamento isotópico, resultantes da ação enzimática que seleciona ^{12}C e ^{13}C de maneiras distintas. No ciclo C_3 (CALVIN) as plantas discriminam o CO_2 apresentando um valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ de -27‰, enquanto que no ciclo C_4 (HATCH-SLACK) ocorre uma menor

discriminação, originando um $\delta^{13}\text{C}$ médio de -13‰ (Leite, 2000). Um outro processo de discriminação é observado para as plantas do ciclo do ácido crassuláceo ou intermediário (CAM), estas plantas apresentam um sistema de fixação do CO_2 especializado, destinado, principalmente, a manter um balanço relativamente positivo de carbono nos tecidos e $\delta^{13}\text{C}$ em faixas intermediárias àquelas dos outros ciclos.

O $\delta^{15}\text{N}$, por sua vez, oferece a possibilidade de se desenhar a estrutura trófica. Este isótopo não identifica os produtores primários como os $\delta^{13}\text{C}$, mas ele é fracionado consistentemente ao longo da teia trófica permitindo uma inferência sobre a posição trófica dos consumidores. O aumento de $\delta^{15}\text{N}$ dos animais é de cerca de 3,4‰ por nível trófico e aqueles com $\delta^{15}\text{N}$ mais próximos aos dos produtores são considerados consumidores diretos das plantas (Vander Zanden, 1997).

Atualmente, no país pesquisas acerca das SIAs ainda são incipientes e concentraram-se na Amazônia, tendo sido desenvolvidos no final da década de 80 e início da de 90 por Araujo-Lima *et al.* 1986, Martinelli *et al.* 1992 e Halmiton *et al.* 1992. Na bacia do rio Paraná a origem e percentuais de contribuição das fontes autotróficas para as espécies de peixes são desconhecidas e especialmente imprescindíveis ao entendimento dos recursos responsáveis pela produção de biomassa das espécies que compõem o estoque pesqueiro.

Dentre as cinco espécies mais abundantes na pesca praticada no reservatório de Itaipu (75% dos desembarques), área de maior atividade pesqueira da bacia do rio Paraná, apenas o *Prochilodus lineatus* (curimba), espécie migradora, pertencente a ordem Characiformes, se manteve entre as mais capturadas. Entretanto nos últimos anos, os estoques dessa espécie têm apresentado notável depleção (FUEM.NUPELIA/ITAIPU BINACIONAL, 1999). Para a planície de inundação, único trecho livre, localizado acima do reservatório

de Itaipu, Veríssimo (1994) relata que a duração e continuidade das cheias exercem forte influência no recrutamento e consequentemente na biomassa da espécie, evidenciando, portanto, sua dependência em relação ao nível hidrológico.

Este quadro requer uma tomada de medidas adequadas, as quais devam ser contempladas no âmbito de um amplo plano de investigação das fontes que sustentam a biomassa do curimba na pesca, visto esta constituir-se na principal atividade econômica da população ribeirinha do reservatório de Itaipu, além do fato da espécie representar, devido a seu hábito alimentar (sedimentos e detritos), importante elo entre os organismos produtores e consumidores.

Neste contexto considerando que: i) ao invés de fertilizar a várzea, como ocorre com outros grandes rios de planície, o rio Paraná exerce efeito diluidor, empobrecendo os ambientes por ele alagados, enquanto, que os rios de porte médio, ao penetrarem na planície podem apresentar comportamento inverso ao do rio Paraná (Agostinho & Zalewski, 1996) e ii) que a biomassa do peixe é o produto final de uma série de transformações de energia, iniciada pelos produtores primários, portanto, dependente da quantidade de carbono produzida por estes organismos, bem como da eficiência de como isto é assimilado e passado ao longo da teia alimentar aquática (Forsberg *et al.*, 1993), propõem-se a hipótese que a composição isotópica e a posição trófica de *Prochilodus lineatus* varia espacial e sazonalmente, na bacia do rio Paraná entre a foz dos rios Paranapanema e Iguaçu. Assim, o presente trabalho tem como objetivo a investigação das fontes autotróficas utilizadas pela espécie e a sua posição trófica na cadeia alimentar.

