

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE BIOCÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**Análise da variação ontogenética da assinatura
isotópica de *Cyanocharax alburnus*
(Teleostei, Characiformes).**

Cibele Boeira Batista

Orientador: Dr. Nelson Ferreira Fontoura

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

2011

Sumário

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract	v
1. INTRODUÇÃO	6
2. MATERIAIS E MÉTODOS.	9
3. RESULTADOS.....	12
4. DISCUSSÃO.....	26
5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

Agradecimentos

Ao meu orientador, prof. Dr. Nelson Fontoura, pelos momentos de sabedoria, paciência e pela disponibilidade nas discussões científicas e saídas de campo.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Adi e Lourdes, por estarem presentes em todos os momentos.

Ao meu noivo, Denis Rosemberg, pela companhia, amor e paciência em todos os momentos.

Agradeço aos colegas Tanilene Pinto, José Ricardo, Lúcia Rodrigues pela companhia nas saídas de campo e no laboratório.

Agradeço à Tanilene, Tatiana e Laura pela amizade e companhia diária agradável no laboratório.

A todo o pessoal do Laboratório de Cromatografia da Faculdade de Química da PUCRS pelo empréstimo solícito de equipamentos de laboratório.

Ao CNPq pela bolsa concedida para realização deste trabalho.

Resumo

A análise de isótopos estáveis está sendo cada vez mais utilizadas para o entendimento da real assimilação de nutrientes e da posição trófica de organismos. Ela é utilizada principalmente em espécies para as quais pouco se conhece do hábito alimentar ou onde a análise estomacal demonstra contradições. O conceito de nicho isotópico procura determinar um valor único que represente a assinatura isotópica de uma espécie, considerando a variação ontogenética do consumo de diferentes itens alimentares e a curva de biomassa/idade da espécie. No presente trabalho procurou-se estimar o nicho isotópico de *Cyanocharax alburnus* capturado na Lagoa da Pinguela (RS) através de coletas nos meses de novembro de 2009 e abril de 2010, utilizando rede de arrasto de praia. Foram capturados no total 1210 indivíduos. Através da ferramenta Age-group foram identificados dois grupos etários na amostra de novembro/dezembro de 2009 e um único grupo na amostra de abril de 2010. Através da ferramenta Age-Group estimou-se o comprimento assintótico (L_{inf}) segundo o modelo de von Bertalanffy em 9,1 cm e a constante de crescimento (k) em 0,65. A taxa de mortalidade natural (M) foi estimada em 1,65 (DP=0,24). Através do ajuste da relação de peso/comprimento de Huxley estimou-se o valor do coeficiente de proporcionalidade (a) em 0,0081 e o coeficiente alometria (b) em 3,07. A distribuição de resíduos proporcionais da relação peso/comprimento de Huxley, entretanto, apresentou uma marcada assimetria para animais com comprimentos de 1,0 cm ao 4,0 cm, optando-se pelo ajuste do modelo de relação peso/comprimento polifásico. O modelo ajustado indica uma alteração no coeficiente de alometria (b) ao longo do desenvolvimento ontogenético, que passa de 2,53 em indivíduos menores que 3,39 cm para 3,19 em indivíduos maiores. Os valores mensurados de assinatura isotópica de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ para *C. alburnus* na lagoa da Pinguela apresentaram variação considerável entre os indivíduos, revelando diferenças individuais relativas a fontes primárias de carbono e posição trófica. Os valores de assinatura isotópica para $\delta^{13}C$ apresentaram média de -20,4 ‰, desvio padrão de 1,14 ‰, e amplitude de variação entre -18,18 ‰ e -24,66 ‰. Para $\delta^{15}N$ verificou-se um valor médio de assinatura isotópica de 11,0 ‰, desvio padrão de 0,55 ‰, e amplitude de variação entre 10,41 ‰ e 12,51 ‰. Através de regressão linear, não se identificou qualquer tendência de variação da assinatura isotópica de carbono ou nitrogênio em função do comprimento ($b=0$; $\delta^{13}C$: $n = 25$, $P = 0,10$; $\delta^{15}N$, $n = 25$, $P = 0,55$), indicando que não há alteração de fonte de carbono ou de nível trófico de *C. alburnus* entre comprimentos de 2 a 8 cm. Neste sentido, a concepção do conceito de nicho isotópico não se aplica para *C. alburnus*, já que a espécie não altera a fonte de carbono ou nível trófico em função do desenvolvimento ontogenético. No presente trabalho identificou-se que a assinatura isotópica de carbono e nitrogênio apresenta três fontes principais de variação: variação intra-específica, variação entre espécies diferentes da mesma localidade e entre localidades diferentes. Verificou-se, entretanto, que a variação intra-específica de *C. alburnus*, em termos de assinatura isotópica de carbono e nitrogênio, é tão ampla quanto diferentes espécies capturadas em uma mesma localidade. Se cada valor plotado for o resultado de média de poucos indivíduos, então o padrão identificado pode ser completamente mascarado pela variação intra-específica, prejudicando qualquer inferência quanto à posição trófica ou fonte primária de carbono. Por outro lado, identificou-se que a maior fonte de variação constitui-se na origem geográfica do dado, de forma que a comparação de valores brutos entre localidades diferentes se torna temerária em termos de entendimento de padrões alimentares.

Abstract

The stable isotopic analysis has been increasingly used to understand the real assimilation of the nutrients and the trophic position of several organisms. It is mainly performed for species in which the feeding habits are few known or even when the stomach content analysis shows contradictions. The concept of Isotopic Niche aims to determine one numeric value that represents the isotopic signature of the species, considering the ontogenetic variation of the consumption of different food items and the curve of biomass/age. The main goal of this study is to estimate the isotopic niche of *Cyanocharax alburnus*, captured in the Pinguela Lagoon (RS). Animals were sampled in November-December/2009 and April/2010, using a beach seine net. A total of 1210 individuals were captured. Two age groups were identified in the sample of November/December and a single group in April/2010. The asymptotic length (L_{inf}) estimated by the von Bertalanffy model was 9.10 cm and the growth constant (k) 0.65. The natural rate of mortality (M) was estimated in 1.65 (SD=0.24). The adjustment of the weight/height relationship (Huxley model) estimated the proportionality coefficient (a) as 0.0081 and the allometric coefficient (b) as 3.074. However, the distribution of the proportional residues of the weight/length relationship showed marked asymmetry for the animals with a length range from 1.0 cm to 4.0cm leading us to choose for the adjustment a polyphasic model. The model adjustment indicated a change on the allometric coefficient (b) to throughout ontogeny, which passed from 2.53 in individuals smaller than 3.39 cm to 3.19 in the bigger individuals. The measured values of isotopic signature of $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ for *C. alburnus* in Pinguela Lagoon showed considerable variation among individuals revealing individuals differences regarding primary sources of carbon and the trophic position. The values of the isotopic signature of $\delta^{13}C$ show the average of -20.40 ‰ (SD= 1.14 ‰) ranging between -18.18 ‰ and -24.66 ‰. For the $\delta^{15}N$, we have found average values of isotopic signature of 11.07 ‰ (SD = 0.55 ‰) ranging between 10.41 ‰ and 12.51 ‰. Through linear regression, it was not identified any trend relating isotopic signature of carbon and nitrogen and length ($b=0$; $\delta^{13}C$: $n = 25$, $P = 0.10$; $\delta^{15}N$, $n = 25$, $P = 0.55$), indicating that the sources of carbon and nitrogen or the trophic position for *C. alburnus* do not change for lengths from 2 to 8 cm. In this way, the concept of the Isotopic Niche concept is not applied for *C. alburnus*, since this species does not alter the carbon source or the trophic level during the ontogenetic development. In the present study, the isotopic signature of carbon and nitrogen showed three main sources of variation: intra-specific variation, variation among different species from the same locality and between different localities. We also verified that the intra-specific variation of *C. alburnus*, in the terms of isotopic signature, is so wide as different species from the same location. If each plotted value is the result of the average of few individuals, the community pattern could be completely masked by the intra-specific variation, undermining any inference regarding trophic position or the primary sources of carbon. On the other hand, we identified that the bigger sources of variation concerns the geographical origin of the data set, so that direct comparison between gross values from different localities could be dangerous in terms of understanding the feeding patterns.

1. Introdução

A cadeia alimentar retrata a complexa integração dos organismos com o ambiente biótico e abiótico (Post, 2002). Neste sentido, estudos relativos ao fluxo de matéria e energia em ecossistemas podem quantificar ou qualificar a estrutura da cadeia trófica através de análises do conteúdo estomacal ou mesmo pela observação direta de atividade alimentar (Beaudoin, *et al.*, 1999; *apud* Manetta *et al.*, 2003).

Em abordagem mais recente, a análises de isótopos estáveis, especialmente de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, vêm sendo utilizadas para uma melhor compreensão do papel relativo de cada espécie na complexa trama trófica de um ecossistema. Os isótopos são acumulados nos tecidos proporcionalmente ao que foi assimilado ou consumido (De Niro e Epstein, 1978, *apud* Phillips e Eldridge, 2006), podendo indicar, inclusive, mudanças significativas na dieta, em ciclos sazonais ou ao longo do desenvolvimento ontogenético (Phillips e Gregg, 2001).

Isótopos estáveis não emitem radiação, porém ocorrem em concentrações diferenciadas nas condições naturais, sendo normalmente uma forma comum e outra rara. Os isótopos estáveis de carbono são o ^{12}C e ^{13}C , e de nitrogênio o ^{14}N e ^{15}N , sendo que os isótopos de maior massa são mais raros em condições naturais.

O isótopo estável de carbono (^{13}C) apresenta variação quantitativa ao longo da cadeia alimentar (Rounick e Winterbourn, 1986, Peterson e Fry 1987, France e Peters 1997), podendo sofrer incremento de 1‰ a 2‰ a cada nova posição em relação à cadeia trófica de uma comunidade. Ao mesmo tempo, como a concentração de ^{13}C varia entre diferentes produtores, tal como plantas C3, plantas C4, fitoplâncton e perifíton, a concentração de ^{13}C em uma espécie é reveladora de sua fonte primária de energia (Post, 2002).

