

Efeito da maturação gonadal sobre a energia dos músculos de duas espécies de piranhas do reservatório do rio Manso, Estado de Mato Grosso

Marília Hauser dos Santos^{1*}, Evanilde Benedito² e Wladimir Marques Domingues³

¹Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. ²Departamento de Biologia, Núcleo de Pesquisas em Limnologia Ictiologia e Aqüicultura, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. ³Núcleo de Pesquisas em Limnologia Ictiologia e Aqüicultura, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: mariliahauser@yahoo.com.br

RESUMO. Com o intuito de investigar a alocação de energia e a correlação entre esta e o fator de condição (K) de duas espécies de piranhas, *Serrasalmus marginatus* e *S. maculatus*, do reservatório do rio Manso, Estado de Mato Grosso (localizado entre os paralelos 14° 52' de latitude sul e 55° 48' de longitude oeste). As coletas foram realizadas entre setembro de 2002 e março de 2004. As amostras de músculos de indivíduos de ambos os sexos, pertencentes a diferentes estádios de maturação gonadal e ambientes, tiveram a determinação do conteúdo energético em bomba calorimétrica e os resultados comparados com o K. Houve diferenças significativas entre os estádios de maturação apenas para os machos. As duas espécies utilizam distintamente a energia obtida do alimento. A maturação gonadal exerceu efeito sobre a alocação energética e o K, enquanto este não se correlacionou com a energia armazenada nos músculos.

Palavras-chave: piranhas, calorimetria, fator de condição, reservatório de Manso.

ABSTRACT. Gonadal maturation effect on muscular energy in two species of piranhas (*Serrasalmus marginatus* and *S. maculatus*) from rio Manso reservoir, Mato Grosso State. Aiming to investigate the allocation of energy and the correlation between this energy and the condition factor (K) of two piranhas species, *Serrasalmus marginatus* and *S. maculatus*, from the reservoir of the Manso river, (located among the parallels 14°52' south latitude and 55°48' west longitude). The collections were carried between September, 2002 and March, 2004. The muscle samples of individuals from both genders belonging to different stages of gonadal maturation and environment had their energy content determined by a calorimetric pump and the results compared with K. There were significant differences among the maturation stages only for the males. The two species make distinct use of the energy obtained from the food. The gonadal maturation had an effect on the allocation of energy and K. It did not correlated with the energy stored in the muscles.

Key words: piranhas, calorimetry, condition factor, reservoir of the Manso.

Introdução

A Ecologia Energética compreende as inter-relações entre os seres vivos e o ambiente, com ênfase às transformações de energia. Esse ramo da ciência auxilia o entendimento de como os organismos otimizam sua energia para a realização das atividades vitais (Kitchell, 1977; Karas e Thoreson, 1992; Doria e Andrian, 1997; Marchand e Boisclair, 1998). Além disso, também consiste em uma importante ferramenta na análise da função da espécie em seu habitat específico, comunidade ou ecossistema (Brafeld e Llewellyn, 1982), e conseqüentemente, no melhor aproveitamento de

uma determinada espécie na aqüicultura (Brett e Groves, 1979).

As condições alimentares às quais os peixes estão submetidos podem refletir em diferenças no armazenamento e alocação de reservas de energia ao longo do ano. Essas condições são comumente avaliadas através do fator de condição (K) (Vazzoler, 1996), que além de indicar o bem estar do peixe, possibilita relações com condições ambientais (Filbert e Hawkins, 1995) e comportamentais, incluindo reprodução (Vazzoler e Vazzoler, 1965).

No entanto, apesar da importância ecológica, pesquisas acerca de quantificações energéticas e do

estado fisiológico dos peixes, em resposta às adversidades ambientais decorrentes de atividades antropocêntricas são ainda incipientes, especialmente para espécies pertencentes ao topo da cadeia alimentar, como as do gênero *Serrasalmus*.

Os serrasalmíneos são peixes carnívoros, capazes de arrancar pedaços de suas presas com seus dentes cortantes, sendo que a alta densidade desses organismos traz sérios problemas à população ribeirinha, pois além de reduzirem o valor do pescado ao se alimentarem de nadadeiras ou de partes do corpo de outros peixes, danificam os apetrechos de pesca. Entretanto, segundo Oliveira e Nogueira (2000), as duas espécies piscívoras em estudo, *Serrasalmus maculatus* Kner, 1860 e *Serrasalmus marginatus* Valenciennes, 1847, são de grande importância econômica para a pesca do pantanal mato-grossense, porque são utilizadas no consumo humano, servindo como única fonte de proteína animal para dezenas de famílias.

Observações realizadas em aquários revelaram que fêmeas de *Serrasalmus maculatus* depositam seus óvulos em raízes de plantas, enquanto os machos cuidam da prole. Todavia, não há registros de comportamento dessa espécie diante de seus predadores quando está cuidando da prole (Schultz, 1972; Ledecy, 1996). Essa espécie possui desova parcelada que se estende de outubro a abril e fecundação externa (Vazzoler, 1996), sendo encontrada principalmente em ambientes lânticos (Cruz, 2000). Já *Serrasalmus marginatus* tem período reprodutivo estendendo-se de setembro a abril (Vazzoler, 1996; Nakatani *et al.*, 2001), fecundação externa e desova parcelada, sazonal, prolongada durante o período de cheia. Essa espécie domina águas líticas, sendo considerada agressiva ao cuidar da prole e ao estabelecer seu território alimentar (Almeida *et al.*, 1998).

Em virtude dessas características ecológicas, pretende-se, neste estudo, buscar o entendimento da estratégia energética e da condição geral das duas espécies piscívoras: *Serrasalmus marginatus* e *S. maculatus*, que ocupam diferentes ambientes do reservatório do rio Manso. Os resultados obtidos, além de possibilitarem o estabelecimento de medidas de manejo adequadas ao controle da proliferação das espécies, também elucidarão os efeitos do ambiente represado sobre a ecologia energética das mesmas. Nesse contexto, o presente trabalho teve por hipótese básica que ambas as espécies acumulam e utilizam a energia de forma distinta durante seu ciclo reprodutivo.

Material e métodos

O rio Manso é afluente da margem esquerda do rio Cuiabá, que por sua vez desemboca na margem esquerda do rio Paraguai, no Estado do Mato Grosso (Figura 1). A Chapada dos Guimarães e a serra Azul são os divisores de águas nessa posição geográfica, entre as bacias hidrográficas do alto Paraguai e Amazônia. A barragem que forma o reservatório está implantada a jusante da confluência do rio Casca com o rio Manso, nas coordenadas geográficas 14° 52' de latitude sul e 55° 48' de longitude oeste (Cleber *et al.*, 2000).