Material e Métodos

O estudo está sendo conduzido na bacia do rio Paraná, entre a foz dos rios Paranapanema e Iguaçu, compreendendo a planície de

inundação do rio Paraná (22° 40' a 22°50' S e 53° 1' a 53° 40' W) e o reservatório de Itaipu (24° 05' a 25° 33'S e 54° 00' a 54° 37'W). Com base em estudos detalhados acerca das características físicas e químicas apresentados em FUEM/CIAMB-PADCT (1993) e FUEM.NUPELIA/ITAIPU BINACIONAL (1999) a área de estudo foi subdividida nos seguintes subsistemas:

► **Paraná (RPRA):** calha principal do rio Paraná, localizada nas imediações do município de Porto Rico e, lagoa aberta *ressaco do Pau Véio*;

► **Baía (RBAI):** segmentos estreito (inferior) e alargado (superior) do rio Baía;

► **Ivinheima (RIVI):** calha principal do rio Ivinheima e lagoa aberta *Finado Raimundo*;

► **Reservatório de Itaipu (RESE):** trecho lântico (*Santa Helena*) e lótico (*Guaíra*).

A coleta do material biológico foi processada de forma específica para cada grupo de estudo (animais e plantas) durante o período de cheia (fevereiro e março/2000), como descrito a seguir:

► **Plantas Vasculares:** foram amostradas folhas de macrófitas, da vegetação ripariana e de gramíneas C₃ e C₄, compreendendo as espécies mais comuns de cada subsistema (Agostinho & Zalewski, 1996; Campos, 1997; Romagnolo, 1998). Cada amostra correspondeu a uma réplica em *pool*, composta de 5 folhas de exemplares distintos da mesma espécie. A vegetação ripariana foi ainda, codificada para identificação e depositada no Herbário do Departamento de Biologia da Universidade Estadual de Maringá (HUM).

► **Zooplâncton:** coletado com auxílio de rede de zooplâncton (53 µm) e ou, quando necessário, com bomba de sucção escovante. As amostras foram posteriormente triadas e acondicionadas em papel alumínio. Os valores isotópicos do fitoplâncton foram determinados considerando o fracionamento de 1‰ por nível

trófico (Tieszen *et al.* 1983). Assim, foram triados cladóceros e copépodos filtradores, sendo os últimos separados, ainda em ciclopoideis e calanoides;

► **Perifíton:** obtido através da raspagem de substratos (pedra, planta ou tronco) e retidos em filtros de fibra de vidro (GFC-Whatman), previamente submetidos a combustão (550°C durante 4 horas).

► **POC (Carbono Orgânico Particulado):** constituído da mistura de partes de fitoplâncton e microorganismos suspensos na coluna da água. As amostras consistiram da filtragem 2l de água em filtros de fibra de vidro (GFC-Whatman), também previamente submetidos a combustão (550°C durante 4 horas). Para remoção de carbonatos, as amostras de POC, plantas C₃ e C₄, zooplâncton e de perifíton foram ainda enxagadas em solução de HCl a 1N. Cada amostra de POC, perifíton e zooplâncton foram analisadas como amostras combinadas, em número de 4 por subsistema;

► **Peixes:** foram coletados com redes de espera de diferentes malhagens e/ou arrastos. De cada exemplar, considerado como uma réplica, foram tomados o comprimento padrão (Ls) e uma amostra de músculo (aproximadamente 2 cm²), próximo a base de inserção da nadadeira dorsal.

Com exceção do zooplâncton, as demais amostras, devidamente identificadas, foram submetidas a secagem em estufa a 50°C. Em seguida foram maceradas em gral de porcelana até a obtenção de um pó fino e enviadas ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), em Piracicaba, São Paulo. A determinação da razão isotópica de carbono e nitrogênio foi realizada em espectrômetro de massa (Micromass 602-E, Finnegan Mat, Bremen, Germany), conforme descrito em Martinelli *et al.* (1992) e Forsberg *et al.* (1993).

Os resultados para o carbono foram expressos em δ¹³C relativo ao padrão de referência PDB (“Belemnite” da formação

PeeDee do Grand Canyon, Carolina do Sul, USA).

$$\delta^{13}C = \left[\left(\frac{^{13}C}{^{12}C_{amostra}} \right) - \left(\frac{^{13}C}{^{12}C_{PDB}} \right) \right] \times 1000 \quad (1)$$

As contribuições máximas e mínimas dos produtores primários para o *P. lineatus* foram estabelecidas através de uma equação do balanço de massa utilizando os valores médios de $\delta^{13}C$ das fontes potenciais de carbono, conforme informações publicadas acerca de sua dieta (Fugi, 1993). Uma vez que esta espécie é uma comedora de detritos e neste hábito alimentar o consumo baseia-se em fitoplâncton sedimentado e fragmento de folhas (Yossa & Araújo-Lima, 1998) e nunca sementes ou caule, considerou-se como fontes potenciais de carbono de plantas C_3 (macrófitas e gramíneas C_3 e vegetação ripariana C_3), plantas C_4 (macrófitas e gramíneas C_4) e fitoplâncton.

