

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE BIOCÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

PAPEL EFETIVO DE UMA ESPÉCIE NO FLUXO DE
MATÉRIA E ENERGIA: ESTIMATIVA DO NICHOS
ISOTÓPICO DE *Astyanax sp. aff. fasciatus*

Tanilene Sotero Pinto Persch

Orientador: Dr. Nelson Ferreira Fontoura

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PORTO ALEGRE – RS – BRASIL

2011

SUMÁRIO

Dedicatória	III
Agradecimentos	IV
Resumo	VI
Abstract	VII
Introdução	1
Tabela 1	9
Tabela 2	10
Materiais e Métodos	11
Resultados	16
Tabela 3	18
Tabela 4	18
Figura 1	19
Figura 2	20
Figura 3	21
Figura 4	22
Figura 5	23
Figura 6	23
Discussão	24
Referências Bibliográficas	29
Anexo	33

Ao meu marido

Sempre compreensivo com minha ausência,
presente em todos os momentos de angústia e conquista,
concluo ao teu lado mais essa jornada,
conhecendo bem a definição da palavra *companheiro*.

Serei eternamente grata pelo teu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Carla e Braulio, pelo constante incentivo e apoio desde minha educação básica até a conclusão deste trabalho. Tenham a certeza de que continuarei seguindo pelo caminho que me ensinaram com tanto amor e carinho. Lutarei sempre pelos meus sonhos! Agradeço também aos meus irmãos, Diogo, Stella e Cláudio, por alegrarem cada minuto da minha vida e participarem desta conquista, cada um com seu jeitinho particular. As perguntas curiosas, desenhos e adesivos de peixes com certeza me fortaleceram muito.

Um muito obrigado ao meu orientador, Dr. Nelson, pelos ensinamentos científicos e não-científicos, pelos aprendizados em campo, pela arte da pesca e da fotografia e pelas piadas que descontraíam a todos no laboratório. Foste fundamental para o meu crescimento profissional, não apenas pela realização da pesquisa, mas pelos ensinamentos que levarei sempre comigo.

Não posso esquecer das minhas colegas, já que fomos carinhosamente apelidadas de “Nelsetes” e “peixólogas” pelos demais colegas do curso. Cibele: como o Professor pediu no início do mestrado para sermos “irmãzinhas” e trabalharmos juntas, acredito que cumprimos bem este papel! Fomos irmãzinhas para os debates científicos, para a força dentro d’água, para a bancada, para os pacotes de bolacha na volta do campo e para os momentos de angústia e medo dos resultados. Obrigada pelo teu carinho e tua companhia. Nosso trabalho não para aqui! Tatiana: como agradecer essa amiga que o mestrado me trouxe de presente? Não trabalhamos diretamente juntas, mas dividimos todas as conquistas e derrotas ao longo destes dois anos. Acredito que nossa amizade está muito além do coleguismo e dos mil-folhas no 40! Conte sempre comigo, amiga!

Aos demais colegas de laboratório: José Ricardo, Lúcia, Prof^a. Laura e Régis, por tornarem o Laboratório de Ecologia Aquática um lugar agradável e prazeroso para o estudo. Obrigada pelo apoio!

Quero agradecer também a Dr^a. Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues, por compartilhar conosco seu aprendizado sobre os isótopos e ser sempre atenciosa em nossos questionamentos sobre a técnica.

Obrigada ao Técnico Marcus, do Laboratório de Cromatografia do Departamento de Química da PUCRS, por sempre ceder os equipamentos para preparação do material.

Não posso esquecer de agradecer ao Prof. Carlos Graeff Teixeira pelos inúmeros debates científicos. És um professor brilhante, guardarei ótimas recordações das disciplinas de Ecologia do Parasitismo e Atitudes em Ciências Biológicas. Curiosidade científica contagia! Ao coordenador do curso, Prof. Júlio César Bicca-Marques, pelos incontáveis conselhos, pela torcida pelos resultados positivos e pelo “desenvolvimento artístico” de meu mestrado. Precisando de uma macaca para o teatro, estamos aí!

À Prof^a. Guendalina Turcato Oliveira pelas dicas, incentivos, estímulos científicos e pelas portas abertas. Espero que ainda possamos “aprontar” muito juntas em prol da Ciência.

A todos os meus amigos e amigas, que de longe viam minha dedicação e torciam pelo meu sucesso! Minha “mááádrasta” Thaís, meus sogros Delmar e Margarete, minha cunhada Neca, Renata, Elenice, Marília e Bibiana... Muito obrigada!

Por fim, agradeço a CAPES pela bolsa concedida.

RESUMO

O objetivo deste trabalho constitui-se em testar um novo conceito de nicho para animais que modifiquem sua função ecológica em relação ao desenvolvimento ontogenético. O modelo de nicho isotópico considera todas as fases do desenvolvimento ontogenético, bem como a biomassa da espécie, sendo esta resultante do balanço entre peso e abundância. Primeiramente, estabelece-se a probabilidade de sobrevivência por idade, determinada através da equação: (1) $P_t = e^{-M \cdot t}$; onde P_t é a probabilidade de um animal chegar a idade t , e é a base dos logaritmos naturais, M é a taxa de mortalidade natural e t é a idade dos indivíduos. O padrão de crescimento em peso da espécie é descrito conforme a equação de von Bertalanffy (1938): (2) $W_t = a \cdot (L_{inf} (1 - e^{-k \cdot (t-t_0)}))^b$; onde W_t é o crescimento em peso, a é o coeficiente de proporcionalidade da relação peso-comprimento, L_{inf} é o comprimento assintótico, e é a base dos logaritmos naturais, k é a constante de crescimento, t é a idade dos indivíduos, t_0 é o parâmetro relacionado com o comprimento do animal ao nascer e b é o coeficiente de alometria da relação peso-comprimento. A biomassa é ajustada pelo produto das equações 1 e 2, sendo: (3) $B_t = W_t \cdot P_t$; onde B_t é a biomassa por recruta, W_t o resultado da curva de crescimento em peso e P_t da probabilidade de sobrevivência. A assinatura isotópica segue o padrão do desenvolvimento ontogenético da espécie. No caso de seguir uma relação linear: (4) $\delta^{15}N_{(t)} = a \cdot L_{(t)} + b$; onde $\delta^{15}N_{(t)}$ é a assinatura isotópica na idade t , $L_{(t)}$ é o comprimento dos indivíduos na idade t e a e b são parâmetros da equação de reta. Considerando que a equação anterior (4) relaciona $\delta^{15}N$ com tamanho, é possível converter esta estimativa em uma função da idade aplicando-se a função de crescimento em comprimento de von Bertalanffy: (5) $\delta_t^{15}N_{(t)} = a \cdot (L_{inf} \cdot (1 - e^{-k \cdot (t-t_0)})) + b$; onde L_{inf} é o comprimento assintótico, e é a base dos logaritmos naturais, k é a constante de crescimento, t é a idade dos indivíduos, t_0 é o parâmetro relacionado com o comprimento do animal ao nascer, $\delta^{15}N_{(t)}$ é a assinatura isotópica na idade t , $L_{(t)}$ é o comprimento dos indivíduos na idade t e a e b são parâmetros da equação de reta entre a assinatura isotópica e o tamanho. O relativo impacto isotópico ($\delta_i^{15}N$) de um grupo etário dentro de uma comunidade depende da assinatura isotópica daquela idade específica e da sua abundância como biomassa, definido então por: (6) $\delta_F^{15}N = \int [\delta_i^{15}N_{(t)} \cdot B_{(t)}] dt \cdot \int B_{(t)} dt$; onde \int é a integral definida da idade 0 até a longevidade máxima da espécies (A_{95}), definida por Taylor como a idade para atingir 95% do comprimento assintótico (L_{inf}), sendo estimada como $-2,996/k$. No presente trabalho, as integrais referentes à equação 6 foram resolvidas através do software Maple 14 (Maplesoft). Como modelo de espécie para este estudo escolhemos *Astyanax sp. affinis fasciatus* (Cuvier, 1819) que é exclusivamente de água doce, bentopelágico e de ampla distribuição, ocorrendo entre o México e a Argentina. O programa de amostragens foi desenvolvido através de duas campanhas amostrais na Lagoa da Pinguela (29°49'S; 50°10'W), no município de Osório, Rio Grande do Sul. As amostras foram coletadas em novembro/dezembro de 2009 e março/abril de 2010. Os espécimes foram coletados utilizando-se uma rede de arrasto de praia de 50m de comprimento, 1,5m de altura e malha com 5mm entre nós adjacentes. Foram processadas amostras referentes a 23 indivíduos de *A. sp. aff. fasciatus* para determinar as assinaturas isotópicas de ^{15}N e ^{13}C (UC Davis Stable Isotope Facility, na Universidade da Califórnia, EUA). Um total de 1.181 espécimes de *A. sp. aff. fasciatus* foram capturados (713 machos, 104 fêmeas e 364 juvenis), com uma proporção aproximada de seis macho para cada fêmea. A média de comprimento total em machos foi de 10,53cm, em fêmeas 11,01cm e em juvenis 7,51cm. Identificou-se uma tendência linear crescente de aumento do valor de assinatura isotópica de ^{15}N ($\delta^{15}N=0,2054 \cdot L_t + 8,2823$; $R^2=0,58$; $p=0,00002$) e ^{13}C ($\delta^{13}C=0,3479 \cdot L_t - 23,413$, $R^2=0,37$; $p=0,00197$) em função do comprimento total (L_t) dos indivíduos, indicando variação de fonte primária de carbono e alteração de nível trófico em função do crescimento dos animais. A integral definida da Biomassa por recruta para *A. sp. aff. fasciatus*, com idades entre 0 e três anos, teve como resultado numérico 1,97g, significando que, em média, cada indivíduo nascido produz 1,97 gramas de peso. A integral definida (0-3 anos) para o produto da Biomassa (eq. 3) pela variação de $\delta_t^{15}N$ em função do tamanho (eq. 5), apresentou como resultado numérico 20,13. Desta forma, a estimativa do Nicho Isotópico ($\delta_F^{15}N$, eq. 6) para *A. sp. aff. fasciatus* foi estimado em 10,20. Para $\delta^{13}C$, a integral definida (0-3 anos) para o produto da Biomassa (eq. 3) pela variação de $\delta_t^{13}C$ em função do tamanho (eq. 5), apresentou como resultado numérico -39,83. Desta forma, a estimativa do Nicho Isotópico ($\delta_F^{13}C$, eq. 6) para *A. sp. aff. fasciatus* foi estimado em -20,17.