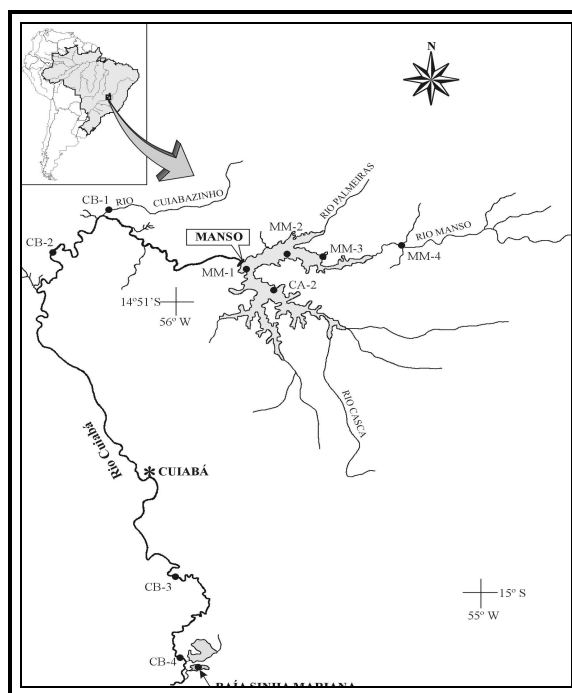


Figura 1. Área de estudo: baía (Baía Sinhá Mariana), reservatório de Manso (MM1, MM2, MM3, MM4, CA2) e tributários (CB1, CB2, CB3, CB4).

As amostragens das espécies *Serrasalmus marginatus* e *Serrasalmus maculatus* foram realizadas entre setembro de 2002 e março de 2004, no reservatório de Manso (**RM**) (MM1, MM2, MM3, MM4, CA2), baía marginal (**BA**) (Baía Sinhá Mariana) e tributários (**TR**) situados a jusante da barragem (CB1, CB2, CB3, CB4) (Fig. 3). Foram utilizadas redes de espera (malhagens entre 2 e 12 cm entre nós opostos), expostas por 24 horas, com revistas a cada 8 horas.

Dentre as duas espécies de piranhas coletadas, foram selecionados 99 exemplares (48 machos e 51 fêmeas) de *Serrasalmus maculatus* e 146 (65 machos e 81 fêmeas) de *S. marginatus*. Desses organismos foram obtidos dados de local de captura, comprimento padrão (Cp, em centímetros), peso

total (Pt, em gramas), sexo e estágio de maturação gonadal (**imt** = imaturo, **rep** = repouso, **ini** = início de maturação, **mat** = maturação, **mad** = maduro, **ses** = semi-esgotado, **esg** = esgotado). Os referidos estádios foram identificados através de inspeção visual das gônadas, segundo os critérios e classificação proposta por Vazzoler (1996). Não foi descrito o estágio **rep** para machos de *S. marginatus*, bem como para ambos os sexos de *S. maculatus* (Lamas e Godinho, 1996).

Na análise do efeito do ambiente sobre os organismos coletados foram utilizados apenas aqueles maduros e semi-esgotados, evitando, dessa forma, possíveis interferências do ciclo reprodutivo sobre tal variável.

Para a determinação do conteúdo calórico foram extraídas, de cada indivíduo, amostras de músculos, que se localizavam próximas à inserção da nadadeira dorsal. Em seguida, foram conservadas em gelo e transportadas ao Laboratório de Ecologia Energética do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupélia), da Universidade Estadual de Maringá, Estado do Paraná. As amostras foram secas em estufa a 60°C até peso constante e maceradas individualmente, com auxílio de moinho de esferas até a obtenção de um pó fino e homogêneo. O valor em kcal/grama de peso seco de músculo foi obtido através da combustão da matéria orgânica em bomba calorimétrica modelo Parr 1261.

O estado fisiológico da espécie foi avaliado através da distribuição dos valores médios do fator de condição (K): $K = Pt / Cp^b \cdot 100$. Onde: Pt = peso total; Cp = comprimento padrão; b = coeficiente angular da regressão linear entre Pt e Cp.

Os valores de b (coeficiente angular), para cada sexo e espécie, foram obtidos através da regressão preditiva (mínimos quadrados) entre Pt X Cp.

Os valores calóricos e do fator de condição, determinados para as duas espécies, foram analisados graficamente por sexo, estágio de maturação gonadal e local amostrado, considerando-se os valores médios e desvio padrão. Na identificação da existência de possíveis diferenças significativas entre as médias obtidas, foi utilizada a Análise de Variância do programa STATISTICA, através do método de ANOVA—one way, e teste a posteriori de Tukey (Zar, 1996). O teste “t” de Student, para amostras pareadas, foi utilizado na investigação da existência de relação significativa ($p < 0,05$) entre o conteúdo calórico e o fator de condição das espécies analisadas.

Resultados

Serrasalmus marginatus

As médias do conteúdo calórico (ANOVA: F =

3,2139; GL = 128; $p = 0,075$) e do fator de condição (ANOVA: F = 0,037; GL = 128; $p = 0,847$) entre machos e fêmeas não diferiram significativamente. Destaca-se porém que as fêmeas apresentaram maior valor médio calórico e variabilidade ($4,7 \pm 0,38$) quando comparadas aos machos ($4,59 \pm 0,28$). Já em relação ao K, ambos os sexos tiveram valores médios muito semelhantes ($1,24 \pm 0,12$).

Em relação à energia e à condição geral, apenas os machos mostraram diferença significativa entre os estádios (ANOVA: F = 6,2063; GL = 54; $p < 0,05$ e F = 3,37; GL = 54; $p < 0,05$, respectivamente), sendo **imt** diferente de **mat**, **mad**, **ses** e **esg** (Tukey: $p < 0,05$) em relação ao primeiro caso, e **mad** diferente de **imt** e **mat** (Tukey: $p < 0,05$) para o segundo caso. Os indivíduos maduros foram os que tiveram o maior valor médio, para ambas as variáveis analisadas, enquanto o menor valor foi registrado para peixes imaturos em relação ao conteúdo calórico, e para machos em maturação e fêmeas esgotadas em relação ao K.

Analisando o conteúdo calórico, quando não se considerou o estágio **rep** para as fêmeas, ambos os sexos exibiram as mesmas tendências quanto à redução e acréscimo de energia com o avanço da maturação gonadal. Além disso, as fêmeas **imt**, **ini** e **mad** apresentaram elevada variabilidade quando comparadas aos machos (Figura 2A e B).

O fator de condição, em ambos os sexos, teve uma queda após a maturação das gônadas (**ses** e **esg**), e uma maior variabilidade no estágio maduro. Essa variação foi menor entre machos esgotados em comparação às fêmeas, no respectivo estágio (Figura 2C e D).