As contribuições máximas e mínimas de cada grupo foram estimadas considerando um dos “end members” como 0, a partir da equação adaptada de Forsberg *et al.* (1993):

$$\%C_4 = \left[\frac{1 - \delta^{13}C_{peixe} - \delta^{13}C_{c4}}{\delta^{13}C_{c3} - \delta^{13}C_{c4} - \delta^{13}C_{fito}} \right] \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

$\%C_4$ = contribuição das plantas C_4 ;

$\delta^{13}C_{peixe}$ = valor médio $\delta^{13}C$ de *P. lineatus*;

$\delta^{13}C_{c3}$ = valor médio $\delta^{13}C$ das plantas C_3 ;

$\delta^{13}C_{c4}$ = valor médio $\delta^{13}C$ das plantas C_4 ;

$\delta^{13}C_{fito}$ = valor médio $\delta^{13}C$ do fitoplâncton.

O $\delta^{15}N$ foi calculado como na equação (1), substituindo a razão $^{13}C/^{12}C$ por $^{15}N/^{14}N$, sendo utilizado como padrão o nitrogênio atmosférico.

Para calcular a posição trófica com base no $\delta^{15}N$ foi usada a fórmula (Vander-Zanden *et al.*, 1997):

Sendo:

$$PT = \left\{ \frac{(\delta^{15}N_{peixe} - 4,7)}{3,4} \right\} + 1 \quad (3)$$

PT = posição trófica;

4,7 = $\delta^{15}N$ médio das plantas vasculares;

3,4 = incremento por nível trófico em $\delta^{15}N$.

Devido ao fato das determinações isotópicas não estarem concluídas, as contribuições máximas e mínimas dos produtores primários para o *P. lineatus* foram realizadas apenas para o subsistema reservatório de Itaipu, enquanto que a posição trófica da espécie foi calculada somente para o subsistema Paraná.

As análises gráficas e estatísticas foram conduzidas no STATISTIC 5.0TM. Diferenças entre as médias isotópicas obtidas entre os subsistemas para *P. lineatus* e entre os grupos de plantas C_3 e C_4 , fitoplâncton e perifíton foram verificadas através de ANOVA e teste de Tuckey (Zar, 1974).

Resultados

Variações espaciais na composição isotópica

São apresentados a seguir, por subsistema amostrado, os valores de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ para as plantas vasculares, zooplâncton, perifíton, POC e *P. lineatus*.

a) Plantas Vasculares

Foram determinadas as razões isotópicas de 60 amostras: 17 da vegetação ripariana; 36 de macrófitas C_3 e 7 de macrófitas C_4 . Os valores de $\delta^{13}C$ variaram de -27,9 a -32,2‰ para a vegetação ripariana; de -22,3 a -30,9‰ para macrófitas C_3 ; de -11,6 a -18,0‰ para macrófitas C_4 (Figs. 1-3).

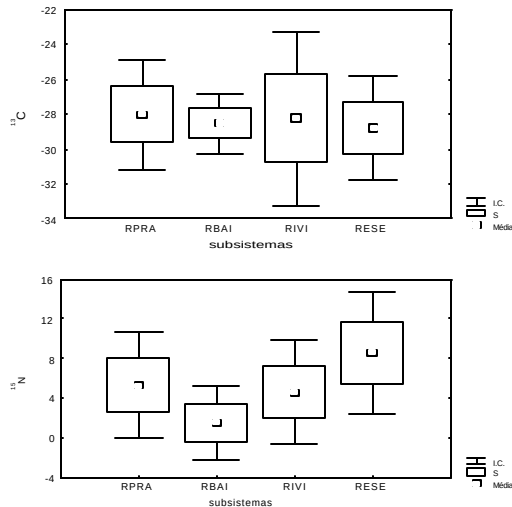


Figura 1. Valores médios, desvio padrão (s) e intervalo de confiança (I.C.) de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de macrófitas C_3 por subsistema amostrado.

O subsistema Paraná apresentou valores médios mais negativos para a vegetação ripariana C_3 ($-30,1 \pm 1,5\%$) e para macrófitas C_4 ($-18,0\%$), embora os mais positivos para macrófitas G ($-28,1 \pm 1,6\%$). No reservatório de Itaipu constatou-se valores médios mais negativo para as macrófitas G ($-28,8 \pm 1,5\%$), enquanto aqueles das as macrófitas C_4 situaram-se em $-13,8$ e $\pm 2,2\%$. No geral, os subsistemas Baía e Ivinheima apresentaram tendências similares quanto aos valores isotópicos intermediários quando comparados aos outros subsistemas.