ABSTRACT

THE EFFECTIVE ROLE OF A SPECIES IN THE FLOW OF MATTER AND ENERGY: ESTIMATE OF ISOTOPIC NICHE OF *Astyanax* sp. aff. *fasciatus*

This work aims to test a new concept of niche for animals that change their ecological role along ontogenetic development. The isotopic niche concept considers all stages of ontogenetic development, as well as the biomass of the species, which is the result of the balance between weight and abundance. First, we establish the probability of survival by age, determined by the equation: (1) $P_t = e^{-M \cdot t}$, where P_t is the probability of an animal to reach age t , e is the base of the natural logarithms, M is the natural mortality rate and t is the age of the individuals. The weight growth curve is described by the von Bertalanffy equation: (2) $W_t = a \cdot (L_{inf} (1 - e^{-k \cdot (t-t_0)}))^b$; where W_t is the weight at age t , a is the coefficient of proportionality of the length-weight relationship, L_{inf} is the asymptotic length, e is the base of the natural logarithms, k is the growth constant, t is the age of the individuals, t_0 is the parameter related to the length of the animal at birth, and b is the coefficient of allometry of the length-weight relationship. Biomass is adjusted by the product of the equations 1 and 2: (3) $B_t = W_t \cdot P_t$; where B_t is the biomass per recruit, W_t is the result of the growth curve in weight, P_t is the survival probability. The isotopic signature follows any pattern according to the ontogenetic development of the species. In the case of a linear relationship: (4) $\delta^{15}N_{(t)} = a \cdot L_{(t)} + b$; where $\delta^{15}N_{(t)}$ is the isotopic signature at age t , $L_{(t)}$ is the length of the individuals at age t and a and b are the parameters of the equation. Considering that the previous equation (4) relates $\delta^{15}N$ with the size, it's possible convert this estimate into a function of age by applying the length growth function: (5) $\delta_t^{15}N_{(t)} = a \cdot (L_{inf} \cdot (1 - e^{-k \cdot (t-t_0)})) + b$; where L_{inf} is the asymptotic length, e is the base of the natural logarithms, k is the growth constant, t is the age of the individuals, t_0 is the parameter related to the length of the animal at birth, $\delta^{15}N_{(t)}$ is the isotopic signature at age t , $L_{(t)}$ is the length of the individuals at age t and a e b are the parameters of the equation between the isotopic signature and the size. The relative isotopic impact ($\delta_t^{15}N$) of an age group into a community depends on the isotopic signature of that particular age and their abundance in biomass, defined by: $\delta_F^{15}N = \int [\delta_t^{15}N_{(t)} \cdot B_{(t)}] dt \cdot \int B_{(t)} dt$ where \int is the definite integral from age 0 up to the maximum longevity of the species (A_{95}), defined by Taylor as the age to reach 95% of the asymptotic length (L_{inf}), estimated as $-2,996/k$. In this paper, the integral related to the equation 6 were solved using the software Maple 14 (Maplesoft). As a model species for this study it was chosen *Astyanax* sp. aff. *fasciatus* (Cuvier, 1819) which is a freshwater fish, benthopelagic and with a wide distribution, occurring between Mexico and Argentina. The sampling program was developed through two sampling campaigns in Lake Pinguela (29°49'S, 50°10'W), in the municipality of Osório, Rio Grande do Sul. The samples are collected in November/December 2009 and March/April 2010. The specimens were collected using a beach seine net 50 m long, 1.5 m height and mesh with 5mm between adjacent nodes. Muscle samples of 23 individuals of *A. sp. aff. fasciatus* were used to determine the isotopic signatures of ^{15}N and ^{13}C (UC Davis Stable Isotope Facility at the University of California, USA). A total of 1181 specimens of *A. sp. aff. fasciatus* were captured (713 males, 104 females and 364 juveniles), with an approximate ratio of six males for every female. The mean total length in males was 10.53cm; 11.01cm in females and 7.51cm in juveniles. It was identified an increasing linear trend of increasing value of ^{15}N isotopic signature ($\delta^{15}N = 0,2054 \cdot L_t + 8,2823$; $R^2 = 0,58$; $p = 0,00002$) and ^{13}C ($\delta^{13}C = 0,3479 \cdot L_t - 23,413$, $R^2 = 0,37$; $p = 0,00197$) according to the total length (L_t) of the individuals, indicating changes in primary carbon source and trophic level changes as function of the length of the animals. The definite integral of the biomass per recruit function for *A. sp. aff. fasciatus*, with ages between 0 to three years, have a numeric result of 1.97g, meaning that, on average, each born individual produces 1.97grams of weight. The definite integral (0-3 years) for the product of biomass (eq. 3) by the $\delta_t^{15}N$ in function of the size (Eq. 5), presented as numerical result 20.13. Considering this, the estimated of Isotopic Niche ($\delta_F^{15}N$, eq. 6) for *A. sp. aff. fasciatus* was estimated as 10.20. For $\delta^{13}C$, the definite integral (0-3 years) for the product of biomass (eq. 3) by varying $\delta_t^{13}C$ in function of the size (Eq. 5), presented as numerical result -39.83. Considering this, the estimated of Isotopic Niche ($\delta_F^{13}C$, eq. 6) for *A. sp. aff. fasciatus* was estimated as -20.17.

INTRODUÇÃO

É de extrema importância para a ciência o conhecimento da transferência de matéria e energia para que se obtenha sucesso em qualquer tentativa de intervenção para o manejo e gestão de ecossistemas aquáticos. Porém, para tanto, se faz necessário o conhecimento da biologia de cada espécie integrante deste sistema para que assim se elabore a matriz básica da cadeia ou teia trófica, elemento essencial para que se quantifique o fluxo de matéria e energia ao longo dos diferentes níveis tróficos.

Por serem heterótrofos, os animais não podem elaborar os compostos complexos necessários à sua sobrevivência a partir de moléculas simples disponíveis no ambiente. Assim, dependem da produtividade primária (taxa de produção de biomassa por organismos autótrofos) para obter matéria e energia (Begon *et al.*, 2007).

Espécies onívoras têm seu fluxo de energia dividido, devido ao consumo de matéria vegetal e animal. Esta divisão é proporcional à porcentagem de alimento ingerido, entre dois ou mais níveis tróficos (vegetal e animal) (Odum & Barrett, 2007). Devem ser observadas as variações sazonais de disponibilidade e abundância de itens alimentares, assim como as exigências nutricionais específicas de cada fase de desenvolvimento do animal. A grande maioria das espécies não se alimenta de uma única fonte alimentar ao longo de todo o seu desenvolvimento, pois esta deve ser adaptada ao seu tamanho e às necessidades fisiológicas para que ocorra pleno desenvolvimento.

Compreender como funciona o fluxo de matéria e energia na natureza se torna uma ferramenta essencial no combate à ruptura das cadeias alimentares. Assim, pode-se ter a capacidade de inferir possíveis falhas nas ações de preservação ou os danos de ações humanas sob uma comunidade mesmo quando apenas uma espécie sofrer com alterações populacionais ou até mesmo a extinção desta população, pois a perda de uma única espécie pode refletir-se em outras espécies e populações da comunidade em análise. O uso de marcadores radioativos era comum no estudo de cadeias alimentares. Com o desenvolvimento dos instrumentos de detecção, os marcadores radioativos deram lugar aos isótopos estáveis (Odum & Barrett, 2007). Com o

aprimoramento dos aparelhos de análise na década de 1930, os isótopos passaram a ser utilizados para traçar o fluxo de matéria e energia em estudos ambientais.

O uso da técnica de isótopos estáveis vem sendo cada vez mais freqüente em estudos de nutrição animal, principalmente quando comparados com a técnica de análise de conteúdo estomacal. Esta técnica baseia-se na investigação da dinâmica de incorporação de isótopos estáveis nos tecidos. Os compostos mais comumente analisados são o $\delta^{13}\text{C}$ e o $\delta^{15}\text{N}$, havendo significativas diferenças de acordo com os tecidos analisados, decorrentes da atividade metabólica dos mesmos.

Todos os elementos químicos possuem isótopos, havendo variação no número de nêutrons e conseqüentemente variação da massa atômica. Se o isótopo emitir radiação é considerado radioativo ou instável, pois muda sua massa por emissão de partículas subatômicas; do contrário, é estável (Martinelli *et al.*, 2009).

Reações físicas, químicas ou biológicas existentes na natureza promovem o chamado fracionamento, caracterizado pela alteração de concentração de um elemento químico em determinado animal ou tecido, podendo ocorrer o enriquecimento ou deplecionamento.

$$\epsilon(\text{p/s}) = \delta(\text{p}) - \delta(\text{s})$$

$$\delta = R_{(\text{amostra})} / R_{(\text{padrão})}$$

onde:

ϵ é o fator de enriquecimento (ou discriminação isotópica);

δ é a razão isotópica;

R é a razão de concentração $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

$\delta(\text{p})$ é o valor de delta em partes por mil do animal (‰);

$\delta(\text{s})$ é o valor de delta em partes por mil da dieta (‰).

A notação δ (delta) é expressa em partes por mil (‰) devido às variações naturais serem muito pequenas (da ordem de 10^{-2}). Os valores

obtidos podem ser negativos ou positivos, dependendo da relação entre a amostra e o padrão. Quando os valores forem negativos, a amostra é empobrecida em relação ao padrão, podendo ser consideradas “mais leves”, enquanto amostras enriquecidas, com valores positivos, são consideradas “mais pesadas”.

A existência dos isótopos passou a ser aceita pela comunidade científica a partir de 1920, após a apresentação do espectrógrafo de massa de F. W. Aston, utilizado para separar íons de diferentes massas. Entre 1927 e 1932 foram descobertos os isótopos ^{32}S , ^{33}S e ^{34}S , logo outros como ^{13}C , ^{18}O , ^{17}O , ^{15}N e ^2H . Atualmente, diferentes tipos de amostras (sólidas, líquidas ou gasosas) são analisadas por fluxo contínuo com aparelhagem apropriada ao estado físico da amostra, acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS - *Isotope Ratio Mass Spectrometer*) (Martinelli *et al.*, 2009).

Post (2002) apresenta uma ampla revisão sobre o uso de isótopos estáveis para a estimativa de posição trófica de uma espécie. Neste trabalho o autor afirma que, para os estudos de cadeias alimentares, a obtenção de uma base isotópica é um dos problemas mais difíceis para a aplicação das técnicas de isótopos estáveis. O autor analisou o modelo proposto por Vander Zanden & Rasmussen (1999) e afirma que este pode fornecer o $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ para estimativa de posição trófica, porém com duas restrições. A primeira é a necessidade de se encontrar uma relação linear entre $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{base}}$ e que $\delta^{13}\text{C}_{\text{base}}$ precisa explicar muito da variação do $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$. Outra restrição do modelo é a inconsistência entre os lagos estudados, da inclinação da relação entre $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{base}}$, o que precisa ser estudado de forma individualizada para cada lago. Para Post (2002) este modelo pode ser aplicado apenas para as espécies que apresentem um modelo de relação linear entre $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{base}}$ e que, infelizmente, poucos ecossistemas naturais apresentam tais condições.

Vanderklift & Ponsard (2003) complementam o trabalho de Post (2002), revisando valores de fracionamento em 132 espécies de diferentes grupos taxonômicos e ecossistemas. Os autores constataram que a excreção pode ser um dos aspectos a diferenciar os animais quanto à quantidade de $\delta^{15}\text{N}$, visto que peixes apresentaram valores baixos em relação aos pássaros. Isto reflete também na avaliação ambiental, onde ambientes aquáticos obtiveram valores

inferiores aos de ambientes terrestres, devido à maioria dos indivíduos secretarem amônia. A diferença não foi significativa, mas afirmam que não há relação aparente entre as estimativas isotópicas e a fonte alimentar. Esta estimativa concorda com Post (2002), que não encontrou variação entre herbívoros e carnívoros, porém discordam de Vander Zanden & Rasmussen (2001) onde o enriquecimento de $\delta^{15}\text{N}$ foi menor e mais variável para os herbívoros.