Em relação ao efeito do ambiente sobre o conteúdo calórico e fator de condição, apenas em relação a essa última variável foram encontradas diferenças significativas para as fêmeas (ANOVA: F = 7,36; GL = 27; $p < 0,05$), que diferiram na baía em relação aos demais ambientes (**RM** e **TR**) (Tukey: $p < 0,05$). Tanto as médias do conteúdo calórico como as do K foram menores na **BA** (Figura 3A e B; C e D). Os maiores valores médios para ambas as variáveis foram registrados para os tributários, exceto para os machos em relação ao K, os quais foram observados no reservatório de Manso. As fêmeas apresentaram as médias da condição geral muito semelhantes entre o **RM** e **TR**, sendo que nesse último ambiente tiveram maior variabilidade que os machos (Figura 3C e D).

As comparações entre o fator de condição e o conteúdo energético (kcal g⁻¹ de peso seco), presente nos músculos dos indivíduos de *S. marginatus*, agrupados por estágio de maturação gonadal amostrado não se correlacionaram ($p < 0,05$).

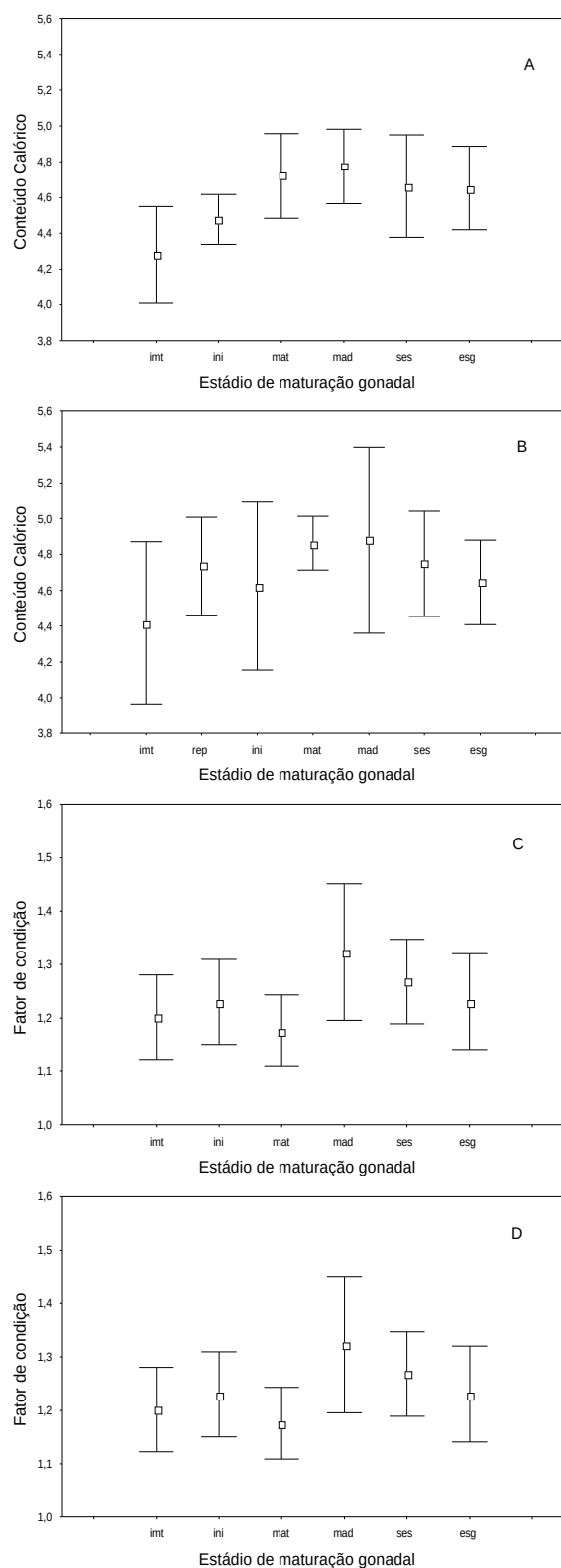


Figura 2. Valores médios ($\square$) e desvio padrão (linha vertical) do conteúdo calórico e do fator de condição, para machos e fêmeas, de *S. marginatus* nos diferentes estádios de maturação gonadal (**imt** = imaturo; **rep** = repouso; **ini** = início de maturação; **mat** = maturação; **mad** = maduro; **ses** = semi-esgotado; **esg** = esgotado).

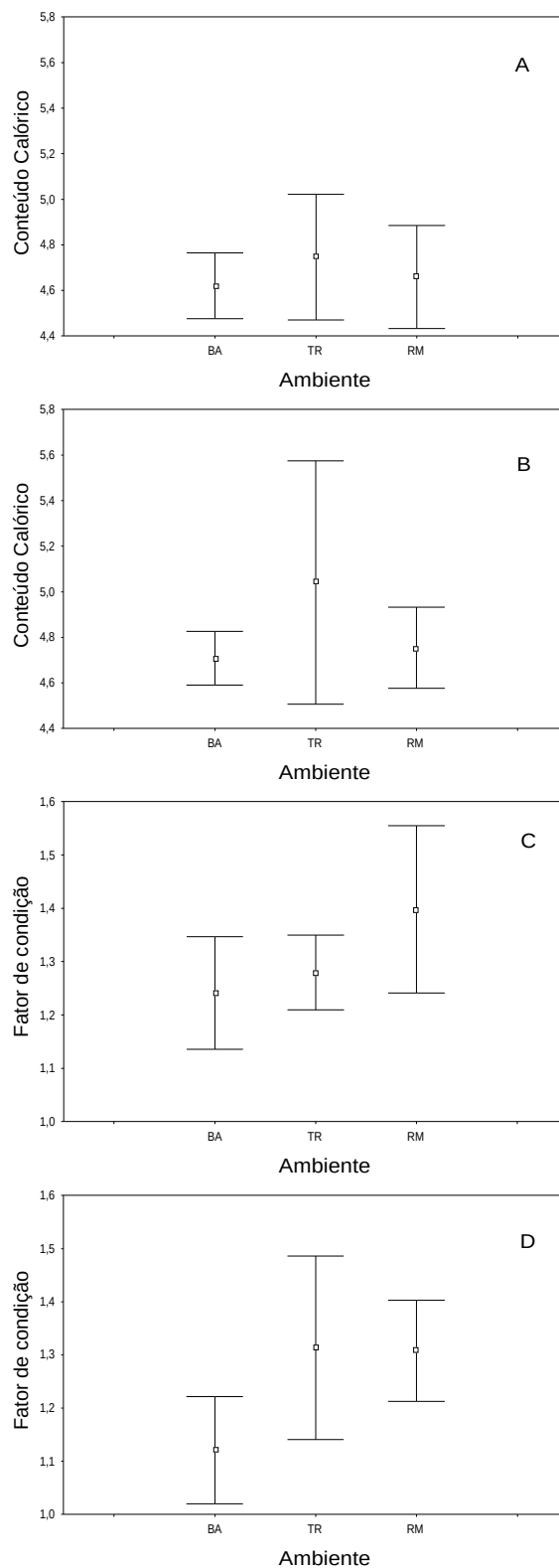


Figura 3. Valores médios ($\square$) e desvio padrão (linha vertical) do conteúdo calórico e fator de condição, para machos e fêmeas, de *S. marginatus* na área de influência do reservatório de Manso (**BA** = baía; **RM** = reservatório de Manso; **TR** = tributários).