As plantas vasculares apresentaram variabilidade de $\delta^{15}\text{N}$ de $-0,05$ a $5,4\%$ para a vegetação ripariana; $-1,4$ a $8,3\%$ para as macrófitas G ; $1,9$ a $10,9\%$ para as macrófitas C_4 . Os maiores valores isotópicos médios para as macrófitas C_3 e C_4 e para a vegetação ripariana C_3 foram verificados para os subsistemas Paraná e reservatório de Itaipu, enquanto os menores foram constatados para os subsistemas Baía e Ivinheima.

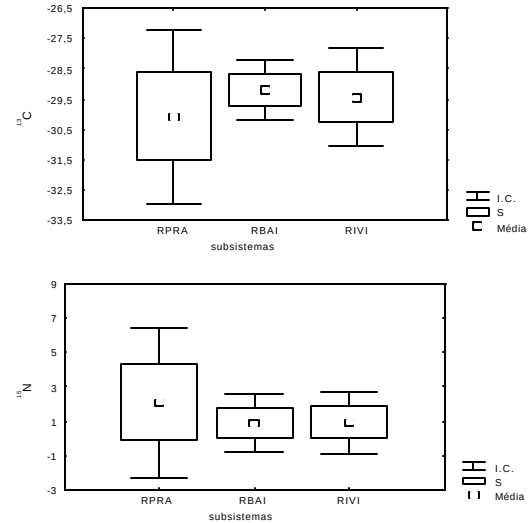


Figura 2. Valores médios, desvio padrão (s) e intervalo de confiança (I.C.) de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ da vegetação ripariana C_3 por subsistema amostrado.

Algumas folhas de plantas C_3 (macrófitas e vegetação ripariana) apresentaram valores negativos de $\delta^{15}\text{N}$, evidenciando considerável depleção no nitrogênio assimilado.

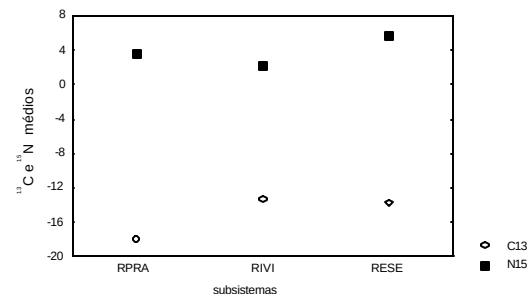


Figura 3. Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de macrófitas C_4 por subsistema amostrado.

b) Invertebrados, perifíton e POC

As proporções isotópicas de zooplâncton foram determinadas apenas para o reservatório de Itaipu e rio Paraná que apresentaram, respectivamente, valores isotópicos médios de $\delta^{13}\text{C}$ de $-28,9$ e $-31,3 \pm 2,1\%$ e de $\delta^{15}\text{N}$ de $10,4$

e $9,9 \pm 1,2\%$ (Figura 4). A partir desses valores, considerando-se ainda o fracionamento isotópico de 1% por nível trófico, estimou-se os valores médios isotópicos de carbono para o fitoplâncton em $-29,9\%$ (reservatório de Itaipu) e $-32,3\%$ (Paraná).

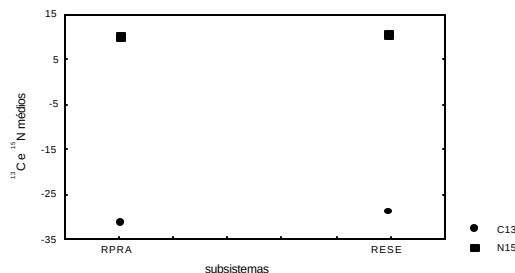


Figura 4. Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do zooplâncton por subsistema amostrado.

A análise de 18 amostras de perifíton e 19 de POC revelou, respectivamente, variação isotópica de carbono de $-21,1$ a $-30,3\%$ e de $-19,5$ a $-33,2\%$. O subsistema Baía apresentou os valores médios mais negativos para o POC e perifíton, enquanto que o reservatório de Itaipu e os rios Ivinheima e Paraná apresentaram os valores mais positivos. Os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton foram maiores nos subsistemas Paraná, Ivinheima e reservatório de Itaipu (Figura 5 e 6).

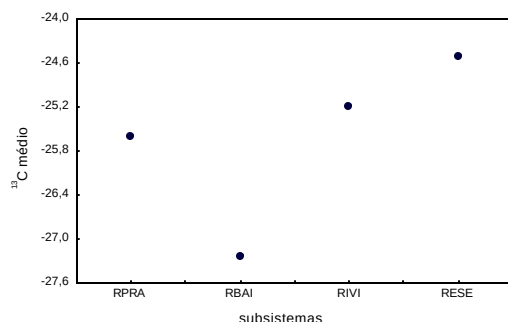


Figura 5. Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ de POC (carbono orgânico particulado) por subsistema amostrado.