Uma variação maior ocorre pelo isótopo estável de nitrogênio (^{15}N), com enriquecimento do valor isotópico entre 3‰ a 3,4‰ por nível trófico (Minagawa e Wada, 1984; Michener e Schell, 1994; Manetta *et al.*, 2003), permitindo estimar a posição trófica com maior clareza (Peterson e Fry, 1987).

Variações de dietas em uma mesma espécie são frequentemente encontradas conforme o estágio de desenvolvimento dos indivíduos, as quais podem ser decorrentes de diferenças da demanda energética bem como limitações morfológicas, resultando em dietas distintas ao longo do desenvolvimento (Abelha *et al.*, 2001). O forrageamento, durante as fases jovens é seletivo, uma vez que a ingestão do alimento pode ser limitada pela capacidade da abertura bucal, desenvolvimento das estruturas alimentares e atividade locomotora (Abelha *et al.*, 2001). Cohen *et al.* (1993) salientou que a ocorrência de mudanças na dieta ao longo da ontogenia poderia ser verificada em animais de distintas classes de tamanho ou em diferentes estágios do ciclo de vida, podendo indicar variações na cadeia trófica.

Na medida em que as espécies se desenvolvem, o espectro alimentar (tamanho e tipo de presa consumida) é ampliado (Houde, 1997), sendo que Hahn *et al.* (1997) demonstraram a existência de uma correlação positiva entre tamanho de presa e de predador durante a ontogenia de corvina de rio (*Plagioscion squamosissimus*, Heckel, 1840). O aprimoramento na habilidade de forrageamento é considerado um aspecto crucial para sobrevivência, uma vez que resulta em aumento na taxa de crescimento e redução de vulnerabilidade à predação, a qual foi relacionada como a mais provável causa de mortalidade larval (Cowan *et al.*, 1997). Muitos organismos passam por modificações ontogenéticas no nicho, podendo citar como melhores exemplos os anfíbios, insetos holometábolos, além de muitas espécies de peixes (Bergaman e Greenberg, 1994; Olson, 1996). Mudanças ontogenéticas no nicho também podem ocorrer continuamente durante o crescimento, sem necessidade de metamorfose ou mudança de habitat (Polis, 1984). Essa variação ontogenética permite com que a espécie possa criar novas habilidades ou, inclusive, tornar-se especialista, restringindo a sua fonte alimentar na passagem dos estágios de desenvolvimento (Werner e Gilliam, 1984; Werner, 1986).

Razões isotópicas podem se diferenciar em razão das mudanças ontogenéticas, refletindo-se no tamanho dos animais. Uma vez que os indivíduos menores apresentam uma tendência de alimentação com razões isotópicas empobrecidas e os maiores possuem um maior acesso a outros alimentos, tornando-se o consumo de isótopos desses indivíduos mais rico (Oliveira, 2003). Garcia *et al.* (2006) em um estudo realizado no Lago Nicola, reserva do Taim, obtiverem posição trófica diferente para *Hoplias malabaricus* de diferentes tamanhos, salientando que esta diferença poderia estar relacionada com uma mudança na dieta em função da ontogenia, uma vez que a traíra de pequeno tamanho se alimenta de insetos enquanto que os adultos são carnívoras com tendência à piscivoria.

A base da cadeia alimentar em lagos é constituída pelo fitoplâncton, o qual depende da disponibilidade de nutrientes e da circulação decorrente da interação entre geomorfologia e clima (Campbell *et al.*, 2003; Doi *et al.*, 2006). Mbabazi *et al.* (2009) estudaram a diferença nas concentrações de carbono e nitrogênio entre espécies idênticas em duas localidades distintas no Lago Kyoga, Uganda. Os autores verificaram diferenças significativas na assinatura isotópica de indivíduos da mesma espécie, bem como valores diferentes na matéria orgânica dissolvida, o que poderia ser atribuído a características morfológicas do local analisado. Além disso, estudos realizados por Zambrano *et al.* (2010) revelaram diferenças na fonte alimentar e nas assinaturas isotópicas nos canais de Xochimilco, onde se verifica uma ampla heterogeneidade espacial em concentrações de nutrientes bem como a distribuição de peixes exóticos (Solis *et al.*, 2006; Mazari-Hiriart *et al.*, 2008). Desta forma, podemos verificar que distintas variáveis podem influenciar as comunidades aquáticas e, conseqüentemente, exercer uma influência na estruturação trófica.

Entretanto, ao estudar-se a dinâmica do fluxo de matéria e energia em ecossistemas aquáticos, a maioria dos trabalhos empregam valores de assinatura isotópica de indivíduos adultos como valores de referência para cada espécie. Este viés acaba por distorcer o entendimento da trama trófica uma vez que apenas uma pequena parcela de indivíduos nascidos acaba por atingir a vida adulta.

Estudos prévios sugerem que fatores complexos controlam as razões de isótopos estáveis nos organismos e na base das teias alimentares. Desta forma, a sobreposição de análises obtidas com classes de tamanho (Genner *et al.*, 2003), diferentes ambientes explorados pela espécie (Litvin e Weinstein, 2004), variabilidade temporal (Nordstrom *et al.*, 2009), bem como a utilização de diversos isótopos estáveis e análise do conteúdo estomacal (Petersen *et al.*, 1985; Kolasinski *et al.*, 2009) poderia fornecer informações relevantes sobre a assimilação isotópica. Entretanto, na maioria dos estudos relacionados, as propostas de análise não são baseadas em um “valor comum” para a determinada espécie, o que torna imprescindível o desenvolvimento e a avaliação de estratégias complementares.

O Conceito de Nicho Isotópico, desenvolvido por Fontoura (em preparação), visa determinar um valor numérico único que represente a assinatura isotópica de uma espécie, considerando a variação ontogenética do consumo de diferentes itens alimentares e a curva de biomassa/idade da espécie. Desta forma, o Nicho Isotópico demonstraria a quantidade ponderada de assimilação de nitrogênio e/ou carbono que determinada espécie obteve ao longo de todo o ciclo de vida.

No presente trabalho, o lambarí *Cyanocharax alburnus* (Hensel, 1870) será empregado como modelo para o desenvolvimento do conceito de Nicho Isotópico *sensu* Fontoura (em preparação). A espécie apresenta importância como peixe forrageiro e como regulador do tamanho populacional de outras espécies de peixes (Artioli *et al.*, 2003), atuando como predador de ovos e larvas, sendo muito freqüente no sistema lagunar costeiro do Rio Grande do Sul e bacia do Rio Jacuí, podendo também ocorrer no sistema de lagoas costeiras do Uruguai (Malabarba, 1983). O comprimento máximo de *C. alburnus* é de 8 cm e sua taxa de crescimento (k) de 1,52. (Fontoura *et al.*, 1993). Na relação peso/comprimento, a espécie apresenta o valor de coeficiente de proporcionalidade de 0,016 e seu coeficiente de alometria de 3,13 (Fontoura *et al.*, 1993). O comprimento das fêmeas que iniciam a atividade reprodutiva está entre 4 e 5 cm, existindo uma relação entre peso e fecundidade, a qual é caracterizada por um valor máximo de 3000 ovos por fêmea (Fontoura *et al.*, 1993; Artioli *et al.*, 2003). Foi observado também que a espécie apresenta picos da atividade reprodutiva nos meses de novembro e fevereiro (Fontoura *et al.*, 1993; Artioli *et al.*, 2003).

Cyanocharax alburnus possui dieta alimentar variável (Vilella *et al.*, 2002). Nos estudos realizados por Hartz *et al.* (1996) foram encontrados insetos, Cladocera e resto de vegetais como itens mais frequentes, caracterizando a espécie como onívora-bentófaga. A

espécie foi também classificada como insetívora-zooplantonófaga (Vilella *et al.*, 2002), por ter sido encontrado Collembola como item mais frequente, além de outros itens adicionais, tais como Amphipoda, Copepoda e Díptera. Também foram registrados ovos de outras espécies de peixes, assim como areia (Artioli *et al.*, 2003), sendo verificado, portanto, que a espécie explora toda a coluna de água (Vilella *et al.*, 2002; Artioli *et al.*, 2003). Artioli *et al.* (2003) realizaram uma análise através da separação dos animais em três faixas de tamanhos (menor do que 4 cm, de 4cm até 6 cm e maiores do que 6 cm), demonstrando a existência de uma superposição de alguns itens alimentares como ovos, e insetos e Cladocera.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o conceito de Nicho Isotópico *sensu* Fontoura (em preparação), considerando as variações ontogenéticas nas concentrações relativas de isótopos estáveis de nitrogênio e carbono, a abundância relativa e biomassa de indivíduos ao longo de seu ciclo de vida, assim como as implicações da variabilidade geográfica na assinatura isotópica de diferentes espécies. Como modelo experimental será empregado o lambari *Cyanocharax alburnus* capturado na lagoa Pinguela, pertencente ao sistema de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, sendo os resultados comparados com informações disponíveis na literatura.

2. Material e Métodos

O programa de amostragem foi desenvolvido na Lagoa da Pinguela, no município de Osório, Rio Grande do Sul (29° 45'45.20"S 50° 12'14.25"O). As coletas foram realizadas entre novembro/dezembro de 2009 e em abril de 2010, por meio de pesca com rede de arrasto com 50 metros de comprimento, 3 metros de altura e malha de 5 milímetros entre nós adjacentes, sendo o arrasto desenvolvido em uma praia arenosa junto a estantes de macrófitas com predominância de *Scirpus sp.*

Considerando a necessidade de analisar os dados através da metodologia de análise de distribuições de frequências de comprimento, foram efetuados arrastos em número variável até se atingir uma captura significativa por programa amostral ($n > 500$). Cabe salientar, entretanto, que estes números são inexpressivos frente à dimensão das populações naturais da espécie.