Desta forma, Vander Zanden & Rasmussen (2001) concluem que consumidores primários são os melhores indivíduos para se utilizar a fim de estimar a base de uma cadeia trófica. Vanderklift & Ponsard (2003) estimaram um enriquecimento de 2,98‰ de ^{15}N para ambientes de água doce. Já Vander Zanden & Rasmussen (2001) utilizaram um valor de enriquecimento único para todos os habitats (3,4‰), pois acreditam que o ambiente não deve interferir nos valores de ^{15}N e ^{13}C .

Os valores dos isótopos estáveis variam de forma previsível ao longo dos diferentes níveis tróficos de um ecossistema, pois dependem do tipo de fixação biológica de CO_2 e dos processos de fracionamento bioquímico que ocorreram na fonte primária. Taiz & Zeiger (2006) destacam que a discriminação de isótopos de carbono revela rotas fotossintéticas diferentes. No caso de plantas C_3 , a fotossíntese ocorre somente via o ciclo fotossintético de Calvin, fixando o CO_2 atmosférico por meio da Rubisco nas células do mesófilo foliar. Dentro deste grupo encontram-se o fitoplâncton, perifíton e algumas macrófitas. As plantas C_4 possuem uma adaptação anatômica denominada de células da bainha vascular (estrutura Kranz), onde ocorre a fixação do CO_2 pela Fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) como é o caso da vegetação ripária e das macrófitas flutuantes.

Os valores isotópicos das fontes terrestres e aquáticas podem ser mais uma ferramenta útil ao entendimento da origem das fontes mantenedoras das cadeias alimentares (Lopes *et al.*, 2006). A $\delta^{13}\text{C}$ é freqüentemente utilizada para diferenciar dietas baseadas em plantas com diferentes vias fotossintéticas (Peterson & Fry, 1987). Por outro lado, a taxa de $\delta^{15}\text{N}$ pode ser utilizada para estimar a posição trófica, pois o ^{15}N de um consumidor é geralmente enriquecido com 2,5-3,4‰ relativamente a sua dieta (DeNiro & Epstein, 1981;

Peterson & Fry, 1987; Post, 2002; Vanderklift & Ponsard, 2003). Entretanto, não são levados em consideração os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para estimativa de posição trófica, pois esta é mais facilmente identificável a partir do fracionamento de $\delta^{15}\text{N}$ (Post, 2002). A Tabela 1 apresenta valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de diferentes produtores primários aquáticos e peixes neotropicais com diferentes hábitos alimentares.

As variações isotópicas são refletidas nas taxas de *turnover* de cada tecido do animal. Estas taxas consistem na velocidade do organismo em degradar um tecido velho e sintetizar um novo. Cada tecido possui sua taxa de *turnover* própria, de acordo com a atividade metabólica desenvolvida. O fígado, por exemplo, possui uma alta taxa de *turnover*, quando comparado com outro tipo de tecido, como o muscular. Podemos também visualizar que diferentes formas metabólicas de fixação do CO_2 nas plantas interferem na disponibilidade de $\delta^{13}\text{C}$ ao consumidor primário que delas se alimenta. Segundo Manetta (2003), através do *turnover* é possível identificar o tempo necessário para que uma espécie revele uma nova dieta nos diferentes tecidos.

A taxa de *turnover* dos isótopos é correlacionada com a massa corpórea e, para ganhar massa, organismos com um rápido crescimento possuem taxas de *turnover* mais rápidas. Post (2002) ainda explica que a taxa de *turnover* dos tecidos de grandes consumidores, como peixes, varia de meses a anos sendo então a assinatura isotópica destes representativa da dieta referente a um longo período de tempo. Um dos problemas mais difíceis é obter uma base isotópica para estimar a posição trófica. Para este autor, um consumidor primário com longa expectativa de vida deve ser um reflexo preciso da assinatura isotópica da base da cadeia alimentar que ele representa.

Abelha *et al.* (2001) constataram que uma dieta flexível é característica marcante da ictiofauna fluvial tropical, onde a maioria das espécies pode alterar sua preferência alimentar de acordo com as oscilações na disponibilidade e na abundância relativa do recurso alimentar em uso. Há muitas dificuldades para estabelecer um padrão alimentar específico fidedigno para as espécies de teleosteos, pois quase todas as espécies variam troficamente durante a ontogenia, e em muitas populações, os indivíduos podem apresentar preferências alimentares ou fazer uso de táticas alimentares distintas,

conduzindo a um forrageamento intraespecífico diferenciado. Uma mesma espécie pode variar sua dieta conforme os estágios de desenvolvimento dos indivíduos, decorrentes das diferenças na demanda energética e nas limitações morfológicas, implicando em dietas diferenciadas durante o desenvolvimento (Abelha *et al.*, 2001).

Neste estudo, a motivação foi a elaboração de uma análise populacional que considerasse não apenas a alteração no hábito alimentar para inferência de posição trófica. Comumente são utilizadas técnicas de análise de conteúdo estomacal e observações diretas para inferir as interações tróficas e utilização dos recursos. Porém alguns itens presentes na dieta podem ser subestimados devido sua rápida digestibilidade, não sendo assim agregado nas informações alimentares da espécie (Jepsen, 1999). Uma equação capaz de estabelecer uma relação numérica para a assinatura isotópica identifica, além da posição trófica do animal, a origem da fonte de carbono entre os produtores primários.

A diferença na abundância entre as diferentes idades também deve ser considerada. Essa diferença de abundância também nos questiona sobre qual grupo etário se faz mais importante, mais participativo no fluxo de matéria e energia. Assim, para caracterizar uma população, quais indivíduos são mais representativos: os indivíduos jovens e abundantes ou os indivíduos adultos e raros?

Assim, o objetivo principal deste trabalho é testar um novo conceito de nicho, para peixes ou qualquer outro animal que modifique sua função ecológica em relação do desenvolvimento ontogenético.

Diferentes autores elaboraram hipóteses para o nicho isotópico. Newsome *et al.* (2007) que elaboraram uma revisão sobre o assunto destacando a importância dos isótopos e estudos avançados para a ecologia e possíveis limitações, como o elevado custo de análises. Schimidt *et al.* (2007) elaboraram uma análise baseada em métrica circular com uso de isótopos estáveis em cadeias alimentares, como as métricas utilizadas para quantificar o movimento individual dos organismos pelo ambiente. Hoeninghaus & Zeug (2008) discutiram as seis métricas propostas por Layman *et al.* (2007a) para mensurar a estrutura de comunidades tróficas utilizando $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, apontando suas limitações. Layman & Post (2008) publicaram uma réplica ao comentário feito por Hoeninghaus & Zeug (2008) e destacam que a idéia

principal é fornecer uma nova ferramenta ao estudo das cadeias ecológicas e não um tratado metodológico.

O diferencial do trabalho aqui proposto é análise da população em vários aspectos, não apenas isotópica ou entre diferentes análises métricas. Este modelo, denominado de Nicho Isotópico (Fontoura, em preparação), sintetiza em um único valor o nível trófico e a fonte primária de carbono para uma determinada espécie, considerando a variação ontogenética do hábito alimentar e a biomassa, como relação entre abundância e peso dos indivíduos. Para atingir este objetivo, necessita-se estimar primeiramente os parâmetros da curva de crescimento em comprimento, os parâmetros da relação peso-comprimento e a taxa de mortalidade natural desta população.

Como modelo de espécie para este estudo foi escolhido *Astyanax* sp. *affinis fasciatus* (Cuvier, 1819) que é exclusivamente de água doce, bentopelágico e de ampla distribuição, ocorrendo entre o México e a Argentina (Lima *et al.*, 2003). Diversos autores publicaram recentemente suas premissas quanto a esta espécie (Garutti & Britski, 2000; Melo, 2001; Melo & Buckup, 2006; Tavares, 2007), sugerindo tratar-se de um complexo de espécies. Assim, Melo (2005) define como *Astyanax fasciatus* apenas aqueles indivíduos pertencentes à drenagem do Rio São Francisco enquanto os indivíduos das diferentes localidades são pertencentes ao “complexo *Astyanax fasciatus*”. Por se tratar-se então de uma espécie *affinis* de *Astyanax fasciatus*, esta será denominada de *Astyanax* sp. *aff. fasciatus*.

O gênero *Astyanax* (Baird & Girard, 1854) é um dos mais ricos em espécies dentro da família Characidae, a mais complexa e numerosa da Ordem Characiformes. Estão distribuídos do sul dos Estados Unidos à Argentina (Oyakawa *et al.* 2006), sendo conhecidos por lambari ou piaba.

Wolff *et al.* (2009) estudaram a dieta de *Astyanax* sp. *aff. fasciatus* de acordo com o tamanho dos indivíduos e a estação do ano. Os autores observaram dieta composta basicamente por plantas e insetos, especialmente fragmentos de folhas, sementes, frutos, algas filamentosas, insetos aquáticos e terrestres. Os autores ainda constataram uma variação sazonal dos itens ingeridos, com uma maior diversidade registrada durante o período da primavera. Concluíram classificando a espécie como propensa à insetivoria, quando imatura e à herbivoria, quando adulta.

Porém, o hábito alimentar dos indivíduos pode ser flexível de acordo com a disponibilidade de recursos, com uma ampla variação ontogenética, espacial e temporal. Andrade *et al.* (2007) caracterizaram a espécie como onívora através da análise de conteúdo estomacal, destacando o caráter oportunista do consumo dos itens alimentares. Garcia *et al.* (2007) observaram para a espécie valores de $-21,85 \pm 1,6$ e $11,26 \pm 0,9$ para o $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente, após análise realizada com 3 indivíduos de 8,27 cm ($\pm 4,07$ cm) de comprimento, coletados na Lagoa dos Patos (32° S 49° W), no Rio Grande do Sul.

Segundo a ferramenta *Life-history* (www.fishbase.org), *A. fasciatus* possui elevada resiliência, com tempo mínimo de duplicação da população menor que 15 meses, sendo um importante item alimentar de espécies piscívoras (Câmara *et al.*, 1991). Na tabela 2 são apresentados parâmetros populacionais da espécie segundo esta ferramenta, do banco de dados Fish Base (www.fishbase.org).

É importante destacar que *Astyanax sp. aff. fasciatus* é apenas um modelo para que se possa testar a teoria do Nicho Isotópico aqui proposta. Por este motivo, não serão considerados outros grupos taxonômicos que façam parte desta cadeia trófica. Em uma análise da cadeia se fariam necessários organismos basais e de posições tróficas mais elevadas para determinar a posição desta espécie no fluxo de matéria e energia. O objetivo aqui proposto é testar a aplicabilidade do modelo.

Tabela 1: Valores de referência para $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em produtores primários aquáticos e peixes neotropicais de diferentes níveis tróficos.