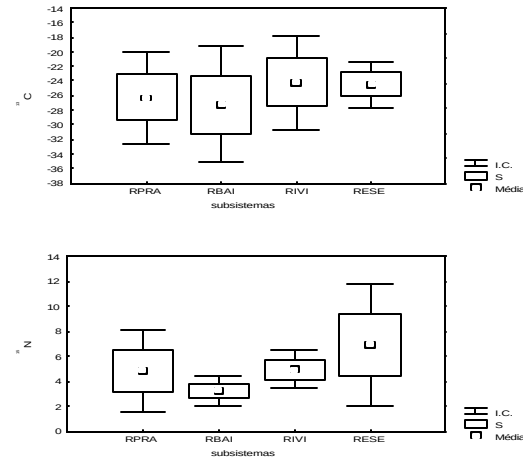


Figura 6. Valores médios, desvio padrão (S) e intervalo de confiança (I.C.) de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do perifíton por subsistema amostrado.

c) *Prochilodus lineatus*

Proporções isotópicas de carbono e nitrogênio foram determinadas para 32 exemplares adultos de *P. lineatus* com comprimento padrão (Ls) compreendido entre 23,5 a 39,3cm. Os $\delta^{13}\text{C}$ da espécie variaram de $-21,2$ a $-35,5\%$ entre os subsistemas estudados. Os valores médios mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ foram constatados nos subsistemas Baía ($-31,7 \pm 2,5\%$) e Ivinheima ($-30,0 \pm 2,4\%$), enquanto que os mais positivos foram verificados para o reservatório de Itaipu ($-4,9 \pm 5,1\%$) e para o trecho livre de barramentos do rio Paraná ($-25,6 \pm 4,5\%$), localizado logo acima. No entanto, diferenças significativas foram observadas somente para o subsistema Paraná em relação aos subsistemas Baía e Ivinheima (ANOVA: gl = 3; F = 6,37; $p < 0,05$ e Tukey: $p < 0,05$). O reservatório de Itaipu não diferenciou-se dos demais subsistemas.

As concentrações de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de 4,9 a 12,0‰ e seus valores médios apresentaram tendências semelhantes àquelas observadas para os $\delta^{13}\text{C}$, isto é, os valores menores foram $6,9 \pm 0,7$ e $7,6 \pm 0,8\%$ nos subsistemas Baía e

Ivinheima e os maiores foram $9,1 \pm 4,1\%$ e $10,7 \pm 2,3\%$ no reservatório de Itaipu e rio Paraná, respectivamente (Figura 7).

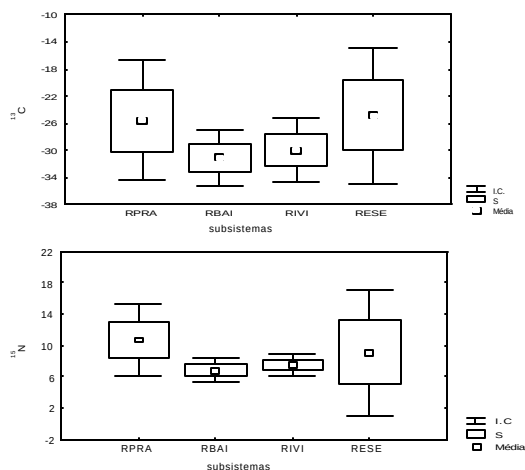


Figura 7. Valores médios, desvio padrão (S) e intervalo de confiança (I.C.) de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de *Prochilodus lineatus* por subsistema amostrado.

Fontes de carbono para *Prochilodus lineatus* e sua posição trófica

A análise de variância revelou diferenças significativas entre as assinaturas isotópicas de carbono (ANOVA: gl = 4; F = 37,11; p < 0,05) e de nitrogênio (ANOVA: gl = 4; F = 8,81; p < 0,05) entre as plantas vasculares, o perifiton e o fitoplâncton. O teste de Tukey (Zar, 1974) evidenciou diferenças nítidas dos $\delta^{13}\text{C}$ das macrófitas C_4 e do fitoplâncton em relação aos outros grupos estudados (p < 0,05). Os dois grupos acima mencionados apresentaram ainda os valores máximos e mínimos de carbono isotópico. Através do teste de Tukey observou-se também que a vegetação ripariana C_3 apresentou assinaturas isotópicas de nitrogênio distintas dos demais grupos com exceção apenas das macrófitas C_4 .