Após capturados, os animais foram imersos em solução de 285 mg/L de Eugenol por 10 minutos, sendo posteriormente conservados em gelo até o congelamento em laboratório (-18°C). Alguns exemplares de referência foram fixados em formalina a 10% (48 horas) e conservados em álcool 70%, sendo depositados na coleção Ictiológica do Museu de Ciências e Tecnologia da Universidade Católica do Rio Grande do Sul (MCP 45673).

No laboratório, os peixes capturados foram descongelados por etapas, medidos (comprimento total; paquímetro digital Mitutoyo; escala de 0,01mm) e pesados (balança semi-

analítica Marte; modelo AS 5500; escala de 0,01g). Os animais foram também dissecados com auxílio de estereomicroscópio (Zeiss -Stemi SV8) e o sexo determinado através da análise visual das gônadas.

A estrutura etária da população em cada evento amostral foi identificada através de análise de distribuição de freqüências de comprimento, empregando-se da ferramenta Age-Group para Microsoft Excel (www.nelsonfontoura.net), a qual estima o comprimento médio e proporção de captura de diferentes grupos etários através de ajuste de equações normais, aplicando-se a função Solver com algoritmo de busca de Newton.

Considerando a identificação de padrão polifásico da relação peso comprimento para a espécie, optou-se pelo ajuste de modelo em duas fases de crescimento distinto, seguindo modelo geral proposto por Bervian *et al.* (2006).

$$W=[a_{min}+(a_{max}-a_{min})/1+exp(TMFA-a^{(a-PMF)})].L^{[bmin+(bmax-bmin)/1+exp(TMFB-b(b-PMF))]}$$

Onde:

a_{min} = coeficiente de proporcionalidade de menor valor nas diferentes fases;

a_{max} = coeficiente de proporcionalidade de maior valor nas diferentes fases;

TMF-a = taxa de mudança de fase do coeficiente de proporcionalidade;

Lt = comprimento;

b_{min} = coeficiente de alometria de menor valor nas diferentes fases;

b_{max} = coeficiente de alometria de maior valor nas diferentes fases;

TMF-b = taxa de mudança de fase do coeficiente de alometria;

PMF = ponto de mudança de fase.

O ajuste do modelo foi efetuado através da função Solver do programa Microsoft Excel, aplicando-se o algoritmo de busca de Newton com função de Loss por resíduos proporcionais ($[(\text{Observado}-\text{Esperado})^2/\text{Observado}]$).

A estimativa dos parâmetros da equação de crescimento de von Bertalanffy (K , L_{inf}), da curva de sobrevivência (M), e da relação peso/comprimento de Huxley (a , b) foi efetuada através da ferramenta Pop-Din (www.nelsonfontoura.net), a qual ajusta os parâmetros através da função Solver do programa Microsoft Excel com algoritmo de busca de Newton. A taxa de mortalidade foi calculada utilizando-se proporções de captura por grupo etário obtidos no estudo realizado por Fontoura *et al.* (1993).

Para quantificar a proporção de isótopos estáveis de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) e carbono ($\delta^{13}\text{C}$) foram utilizados espécimes de diferentes tamanhos ($n=26$) distribuídos de forma equitativa no intervalo entre 2 cm e 8 cm de comprimento total. A fim de evitar-se contaminação de amostras,

para cada indivíduo foram utilizados materiais diferenciados de manipulação. De cada indivíduo retirou-se uma amostra de músculo dorsal, a qual foi desidratada à 60° C por 48 horas, que apresentavam peso entre $1 \pm 0,2$ mg, aferidos em balança analítica. Após pesada, cada amostra foi encasulada em cápsula de alumínio para transporte (tin Capsules, OEA Labs) e enviadas ao laboratório *UC Davis Stable Isotope Facility* (<http://stableisotopefacility.ucdavis.edu/>), onde ocorreu a quantificação dos isótopos de ^{13}C e ^{15}N .

Para a obtenção do valor referente ao nicho isotópico, basicamente, primeiro é calculada a taxa de mortalidade da espécie estudada e o crescimento determinado de acordo com o modelo de crescimento de von Bertalanffy. Em seguida, é estimada a biomassa pela multiplicação dos valores da taxa de mortalidade e do crescimento de von Bertalanffy pela fórmula: $B_t = (e^{-M \cdot t}) \cdot (a \cdot (L_{\infty} \cdot (1 - e^{-k \cdot (t - t_0)})^b))$. A assinatura isotópica depende de padrões complexos que podem existir ao longo da ontogenia, sendo que o modelo aplicado é o seguinte:

$$\delta^{15}\text{N}_t = \delta^{15}\text{N}_{\min} + (\delta^{15}\text{N}_{\max} - \delta^{15}\text{N}_{\min}) / (1 + e^{-\sigma \cdot (L_t - L_{tm})})$$

Onde:

$\delta^{15}\text{N}_t$ = é a assinatura isotópica na idade t;

$\delta^{15}\text{N}_{\min}$ = é a assinatura isotópica de indivíduos jovens;

$\delta^{15}\text{N}_{\max}$ = é a assinatura isotópica de indivíduos adultos;

σ = é a constante relacionada à taxa de mudança de hábitos alimentares;

L_t = comprimento;

L_{tm} = comprimento médio durante a mudança de $\delta^{15}\text{N}_{\min}$ a $\delta^{15}\text{N}_{\max}$.

O impacto isotópico relativo ($\delta_t^{15}\text{N}$) de um grupo etário na comunidade depende da assinatura isotópica específica da idade e a sua abundância em biomassa, sendo o produto de duas equações (biomassa x assinatura isotópica):

$$\delta_t^{15}\text{N} = (e^{-M \cdot t}) \cdot (a \cdot L_t^b) \cdot (\delta^{15}\text{N}_{\min} + (\delta^{15}\text{N}_{\max} - \delta^{15}\text{N}_{\min}) / (1 + e^{-\sigma \cdot (L_t - L_{tm})}))$$

Finalmente, a equação obtida para o Nicho Isotópico ($\delta_F^{15}\text{N}$) de uma espécie poderia ser definida pela seguinte fórmula:

$$\delta_F^{15}\text{N} = \int [\delta_t^{15}\text{N}(t) \cdot B_t(t)] dt / \int B_t(t) dt$$

Onde \int é a integral da idade 0 até o máximo valor do ciclo de vida da espécie.

Para os estudos da variabilidade geográfica, foi realizado um levantamento de dados utilizando indivíduos adultos e seus valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. Cada ponto é referente às espécies enquanto o polígamo é representativo para cada localidade.

3. Resultados

No presente estudo foram capturados 1210 indivíduos de *Cyanocharax alburnus*, cuja distribuição de frequências de comprimento encontra-se representada na figura 1. Foram identificados dois grupos etários na amostra de novembro/dezembro de 2009 (Fig. 1a), e um único grupo em abril de 2010 (Fig. 1b). Os tamanhos médios de cada grupo etário identificado, assim como as proporções de captura encontram-se na tabela 1. Estimou-se o comprimento assintótico (L_{inf}) segundo o modelo de von Bertalanffy em 9,1 cm e a constante de crescimento (k) em 0,65 (Fig. 2). Uma vez que se identificou seletividade amostral em relação à abundância relativa por grupo etário, optou-se por estimar a taxa de mortalidade natural (M) a partir de dados de Fontoura *et al.* (1993). Para tal procedeu-se a diferença do logaritmo natural das frequências de captura entre grupos etários de três diferentes eventos de amostragem (Tabela 2), resultando em uma taxa de mortalidade anual média (M) de 1,65 (DP=0,24).

Tabela 1: Comprimento médio, desvio padrão e proporção de captura *Cyanocharax alburnus* capturados na lagoa da Pinguela (RS). Valores estimados através da ferramenta Age-group (www.nelsonfontoura.net).

	Grupo etário 1 abril-2010	Grupo etário 1 nov/dez-2009	Grupo etário 2 nov/dez-2009
Comprimento médio (cm)	3,77	5,13	7,05
Desvio Padrão (cm)	0,69	0,56	0,56
Proporção de captura	1,00	0,52	0,44