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Autor	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Autor	
Produtores	Plantas C ₃	-22 a -34	Caldara <i>et al.</i> , 2007	10,10 a -0,6	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002
		-17,2 a -32,8	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	14,34 a -4,5	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002
	Plantas C ₄	-11,2 a -15,1	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	-2,05 a 5,66 -2 a 8,6	Martinelli <i>et al.</i> , 2009 Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002
		Macrófita C ₃	-28,42 ± 2,73	Lopes <i>et al.</i> , 2006	4,15 ± 3,88
	Macrófita C ₄	-13,0 ± 0,87	Lopes <i>et al.</i> , 2006	3,51 ± 3,17	Lopes <i>et al.</i> , 2006
	Fitoplâncton	-41 a -30	Martinelli <i>et al.</i> , 2009	-0,6 e 11,6	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002
		-24,3 a -36,6	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	5,28 ± 2,43	Lopes <i>et al.</i> , 2006
	Perífiton	-32 a -18,2	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	-0,6 e 11,6	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002
		-25,0 ± 3,41	Lopes <i>et al.</i> , 2006	5,56 ± 3,13	Lopes <i>et al.</i> , 2006
	Peixes	Piscívoros	- 27,5 ± 1,4	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	9.60 ± 0.9
- 22.38 ± 0.5			Garcia <i>et al.</i> , 2007	9.29	Garcia <i>et al.</i> , 2007
Herbívoros		- 28,4 ± 2,3	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	-	-
		- 26,8 ± 2,5	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	-	-
Iliófagos		-38,9 a -29,8	Calheiros, 2003	5,9 a 9,2	Calheiros, 2003
		- 30 ± 4,1	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	9.89 ± 0.6	Garcia <i>et al.</i> , 2007
		- 19,7 ± 1,5	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	-	-
Insetívoros		- 29,2 ± 1,2	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	-	-
Bentófagos		- 31,5 ± 2,6	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	13.20 ± 0.3	Garcia <i>et al.</i> , 2007
		- 21,5 ± 2,6	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002		
Onívoros	- 28,4 ± 1,2	Benedito-Cecilio <i>et al.</i> , 2002	11.82 ± 0.3	Garcia <i>et al.</i> , 2007	
	- 20.14	Garcia <i>et al.</i> , 2007	12.84	Garcia <i>et al.</i> , 2007	
	- 21.50	Garcia <i>et al.</i> , 2007	10.50	Garcia <i>et al.</i> , 2007	
	- 24.60	Garcia <i>et al.</i> , 2007	10.94	Garcia <i>et al.</i> , 2007	
	- 21.85 ± 1.6	Garcia <i>et al.</i> , 2007	11.26 ± 0.9	Garcia <i>et al.</i> , 2007	

Tabela 2. Dados do *Life-history Tools* (www.FishBase.org) para *Astyanax fasciatus*. Comprimento expresso como comprimento total em centímetros, peso total em gramas e taxas de crescimento e mortalidade em base anual.

Comprimento padrão máximo ($L_{m\acute{a}x}$)	16,8 (15,0-21,1)
Comprimento assintótico (L_{inf})	17,8
Comprimento de maturidade (L_m)	11,1 (8,3-14,9)
Peso total máximo ($W_{m\acute{a}x}$)	69,7
Constante de crescimento (k)	1,19
Mortalidade natural (M)	2,03 (1,34-3,07)

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo de nicho isotópico segue proposta de Fontoura (em preparação) que considera todas as fases do desenvolvimento ontogenético, bem como a biomassa da espécie, sendo esta resultante do balanço entre peso e abundância. O modelo inicialmente proposto foi mantido com a maior simplicidade possível, porém modelos mais complexos podem ser aplicados de acordo com o comportamento da espécie.

Primeiramente, estabelece-se a probabilidade de sobrevivência por idade, determinada através da equação de Ricker (1975):

$$(1) P_t = e^{-M \cdot t}$$

onde P_t é a probabilidade de um animal chegar a idade t , e é a base dos logaritmos naturais, M é a taxa de mortalidade natural e t é a idade dos indivíduos.

O padrão de crescimento em peso da espécie é descrito conforme a equação de von Bertalanffy (1938):

$$(2) W_t = a \cdot (L_{inf} (1 - e^{-k(t-t_0)}))^b$$

onde W_t é o crescimento em peso, a é o coeficiente de proporcionalidade da relação peso-comprimento, L_{inf} é o comprimento assintótico, e é a base dos logaritmos naturais, k é a constante de crescimento, t é a idade dos indivíduos, t_0 é o parâmetro relacionado com o comprimento do animal ao nascer e b é o coeficiente de alometria da relação peso-comprimento.

A biomassa é ajustada pelo produto das equações 1 e 2, sendo:

$$(3) B_t = W_t \cdot P_t$$

onde B_t é a biomassa por recruta, W_t o resultado da curva de crescimento em peso e P_t da probabilidade de sobrevivência.

A assinatura isotópica segue o padrão do desenvolvimento ontogenético da espécie. No caso de seguir uma relação linear:

$$(4) \delta^{15}N_{(t)} = a \cdot L_{(t)} + b$$

onde $\delta^{15}N_{(t)}$ é a assinatura isotópica na idade t , $L_{(t)}$ é o comprimento dos indivíduos na idade t e a e b são parâmetros da equação de reta.

Considerando que a equação anterior (4) relaciona $\delta^{15}\text{N}$ com tamanho, é possível converter esta estimativa em função da idade aplicando-se a função de crescimento em comprimento de von Bertalanffy:

$$(5) \delta_t^{15}\text{N}_{(t)} = a. (L_{inf} \cdot (1 - e^{-k(t-t_0)})) + b$$

onde L_{inf} é o comprimento assintótico, e é a base dos logaritmos naturais, k é a constante de crescimento, t é a idade dos indivíduos, t_0 é o parâmetro relacionado com o comprimento do animal ao nascer, $\delta_t^{15}\text{N}_{(t)}$ é a assinatura isotópica na idade t , $L_{(t)}$ é o comprimento dos indivíduos na idade t e a e b são parâmetros da equação de reta entre a assinatura isotópica e o tamanho.

O relativo impacto isotópico ($\delta_t^{15}\text{N}$) de um grupo etário dentro de uma comunidade depende da assinatura isotópica daquela idade específica e da sua abundância como biomassa, definido então por:

$$(6) \delta_F^{15}\text{N} = \int [\delta_t^{15}\text{N}_{(t)} \cdot \mathbf{B}_{(t)}] dt \cdot \int \mathbf{B}_{(t)} dt$$

onde \int é a integral definida da idade 0 até a longevidade máxima da espécie (A_{95}), definida por Taylor (1962) como a idade para atingir 95% do comprimento assintótico (L_{inf}), sendo estimada como $-2,996/k$. No presente trabalho, as integrais referentes à equação 6 foram resolvidas através do software Maple 14 (Maplesoft).

O programa de amostragens foi desenvolvido através de duas campanhas amostrais na Lagoa da Pinguela (29°49' S 50°10' W), no município de Osório, Rio Grande do Sul. As amostras foram coletadas em novembro/dezembro de 2009 e março/abril de 2010. Os espécimes foram coletados utilizando-se rede de arrasto de praia de 50 metros de comprimento, 1,5 metros de altura e malha com 5 milímetros entre nós adjacentes.

Após a captura, os espécimes de *A. sp. aff. fasciatus* foram imersos em solução de 285 mg/L de Eugenol por 10 minutos para eutanásia e mantidos em gelo durante o transporte até o laboratório. O Eugenol é um anestésico natural, pois é derivado do óleo de cravo, um líquido viscoso extraído do caule, das folhas e botões de *Eugenia caryophyllata*. É um dos anestésicos mais utilizados em estudos com peixes, pois possui um baixo custo, ampla disponibilidade no mercado, é eficaz e seguro para os manipuladores e para o ambiente (Iversen *et al.*, 2003; Roubach *et al.*, 2005). Uma vantagem adicional

é que o Eugenol é rapidamente metabolizado e excretado, não sendo necessária uma ampla janela de tempo (Wagner *et al.*, 2002).

Em laboratório, os exemplares foram congelados a -18° C até o momento do processamento. Então os animais eram sexados por exame de gônadas (macho, fêmea ou juvenil), pesados em balança semi-analítica (peso corpóreo total em gramas com escala de 0,001 g) e medidos (comprimento total em centímetros), com precisão de 1,0mm.

Algumas amostras foram fixadas em formalina a 10% por aproximadamente 48 horas, conservadas em etanol 70% e depositadas na coleção ictiológica do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS (MTC-PUCRS; MCP-45672).

A estrutura etária da população, em cada momento amostral foi identificada através de análise de distribuição de freqüências, com indivíduos agrupados a cada 0,2 cm. Para tal foi empregada a ferramenta Age-Group (www.nelsonfontoura.net), obtendo-se o comprimento médio de cada grupo etário e sua proporção de captura.

Estimados os grupos etários e comprimento total médio destes, pôde-se ajustar a curva de crescimento em comprimento segundo a equação de von Bertalanffy (1938):

$$(7) L_t = L_{inf} \cdot (1 - e^{-k \cdot (t - t_0)})$$

onde L_t é o comprimento total do indivíduo na idade t ; L_{inf} é o comprimento assintótico, e é a base dos logaritmos naturais, k é a constante de crescimento, t é a idade dos indivíduos, e t_0 é o parâmetro relacionado com o comprimento do animal ao nascer.

Deste ajuste foram estimados os parâmetros L_{inf} , k e t_0 , realizados primeiramente no Programa Microsoft Excel com a ferramenta Solver e posteriormente seguindo a análise de regressão não linear no Software SPSS 16.0.

Após a estimativa de t_0 , pode-se corrigir a idade dos grupos etários, adicionando o valor de t_0 à idade dos grupos, determinada de acordo com a diferença de tempo nos processos de captura.

Estimou-se a taxa de mortalidade natural (M) após determinadas as proporções de captura em cada grupo etário, sendo a taxa de mortalidade

calculada como a diferença entre o logaritmo natural de proporção de captura de grupos com diferença de idade de um ano.

Os coeficientes de proporcionalidade (a) e de alometria (b) foram inicialmente estimados com a equação de Huxley (1924), que determina a relação peso-comprimento:

$$(8) W_t = a \cdot L_t^b$$

onde W_t é o peso total, a é o coeficiente de proporcionalidade da relação peso-comprimento, L_t é o comprimento total e b é o coeficiente de alometria da relação peso-comprimento.

Após observação de anomalia no gráfico dos resíduos proporcionais decorrentes do ajuste de Huxley, optou-se por estimar o crescimento polifásico com a equação de Bervian *et al.* (2006):

$$(9) W = [a_{min} + (a_{max} - a_{min}) / (1 + \exp.(TMF_a \cdot (L - PMF)))] \cdot L^{[b_{min} + (b_{max} - b_{min}) / (1 + \exp.(TMF_b \cdot (L - PMF)))]}$$

onde W é o peso total esperado, L é o comprimento total, a_{min} é o menor valor entre os coeficientes de proporcionalidade das fases 1 e 2, a_{max} é o maior valor entre os coeficientes de proporcionalidade das fases 1 e 2, \exp significa exponenciação, TMF_a é a taxa de mudança de fase relacionada ao coeficiente de proporcionalidade, PMF é o ponto onde o animal muda de fase, b_{min} é o menor valor entre os coeficientes de alometria das fases 1 e 2, b_{max} é o maior valor entre os coeficientes de alometria das fases 1 e 2, TMF_b é a taxa de mudança de fase relacionada ao coeficiente de alometria.