Serrasalmus maculatus

As médias do conteúdo calórico e do fator de condição entre machos e fêmeas, quando não se consideraram os estádios de maturação gonadal, não diferiram significativamente (ANOVA: $F = 0,020$; $GL = 72$; $p = 0,88$ e $F = 0,56$; $GL = 72$; $p = 0,45$, respectivamente). Analisando o conteúdo energético, ambos os sexos mostraram valores médios muito semelhantes ($4,95 \pm 0,48$). A respeito do K, os machos tiveram valores inferiores às fêmeas ($2,55 \pm 1,59$, e $2,82 \pm 1,45$, respectivamente).

Para a energia, apenas machos apresentaram diferença significativa entre os estádios (ANOVA: $F = 3,543$; $GL = 31$; $p = 0,012$), sendo **imt** diferente de **ini** (Tukey: $p < 0,05$). Os indivíduos que exibiram o maior valor médio encontravam-se em início de maturação gonadal, enquanto o menor valor foi registrado para machos, imaturos, e fêmeas semi-esgotadas. Quando comparadas aos machos, as fêmeas em maturação possuíam uma alta variabilidade, enquanto que fêmeas nos estádios **ses** e **esg** mostraram valores levemente menores, além de nítida redução calórica com o desenvolvimento gonadal (Figuras 4A e B).

Analisando-se a condição geral, não foram identificadas diferenças significativas entre os estádios de maturação gonadal, tanto para machos (ANOVA: $F = 2,5$; $GL = 31$; $p = 0,05$), quanto para fêmeas (ANOVA: $F = 1,4$; $GL = 31$; $p = 0,25$). Os menores e maiores valores foram registrados para machos imaturos e em maturação, e fêmeas esgotadas e semi-esgotadas, respectivamente. Constatou-se também, que ambos os sexos apresentaram maior variabilidade nos valores de K quando em maturação, sendo bem menor essa variação entre fêmeas imaturas e em início de maturação em relação aos machos, nos respectivos estádios (Figuras 4C e D).

As médias da kcal g⁻¹ de peso seco e do fator de condição, nos diferentes locais de amostragem, foram menores na baía. Foram encontradas diferenças significativas para machos (ANOVA: $F = 12,30$; $GL = 14$; $p < 0,05$) e fêmeas (ANOVA: $F = 5,03$; $GL = 17$; $p < 0,05$), apenas para a primeira variável (Figura 5A e B), sendo aqueles indivíduos amostrados na **BA**, geralmente, distintos dos demais (Tukey: $p < 0,05$). Os maiores valores médios de ambas as variáveis foram observados no reservatório de Manso, exceto para os machos em relação ao conteúdo calórico, os quais se encontravam nos tributários.

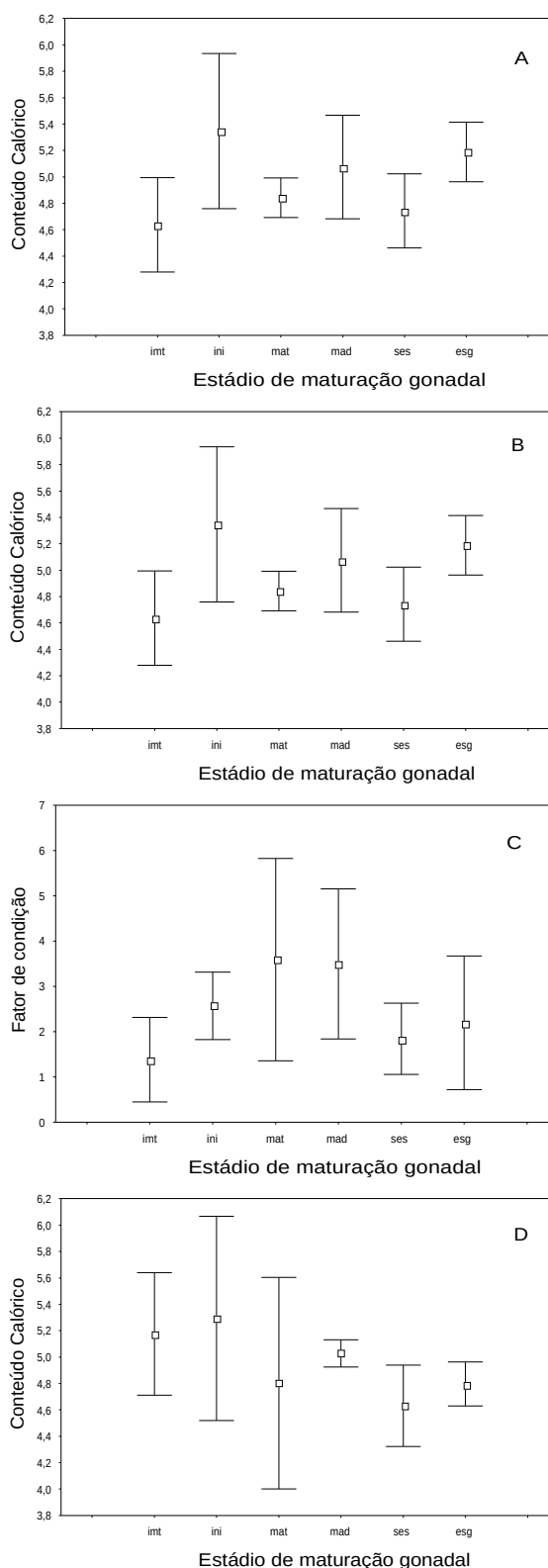


Figura 4. Valores médios (□) e desvio padrão (linha vertical) do conteúdo calórico e do fator de condição, para machos e fêmeas, de *S. maculatus* nos diferentes estádios de maturação gonadal (**imt** = imaturo; **ini** = início de maturação; **mat** = maturação; **mad** = maduro; **ses** = semi-esgotado; **esg** = esgotado).