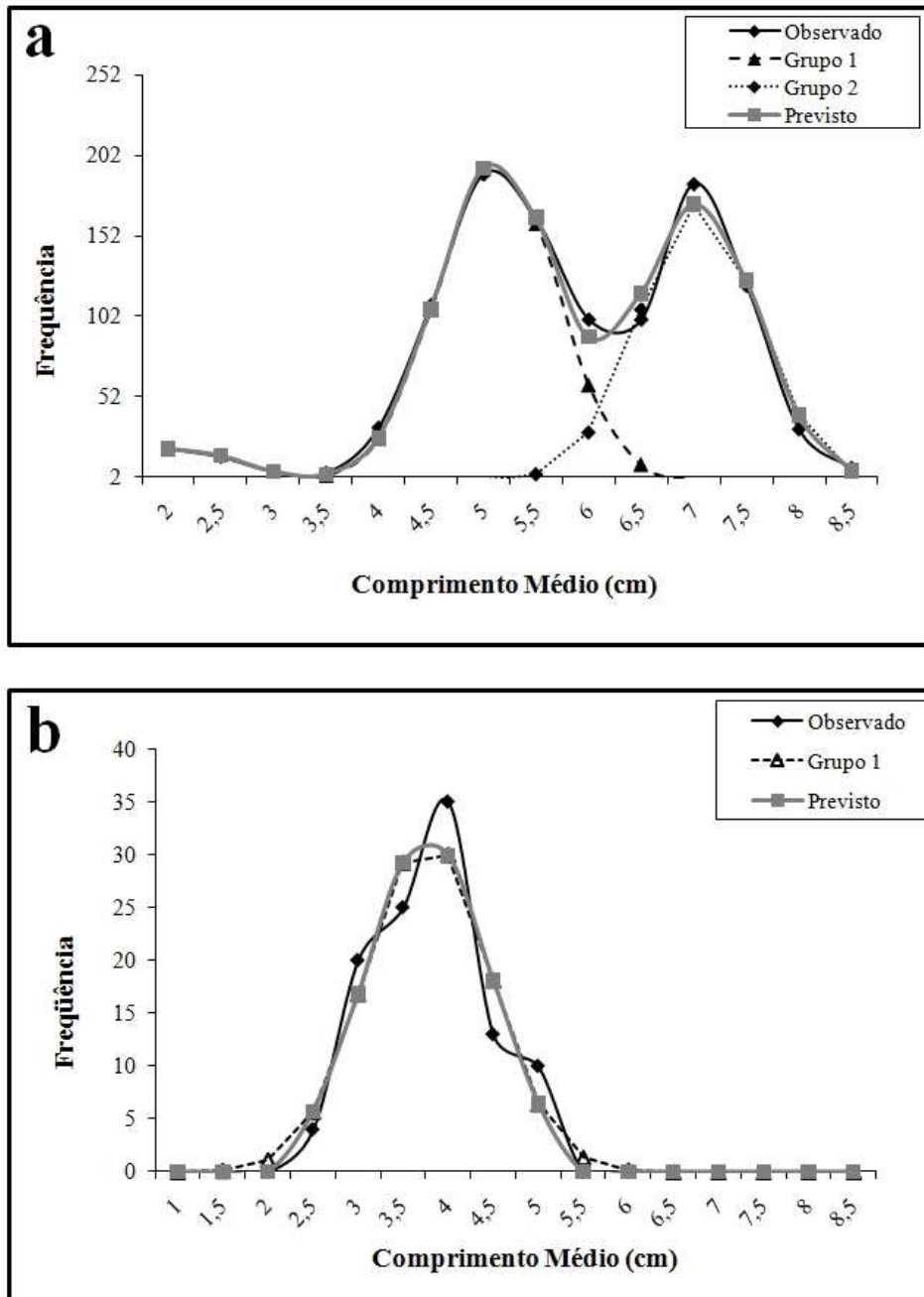


Figura 1: *Cyanocharax alburnus*. Distribuição de frequências de comprimento de animais capturados na Lagoa da Pinguela (RS). (a) Amostragem em novembro e dezembro de 2009; (b) amostragem em abril de 2010.

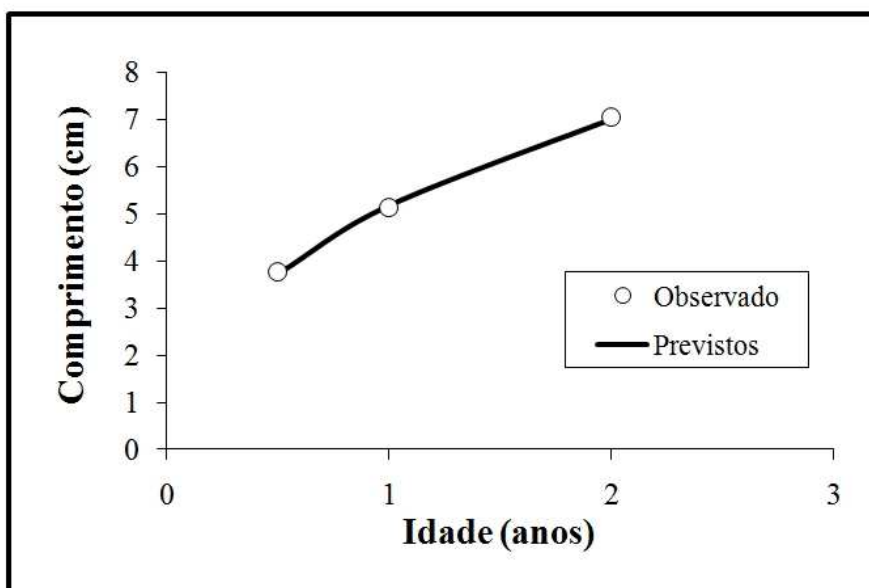


Figura 2: *Cyanocharax alburnus*. Curva de crescimento em comprimento segundo modelo de von Bertalanffy para animais capturados na Lagoa da Pinguela (RS). Amostragens realizadas em novembro e dezembro de 2009 e em abril de 2010.

Tabela 2: *Cyanocharax alburnus*. Proporções de captura por grupo etário de animais capturados na lagoa Fortaleza (RS). Dados segundo Fontoura et. al. (1993). Taxa de mortalidade natural (M) calculada como $\ln(a) - \ln(B)$.

Amostra	Grupo etário A	Grupo etário B	M
Dez/Jan/Fev	0,860	0,141	1.811
Mar/Abr/Mai	0,563	0,094	1.795
Set/Out/Nov	0,733	0,230	1.161
Set/Out/Nov	0,230	0,037	1.823
Média			1,65
Desvio Padrão			0,24

Através do ajuste da relação de peso/comprimento de Huxley estimou-se o valor do coeficiente de proporcionalidade (a) em 0,0081 e o coeficiente alometria (b) em 3,074. A distribuição de resíduos proporcionais da relação peso/comprimento de Huxley, entretanto, apresentou uma marcada assimetria para animais com comprimentos de 1,0 cm ao 4,0 cm (Fig. 3a). Estes pontos irregulares são caracterizados por uma distribuição não homogênea, demonstrando que o modelo não está completamente adequado.

Em função desta assimetria na distribuição de resíduos padronizados, optou-se pelo ajuste do modelo de relação peso/comprimento polifásico segundo Bervian *et al.* (2006). Os parâmetros descritivos da função encontram-se na tabela 3. O modelo ajustado indica uma alteração no coeficiente de alometria (b) ao longo do desenvolvimento ontogenético, que passa de 2,5 em indivíduos menores que 3,4 cm para 3,2 em indivíduos maiores. Observa-se, portanto, uma alteração no padrão de crescimento, que passa de alométrico negativo, com alongamento relativo do corpo, para alométrico positivo, representando maior ganho proporcional de peso.

Tabela 3: *Cyanocharax alburnus*. Parâmetros da relação peso/comprimento segundo modelo polifásico proposto por Bervian *et al.* (2006). Animais capturados na lagoa Fortaleza (RS), n=1210.

Parâmetro	Valor Estimado
a_{\min} (Fase 2)	0,0060
a_{\max} (Fase 1)	0,0013
TMF-a	4,058
b_{\min} (Fase 1)	2,531
b_{\max} (Fase 2)	3,190
TMF-b	-4,342
PMF	3,390

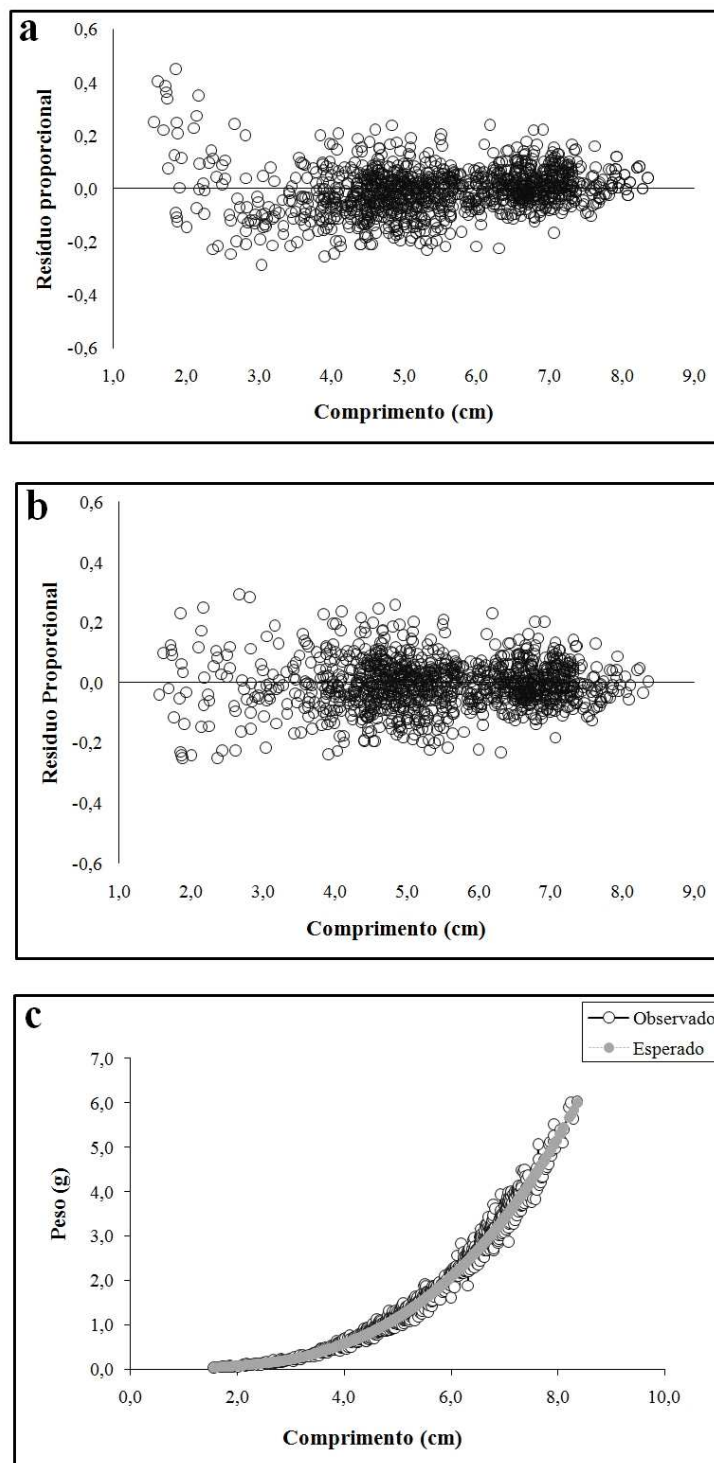


Figura 3: *Cyanocharax alburnus*. Relação peso/comprimento para animais capturados na Lagoa da Pinguela (RS). Amostragens realizadas em novembro e dezembro de 2009 e em abril de 2010 (n=1210). (a) Distribuição de resíduos proporcionais da relação peso/comprimento através da equação regular de Huxley. (b) Distribuição de resíduos proporcionais da relação peso/comprimento através da equação polifásica segundo Bervian *et al.*, (2006). (c) Modelo polifásico de relação peso/comprimento segundo Bervian *et al.*, (2006).