O ajuste da função foi efetuado através da rotina Solver do Microsoft Excel, aplicando-se algoritmo de Newton e função de Loss através da minimização de resíduos proporcionais ((observado-esperado)²/observado). Para estimativa do erro padrão de cada parâmetro foi realizada uma rotina de emulação de *Bootstrap*, com ajuste dos parâmetros utilizando-se apenas metade dos dados disponíveis, em processo repetido 30 vezes com sorteio aleatório de dados, sendo o erro padrão de cada parâmetro equivalente ao desvio padrão das diferentes estimativas.

Foram processadas amostras referentes a 23 indivíduos de *A. sp. aff. fasciatus* para determinar os valores de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$. Foram separados dois espécimes a cada 0,5 centímetros de comprimento total, com indivíduos apresentando de 3,5 cm a 16 cm. De cada indivíduo foi seccionado o músculo

próximo à nadadeira peitoral, em quantidade suficiente para perfazer 1 mg de peso seco após desidratação em estufa (60° C) por 48 horas. Os tecidos foram acondicionados em cápsulas de alumínio (Tin capsules, OEA Laboratories) e a análise dos isótopos estáveis foi realizada pela UC Davis Stable Isotope Facility, na Universidade da Califórnia, EUA.

Os resultados são apresentados em partes por mil (‰) em relação a diferenças de um padrão correspondente: $\delta X = [(R_{\text{amostra}} / R_{\text{padrão}}) - 1] \times 100$, onde $R = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$ ou ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$, sendo o padrão de carbono o PeeDee Belemnite e o ar atmosférico para o nitrogênio. Os desvios-padrão médios de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das análises em réplica foram de 0,14 ‰ e 0,13 ‰, respectivamente.

RESULTADOS

Foram capturados 1.181 espécimes de *A. sp. aff. fasciatus* foram capturados (713 machos, 104 fêmeas e 364 juvenis), com uma proporção aproximada de seis macho para cada fêmea. A média de comprimento total em machos foi de 10,53 cm, em fêmeas 11,01 cm e em juvenis 7,51 cm.

Por intermédio da distribuição de freqüências por intervalo de comprimento total podemos observar quatro grupos etários definidos (Figura 1). Na amostra correspondente a novembro e dezembro de 2009 (Figura 1A), identificou-se a presença de quatro curvas normais, identificando-se apenas uma normal na amostra de março e abril de 2010 (Figura 1B). As normais dois e três da amostra de novembro/dezembro foram consideradas, em conjunto, como um único grupo etário devido a pequena diferença de comprimento médio. As demais curvas normais identificadas foram consideradas como grupos etários independentes.

Com os dados de comprimento total médio e proporção de captura por grupo etário (Tabela 3), estimados pela ferramenta Age-Group, foi possível estimar a curva de crescimento em comprimento (com a equação 7), com t_0 em -0,45 anos, ajustando a idade aproximada do primeiro grupo etário da amostra de novembro/dezembro. A curva resultante desta equação está representada na Figura 2, sendo os parâmetros L_{inf} e k , com respectivos Erros Padrões, apresentados na Tabela 4.

A taxa de mortalidade anual (M) foi estimada através da diferença entre o logaritmo natural das proporções de captura dos grupos 3 e 4 da amostra de novembro/dezembro, sendo estimada em 1,78.

A relação peso-comprimento foi estimada segundo a equação de Huxley (equação 8). Ao observar o gráfico de distribuição dos resíduos (Figura 3A) identificou-se uma anomalia próximo aos 9 cm, onde os pontos distribuem-se na seção superior do eixo do x . Essa variação do crescimento indica crescimento polifásico, o que exigiu a aplicação da equação 9, elaborada por Bervian *et al.* (2009).

Após o ajuste do crescimento em 2 fases, com ponto de mudança da primeira para segunda fase em 10,03 cm, a distribuição dos resíduos se

mostrou de forma homogênea, conforme apresentado na Figura 3B. Os parâmetros da relação peso/comprimento segundo o modelo polifásico encontram-se na Tabela 4, sendo a equação representada graficamente na Figura 4.

Identificou-se uma tendência linear crescente de aumento do valor de assinatura isotópica de ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}=0,2054.L_t+8,2823$; $R^2=0,58$; $p=0,00002$) e ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}=0,3479.L_t-23,413$, $R^2=0,37$; $p=0,00197$) em função do comprimento total (L_t) dos indivíduos, indicando variação de fonte primária de carbono e alteração de nível trófico em função do crescimento dos animais (Figuras 5 e 6). Os dados brutos de assinatura isotópica de ^{13}C e ^{15}N estão disponíveis no Anexo 1.

A integral definida da Biomassa por recruta para *A. sp. aff. fasciatus*, com idades entre 0 e três anos, teve como resultado numérico 1,97 gramas, significando que, em média, cada indivíduo nascido produz 1,97 gramas de peso.

A integral definida (0-3 anos) para o produto da Biomassa (eq. 3) pela variação de $\delta_t^{15}\text{N}$ em função do comprimento total (eq. 5), apresentou como resultado numérico 20,13. Desta forma, a estimativa do Nicho Isotópico ($\delta_F^{15}\text{N}$, eq. 6) para *A. sp. aff. fasciatus* foi estimado em 10,20.

Para $\delta^{13}\text{C}$, a integral definida (0-3 anos) para o produto da Biomassa (eq. 3) pela variação de $\delta_t^{13}\text{C}$ em função do tamanho (eq. 5), apresentou como resultado numérico -39,83. Desta forma, a estimativa do Nicho Isotópico ($\delta_F^{13}\text{C}$, eq. 6) para *A. sp. aff. fasciatus* foi estimado em -20,17.

Tabela 3. Comprimento total médio e proporção de captura por grupo etário de *Astyanax* sp. *aff. fasciatus*, capturados na Lagoa da Pinguela (RS). Valores estimados através da ferramenta Age-Group (www.nelsonfontoura.net).

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	Nov/Dez	Mar/Abr	Nov/Dez	Nov/Dez
Idade para ajuste (anos)	0	0,33	1	2
Comprimento médio (cm)	5,755	8,393	9,684	12,375
Proporção de captura	0,096	0,956	0,88	0,014

Tabela 4. Parâmetros populacionais estimados para *Astyanax* sp. *aff. fasciatus* capturados na Lagoa da Pinguela (RS) (\pm Erro Padrão).

L_{inf}	13,002 ($\pm 0,058$)	PMF	10,03332 ($\pm 0,30565$)
k	1,159 ($\pm 0,013$)	TMFa	-1,182858 ($\pm 0,40429$)
M	1,838	TMFb	2,668358 ($\pm 1,18175$)
a_1	0,00879 ($\pm 0,00066$)	b_1	3,09433 ($\pm 0,04811$)
a_2	0,01135 ($\pm 0,00204$)	b_2	3,01853 ($\pm 0,06715$)

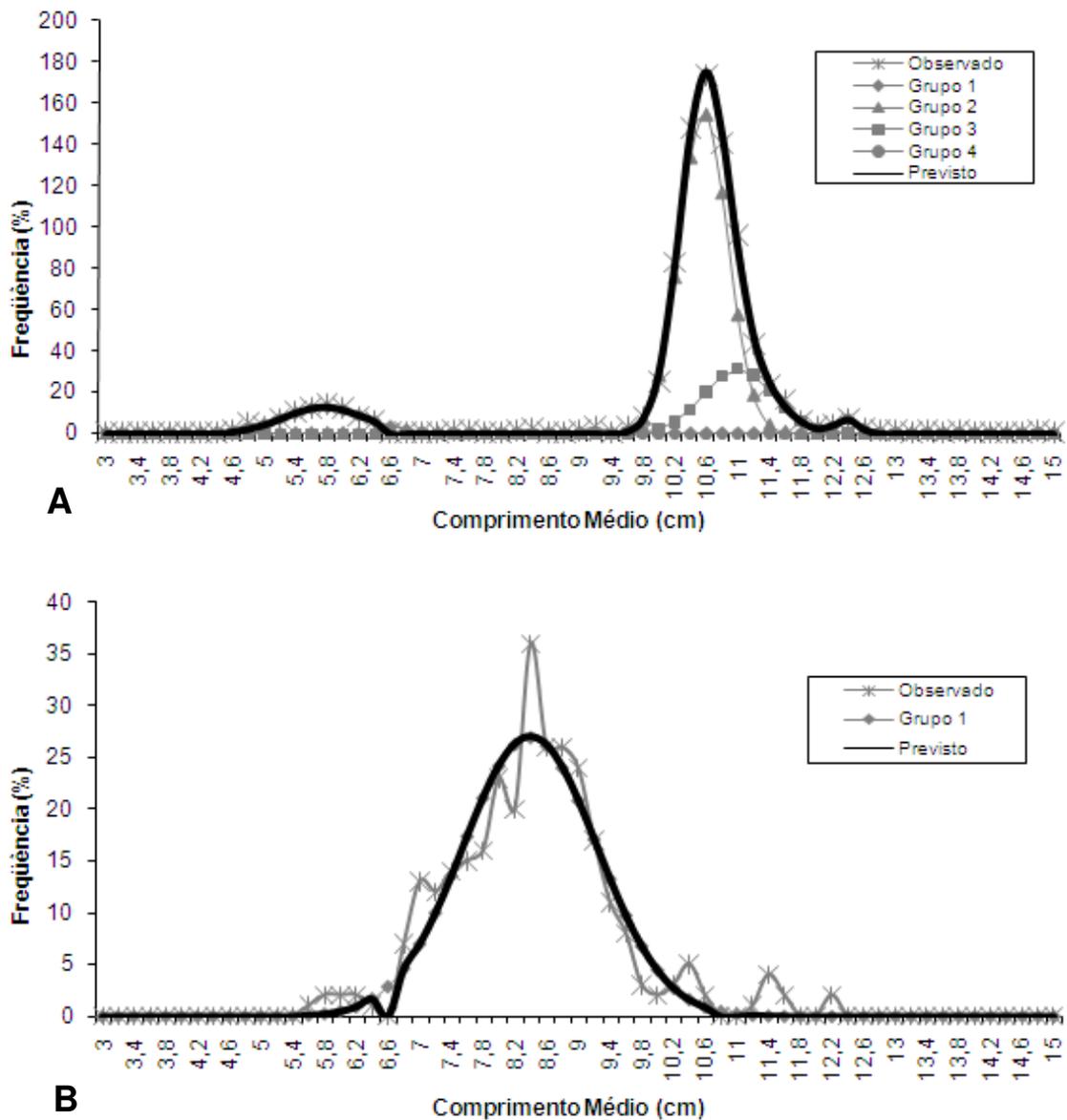


Figura 1. Distribuição de freqüências por comprimento total (cm) de *Astyanax* sp. aff. *fasciatus* capturados na Lagoa da Pinguela (RS). **(A)** novembro e dezembro de 2009; **(B)** março e abril de 2010.