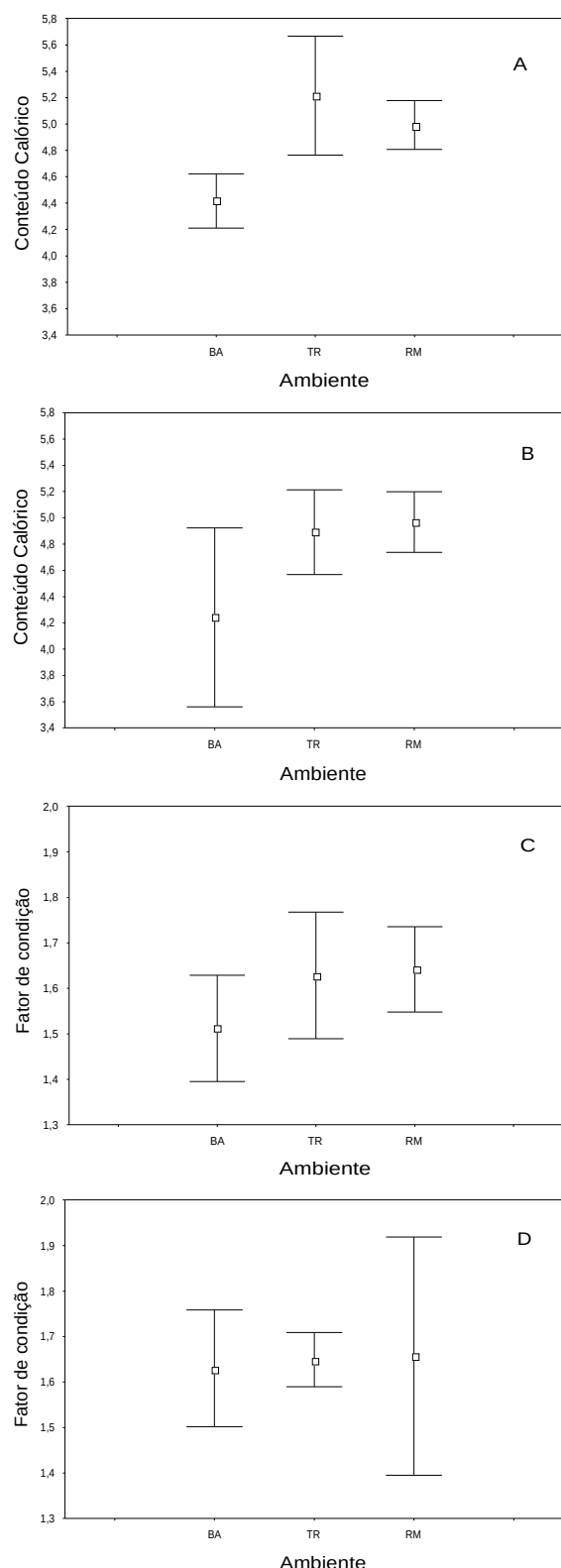


Figura 5. Valores médios (□) e desvio padrão (linha vertical) do conteúdo calórico e do fator de condição, para machos e fêmeas, de *S. maculatus* na área de influência do reservatório Manso (**BA** = baía; **RM** = reservatório de Manso; **TR** = tributários).

As médias do fator de condição, para fêmeas, foram semelhantes nos ambientes analisados, revelando maior variabilidade entre aquelas amostradas no **RM**. Constatou-se, ainda, que tanto machos quanto fêmeas exibiram espacialmente as mesmas tendências de redução e acréscimo no valor de K (Figura 5C e D).

As comparações entre o fator de condição (K) e o conteúdo energético (Kcal g^{-1} de peso seco), presente nos músculos dos indivíduos de *S. maculatus*, agrupados por estágio de maturação gonadal, não se correlacionaram ($p < 0,05$).

Comparação interespecífica

As comparações do conteúdo energético (Kcal g^{-1} de peso seco) e do fator de condição, presente nos músculos de fêmeas ("t" Student = - 2,1947; $p = 0,0505$ e "t" Student = - 9,075; $p < 0,05$) e machos ("t" Student = - 2,7859; $p < 0,05$ e "t" Student = - 6,40; $p < 0,05$), respectivamente, de *Serrasalmus marginatus* (Figura 2) e *Serrasalmus maculatus* (Figura 4), revelaram diferenças significativas, fato que permite rejeitar a hipótese nula. Assim, aceita-se a hipótese do trabalho, na qual supunha-se que ambas as espécies de piranha utilizam distintamente a energia obtida do alimento mostrando também, que a maturação gonadal reflete condições fisiológicas diferentes para cada espécie.

Discussão

Entre os sexos de cada uma das espécies de piranhas analisadas, não foram constatadas diferenças significativas nos valores do conteúdo calórico e do fator de condição. Contudo, destaca-se que quando são considerados os estágios de maturação gonadal, os machos apresentam diferença significativa nos valores do conteúdo calórico, e somente aqueles pertencentes a *S. marginatus* também mostraram tal diferença na condição geral.

Para *S. maculatus*, verificou-se que ambos os sexos apresentaram maiores valores calóricos no início da maturação gonadal. Prus (1970) observou, para várias espécies de invertebrados e vertebrados, que os altos valores calóricos são, geralmente, relatados no período precedente à escassez do alimento, quando há diminuição da entrada de energia no habitat, ou ainda antes do período reprodutivo. Essa última suposição pode estar relacionada aos eventos observados para *S. maculatus*. Já Agostinho (1997), estudando a mesma espécie, verificou que o maior fator estressante é a disponibilidade de alimento e não os eventos reprodutivos. Assim, tal resultado pode estar também relacionado às condições ecológicas do

ambiente que restringem ciclicamente a abundância de recursos alimentares à espécie.

Além disso, Dourado e Benedito (submetido), amostrando algumas espécies em reservatórios do Estado do Paraná, verificaram que a qualidade do alimento ingerido pelos peixes (inseto, peixes, fitoplâncton) tinha um grande efeito no montante de energia estocado nos músculos.

Os menores valores energéticos, para ambas as espécies, foram registrados para indivíduos imaturos, exceto para as fêmeas de *S. maculatus*, as quais se encontravam semi-esgotadas. Pereira (2001) também encontrou o mesmo resultado para *Acestrorhynchus lacustris*, relacionando tal evento ao fato ressaltado por Meakins (1976), que indivíduos imaturos possuem um menor tamanho e desenvolvimento gonadal em relação aos peixes maduros. Assim, no estágio **imt** as gônadas em desenvolvimento, com menor tamanho, podem acabar refletindo, também, em um menor fator de condição, o qual é apresentado pelos machos dessa espécie. Pode-se assumir, ainda, que nesse processo de crescimento gonático a energia adquirida esteja sendo investida muito rapidamente, refletindo, portanto, os baixos valores calóricos nos músculos dos indivíduos. O fato de as fêmeas terem baixo valor energético quando semi-esgotadas pode ser explicado pela desova parcelada de grandes ovócitos maduros (Vazzoler, 1996) o que gera um maior efeito na mobilização de energia do que o próprio processo de maturação gonadal (Suzuki *et al.*, 2000). Além disso, um longo período reprodutivo que se estende de outubro a abril (Vazzoler, 1996), possibilita melhores condições à desova, aumentando a sobrevivência da prole em virtude de variações ambientais que possam resultar na perda do investimento energético para a reprodução (Moreira, 2004).