Os valores mensurados de assinatura isotópica de ^{13}C e ^{15}N para *C. alburnus* na lagoa da Pinguela apresentaram variação considerável entre os indivíduos, revelando diferenças individuais relativas a fontes primárias de carbono e posição trófica (Tabela 4). Os valores de assinatura isotópica para $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram média de -20,4 ‰, desvio padrão de 1,1 ‰, e amplitude de variação entre -18,1 ‰ e -24,6 ‰. Para $\delta^{15}\text{N}$ verificou-se um valor médio de assinatura isotópica de 11,0 ‰, desvio padrão de 0,5 ‰, e amplitude de variação entre 10,4 ‰ e 12,5 ‰.

A figura 4 apresenta a distribuição de valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em função do comprimento total dos animais analisados. Através de regressão linear, não se identificou qualquer tendência de variação da assinatura isotópica de carbono ou nitrogênio em função do comprimento ($b=0$; ^{13}C : $n = 25$, $P = 0,10$; ^{15}N , $n = 25$, $P = 0,55$), indicando que não há alteração de fonte de carbono ou de nível trófico de *C. alburnus* entre comprimentos de 2 a 8 cm. Neste sentido, a concepção do conceito de nicho isotópico tal como formulado por Fontoura (em preparação) não se aplica para *C. alburnus*, já que a espécie não altera a fonte de carbono ou nível trófico em função do desenvolvimento ontogenético.

Para fins comparativos, a figura 5 apresenta a distribuição da relação $^{13}\text{C} / ^{15}\text{N}$ para *C. alburnus* e um amplo conjunto de dados obtidos na literatura. Os dados brutos, assim como as fontes de referência, encontram-se disponíveis na tabela 4. Através da análise da figura 5 identifica-se claramente uma estruturação espacial de valores de carbono e nitrogênio. De fato, a variação intra-específica de *C. alburnus* apresenta-se tão ampla quanto diferentes espécies analisadas em outras localidades. A variância média interna (dentro da mesma localidade) foi de 4,1 para ^{13}C e 1,7 para ^{15}N . Por outro lado, entre localidades diferentes, a variância foi de 34,5 para ^{13}C e 17,1 para ^{15}N , aumentando em uma ordem de grandeza de dez vezes. Tal dado sugere que a variabilidade geográfica prevalece sobre a variabilidade específica.

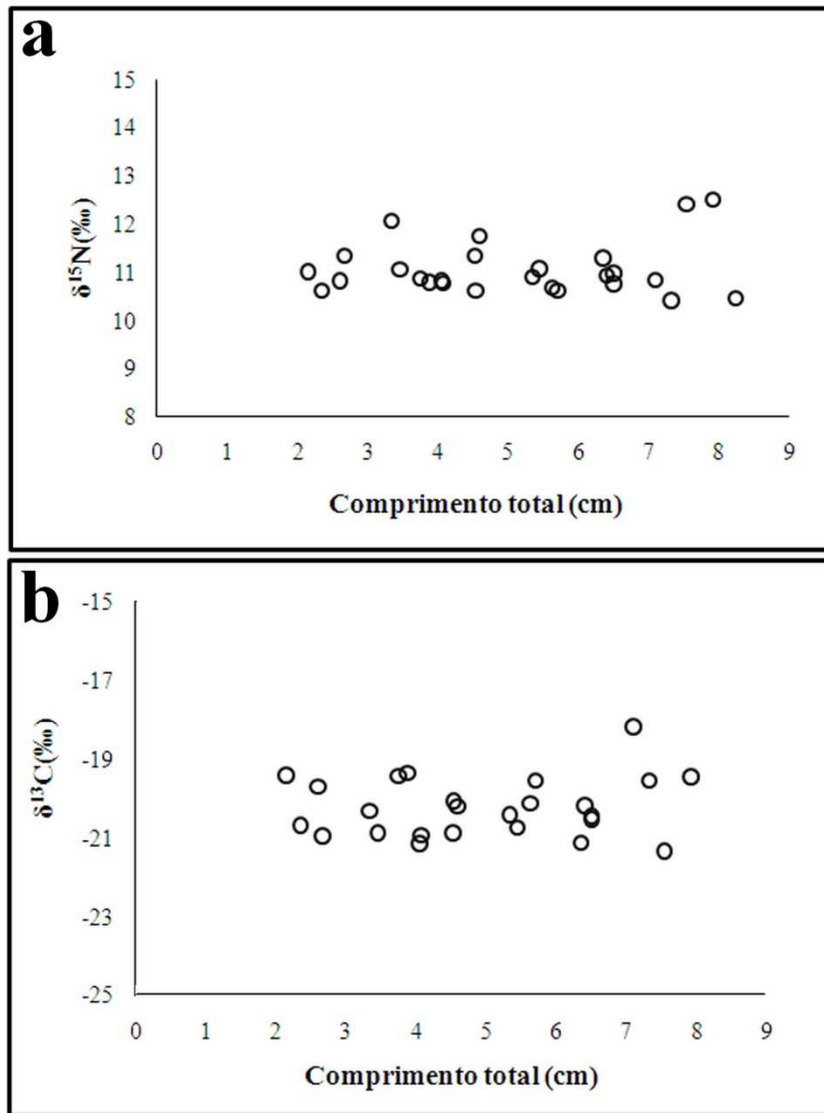


Figura 4: *Cyanocharax alburnus*. Valores de assinatura isotópica de ^{15}N (a) e ^{13}C (b) para animais capturados na Lagoa da Pinguela (RS) (n=26).

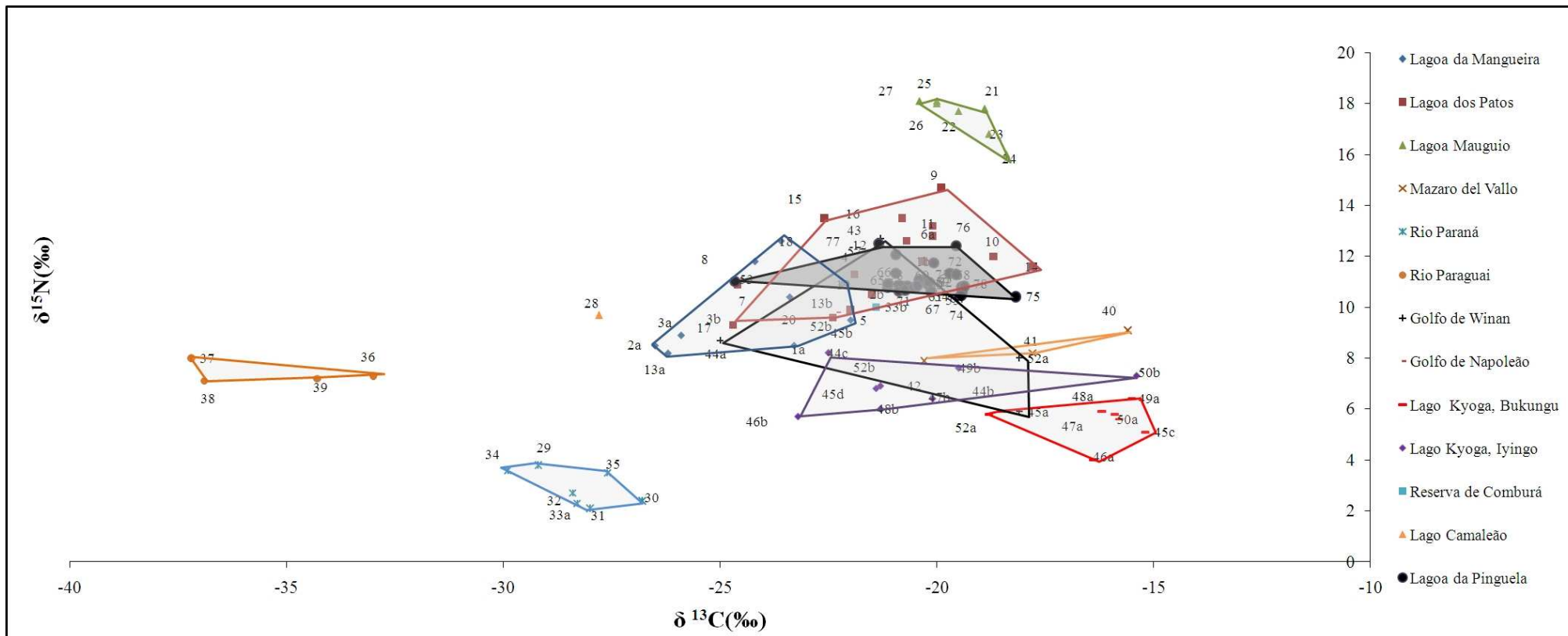


Figura 5: Distribuição da relação $^{13}\text{C}/^{15}\text{N}$ para *Cyanocharax alburnus* na lagoa da Pinguela (hachureado escuro) em relação a um conjunto de dados obtidos na literatura, onde cada polígono corresponde a uma diferente localidade e cada ponto a uma diferente espécie de peixe (dados completos e referência de origem na tabela 4).

Tabela 4: Assinaturas isotópicas de ^{13}C e ^{15}N (‰) para um conjunto variado de espécies de peixes em diferentes localidades. Os dados do presente trabalho referentes a *Cyanocharax alburnus* na Lagoa da Pinguela encontram-se ao final da lista.