As contribuições percentuais das fontes autotróficas de carbono para *P. lineatus*, no reservatório de Itaipu demonstraram que a espécie recebe até 80% do carbono proveniente

das plantas C_3 , sendo também alta a contribuição do fitoplâncton, até 75%, enquanto as plantas C_4 tiveram uma contribuição máxima de 25% (Tab. 1).

Tabela 1 Porcentagem das contribuições de plantas C_4 (C_4), plantas C_3 (C_3) e fitoplâncton para *Prochilodus lineatus* baseado no balanço de massa (as variações representam as contribuições mínimas e máximas de cada produtor primário).

SUBSISTEMA	C_4 (%)	C_3 (%)	Fito (%)
Itaipu	19 – 25	0 – 81	0 – 75

Discussão

A variabilidade isotópica das plantas vasculares tem sido atribuída aos fatores genéticos e ambientais. Como a principal fonte de carbono para esta categoria provém do CO_2 atmosférico ou molecular (CO_2 e HCO_3^-), sua composição isotópica e, conseqüentemente, dos organismos consumidores dependem da composição de suas fontes. Nos ambientes aquáticos os valores de CO_2 estão relacionados com a maior variação tanto no conteúdo isotópico como na concentração que o CO_2 dissolvido apresenta em relação ao CO_2 atmosférico, causando heterogeneidade dentro dos compartimentos aquáticos que por sua vez promovem diferenças relevantes nos $\delta^{13}\text{C}$ das plantas (Martinelli *et al.* 1988; 1991).

Para a área de estudo, a variação espacial na composição isotópica das plantas vasculares caracterizou-se pelos valores mais negativos para a vegetação ripariana C_3 , no subsistema Paraná. Neste caso, esses vegetais podem estar participando de processos de fixação de um ^{13}C mais deplecionado, provenientes, de maiores fracionamentos, quando comparados aos outros subsistemas. Por outro lado, os valores mais positivos para as macrófitas C_3 foram observados neste subsistema, uma vez que se constituíram exclusivamente de gramíneas C_3 , marginais e portanto mais próximas do

ambiente terrestre do que aquelas dos outros subsistemas, os quais constituíram-se, principalmente, por macrófitas aquáticas. Isto é coerente uma vez que o CO_2 em ambientes aquáticos é caracterizado como mais pobre em ^{13}C (Medina *et al.* 1986).

Os valores isotópicos positivos do POC para a maioria dos subsistemas, com exceção apenas para o Baía, coincidem com o observado por Benedito-Cecilio *et al.* (2000) na Amazônia durante o mesmo período hidrológico. Estes autores atribuíram este resultado como oriundo da incorporação de um carbono mais pesado (mais positivo) de partes da vegetação vascular inundada e ou do seston durante o período de águas altas. Para a presente área de estudo não foi registrado uma grande quantidade de plantas C_4 , as quais apresentam valores mais positivos de carbono, no entanto estudos fitossociológicos realizados na planície de inundação do rio Paraná apontam plantas do ciclo fotossintético intermediário (CAM), como a *Cecropia pachystachya*, entre as mais abundantes na vegetação ripariana (Souza *et al.* 1997). A composição isotópica desta planta, descrita pela literatura varia de -15 a -20‰, enquanto as plantas C_4 encontram-se entre -9 a -16‰ e as plantas C_3 entre -20 a -33‰ (Ribeiro *et al.* 1998).

Deste modo, pode-se hipotetizar que partes da *C. pachystachya* podem estar compondo o POC dos subsistemas Paraná e Ivinheima, localizados na planície de inundação. Por outro lado, o fato da composição em ^{13}C do POC ser mais leve no reservatório de Itaipu pode ser atribuído a uma composição maior de partes de macrófitas C_3 submersas, muito positivas como é o caso da *Egeria najas*, caracterizada como abundante neste subsistema por Thomaz *et al.* (1999). O POC pode conter ainda partes de microorganismos, o que ajuda a reforçar a existência de valores ainda mais positivos. Na Amazônia, Araujo-Lima *et al.* (1986) constataram que o POC é constituído em cerca de 60% de fitoplâncton, o que o torna muito negativo. Entretanto, os valores negativos do POC constatados para o subsistema Baía

podem estar relacionados a fontes com razão isotópica mais leve, se comparados com aqueles provenientes do fitoplâncton.

O perifíton acompanhou a mesma tendência registrada para o POC, sendo seus valores mais positivos e evidenciando influências da fixação de um carbono mais leve pela comunidade aderida a este substrato. Os valores de perifíton podem refletir a composição de sua comunidade e para o presente estudo esses valores podem sugerir três situações: i) a composição desta comunidade varia de acordo com o subsistema; ii) a composição isotópica de seus componentes é que varia ou iii) a ocorrência de ambas as situações. Essa questão, poderá ser esclarecida após a análise dos resultados obtidos para a comunidade perifítica e comparados com aqueles obtidos na conclusão deste trabalho para o período de águas baixas.