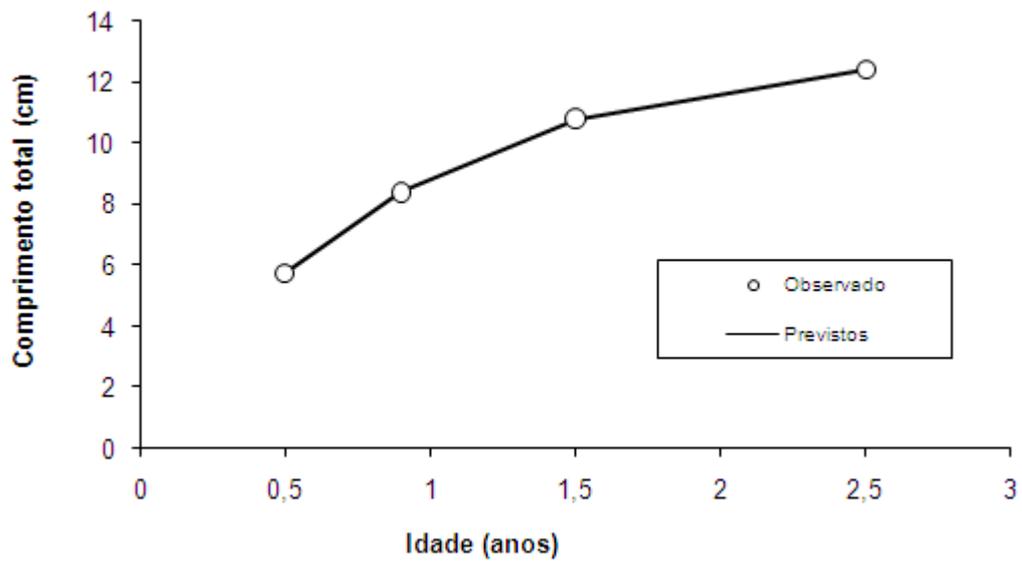


Figura 2. Curva de crescimento em comprimento total, conforme modelo de von Bertalanffy para *Astyanax sp. aff. fasciatus* na Lagoa da Pinguela (RS).

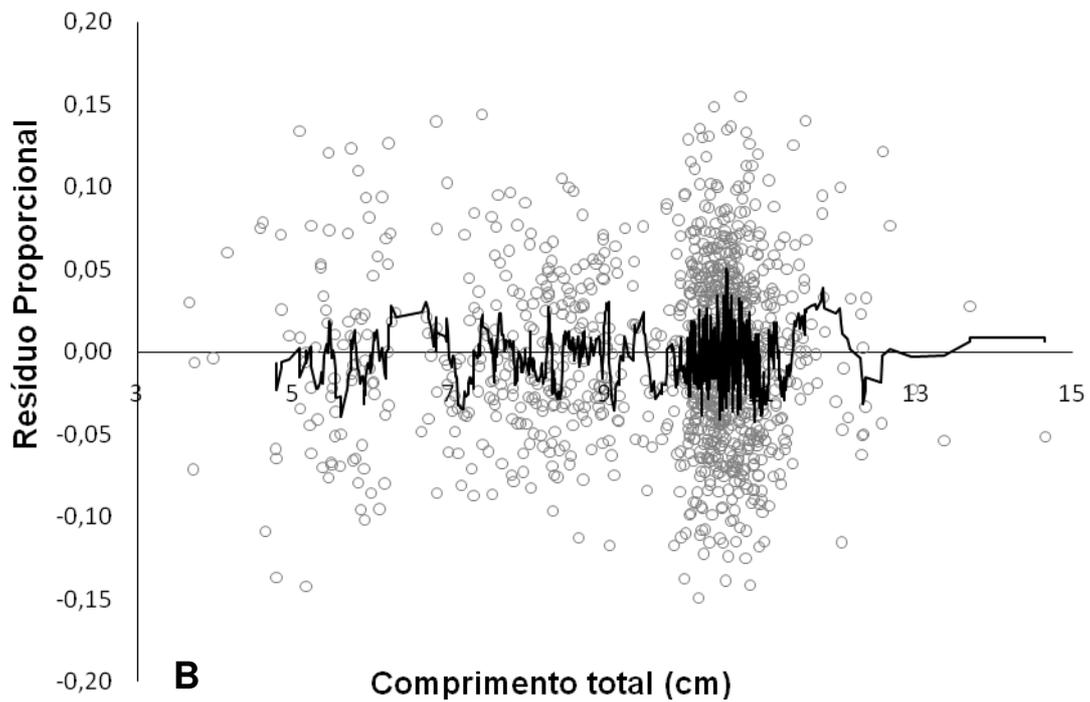
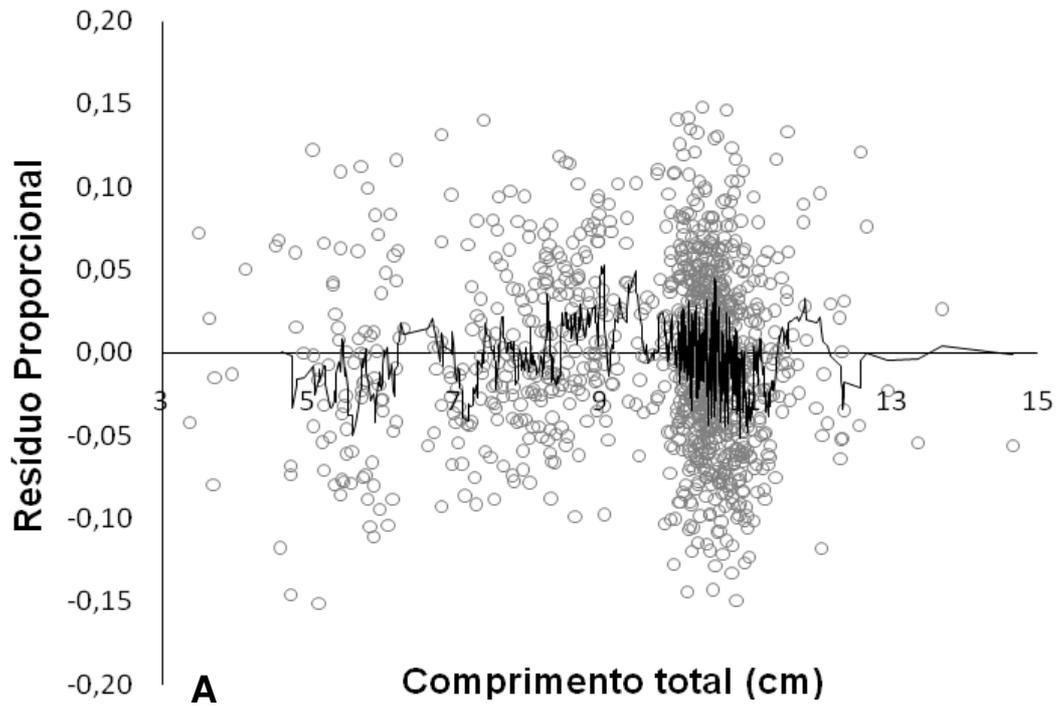


Figura 3. (A) Resíduos proporcionais da relação peso-comprimento, segundo equação de Huxley (B) Resíduos Proporcionais da relação peso-comprimento polifásica, segundo equação de Bervian *et al.* (2006). Linha representando media-móvel entre 5 pontos.

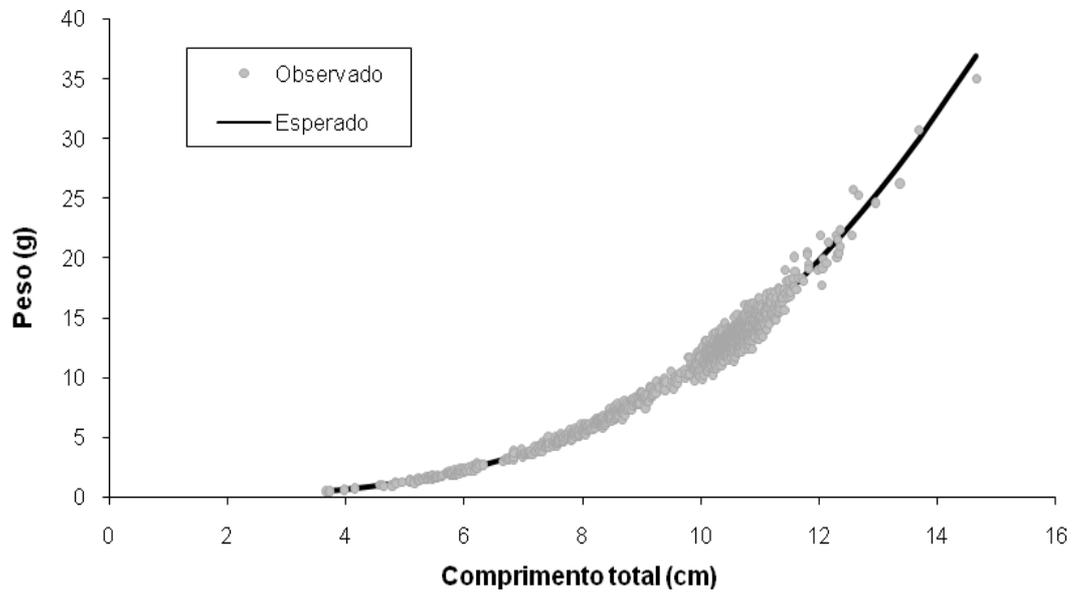


Figura 4. Relação peso-comprimento polifásica para *Astyanax* sp. *aff. fasciatus* na Lagoa da Pinguela (RS).

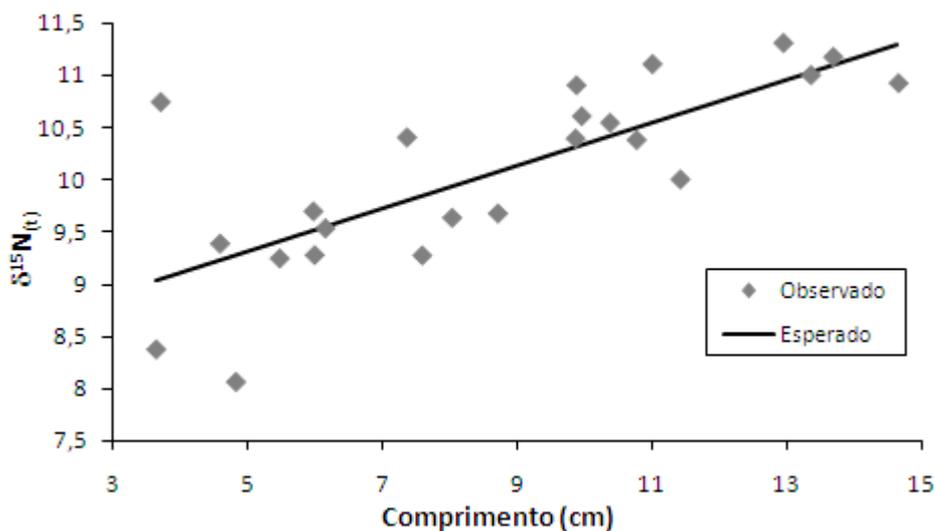


Figura 5. Distribuição de valores de assinatura isotópica de ^{15}N para *Astyanax sp. aff. fasciatus* em função do comprimento total. Animais capturados na Lagoa da Pinguela (RS) em novembro/dezembro de 2009 e abril/maio de 2010.