Autor / Local	Número	Espécie	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Rodrigues (2009) - Lagoa Mangueira	1a	<i>Astyanax</i> sp.	-23,3	8,5
	2a	<i>Astyanax jacuhiensis</i>	-26,5	8,5
	3a	<i>Astyanax eigenmanniorum</i>	-25,9	8,9
	5	<i>Bryconamericus iheringii</i>	-22,0	9,5
	7	<i>Hyphessobrycon luetkenii</i>	-23,4	10,4
	8	<i>Oligosarus jerynsii</i>	-24,2	11,8
	13a	<i>Cyphocharax voga</i>	-26,2	8,2
	18	<i>Odontesthes humensis</i>	-23,6	12,6
	19	<i>Odontesthes perugiae</i>	-22,2	10,9
		Média	-24,1	9,9
		Desvio Padrão	1,7	1,6
Garcia <i>et al.</i> , (2007) - Lagoa dos Patos	1b	<i>Astyanax</i> sp.	-20,3	11,8
	2b	<i>Astyanax jacuhiensis</i>	-21,5	10,5
	3b	<i>Astyanax eigenmanniorum</i>	-24,6	10,9
	4	<i>Astyanax fasciatus</i>	-21,9	11,3
	6a	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,1	12,8
	9	<i>Oligosarus robustus</i>	-19,9	14,7
	10	<i>Crenicicla punctata</i>	-18,7	12,0
	11	<i>Geophagus brasiliensis</i>	-20,1	13,2
	12	<i>Platanichthys platana</i>	-20,7	12,6
	13b	<i>Cyphocharax voga</i>	-22,0	9,9
	14	<i>Parapimelodus nigribarbis</i>	-17,8	11,6
	15	<i>Pimelodus maculatus</i>	-22,6	13,5

Continuação da Tabela 4.

Autor/ Localidade	Número	Espécie	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Garcia <i>et al.</i> , (2007) - Lagoa dos Patos	16	<i>Pimelodus laticeps australis</i>	-20,8	13,5
	17	<i>Rhandia sapo</i>	-24,7	9,3
	20	<i>Hoplias malabaricus</i>	-22,4	9,6
		Média	-21,2	11,8
		Desvio Padrão	1,9	1,6
Vizzini <i>et al.</i> , (2005) - Manguio Lagoon	21	<i>Atherina boyeri</i>	-18,9	17,8
	22	<i>Anguilla anguilla</i>	-19,5	17,7
	23	<i>Chelon labrosus</i>	-18,8	16,8
	24	<i>Liza ramada</i>	-18,4	16,0
	25	<i>Pomatoschistus microps</i>	-20,0	18,1
	26	<i>Pomatoschistus minutus</i>	-20,0	18,0
	27	<i>Sardina pilchardus</i>	-20,4	18,1
		Média	-19,4	17,5
	Desvio Padrão	0,74	0,8	
Vizzini <i>et al.</i> , (2005) - Mazaro del Vallo	40	<i>Scorpaena porcus</i>	-15,6	9,1
	41	<i>Sarpa salpa</i>	-17,8	8,2
	42	<i>Chromis chormis</i>	-20,3	7,9
		Média	-17,9	8,4
		Desvio Padrão	2,3	0,6

Autor/ Localidade	Número	Espécie	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Manetta <i>et al.</i> , (2003) - Rio Paraná	29	<i>Auchenipterus osteomystax</i>	-29,2	3,8
	30	<i>Schizodon borelli</i>	-26,8	2,4
	31	<i>Loricariichthys platymetopon</i>	-28,0	2,1
	32	<i>Leporinus lacustris</i>	-28,4	2,7
	33a	<i>Leporinus friderici</i>	-28,3	2,3
	34	<i>Iheringichthys labrosus</i>	-29,9	3,6
	35	<i>Serrasalmus marginatus</i>	-27,6	3,5
		Média	-28,3	2,9
		Desvio Padrão	1,0	0,7
Calheiros (2003) - Rio Paraguai	36	<i>Prochilodus lineatus</i>	-33,0	7,3
	37	<i>Psectrogaster curviventris</i>	-37,2	8,0
	38	<i>Potamorhina squamoralevis</i>	-36,9	7,1
	39	<i>Liposarcus anisitsc</i>	-34,3	7,2
		Média	-35,4	7,4
	Desvio Padrão	2,0	0,4	
Campbell <i>et al.</i> , (2003) - Golfo de Winan	43	<i>Bagrus docmac</i>	-21,3	12,7
	44 a	<i>Clarias gariepinus</i>	-25,0	8,7
	45a	<i>Oreochromis niloticus</i>	-18,1	5,9
	52a	<i>Lates niloticus</i>	-18,1	8,0
		Média	-20,6	8,8
	Desvio Padrão	3,2	2,8	
Campbell <i>et al.</i> , (2003) - Golfo de Napoleão	45b	<i>Oreochromis niloticus</i>	-22,3	9,8
	52b	<i>Lates niloticus</i>	-22,3	9,8
		Média	-22,3	9,8
		Desvio Padrão	0	0

Continuação da Tabela 4.

Autor/ Localidade	Número	Espécie	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Mbabazi <i>et al.</i> , (2009) - Lago Kyoga, Bukungu	44 b	<i>Clarias gariepinus</i>	-18,5	5,9
	45c	<i>Oreochromis niloticus</i>	-15,2	5,1
	46a	<i>Oreochromis leucostictus</i>	-16,4	4,0
	47a	<i>Mormyrus macrocephalus</i>	-15,9	5,8
	48a	<i>Protopterus aethiopicus</i>	-16,2	5,9
	49a	<i>Synodontis victoriae</i>	-15,5	6,4
	50a	<i>Schilbe intermedius</i>	-15,8	5,6
	52a	<i>Synodontis afrofisheri</i>	-18,8	5,8
		Média	-16,5	5,6
		Desvio Padrão	1,35	0,72
Mbabazi <i>et al.</i> , (2009) - Lago Kyoga, Iyingo	44 c	<i>Clarias gariepinus</i>	-22,5	8,2
	45d	<i>Oreochromis niloticus</i>	-21,4	6,8
	46b	<i>Oreochromis leucostictus</i>	-23,2	5,7
	47b	<i>Mormyrus macrocephalus</i>	-20,1	6,4
	48b	<i>Protopterus aethiopicus</i>	-21,3	6,0
	49b	<i>Synodontis victoriae</i>	-19,5	7,6
	50b	<i>Schilbe intermedius</i>	-15,4	7,3
	52b	<i>Synodontis afrofisheri</i>	-21,3	6,9
		Média	-20,6	6,9
		Desvio Padrão	2,4	0,83
Pereira <i>et al.</i> , (2007) – Reserva de Comburá	33b	<i>Leporinus friderici</i>	-21,4	10,0
Oliveira <i>et al.</i> , (2006) - Lago Camaleão	28	<i>Colossoma macropomum</i>	-27,8	9,7

Continuação da Tabela 4.

Autor/ Localidade	Número	Espécie	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Batista <i>et al.</i> , - Lagoa da Pinguela Presente Trabalho	53	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-24,7	11,0
	54	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,4	10,6
	55	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,7	10,8
	56	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,7	11,3
	57	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-21,0	12,1
	58	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,3	11,1
	59	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,9	10,9
	60	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,4	10,8
	61	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,4	10,8
	62	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-21,1	10,8
	63	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,9	11,3
	64	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,9	10,6
	65	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,1	11,7
	66	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,2	10,9
	67	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,4	11,1
	68	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,7	10,7
	69	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,1	10,6
	70	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,6	11,3
	71	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-21,1	10,9
	72	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,2	11,0
73	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,5	10,8	

Continuação da Tabela 4.

Autor/ Localidade	Número	Espécie	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Batista <i>et al.</i> , -Lagoa da Pinguela Presente Trabalho	74	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-20,4	10,9
	75	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-18,2	10,4
	76	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,6	12,4
	77	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-21,3	12,5
	78	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,4	10,5
	79	<i>Cyanocharax alburnus</i>	-19,4	10,5
		Média	-20,4	11,0
		Desvio Padrão	1,1	0,5

4. Discussão

Estudos relacionados à biologia de *C. alburnus* têm discutido a importância desta espécie para os ecossistemas aquáticos. Foi demonstrado que a mesma exerce papel relevante na regulação de outras espécies aquáticas, uma vez que se alimenta de ovos de outras espécies de peixes (Villela *et al.*, 2002; Artioli *et al.*, 2003). Os tamanhos encontrados para *C. alburnus* no presente estudo (1,5 cm - 8,36 cm) foram diferentes do tamanho máximo registrado na lagoa Fortaleza (Fontoura *et al.*, 1993). Entretanto, os tamanhos médios dos grupos etários identificados foram similares aos resultados previamente obtidos na lagoa Fortaleza (Fontoura *et al.*, 1993). Gomiera e Braga (2003) encontraram diferenças entre os tamanhos médios de *Chichla* em estudos envolvendo diferentes reservatórios em Volta Grande, Minas Gerais, sugerindo que esta diferença poderia ocorrer em razão da abundância de nutrientes no ambiente ou simplesmente estar relacionada à ausência ou a presença de predadores.

Na lagoa Fortaleza, *C. alburnus*, apresentou em sua relação peso/comprimento um coeficiente de alometria estimado em 3,13, com coeficiente de proporcionalidade de 0,016, não tendo sido identificada alteração ontogenética de valores (Fontoura *et al.*, 1993). No presente trabalho identificou-se a presença de crescimento polifásico, segundo modelo proposto por Bervian *et al.* (2006). O ponto de mudança de fase, estimado em 3,39cm, encontra-se ligeiramente abaixo do tamanho de primeira maturação proposto para *C. alburnus* segundo Fontoura *et al.*, (1993) e Artioli *et al.*, (2003) para a Lagoa da Fortaleza e Canal Cornélios respectivamente, estimado em 4,0cm. Padrão semelhante foi obtido para *Astyanax jacuhiensis* e *Cheirodon ibicuiensis* na Lagoa da Fortaleza (Fontoura *et al.*; 2010), sugerindo que para Characiformes ocorre alteração no padrão da crescimento como uma preparação para o processo reprodutivo, padrão este refletido na relação peso/comprimento. Salientamos que embora apresente uma aparente complexidade matemática, a aplicação do modelo polifásico não deve ser vista apenas em termos de ganho descritivo, mas como ferramenta para a prospecção de aspectos relevantes da biologia da espécie, como mudança de dieta, ocupação de habitat, início de processos migratórios ao maturação sexual (Fontoura *et al.*, 2010).