Como esperado, os valores isotópicos do fitoplâncton, estimados através do zooplâncton, apresentaram os valores mais negativos dentre as fontes investigadas, demonstrando o fracionamento isotópico típico de ecossistemas aquáticos.

As variações intraespecíficas na composição isotópica de um animal dependem entre outros fatores do habitat (Hughes & Sherr 1983; France & Steedman 1996). Neste estudo a composição isotópica espacial de exemplares adultos de *Prochilodus lineatus* apresentou um gradiente decrescente no sentido rio Paraná, incluindo os subsistemas Paraná e reservatório de Itaipu, em direção aos subsistemas da margem direita Baía e Ivinheima. Benedito-Cecilio *et al.* (2000) relatam que espécies comedoras de detritos consomem POC, entretanto, processos de seletividade do material consumido também são registrados (Forsberg *et al.* 1993). Desse modo, provavelmente, a composição isotópica dos peixes da calha principal do rio Paraná e do subsistema Baía esteja recebendo fortes influências dos $\delta^{13}\text{C}$ do POC sedimentado. Este fato não foi observado para os peixes do

Ivinheima, que parecem estar selecionando uma fonte mais negativa.

Os percentuais de assimilação de carbono do *P. lineatus* provenientes das plantas C_4 e C_3 e do fitoplâncton situaram-se mais próximos àqueles constatados para *P. nigricans* na bacia Amazônica, nos trechos superiores do rio Amazonas, sendo maior a contribuição do carbono proveniente das plantas C_3 (Benedicto-Cecílio *et al.* 2000).

Destaca-se que ao longo de todo o reservatório de Itaipu a pesca do curimba, constitui-se em uma das principais fontes de recurso para a população ribeirinha (FUEM.NUPELIA/ITAIPU BINACIONAL, 1999). Entretanto a pesca da espécie tem sofrido decréscimo nos últimos anos, atribuído às alterações no nível da água (Veríssimo, 1999). Por outro lado, os resultados preliminares aqui apresentados demonstram que esta produção pesqueira é também dependente da produção das plantas vasculares e do fitoplâncton, sendo possível que o presente cenário pesqueiro reflita a destruição da vegetação marginal, além das alterações aquáticas impostas pelos represamentos.

No geral, o subsistemas Paraná e reservatório de Itaipu apresentaram os maiores valores médios de $\delta^{15}N$ para as amostras coletadas, sugerindo que nestes ambientes ocorram relações tróficas mais complexas, uma vez que ocorre enriquecimento deste isótopo ao longo dos níveis tróficos. Para o perifíton, o uso de $\delta^{15}N$ reforçou a hipótese anteriormente mencionada para os $\delta^{13}C$, ou seja, os maiores valores médios indicam a participação na comunidade perifítica de organismos pertencentes a níveis tróficos superiores.

Estudos de análise do conteúdo estomacal sugerem que o *Prochilodus lineatus* ocupa o segundo nível trófico, sendo a ocorrência de detritos e sedimento dominantes e a de invertebrados restrita a ordem de 0 a 30% do que é geralmente ingerido (Hahn *et al.* 1997). No entanto, nem todos os itens ingeridos são assimilados pelo peixe, e o uso de $\delta^{15}N$

constitui-se em uma ferramenta adicional a estudos de dieta, uma vez que suas assinaturas refletem a origem do que realmente é assimilado pelo organismo. Assim, o cálculo da posição trófica baseada nos valores de $\delta^{15}N$ demonstrou que a espécie ocupa o terceiro nível trófico no subsistema Paraná, revelando, possivelmente, uma maior assimilação de detritos de origem animal, que, apesar de pouco ingerido, parece ocupar papel relevante no processo energético. Além disso, esse subsistema e o reservatório de Itaipu apresentaram os maiores valores médios de $\delta^{15}N$, evidenciando que nos demais subsistemas *P. lineatus* deva participar de relações tróficas menos complexas.