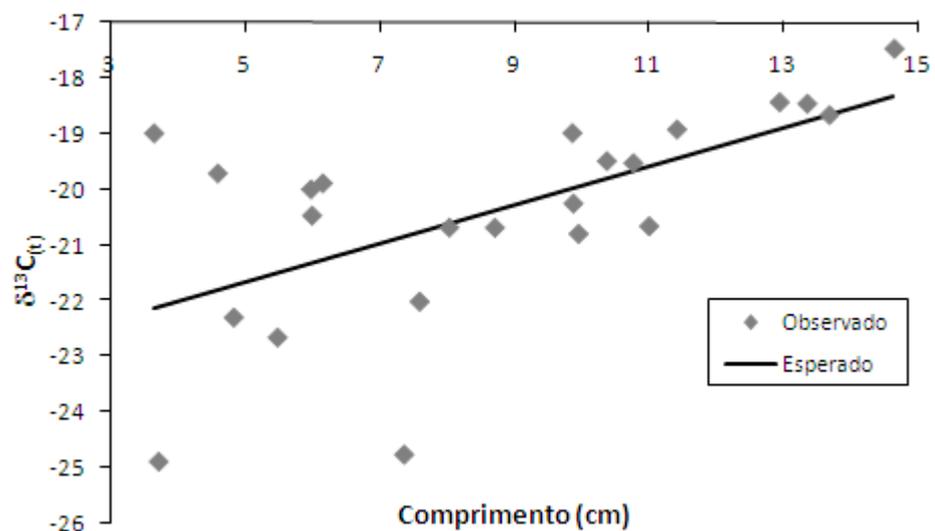


Figura 6. Distribuição de valores de assinatura isotópica de ^{13}C para *Astyanax sp. aff. fasciatus* em função do comprimento total. Animais capturados na Lagoa da Pinguela (RS) em novembro/dezembro de 2009 e abril/maio de 2010.

DISCUSSÃO

Segundo Post (2002), para que se faça inferência sobre a posição trófica ou a fonte primária de carbono para uma determinada espécie ou população é necessária uma ampla amostragem, pois a assinatura isotópica de um consumidor isolado pode redundar em resultados irreais em função da variabilidade inata dos indivíduos. Desta forma, ao empregarmos uma amostra de 23 indivíduos distribuídos em todas as faixas de comprimento, acreditamos ter obtido um resultado representativo da população de *A. sp. aff. fasciatus* na Lagoa da Pinguela, embora a amostragem distribuída em apenas dois momentos talvez não tenha sido suficiente para representar toda a variabilidade sazonal do ciclo alimentar da espécie.

Gurgel (2004) identificou predominância de machos de *A. sp. aff. fasciatus* em ambientes oligotróficos e de fêmeas da espécie quando há abundância de alimento disponível. Embora tenhamos observado na Lagoa da Pinguela uma predominância de machos em razão de seis para um, não dispomos de informações relativas à trofia do ambiente para contextualizar. Foi observada, entretanto, a presença de manchas de algas cianofíceas nos eventos de amostragem, as quais formavam pequenos grumos nas camadas superficiais, especialmente nas margens expostas ao vento. Embora não se tenha identificação concreta, as algas observadas correspondem ao aspecto geral de florações da *Anabaena*, característica de ambientes de maior trofia, o que contrariaria a proposição geral de Gurgel (2004). Por outro lado, nossos resultados referentes ao tamanho médio de machos e fêmeas diferem de Gurgel (2004), uma vez que encontramos os maiores comprimentos para as fêmeas, tendo ele encontrado maior comprimento em machos. Por outro lado, Carvalho *et al.* (2009) observaram um predomínio de fêmeas para a espécie, com uma proporção próxima de 1:2.

Segundo Vazzoler (1996) a proporção entre machos e fêmeas é um importante parâmetro a ser analisado, sendo variável ao longo do ciclo de vida das espécies em função de diferentes eventos e táticas reprodutivas. A diferença de resultados relativos a proporção sexual e tamanho médio de machos e fêmeas pode ter sido o resultado de diferentes fontes de variação.

Inicialmente, *A. fasciatus* constitui-se um complexo de espécies de fisionomia similar, de forma que os resultados aqui relatados, provenientes de diferentes bacias hidrográficas, constituem-se provavelmente de relatos de espécies distintas, mas ainda com a mesma designação formal. Por outro lado, o desvio na razão sexual de seis fêmeas para cada macho pode ser também o resultado de uma estruturação espacial da população. Embora tenhamos tido o cuidado de minimizar a seletividade amostral ao empregarmos redes de arrasto com 50m de comprimento, realizando amplos arrastos em áreas abertas e junto à vegetação marginal, não foram amostradas águas de maior profundidade ou o interior de bancos de macrófitas, de forma que a totalidade do ambiente não foi contemplada no processo amostral.

Carvalho *et al.* (2009) estudaram a biologia reprodutiva de *A. sp. aff. fasciatus* e afirmam que o período reprodutivo é fracionado durante o ano, sendo influenciado pela temperatura da água e pelo ciclo de chuvas. Os autores estimaram o início do período de maturação gonadal em aproximadamente 6,5 cm para machos e fêmeas. Fontoura *et al.* (2009) estimaram o tamanho de maturação para *A. sp. aff. fasciatus* em 11,0 cm, valor muito discrepante do obtido por Carvalho *et al.* (2009), mas que também pode ser devido ao fato de se tratarem de diferentes espécies biológicas dentro de um complexo de espécies ainda portadoras do mesmo nome científico. Por outro lado, segundo a ferramenta de História de Vida (*Life-History Tools*) do banco de dados Fish Base (www.fishbase.org), o tamanho de maturação para a espécie, com base em informação de tamanho máximo, é estimado em 11,1 cm (8,3-14,9).

Através do ajuste de um modelo polifásico para a relação peso/comprimento, conforme proposto por Bervian *et al.* (2006), identificou-se no presente trabalho uma alteração no padrão de crescimento com ponto de mudança de fase (PMF) aos 10,0 cm, onde os animais passam a aumentar relativamente o ganho de peso. Esta alteração do padrão de crescimento aproxima-se das estimativas de tamanho de primeira maturação de Fontoura *et al.* (2009) e do estimado pelo FishBase, sugerindo que o ponto de mudança de fase (PMF) do crescimento polifásico possa estar sinalizando uma alteração do padrão de crescimento como processo de preparação para a maturação sexual.

Wolff *et al.* (2009) estudaram variações espaciais, sazonais e ontogenéticas da dieta de *A. sp. aff. fasciatus*, identificando um padrão de onivoria, mas com tendência de alteração de nicho alimentar durante o crescimento. Os autores observaram que indivíduos menores consomem maior número de itens de origem animal, com tendência a insetivoria, enquanto que adultos tendem a herbivoria. Os autores observaram também uma tendência de alongamento relativo do intestino durante o crescimento, o que estaria associado à alteração do padrão alimentar. Os resultados de Wolff *et al.*, (2009), entretanto, não condizem com o observado no presente trabalho. Embora não tenhamos efetuado análise de conteúdo estomacal, a tendência de aumento da assinatura de $\delta^{15}\text{N}$ com o crescimento ($p=0,00002$) sugere deslocamento de nicho alimentar com elevação relativa de nível trófico, onde alimentos de natureza animal devem aumentar gradativamente sua importância relativa no espectro alimentar da espécie.

A constatação de alteração do padrão alimentar ao longo do desenvolvimento ontogenético corrobora a idéia de que indivíduos adultos não representam uma amostra suficiente para se fazerem inferências sobre o papel de uma espécie no fluxo de matéria e energia de um ecossistema. Post (2000) destaca que técnicas de estimativa de posição trófica utilizando isótopos estáveis podem refletir diferentes vias nas cadeias alimentares assim como as complexas interações decorrentes do processo de transferência de matéria. Contudo, a maior parte da literatura, ao estimar a assinatura isotópica de uma espécie, o faz baseado em pequenas amostras de indivíduos adultos.

Entretanto, a caracterização do nicho de uma espécie não deve basear-se apenas em indivíduos adultos, pois estes correspondem a apenas uma pequena fração dos indivíduos da espécie. Para que se faça a estimativa da posição trófica de uma espécie é importante observar o hábito alimentar desde o seu nascimento, pois importantes alterações de posição dentro da cadeia trófica podem ser verificadas.

A análise do $\delta^{13}\text{C}$ na composição da dieta de animais é complementar à análise de conteúdo estomacal, porque enquanto a análise estomacal revela apenas os itens consumidos horas antes, os isótopos acumulados nos tecidos são indicativos dos itens alimentares ingeridos em uma janela de tempo mais ampla, dependendo da taxa de *turnover* do tecido analisado. Ao mesmo tempo,

a análise estomacal revela apenas os itens de consumo direto, sendo assim incapaz de informar a fonte primária de matéria ou energia que chega até determinado nível trófico. Itens que tem sua digestão facilitada são subestimados quando analisado somente o conteúdo estomacal (Jepsen, 1999), o que influencia na posição trófica estimada.

A posição trófica é mais sensível ao fracionamento de $\delta^{15}\text{N}$, onde apresenta um enriquecimento de 3,4‰ e relativamente insensível ao fracionamento de $\delta^{13}\text{C}$ (Post, 2002). Assim, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ servem como referência para análise de hábito alimentar enquanto os valores de $\delta^{15}\text{N}$ como referência para análise da cadeia trófica.

Os resultados obtidos de assinatura isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ para *A. sp. aff. fasciatus* apresentaram comportamento similar, observando-se um enriquecimento constante e ascendente ao longo do desenvolvimento ontogenético (Fig. 5 e 6). Garcia *et al.* (2007) verificaram valores $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ a partir de três exemplares para *A. sp. aff. fasciatus* na região estuarina da Laguna dos Patos ($-21,85 \pm 1,6$ e $11,26 \pm 0,9$, respectivamente). Os valores obtidos por Garcia *et al.* (2007) encontram-se dentro da faixa da variação observada para *A. sp. aff. fasciatus* na Lagoa da Pinguela ($\delta^{13}\text{C}$: $-24,88$ a $-17,49$; $\delta^{15}\text{N}$: $8,06$ a $11,31$), mas são superiores aos valores médios observados ($\delta^{13}\text{C}=-20,38$; $\delta^{15}\text{N}=10,07$).

Através do presente trabalho, objetivou-se a demonstração do conceito de Nicho Isotópico tal como proposto por Fontoura (em preparação), no qual as assinaturas de carbono e nitrogênio seriam ponderadas em função da biomassa dos indivíduos nas diferentes classes etárias, assim como em função da assinatura específica de carbono e nitrogênio em cada idade. O modelo proposto tem como finalidade representar, através de um valor único, o papel efetivo de uma espécie no fluxo de matéria e energia de um ecossistema.

A despeito da complexidade do sistema de equações propostas, identifica-se, entretanto, que para *A. sp. aff. fasciatus*, o Nicho Isotópico estimado, tanto para carbono quanto para nitrogênio ($\delta_{\text{F}}^{13}\text{C}=-20,17$; $\delta_{\text{F}}^{15}\text{N}=10,20$) aproximam-se significativamente dos valores médios observados ($\delta^{13}\text{C}=-20,38$; $\delta^{15}\text{N}=10,07$).

Considerando que trabalhos de estrutura trófica de comunidades freqüentemente enfrentam restrições de número de amostras por espécie, seja pela dificuldade de captura, seja por restrições orçamentárias, a ampla amostragem de exemplares em todas as faixas de tamanho se torna muitas vezes inviável.

