

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS
(PIPGCF UFSCar-UNESP)**

FERNANDO FABRIZZI

**RESPOSTAS ADAPTATIVAS DE MATRINXÃ (*Brycon amazonicus*,
(SPIX & AGASSIZ 1829) SUBMETIDO A DIFERENTES REGIMES DE
ATIVIDADE DE NATAÇÃO AERÓBICA**

São Carlos – SP

2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS
(PIPGCF UFSCar-UNESP)**

FERNANDO FABRIZZI

**RESPOSTAS ADAPTATIVAS DE MATRINXÃ (*Brycon amazonicus*,
(SPIX & AGASSIZ 1829) SUBMETIDO A DIFERENTES REGIMES DE
ATIVIDADE DE NATAÇÃO AERÓBICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas (PIPGCF UFSCar-UNESP), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Fisiológicas.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Moraes

São Carlos - SP

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

F129ra

Fabrizzi, Fernando.

Respostas adaptativas de matrinxã (*Brycon amazonicos*, (Spix & Agassiz 1829) submetido a diferentes regimes de atividade de natação aeróbica / Fernando Fabrizio. -- São Carlos : UFSCar, 2010.

xxx f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

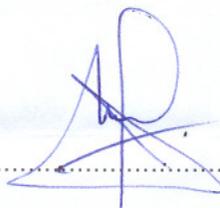
1. Bioquímica. 2. Peixe - metabolismo. 3. Hematologia. 4. Zootecnia. 5. Aqüicultura. 6. Natação - aspectos fisiológicos. I. Título.

CDD: 574.192 (20^a)

Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências
Fisiológicas
Associação Ampla UFSCar/UNESP

Defesa de Dissertação de Fernando Fabrizzi

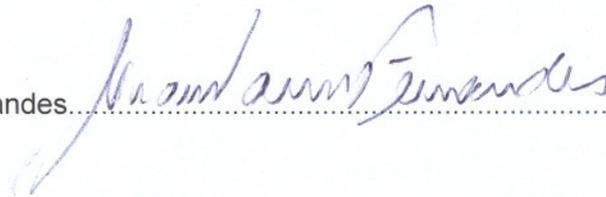
Prof. Dr. Gilberto Moraes.....



Prof. Dr. Cléo Alcantara Costa Leite.....



Profa. Dra. Marisa Narciso Fernandes.....



*Aos meus pais e irmã queridos, minha prova maior
de que Deus é verdadeiro*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador e mestre, Professor Doutor Gilberto Moraes (Giba), pela incontestável orientação e principalmente pela oportunidade que me dera, esta que foi eternizada em meu sincero e perpétuo respeito e admiração.

Agradeço aos meus pais e mestres maiores, Clarindo Fabrizzi e Luzia Ivone Rugoni Fabrizzi por fazerem parte da minha vida verdadeiramente, de forma a marcar eternamente minha alma. Por me ensinarem que independente de sua condição sócio-econômica e de suas descendências raciais as pessoas merecem respeito e sentimento de irmandade pela pureza de suas almas. É com imenso orgulho e sentimento de alegria que confesso que, minha garra de buscar sem desistência e minha honesta conquista, foram adquiridas por observar o quão são puros, e tendo-lhes como exemplos em minha vida. Por meio de vocês, aprendi também a observar e perceber o que realmente é belo e merece respeito e admiração.

Agradeço os meus amigos, Anselmo, Angélica e Daniel pela amizade verdadeira, que sempre foi importantíssimo e que devo meu eterno respeito e sentimento de irmandade. Por me acolher sempre de forma formidável, que por mim jamais será esquecido. Obrigado por fazerem parte de minha vida a todo momento.

Agradeço aos meus amigos do laboratório por sempre atenderem minhas necessidades quando necessário, pelo companheirismo, por me aturarem e principalmente pelo sincero sentimento de amizade. Sem vocês essa conquista não seria possível.

Agradeço a todos meus amigos conquistados em São Carlos, que formidavelmente me acolheram de forma tão agradável, vocês sempre faram parte de minha vida.