Para *S. marginatus*, tanto os valores energéticos e da condição geral, em ambos os sexos, foram maiores em indivíduos pertencentes ao estágio maduro. Já os machos de *S. maculatus* apresentaram um alto fator de condição quando em **mat**. Com o fim da maturação, os ovócitos encontram-se muito volumosos devido ao acúmulo de vitelo, ocasionando um incremento em peso dos ovários (Stacey, 1984), o qual pode levar a um conseqüente aumento do fator de condição. Pereira (2001), Dourado e Benedito (submetido) e Finstad (2002) também verificaram a mesma tendência.

Assim, supõe-se que é no período de preparação das gônadas para a reprodução, o qual se estende de setembro a abril (Vazzoler, 1996; Nakatani *et al.*, 2001), que ocorrem as mais elevadas concentrações

energéticas no organismo, visando suprir a demanda necessária à realização dos eventos relacionados, não apenas a fecundação dos gametas, mas também a sobrevivência da progênie (Vismara *et al.*, 2004). De acordo com Vazzoler (1996), os períodos de maior e menor condição das fêmeas são usados como indicadores do período de maior atividade reprodutiva, decorrente da utilização de reservas energéticas para esse processo. A elevação do fator de condição pode refletir o aumento do peso das gônadas durante a maturação (Moreira, 2004).

Por outro lado, os machos de *S. marginatus* tiveram os menores valores do K quando em maturação. Vismara *et al.* (2004), estudando machos da mesma espécie, na planície de inundação do alto rio Paraná, também encontraram os menores valores energéticos quando esses organismos estavam no respectivo estágio. Os autores relacionaram o evento à desova parcelada de *S. marginatus*, que se estende de setembro a abril (Nakatani *et al.*, 2001), demandando maior quantidade de energia após o período reprodutivo. Moreira (2004), estudando a espécie piscívora *Acestrorhynchus falcirostris*, encontrou a mesma relação, atribuindo o resultado à demanda energética para a maturação dos ovócitos e/ou à redução do peso das gônadas em decorrência da desova. Além disso, sabe-se que nesse período a espécie torna-se agressiva (Agostinho, 1997), necessitando, por conseguinte, de energia armazenada para garantir a proteção e conseguir a sobrevivência da prole.

Ainda segundo Semenchenko e Ostrovskii (2000), diferenças comportamentais causadas pelas características de cada peixe e pelas condições sociais no lugar de desova no período maduro podem ter um impacto sobre o valor energético nesse estágio. Esse autor também afirma que os principais fatores que afetam o gasto de energia dos salmões maduros (durante o período de desova) são hierarquicamente: sexo, idade, comprimento, peso do corpo e reservas de gorduras de cada indivíduo, além de fatores representados pela estrutura demográfica e densidade de peixes no ambiente reprodutivo.

As fêmeas de *S. maculatus* apresentaram as melhores condições fisiológicas quando semi-esgotadas. Esse resultado pode estar relacionado não só a eventos reprodutivos, mas às condições ecológicas vigentes em determinado período de estudo (lugar de refúgio, disponibilidade e competição por alimento), já que o K pode refletir ambos parâmetros.

Em comparação aos machos, as fêmeas de ambas as espécies apresentaram nítido decréscimo do conteúdo calórico com o desenvolvimento do ciclo

reprodutivo, fato também observado por Loren e James (1985) analisando *Alosa pseudoharengus*. Como as fêmeas produzem gametas maiores do que os machos, exigindo maior quantidade de energia (Vazzoler 1996), o período após a desova provoca, conseqüentemente, um maior desgaste fisiológico, evento que pode ser observado nessas fêmeas, as quais apresentam os mais baixos valores do fator de condição no estágio **esg**. Além disso, é após o período de reprodução que os indivíduos iniciam o processo de recuperação e armazenamento de energia nos músculos. Grupos ou cistos de espermatogônias e ovogônias organizam-se para reiniciar o período de maturação gonadal (Benedito, 1989), sendo possível que, pela intensificação desse processo, ocorra maior exigência no acúmulo de energia para posterior mobilização para as gônadas com o avanço da maturação gonadal.

Comparando a densidade calórica encontrada nos músculos dos peixes e o fator de condição, não foi possível estabelecer correlação significativa (Dourado e Benedito, submetido; Vismara *et al.*, 2004). A comparação do fator de condição e do conteúdo calórico entre as duas espécies (*S. maculatus* e *S. marginatus*) também apresentou diferenças significativas, comprovando, assim, a hipótese do presente trabalho de que as espécies mobilizam de forma distinta a energia obtida do alimento.

No entanto, estudos realizados em regiões temperadas, onde as variações sazonais são mais notáveis em relação às realizadas em clima tropical, têm mostrado que há uma relação entre a condição e os padrões energéticos de espécimes de peixes (Herbinger e Friars, 1991; Chellappa *et al.*, 1995; Encina e Granado-Lorencio, 1997).

Em relação à influência dos ambientes na alocação energética e no fator de condição, ambos os sexos das duas espécies de piranhas apresentaram os menores valores dessas variáveis, quando amostrados na baía. Já os maiores valores foram para aqueles indivíduos nos tributários e no reservatório de Manso. Fato contrário foi observado por Santana *et al.* (no prelo), para as espécies *Acestrorhynchus pantaneiro*, *Schizodon borellii* e *Leporinus friderici*, amostradas no mesmo reservatório. Os autores verificaram que os maiores valores calóricos foram observados para aqueles organismos amostrados na baía, devido a alta disponibilidade de alimentos e plasticidade das espécies.

A escolha de um determinado ambiente faz parte da estratégia de sobrevivência de uma espécie (Odum, 1988). A maioria das espécies de piranhas habita principalmente ambientes lênticos. Embora algumas espécies vivam em habitats de rios,

nenhuma espécie tem sua distribuição limitada a calhas de rios (Goulding, 1980). Agostinho (1997), amostrando na planície de inundação do alto rio Paraná, verificou uma grande abundância dessas duas espécies de piranhas nos ambientes lênticos e semilênticos. *S. marginatus*, ao contrário de *S. maculatus*, também foi muito capturada nos ambientes lóticos da planície de inundação, além de apresentar uma intensa atividade reprodutiva nesses ambientes. Este autor também observou que no rio Paraná espécies piscívoras apresentam tendências em atingir maiores biomassas em todos os ambientes (lagoas e canais) e períodos anuais, em relação aos demais grupos tróficos.