A análise de isótopos estáveis é considerada uma poderosa ferramenta para a avaliação da teoria de cadeia trófica. Além disso, o estudo torna-se relevante a fim de compreender os efeitos na estrutura da cadeia, bem como estimar o nível trófico ou a diferenciação da posição trófica entre as espécies de difícil quantificação alimentar. No presente trabalho, foi utilizada a espécie *C. alburnus* como modelo experimental a fim de testar-se o conceito do Nicho Isotópico proposto por Fontoura (em preparação). Este conceito se diferencia e complementa outros trabalhos previamente publicados, visto que se propõe a estabelecer um valor numérico único que represente a assinatura isotópica de uma espécie, considerando a variação ontogenética do

consumo de diferentes itens alimentares e a curva de biomassa/idade da espécie. Para esta espécie, contudo, nossos resultados demonstraram que os valores obtidos de ^{13}C e ^{15}N não apresentaram diferenças significativas na assimilação de nutrientes da dieta ao longo do desenvolvimento ontogenético. Entretanto, esta assimilação similar de ^{13}C e ^{15}N sugere que *C. alburnus* poderia apresentar elevados níveis de competição intra-específica entre jovens e adultos, a menos que haja algum processo de segregação espacial dos indivíduos. Pelo fato de *C. alburnus* possuir uma ampla capacidade de exploração da coluna de água e ter uma grande variedade alimentar, incluindo ovos de outras espécies, *Cladocera* e matéria orgânica (Hartz *et al.*, 1996, Vilella *et al.*, 2002, Artioli *et al.*, 2003), elementos com variação sazonal de disponibilidade, não se exclui a possibilidade de existirem diferenças espaciais ou sazonais do perfil alimentar. Segundo o estudo de Artioli *et al.* (2003) o qual analisa o conteúdo estomacal da espécie em três faixas distintas de tamanho, os itens alimentares principais são os mesmos nas diferentes faixas etárias. Estes itens são compostos principalmente por ovos, *Cladocera*, insetos adultos e Copépodos. Também aparece como alimento na primeira faixa de tamanho (2 a 4 cm) areia, sendo esta encontrada em pouca quantidade nas outras duas faixas de tamanho. Além disso, na segunda (4 a 6 cm) e terceira (+ 6cm) faixas de tamanho foi detectada a presença de algas e larvas de insetos (Artioli *et al.*, 2003). Embora as potenciais diferenças de perfil alimentar não tenham se manifestado na assinatura isotópica de *C. alburnus* na Lagoa da Pinguela, tanto em fonte primária de carbono quanto em posição trófica, futuros estudos utilizando outras estratégias, tais como a análise de isótopos nas fontes alimentares, o conteúdo estomacal e a análise de outros ambientes explorados pela espécie poderiam fornecer informações adicionais e mais detalhadas sobre a razão isotópica de *C. alburnus*.

No presente trabalho identificou-se que a assinatura isotópica de carbono e nitrogênio apresenta três fontes principais de variação: variação intra-específica, variação entre espécies diferentes da mesma localidade e entre localidades diferentes (Figura 5, Tabela 4).

Diversos estudos têm demonstrado a influência dos locais sobre a fonte de carbono e nitrogênio assimilada pelas espécies. Por exemplo, Saint-Paul *et al.*, (2000) demonstraram que as várzeas do rio Amazonas são consideradas ambientes férteis, mantendo uma colonização rica com abundante diversidade da fauna ictiológica, sendo que a maioria das espécies de peixes apresenta seu ciclo de vida através do nível de flutuação do rio. Em função desta relação, Oliveira *et al.*,(2006) estudaram as fontes dos isótopos carbono e nitrogênio nestas regiões da Amazônia, utilizando espécies de peixes comerciais. Foi demonstrado que esses isótopos poderiam refletir a sazonalidade do local e também do complexo da interação terra- água. No estudo realizado por Benetido-Cecilio *et al.* (2000) em peixes da Amazônia, o isótopo de carbono (em plantas C3 e C4) apresentou tanto diferenças sazonais quanto espaciais.

Vizzini *et al.* (2005) demonstraram na Lagoa Mauguio a existência de um padrão espacial na composição dos consumidores, sendo esta parecida com o existente nas fontes de matéria orgânica. Adicionalmente, os mesmos autores também obtiveram uma diferença significativa da quantidade de carbono e nitrogênio entre as localidades bem como uma variação relacionada com a sazonalidade.

Post (2002) verificou que a fonte de carbono é diferente nas regiões pelágica e litorânea, a qual pode ser refletida pelo tipo e presença de matéria orgânica dissolvida. Além disso, a análise em 25 lagoas americanas (Nova York e Wisconsin) utilizando moluscos como modelo experimental demonstrou diferenças significativas entre ambas as regiões pelágica e litorânea assim como pela profundidade explorada pelos animais, podendo existir variações no nível assimilado dos isótopos carbono e nitrogênio (Post, 2002). Além disso, um estudo realizado na Lagoa dos Patos também obteve diferenças significativas entre as regiões estuarina e límnic, tanto para os isótopos de carbono como de nitrogênio (Garcia *et al.*, 2007).

Assim, mesmo com uma aparente restrição do número de espécimes coletados em um mesmo local, a análise isotópica tem auxiliado na compreensão de cadeias tróficas e do fluxo de energia em ecossistemas aquáticos (Vander Zanden e Rasmussen, 2001). Os valores obtidos pela análise dos isótopos, principalmente de carbono e nitrogênio, podem fornecer dados a respeito de fontes primárias de carbono, posição trófica, assim como sua variação sazonal e espacial. É importante salientar que dependendo das características físico-químicas do ecossistema aquático, a quantidade detectada dos isótopos pode ser diferente, indicando uma distinta disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica presentes no meio (Rodrigues *et al.*, 2009).

Entretanto, mesmo considerando a importância do uso de isótopos estáveis para o entendimento de cadeias tróficas, cabe destacar a necessidade de ser avaliado um conjunto significativo de indivíduos de uma mesma espécie para que os resultados possam ser considerados minimamente representativos. Identificou-se, através de análise da literatura, que estudos de teia trófica baseiam-se frequentemente em um reduzido número de indivíduos de cada espécie analisada. Através da figura 5 verifica-se claramente que a variação intra-específica de *C. alburnus*, em termos de assinatura isotópica de carbono e nitrogênio, é tão ampla quanto diferentes espécies capturadas em uma mesma localidade. Se cada valor plotado for o resultado de média de poucos indivíduos, então o padrão identificado pode ser completamente mascarado pela variação intra-específica, prejudicando qualquer inferência quanto à posição trófica ou fonte primária de carbono. Por outro lado, identifica-se que a maior fonte de variação constitui-se na origem geográfica do dado, de forma que a comparação de valores brutos entre localidades diferentes se torna temerária em termos de entendimento de padrões alimentares.

5. Conclusão e Perspectivas

O presente trabalho visou a aplicação do conceito de Nicho Isotópico proposto por Fontoura (em preparação) para a espécie *C. alburnus* na Lagoa da Pinguela, Osório, RS. Os resultados demonstraram que, embora a espécie estudada não tenha apresentado uma mudança ontogenética significativa, a variabilidade geográfica poderia influenciar no valor de Nicho Isotópico obtido. Portanto, outros estudos associando diferentes abordagens, tais como conteúdo estomacal e a análise de distintos ambientes poderiam fornecer informações adicionais a respeito da razão isotópica e da aplicabilidade do conceito de Nicho Isotópico para a espécie.

Referências Bibliográficas

- Abelha, M.C.F; Agostinho, A. A.; Goulart,E.; (2001) Plasticidade trófica em peixes de água doce, *Acta Scientiarum*, Maringá
- Artioli, L.G.S.; Prates-Júnior, P.H.S.; Diefenthaler, F.; Fontoura, N.F.; (2003) Período reprodutivo e alimentação de *Astyanax alburnus* no Canal Córnelios, Capão da Canoa, Rio Grande do Sul (Teleostei,Characiformes, Characidae). *Biociências*
- Beaudoin, C.P.; Prepas, E.E.; Wassenar, L.I.; Tonn, W.M.; (1999) Individual specialization and trophic adaptability of norther pike (*Esox lucius*): an isotope and dietary analysis. *Oecologia*
- Benedito- Cecílio, E.; Araujo-Lima, C.A.R.M.; Forsberg, B.R.; Bittencourt, M.M.; Martinelli, L.C.; (2000) Carbon sources of Amazonian fisheries. *Fisheries Management and Ecology*
- Bergaman, E. & Greenberg, L. A.; (1994) Competition between a planktivore, a benthivore, and a species with ontogenetic diet shifts. *Ecology*.
- Bervian,G.; Fontoura, N.F.; Haimovici, M.; (2006) Statistical modelo f variable allometric growth: otolith growth in *Microgoponias furnieri* (Actinopterygii, Sciaenidae).*Journal of Fish Biology*
- Calheiros, D.F.; (2003) Influencia do pulso de inundação na composição isotópica (¹³C e ¹⁵ N) das fontes primárias de energia na planície de inundação do Rio Paraguai (Pantanal-MS). Tese de Doutorado da Pós-Graduação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura na Universidade de São Paulo.
- Campbell, L.M.; Hecky, R. E.; Wandera, S.B.; (2003) Stable Isotope Analyses of Food Web Structure and Fish Diet in Napoleon and Winam Gulfs, Lake Victoria, East Africa. *Journal Great Lakes*
- Cohen, J.E.; Beaver, R.A.; Cousins, S.H.; De Angelis, DL.; Goldwasser, L.; Heong, K.L.; Holt, R.D.; Kohn, A.J.; Lawton, J.H.; Martinez, N.; O'Malley, R.; Page, L.M.; Patten, B.C.; Pimm, S.L.; Polis, G.A.; Rejmnek, M.; Schoener, T.W.; Schoely, K.; Sprules, W.G.; Teal, J.M.; Ulanowicz, R.E.; Warren, P.H.; Wilbur, H.M.; Yodzis, P.; (1993) Improving food webs. *Ecology*
- Cowan, J.H. Jr.; Kenneth A.R.; Houde, E.D.; (1997) Size-based foraging success and vulnerability to predation: selection of survivors in individual-based models of larval fish populations. In: Chambers, C.; Trippel, E.A. (eds.). *Early life history and recruitment in fish populations*. London: Chapman & Hall
- De Niro, M.J & Epstein, S.; (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*
- Doi, H.; Zuykova, E.; Kikuchi, E.; Shikano, S.; Kanoul, K.; Yurlova, N.; Yadrenkina, E.; (2006) Spatial changes in carbon and nitrogen stable isotopes of the plankton food web in a saline lakeecosystem. *Hydrobiologia*
- Fontoura, N. F.; Weck, C. R.; Lutz, M. X. T.; Koch, W. R.; (1993) Dinâmica populacional da ictiofauna da Lagoa Fortaleza, Cidreira Rio Grande do Sul. I. *Astyanax alburnus* (Hensel, 1870)(Teleostei, Characiformes, Characidae). *Biociências*
- Fontoura, N.F.; Jesus, A. S.; Larre, G.G.; Porto, J.R.; (2010) Can weight/length relationship predict size at first maturity? A case study with two species of Characidae. *Neotropical Ichthyology*