Neste sentido, embora o conceito de Nicho Isotópico permaneça válido como modelo teórico geral, podendo inclusive incorporar relações complexas de variação de assinatura isotópica no desenvolvimento ontogenético, o presente trabalho apresenta como resultado principal a constatação de que uma amostra de indivíduos de tamanho intermediário pode eventualmente ser uma boa alternativa para a caracterização isotópica de uma espécie, devendo evitar-se, entretanto, amostras centradas exclusivamente em adultos ou jovens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELHA, M. C. F.; AGOSTINHO, A. A.; GOULART, E., Plasticidade trófica em peixes de água doce. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 23(2): 425-434, 2001.
- ANDRADE, D. F.; PEREIRA, C. L.; ANGELINI, R.; LIMA, F. P., Nicho trófico de duas espécies do gênero *Astyanax* (Characidae) no Rio Corrente, Sudoeste de Goiás. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Ecologia*, Caxambu, 2007.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L., *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*. Porto Alegre: ArtMed, 2007.
- BENEDITO-CECILIO, E.; LOPES, C. A.; DOURADO, E. C. S.; MANETTA, G. I.; GIMENES, M. F.; FARIA, A. E. A.; PINHEIRO, R. P.; MARTINELLI, L. A., Estrutura trófica das assembléias de peixes da planície de inundação do alto rio Paraná: uso de isótopos estáveis. *Relatório do PELD - Pesquisas Ecológicas de Longa Duração*, Universidade Estadual de Maringá, 2002.
- BERTALANFFY, L. von.; A quantitative theory of organic growth (Inquiries on Growth Law II). *Human Biology*, 10(2):181-213, 1938.
- BERVIAN, G.; FONTOURA, N. F.; HAIMOVICI, M., Statistical model of variable allometric growth: otolith growth in *Micropogonias furnieri* (Actinopterygii, Sciaenidae). *Journal of Fish Biology*, 68: 196–208, 2006.
- CABANA, G.; RASMUSSEN, J. B., Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Ecology*, 93: 10844-10847, 1996.
- CALDARA, F.R.; DUCATTI, C.; BERTO, D.A.; DENADAI, J.C.; OLIVEIRA, R.P., Efeito da glutamina sobre o turnover do carbono muscular de leitões. *Anais do II Congresso Latino Americano de Suinocultura*, 2007.
- CALHEIROS, D. F., Influência do pulso de inundação na composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) das fontes primárias de energia na planície de inundação do rio Paraguai (Pantanal – MS). *Tese (Doutorado em Ciências) Centro de Energia Nuclear na Agricultura*, Universidade de São Paulo, Piracicaba: 2003.
- CÂMARA, J. J. C.; RODRIGUES, A. M.; CAMPOS, E. C.; SANTOS R. A., MANDELLI, J.; Pesca seletiva do tambicú, *Astyanax bimaculatus* Linnaeus, 1758 (Characiformes, Characidae), com a utilização de redes de emalhar, na represa de Ibitinga, rio Tietê, Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 18: 51-60, 1991.

- CARVALHO, P. A.; PASCHOALINI, A. L.; SANTOS, G. B.; RIZZO, E.; BAZZOLI, N., Reproductive biology of Astyanax fasciatus (Pisces: Characiformes) in a reservoir in southeastern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 25: 306-313, 2009.
- DENIRO, M. J.; EPSTEIN, S., Influence of diet on the distribution of nitrogen isotope in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 341-351, 1981.
- FISHBASE. Disponível em <www.fishbase.org>. Último acesso em: 05 de janeiro de 2011.
- FONTOURA, N. F.; BRAUN, A. S.; MILANI, P. C. C., Estimating size at first maturity (L_{50}) from Gonadosomatic Index (GSI) data. *Neotropical Ichthyology*, 7(2): 217-222, 2009.
- GARCIA, A. M.; HOEINGHAUS, D. J.; VIEIRA, J. P.; WINEMILLER, K. O., Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73: 399-408, 2007.
- GARUTTI, V.; BRITSKI, H. A., Descrição de uma espécie nova de Astyanax (Teleostei: Characidae) da bacia do Alto rio Paraná e considerações sobre as demais espécies do gênero na bacia. *Comunicação do Museu de Ciência e Tecnologia da PUCRS, Série Zoologia*. Porto Alegre: 65-88, 2000.
- GURGEL, H. C. B., Estrutura populacional e época de reprodução de Astyanax fasciatus (Cuvier) (Characidae, Tetragonopterinae) do Rio Ceará Mirim, Poço Branco, Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21(1): 131-135, 2004.
- HOEINGHAUS, D. J.; ZEUG, S. C., Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? Comment. *Ecology*, 89(8): 2353-2357, 2008.
- HUXLEY, J. S., Constant differential growth-ratios and their significance. *Nature*, 14: 896-897, 1924.
- IVERSEN, M.; FINSTAD, B.; MCKINLEY, R. S.; ELIASSEN, R. A., The efficacy of metomidate, clove oil, Aqui-S™ and Benzoak® as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture*, 221: 549-566, 2003.
- JEPSEN, D. B., Analysis of trophic pathways in freshwater ecosystems using stable isotope signatures. 148f. *Tese (Doutorado em Filosofia)*, A & M University, Texas: 1999.
- LAYMAN, C. A.; ARRINGTON, D. A.; MONTAÑA, C. G.; POST, D. M., Can stable isotope ratios provide quantitative measures of trophic diversity within food webs? *Ecology*, 88: 42-48, 2007a.

- LAYMAN, C. A.; POST, D. M., Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? Reply. *Ecology*, 89(8): 2358-2359, 2008.
- LIMA, F. C. T., et al. Genera Incertae Sedis in Characidae. pp. 106 – 181. In REIS, R. E., KULLANSER, S. O., FERRARIS JR., C. J. (editores) *Check list of the freshwater fisher of south and Central America*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003.
- LOPES, C.A.; BENEDITO-CECILIO, E.; MARTINELLI, L.A.; SOUZA, M.C., Variability of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in Terrestrial and Aquatic Sources in The Upper Paraná River Basin, Paraná, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 18(3): 281-292, 2006.
- MANETTA, G. I.; BENEDITO-CECILIO, E.; Aplicação da técnica de isótopos estáveis na estimativa da taxa de turnover em estudos ecológicos: uma síntese. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, 25(1): 121-129, 2003.
- MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; MOREIRA, M. Z., *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- MELO, F. A. G., Revisão taxonômica das espécies do gênero Astyanax Baird & Girard, 1854 (Teleostei: Characiformes: Characidae) da região da Serra dos Órgãos. *Arquivos do Museu Nacional*, 59: 1-46, 2001.
- MELO, F. A. G., Revisão taxonômica do complexo de espécies Astynax fasciatus (Cuvier, 1819) Teleostei: Characiformes: Characidae). *Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro: 2005.
- MELO, F. A. G.; BUCKUP, P. A., Astyanax henseli, a new name for Tetragonopterus aeneus Hensel, 1870 from the southern Brazil (Teleostei: Characiformes). *Neotropical Ichthyology*, 4 (1): 45-52, 2006.
- ODUM, E. P.; BARRETT, G. W., *Fundamentos de Ecologia*. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- OYAKAWA, O. T.; *Peixes de riachos da Mata Atlântica nas Unidades de Conservação do Vale do Rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo*. São Paulo: Editora Neotrópica, 2006.
- PETERSON, B. J.; FRY, B., Table isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 18: 293-320, 1987.
- POST, D. M.; PACE, M. L.; HAIRSTON JR., N. G., Ecosystem size determines food-chain length in lakes. *Letters to Nature*, 405: 1047-1049, 2000.
- POST, D. M., Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83(3): 703-718, 2002.

- RICKER, W. E., Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Regeord Board of Canada*, 19: 1-382, 1975.
- ROUBACH, R.; GOMES, L. C.; FONSECA, F. A. L.; VAL, A. L., Eugenol as an efficacious anaesthetic for tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier). *Aquaculture Research*, 36: 1056-1061, 2005.
- SCHMIDT, S. N.; OLDEN, J. D.; SOLOMON, C. T.; VANDER ZANDEN, M. J., Quantitative approaches to the analysis of stable isotope food web data. *Ecology*, 88(11): 2793-2802, 2007.
- TAYLOR, C.C., Growth equations with metabolic parameters. *Journal du Conseuil Permanent International pour L'Exploracion de la Mer*, 27(3): 270-286, 1962.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E., *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: ArtMed, 2004.
- TAVARES, D. O., Astyanax Baird & Girard, 1854 (Ostariophysii: Characiformes: Characidae) do Sistema do Alto rio Paraná: taxonomia. *Dissertação (Mestrado em Biologia Animal)*, Universidade Estadual Paulista, São Paulo: 2007.
- VANDER ZANDEN, M. J.; RASMUSSEN, J. B., Primary consumer $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, 80(4): 1395-1404, 1999.
- VANDER ZANDEN, M. J.; RASMUSSEN, J. B., Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*, 46(8): 2061-2066, 2001.
- VANDERKLIFT, M. A.; PONSARD, S., Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*, 136: 169-182, 2003.
- VAZZOLER, A. E. A. M., *Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos; Teoria e Prática*. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 1996.
- WAGNER, E.; ARNDT, R.; HILTON, B., Physiological stress responses, egg survival and sperm motility of rainbow trout broodstock anesthetized with clove oil, tricaine methanesulfonate or carbon dioxide. *Aquaculture*, 211: 353-366, 2002.
- WOLFF, L. L.; ABILHOA, V.; RIOS, F. S. A.; DONATTI, L., Spatial, seasonal and ontogenetic variation in the diet of Astyanax aff. fasciatus (Ostariophysii: Characidae) in an Atlantic Forest river, Southern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 7(2): 257-266, 2009.

ANEXO

Dados brutos estimados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para *Astyanax* sp. *aff. fasciatus*.

Comprimento total (cm)	Peso total (g)	Sexo / fase	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
3,663	0,5	Juvenil	-19,00	8,37
3,729	0,51	Juvenil	-24,88	10,74
4,607	1,07	Juvenil	-19,72	9,39
4,844	1,19	Juvenil	-22,30	8,06
5,493	1,6	Juvenil	-22,66	9,24
5,991	2,06	Juvenil	-20,00	9,70
6,008	2,23	Juvenil	-20,47	9,28
6,167	2,27	Juvenil	-19,90	9,53
7,374	4,23	Juvenil	-24,75	10,40
7,603	5,14	Juvenil	-22,01	9,27
8,045	5,64	Juvenil	-20,69	9,63
8,722	7,69	Juvenil	-20,69	9,67
9,873	10,74	Macho	-19,00	10,39
9,887	10,65	Juvenil	-20,26	10,90
9,964	10,33	Juvenil	-20,80	10,61
10,383	11,98	Macho	-19,50	10,54
10,778	14,54	Fêmea	-19,54	10,38
11,012	13,8	Macho	-20,66	11,10
11,425	17,08	Fêmea	-18,93	10,00
12,95	24,66	Macho	-18,45	11,31
13,36	26,31	Macho	-18,47	11,00
13,69	30,81	Fêmea	-18,68	11,17
14,655	35,05	Fêmea	-17,49	10,92