No presente estudo, todos os indivíduos de *S. marginatus* e *S. maculatus* utilizados na análise comparativa encontravam-se maduros e semi-esgotados, ou seja, em período reprodutivo. Em relação à primeira espécie, tal situação pode ser uma dos fatores que justificam os altos valores calóricos na baía, já que esses peixes se reproduzem em regiões lóticos. Além disso, Cardoso (2005), analisando *S. marginatus* no Parque Nacional de Ilha Grande, mostrou que sua distribuição ocorria em regiões com extensos bancos de macrófitas, os quais proporcionavam alimento e abrigo. Dessa forma, pode ser que na baía esteja ocorrendo essas melhores condições ecológicas, denotando, assim, os elevados valores calóricos apresentado por ambas as espécies de piranhas em tal ambiente.

Sabe-se, também, que reservatórios são ambientes instáveis, apresentando alterações estruturais em relação àquelas do sistema fluvial. Em termos ecológicos, constituem ecossistemas seminaturais e intermediários entre rios e lagos (Tundisi, 1993), implicando grandes alterações físicas, químicas, limnológicas e ambientais (Tundisi, 1998). Uma dessas transformações é a proliferação de organismos fitoplanctônicos, refletindo uma grande fonte de recursos alimentares para peixes (Fugi, 1998). Tal realidade pode contribuir para as melhores condições fisiológicas e energéticas dos peixes amostrados no reservatório de Manso.

Oliveira e Goulart (2000) enfatizam que, em ambientes lênticos como a baía, as variáveis abióticas como temperatura, oxigênio dissolvido na água e pH afetam a distribuição das espécies, bem como vários processos fisiológicos da reprodução e alimentação. Assim, o fato de as variáveis analisadas possuírem valores mais altos em ambientes lóticos pode estar relacionado não só a eventos reprodutivos e às condições físicas do ambiente, mas à heterogeneidade ambiental, abundância de presas e à ocorrência da vegetação aquática, a qual é utilizada

pela espécie como abrigo, local de forrageamento e desova. Dessa forma, pode-se denotar que o maior fator estressante para a espécie pode estar relacionado com as condições ecológicas do ambiente.

Conclusão

Com base no que foi exposto, conclui-se que o balanço energético constitui-se em uma ferramenta alternativa à compreensão da ecologia de um organismo. Tal balanço consiste na expressão da proporção de energia consumida que é alocada para os vários processos vitais, mostrando, também, as flutuações dessa variável durante o ciclo de vida e nos diferentes habitats das espécies. Além disso, essa quantificação auxilia na determinação de períodos críticos de demanda energética, podendo permitir a compreensão das relações tróficas a nível de população.

Neste sentido, o entendimento do fluxo de energia torna-se imprescindível na ecologia das espécies, fornecendo resultados importantes ao manejo, tais como o estabelecimento das taxas de estocagem de predadores (Stewart *et al.*, 1983); o impacto de predadores sobre suas presas (Werner *et al.*, 1996); o estresse em peixes (Rice, 1990) e, ainda, na aquicultura, avaliando os efeitos ambientais sobre o crescimento dos peixes (Brandt e Hartman, 1993).

Desse modo, estudos a respeito das consequências fisiológicas e comportamentais do meio abiótico, como é o ramo da ecologia energética, necessitam ser conduzidos, pois além de fornecerem informações sobre o sucesso e desaparecimento das espécies no ambiente podem conduzir à tomada de medidas que garantam efetiva proteção à biodiversidade pesqueira.

Agradecimentos

Ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (NUPÉLIA) da UEM, pelo apoio logístico; à Furnas Centrais Elétricas, pelo apoio financeiro; ao CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica à primeira autora e de produtividade à segunda.

Referências

AGOSTINHO, C.S. O impacto da invasão da piranha *Serrasalmus marginatus* sobre a população de *Serrasalmus spilopleura* no alto rio Paraná. 1997. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais)-Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1997.

ALMEIDA V.L. *et al.* Stomach content of juvenile and adult piranhas (*Serrasalmus marginatus*) in the Paraná

Floodplains, Brazil. *Studies Neotrop. Fauna Environ.*, Lisse, v. 33, p. 100-105, 1998.

BENEDITO, E. *Estrutura da população, reprodução e seletividade amostral de Hypophthalmus edentatus (Spix, 1829) (Osteichthyes, Siluriformes) no reservatório de Itaipu – PR.* 1989. Dissertação (Mestrado em Zoologia)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

BRAFIELD, A.E.; LLEWELLYN, M.J. *Animal energetics*. London: Blackie, 1982.

BRANDT, S.B.; HARTMAN, K.J. Innovative approaches with bioenergetics models: future applications to fish ecology and management. *Trans. Am. Fish. Soc.*, Bethesda, v. 122, p. 731-735, 1993.

BRETT, J.R.; GROVES, T.D.D. Physiological energetics. In: HOAR, D.J.; BRETT, J.R. (Ed.). *Fish physiology*, New York: Academic Press, 1979. p. 279-352.

CARDOSO, L.F.Q. *Análise da alimentação natural de Serrasalmus marginatus na lagoa Saraiva, Parque Nacional de Ilha Grande, divisa entre os municípios de Guaíra/PR e Altônia/PR.* 2005. Monografia (Conclusão de Curso de Graduação)-Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mundo Novo, 2005.

CHELLAPPA, S. *et al.* Condition factor and hepatosomatic index as estimates of energy status in male three-spined stickleback. *J. Fish Biol.*, London, v. 7, p. 75-787, 1995.

CLEBER J.R.A. *et al.* *Fauna silvestre da região do rio Manso, MT.* Brasília: Ministério do Meio Ambiente - Centrais Elétricas do Norte do Brasil, 2000. 268 p.

CRUZ, M. *Atividades alimentares das principais espécies de peixes da Baía Santa Virgínia, Pantanal-Rio Negro, MS.* 2000. Monografia (Conclusão de Curso de Graduação)-Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Mundo Novo, 2000.

DORIA, C.R.C.; ANDRIAN, I.F. Variation in energy content of somatic and reproductive, tissues related to the reproductive cycle and feeding of female *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Siluriformes, Pimelodidae) and *Schizodon borelli*, Boulenger, 1895 (Characiformes, Anostomidae). *Rev. Unimar*, Maringá, v. 19, n. 2, p. 421-437, 1997.

DOURADO, E.; BENEDITO, E. (submetido). Effect of the reproduction on the allocation of energy in muscles of fish or reservoirs of the State of Paraná. *Environ. Biol. Fish.*, Dordrecht.

ENCINA, L.; GRANADO-LORENCIO, C. Seasonal changes in condition, nutrition, gonad maturation and energy content in barbel, *Barbus sclateri*, inhabiting a fluctuating river. *Environ. Biol. Fish.*, Dordrecht, v. 50, p. 75-84, 1997.