- France, R. L. & Peters, R. H.; (1997) Ecosystem differences in the trophic enrichment of ^{13}C in aquatic food webs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*
- Garcia, A. M.; Hoeninghaus, D.J.; Vieira, J.P.; Winemiller, K.O.; Motta Marques, D.M.L.; Bemvenuti, M.A.; (2006) Preliminary examination of food web structure of Nicola Lake (Taim Hydrological System, south Brazil) using dual C and N stable isotope analyses. *Neotropical Ichthyology*
- Garcia, A.M.; Hoeninghaus, D.J.; Vieira, J.P.; Winemiller, K.O.; (2007) Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*
- Genner, M.J.; Hawkins, S.J.; Turner, G.F.; (2003) Isotopic change throughout the life history of a Lake Malawi cichlid fish. *Journal of Fish Biology*
- Gomiero, L.M. & Braga, F.M.S.; (2003) Relação peso-comprimento e fator de condição para *Cichla cf. ocellaris* e *Cichla monoculus* (Perciformes, Cichlidae) no reservatório de Volta Grande, rio Grande - MG/SP *Acta Scientiarum: Biological Sciences Maringá*
- Hahn, N. S.; Agostinho, A. A.; Goitein, R.; (1997) Feeding ecology of curvina *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Osteichthyes, Perciformes) in the Itaipu reservoir and Porto Rico floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*
- Hartz, S.M.; Silveira, C.M.; Barbieri, G.; (1996) Alimentação das espécies de *Astyanax* Baird & Girard, 1854 ocorrentes na lagoa Caconde, RS, Brasil (Teleostei, Characidae). *Revista Unimar*
- Houde, E.D.; (1997) Patterns and consequences of selective processes in teleost early life histories. In: Chambers, C. & Trippel, E.A. (eds.). *Early life history and recruitment in fish populations*. London: Chapman & Hall
- Litvin, S. Y. & Weinstein, M.P.; (2004) Multivariate analysis of stable-isotope ratios to infer movements and utilization of estuarine organic matter by juvenile weakfish (*Cynoscion regalis*). *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences*
- Kolasinski, J.; Frouin, P.; Sallon, A.; Rogers, K.; Bruggemann, H.J.; (2009) Feeding ecology and ontogenetic dietary shift of yellowstripe goatfish *Mulloidichthys flavolineatus* (Mullidae) Reunion Island, *Marine Ecology Progress*
- Malabarba, L.R.; (1983) Redescritção e discussão da posição taxonômica de *Astyanax hasemani* Eigenmann, 1914 (Teleostei, Characidae). *Comunicações do Museu de Ciências da PUCRS*
- Manetta, G. I.; Benedito- Cecilio, E.; Martinelli, M.; (2003) Carbono sources and trophic position of the main species of fishes of Baía river, Paraná River floodplain, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*
- Manetta, G.I.; Benedito- Cecilio, E.; (2003) Aplicação da técnica de isótopos estáveis na estimativa da taxa de turnover em estudos ecológicos: uma síntese. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*
- Martinelli, L.A.; Ometto, J.P.; Ferraz, E.S.; Victoria, R.L.; Camargo, P.B.; Moreira, M.Z.; (2009) Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo: Oficina de Textos
- Mazari-Hiriart, M.; Ponce-de-Leon, S.; Lopez-Vidal, Y.; Islas-Macias, P.; Amieva-Fernandez, R.I.; Quinones-Falconi, F.; (2008) Microbiological implications of periurban agriculture and water reuse in Mexico City. *PLoS One*

- Mbabazi, D.; Makanga, B.; Orach-Meza, F.; Hecky, R. E.; Balirwa, J.S.; Ogutu-Ohwayo, R.; Verburg, P.; Chapman, L.; Muhumuza, E.; (2009) Intra-lake stable isotope ratio variation in selected fish species and their possible carbon sources in Lake Kyoga (Uganda): implications for aquatic food web studies. *African Journal Ecology*.
- Michener, R.H. & Schell, D.M.; (1994) Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. In: Lajtah, H.; Michener, R.H. (eds.), *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Oxford: Blackwell Scientific
- Minagawa, M. & Wada, E.; (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*
- Nordström, M.; Aarnio, K.; Bonsdorff, E.; (2009) Temporal variability of a benthic food web: patterns and processes in a low-diversity system. *Marine Ecology Progress Series*
- Oliveira, A.C.B.; (2003) Isótopos estáveis de C e N como indicadores qualitativos e quantitativos da dieta do tambaqui (*Colossoma macropomum*) da Amazônia Central, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Oliveira, A.C.B.; Soares, M.G.M.; Martinelli, L. A.; Moreira, M. Z.; (2006) Carbon sources of fish in an Amazonian floodplain lake. *Aquatic Sciences*
- Oliveira, A. C. B.; Martinelli, L. A.; Moreira, M. Z.; Soares, M. G. M.; Cyrino J. E. P.; (2006) Seasonality of energy sources of *Colossoma macropomum* in a floodplain lake in the Amazon – lake Camaleão, Amazonas, *Brazilian Fisheries Management and Ecology*
- Olson, M. H.; (1996) Ontogenetic niche shifts in largemouth bass: variability and consequences for first-year growth. *Ecology*
- Pereira, A. L.; Benedito-Cecílio, E.; Sakur, C.M.; (2007) Spatial variation in the stable isotopes of ^{13}C and ^{15}N and trophic position of *Leporinus friderici* (Characiformes, Anostomidae) in Corumbá Reservoir, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*
- Peterson, B. J.; Howarth, R. W.; Garritt, R. H.; (1985) Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science*
- Peterson, B.J. & Fry, B.; (1987) Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*
- Phillips, D.L. & Eldridge, E.P.M.; (2006) Estimating the timing of diet shifts using stable isotopes, *Oecologia*
- Phillips, D.L. & Gregg, J.W.; (2001) Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. *Oecologia*
- Polis, G. A.; (1984) Age structure component of niche width and intraspecific resource partitioning: can age groups function as ecological species? *American Naturalist*
- Post, D.M.; (2002) Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*
- Rodrigues, L.H.R.; (2009) Reguladores da dinâmica das comunidades planctônicas e ictica em ecossistemas límnicos subtropicais. Tese de Doutorado da Pós- Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rounick, J. S. & Winterbourn, M. J.; (1986) Stable carbon isotopes and carbon flow in ecosystems. *BioScience*

- Saint-Paul, U.; Zuanon, J.; Villacorta-Correa, M. A.; Garcia, M. N.; Fabré, N.; Berger, U.; Junk, W.J.; (2000) Fish communities in Central Amazônia white- and the backwaters floodplains. *Environmental Biology of Fishes*
- Solis, C.; Sandoval, J.; Perez-Veja, H.; Mazari-Hiriart, M.; (2006) Irrigation water quality in southern Mexico City based on bacterial and heavy metal analyses. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms*.
- Vander Zanden, M.J. & Ramussen, J.B.; (2001) Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology Oceanography*
- Vilella, F.S.; Becker, F.G.; Hartz, S.M.; (2002) Diet of *Astyanax* species (Teleostei, Characidae) in an Atlantic Forest River in Southern Brazil, *Brazilian Archives of Biology and Technology*
- Vizzini, S. & Mazzola, A.; (2005) Feeding ecology of the sand smelt *Atherina boyeri* (Risso 1810) (Osteichthyes, Atherinidae) in the western Mediterranean: evidence for spatial variability based on stable carbon and nitrogen isotopes. *Environmental Biology of Fishes*
- Vizzini, S.; Savona B.; Do Chi, T.; Mazzola, A.; (2005) Spatial variability of stable carbon and nitrogen isotope ratios in a Mediterranean coastal lagoon *Hydrobiologia*
- Werner, E.E.; (1986) Species interaction in freshwater communities. Pages 233-258 in J. Diamond and T. J. Case, editors. Community ecology. Harper and Row, New York, New York, USA.
- Werner, E.E. & Gilliam, J.F.; (1984) The ontogenetic niche and species interactions in size-structured populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*
- Zambrano, L.; Valiente, E.; VanderZander, M.J.; (2010) Stable isotope variation of a highly heterogeneous shallow freshwater system, *Hydrobiologia*