Referências

- AGOSTINHO, A. A.; ZALEWSKI, M. A. A planície alagável do alto rio Paraná: importância e preservação. Maringá: EDUEM, 1996. 100 p.
- AGOSTINHO, A. A.; JULIO JUNIOR, H. F.; GOMES, L.C.; BINI, L.M.; AGOSTINHO, C.S. Composição, abundância e distribuição espaço-temporal da ictiofauna. In: VAZZOLER, A. E. A. de M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá: EDUEM, 1997. p.179-208.
- AGOSTINHO, A. A.; JULIO JUNIOR, H. F. Peixes da bacia do alto Paraná. In: LOWE-MCCONNEL, R. H. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. Tradução: Anna Emília Amato de Moraes Vazzoler, Angelo Antônio Agostinho, Patrícia T. M. Cunningham. São Paulo: Ed. da USP, 1999. p. 374-400. (Coleção Base). Título original: Ecological studies in tropical fish communities.
- BARBIERI, M. C. Contribuição ao estudo da biologia de *Gymnotus carapo* (Linnaeus, 1758) na Represa Lobo. Estado de São Paulo. (Pisces, Ostariophysi, Gymnotidae). 1981 220 f. : il. Tese (Doutorado).
- BARDAKCI, F.; SKIBINSKI, D.O.F. Application of the RAPD technique in Tilapia fish: species and subspecies identification. *Heredity*, v. 73, p. 117-

123, 1994.

BILLINGTON, ; STRANGE, R.M. Mitochondrial DNA analysis confirms the existence of a genetically divergent Walleye population in Northeastern Mississippi. *Transaction American Fisheries Society*, v. 124, p. 770-776, 1995.

BORIN, L. A.; JÚLIO JUNIOR., H. F. Ocorrência de um novo citótipo de *Gymnotus carapo* (SILURIFORMES – Gymnotoidei) no alto rio Paraná. In: SIMPÓSIO DE CITOGENÉTICA EVOLUTIVA E APLICADA DE PEIXES NEOTROPICAIS, 5., 1994, Botucatu. Botucatu: UNESP.

BOROWSKY, R. L.; MCCLELLAND, M.; CHENG, R.; WELSH, J. Arbitrarily primed DNA fingerprinting for phylogenetic reconstruction in vertebrates: The *Xiphophorus* model. *Molecular Biology Evolution*, v. 12, no. 6, p. 1022-1032, 1995.

CRUZ, C.D. *Programa Genes. Aplicativo computacional em genética e estatística*. Viçosa: Ed. da UFV, 1997. 442 p.

ELO, K.; IVANOFF, S.; VUORINEN, J.A.; PIIRONEN, J. Inheritance of RAPD markers and detection of hybridization with brown trout and Atlantic salmon. *Aquaculture*, v. 152, p. 55-65, 1997.

FERNANDES-MATIOLI, F. M. *Evolução e estrutura de populações no gênero Gymnotus (Pisces: Gymnotiformes)*. 1999. 165 f. : il. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUPTA, M.; CHYI, Y-S; ROMERO-SEVERSON, J.; OWEN, J.L. Amplification of DNA markers from evolutionary diverse genomes using single primers of simple-sequence repeats. *Theor. Appl. Genet.* v. 89, p. 998-1006, 1994.

LYNCH, M. The similarity index and DNA fingerprinting. *Molecular Biology Evolution*, v. 7, p. 478-484, 1990.

LYNCH, M. Analysis of population genetic structure by DNA fingerprinting. In: BURKE, T.; DOLF, G.; JEFFREYS, A.J.; WOLF, R. (Ed.). *DNA fingerprinting approaches and applications*. Basel, Switzerland: [S.n.], 1991. p. 113-126.

METTLER, L. E; GREEG, T. G. *Genética de populações e evolução*. São Paulo: Polígono: Ed. da USP, 1973.

MULLIS, K.B.; FALOONA, F.A.; SCHARF, S.J.; SAIKI, R.K.; HORN, G.T.; ERLICH, H.A. Specific enzymatic amplification of DNA *in vitro*: The Polymerase Chain Reaction. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.*, v. 51, p. 263-273, 1986.

RYMAN, N.; UTTER, F. *Population genetics and fishery management*. Seattle: University of Washinton Press, 1987.

THOMAZ, S. M; ROBERTO, M. C.; BINI, L. M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A. E. A. de M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: EDUEM, 1997. 460 p.

WELSH, J; MCCLELLAND, M. 1990. Fingerprinting genomes using PCR with arbitrarily primer. *Nucleic Acids Res.*, v. 18, p. 7013-7218.

WHITMORE, D.H.; THAI, T.H.; CRAFT, C.M. Gene amplification permits minimally invasive analysis of fish mitochondrial DNA. *Transactions of the American Fisheries Society*, v.121, p. 170-177, 1992.

WILLIAMS, J.G.K.; KUBELIK, A.R.; LIVAK, J.; RAFALSKI, J.A.; TINGEY, S.V. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res.*, v. 18, p. 6531-6535, 1990.