FILBERT, R.B.; HAWKINS, C.P. Variation in condition of rainbow trout in relation to food, temperature and individual length in the Green River, Utah. *Trans. Am. Fish. Soc.*, Lawrence, v. 124, p. 824-835, 1995.

FINSTAD, A.G. *et al.* Reproductive investment and energy allocation in an alpine Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, population. *Environ. Biol. Fish.*, Dordrecht, v. 65, n. 1, p. 63-70, 2002.

- FUGI, R. *Ecologia alimentar de espécies endêmicas de lambaris no trecho médio da Bacia do rio Iguaçu*. 1998. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais)-Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998.
- GOLDING, M. *The Fishes and the forest*. Berkeley: University of California, 1980.
- HERBINGER, C.M.; FRIARS, G.W. Correlation between condition factor and total lipid content in Atlantic salmon, *Salmon salar* L., parr. *Aquac. Fish. Manag.*, Oxford, v. 22, n. 4, p. 527-529, 1991.
- KARAS, P.; THORESSON, G. An application of bioenergetics model to Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.). *J. Fish Biol.*, London, v. 41, n. 1/6, p. 217-230, 1992.
- KITCHELL, J. F. et al. Estimation of caloric content for fish biomass. *Environ. Biol. Fish.*, Dordrecht, v. 2, n. 2, p. 185-189, 1977.
- LAMAS, R.I.; GODINHO, A.L. Reproduction in the piranha *Serrasalmus spilopleura*, a neotropical fish with an unusual pattern of sexual maturity. *Environ. Biol. Fish.*, Dordrecht, v. 45, n. 2, p. 161-168, 1996.
- LEDECKY, E. Spawning piranhas. *Trop. Fish Hobb.*, Jersey City, v. 14, p. 5-14, 1966.
- LOREN, E.F.; JAMES, S.D. Seasonal Energy Dynamics of the Alewife in Southeastern Lake Michigan. *Am. Fish. Soc.*, Bethesda, v. 114, p. 328-337, 1985.
- MARCHAND, F.; BOISCLAIR, D. Influence of fish density on the energy allocation pattern of juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can. J. Fish. Aquatic Sci.*, Ottawa, v. 55, p. 796-805, 1998.
- MEAKINS, R.H. Variations in the energy content of freshwater fish. *J. Fish. Biol.*, London, v. 8, p. 221-224, 1976.
- MOREIRA, S.S. *Relações entre o ciclo hidrológico, atividade alimentar e táticas reprodutivas de peixes piscívoros e detritívoros na área do Catalão, Amazônia Central*. 2004. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais - Inpa)-Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2004.
- NAKATANI, K. et al. *Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação*. Maringá: Eduem, 2001. cap. 9, p. 135-143.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. São Paulo: Guanabara, 1988.
- OLIVEIRA, E.F.; GOULART, E. Distribuição espacial de peixes em ambientes lênticos: interação de fatores. *Acta Sci.*, Maringá, v. 22, n. 2, p. 445-453, 2000.
- OLIVEIRA, R.D.O.; NOGUEIRA, F.M.B. Characterization of the fishes and of subsistence fishing in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Rev. Bras. Biol.*, Rio de Janeiro, v. 60, n. 3, p. 435-445, 2000.
- PEREIRA, A.L. *Determinação do conteúdo calórico de Acestorhynchus lacustris (Characiformes, Characidae) e de suas principais presas no alto rio Paraná*, 2001. Relatório final (PIBIC - Iniciação científica - Ciências Biológicas)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.
- PRUS, T. Calorific value of animals an element of bioenergetical investigations. *Polskie Arch. Hydrobiol.*, Lomianki, v. 17, n. 30, p. 183-199, 1970.
- RICE, J.A. Bioenergetics modeling approaches to evaluation of stress in fishes. In: ADAMS, S.M. *Biological indicators of stress in fish*. Bethesda: ED. American Fisheries Society: Maryland, 1990. p. 80-92. American Fisheries Symposium, 8.
- SANTANA et al. Conteúdo energético de peixes do reservatório do rio Manso: variações espaciais e por grupo trófico. *Acta Sci.*, Maringá. (no prelo).
- SCHULTZ, H. Piranhas – fact and fiction. In: MYERS, G. (Ed.). *The Piranha Book*. Neptune City: T.F.H. Publications, p. 66-91, 1972.
- SEMENCHENKO, N. N.; OSTROVSKII, V. I. Energy Expenditure of Blueback Salmon *Oncorhynchus nerka* during the Spawning Period. *J. Ichthyol.*, Bethesda, v. 40, n. 1, p. 38-44, 2000.
- STACEY, N.E. Control of the timing of ovulation by exogenous and endogenous factors. In: POTTS, G.W.; WOOTTON, R.J. (Ed.). *Fish Reproduction: strategies and tactics*. London: Academic Press, p. 207-222, 1984.
- STEWART, D.J. et al. An energetics model for lake trout, *Salvelinus namaycush*: application to the Lake Michigan population. *Can. J. Fish. Aquatic Sci.*, Ottawa, v. 40, p. 681-698, 1983.
- SUZUKI, H.I. et al. Relationship between oocyte morphology and reproductive strategy in loricariid catfishes of the Paraná River, Brazil. *J. Fish Biol.*, London, v. 57, p. 791-807, 2000.
- TUNDISI, J.G. Theoretical basis for reservoir management. *Verhandlungen Int. Vereinigung Limnol.*, Stuttgart, v. 25, p. 1153-1156, 1993.
- TUNDISI, J.G. Impactos ecológicos a construção de represas: aspectos específicos e problemas de manejo. In: Tundisi, J.G. (Ed.). *Limnologia e manejo de represas*. São Paulo, Academia de Ciência de São Paulo. v. 1, Tomo I, p. 1-76. (Série Monografias em Limnologia, 1998), 1998.
- VAZZOLER, A.E.A.M. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: Eduem; São Paulo: SBI, 1996.
- VAZZOLER, A.E.A.M.; VAZZOLER, G. *Relation between condition factor and sexual development in Sardinella aurita* (CUV. e VAL. 1847). Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 37, suplemento, p. 353-359, 1965.
- VISMARA, M.R. et al. Efeito da maturação gonadal sobre o conteúdo calórico e condição geral de peixes da planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Sci.*, Maringá, v. 26, n. 2, p. 189-199, 2004.
- WERNER, R.G. et al. A bioenergetic exploration of piscivory and planktivory during the early life history of two species of freshwater fishes. *Mar. Freshw. Res.*, Collingwood, v. 47, p. 113-121, 1996.
- ZAR, J. H. *Biostatistical analysis*. 3. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1996. cap. 11.1, p. 210-214.

Received on March 17, 2006.

Accepted on September 13, 2006.