Agradeço ao CNPQ pelo apoio financeiro.

RESUMO

A prática de exercício vem se destacando pelos efeitos que produz diretamente sobre a fisiologia animal. Em peixes, existem evidências que a prática de natação forçada, traz melhorias nas taxas de crescimento, de conversão alimentar e na eficiência de utilização de nutrientes. Neste estudo foram avaliados os parâmetros de crescimento, hematológicos e metabólicos de *Brycon amazonicus* sob diferentes regimes de exercício durante 30 dias. Nos peixes submetidos a regime de natação aeróbica foram observados a mesma performance de crescimento em todas as condições ensaiadas e oligoglobulia e macrocitose nos peixes que realizaram atividade de natação aeróbica intermitente. Nos peixes submetidos a regime de natação aeróbica intermitente com intervalos atividade/repouso 12/12hs observou-se melhor aproveitamento de nutrientes; aumento das reservas de glicogênio hepático; redução da gliconeogênese a partir de aminoácidos; diminuição da biossíntese hepática de lipídios; e baixa fermentação láctica. Em conclusão, o regime de natação forçada intermitente/repouso 12/12hs apresentou vantagens metabólicas sobre os outros regimes de nado.

ABSTRACT

The exercise training has been highlighted by the effects that they produce directly on the animal physiology. In fishes, there is evidence that the practice of forced swimming brings improvements in growth rates, feed conversion and efficiency of nutrient use. This study evaluates the growth parameters, hematological and metabolic on *Brycon amazonicus* under different exercise during 30 days. In fishes subjected to aerobic swimming regimen was observed the same growth performance in all tested conditions and oligoglobulia and macrocytosis in fishes that underwent intermittent aerobic swimming activity. In fishes subjected to intermittent regimen of aerobic swimming at intervals activity / rest 12/12hs was observed better nutrient utilization, increase hepatic glycogen reserves, reduction of gluconeogenesis from amino acids, decreased the hepatic biosynthesis of lipids and low lactic fermentation. In conclusion, the forced swimming intermittent / home 12 /12hs regimen showed metabolic advantages over other swimming schemes to expand the range of exercise / rest so we can reassess the growth performance and to evaluate its advantages.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desenho de tecido muscular vermelho e branco de peixes diferentes.7

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros de crescimento de <i>Brycon amazonicus</i> submetido a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.	18
Tabela 2. Perfil hematológico de <i>Brycon amazonicus</i> submetido a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.	19
Tabela 3. Perfil metabólico hepático de <i>Brycon amazonicos</i> submetidos a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.	20
Tabela 4. Perfil metabólico muscular de <i>Brycon amazonicus</i> submetidos a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.	21

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Considerações Gerais	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1.	A Espécie	2
2.2.	Tipos de Atividade de Natação em peixes	2
2.2.1.	Atividade de natação explosiva.....	3
2.2.2.	Atividade de natação prolongada.....	4
2.2.3.	Atividade de natação aeróbica	4
2.3.	Efeitos fisiológicos da natação aeróbica	5
2.3.1.	Desempenho Produtivo	5
2.3.2.	Parâmetros hematológicos	7
2.3.3.	Metabolismo Intermediário.....	8
3.	OBJETIVO	10
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1.	Desenho experimental	12
4.2.	Metodologia	12
4.2.1.	Determinações hematimétricas.....	12
4.2.1.1.	Hematócrito	12
4.2.1.2.	Hemoglobina.....	13
4.2.1.3.	Contagem de eritrócitos (RBC).....	13
4.2.2.	Preparação dos extratos ácidos.....	13
4.2.3.	Preparação dos extratos neutros	13
4.2.4.	Preparação dos extratos alcalinos	14
4.2.5.	Metabolismo intermediário	14
4.2.5.1.	Glicogênio.....	14
4.2.5.2.	Glicose.....	14
4.2.5.3.	Lactato	14
4.2.5.4.	Piruvato	15
4.2.5.5.	Proteína	15
4.2.5.6.	Aminoácidos livres.....	15
4.2.5.7.	Amônia	16
4.2.5.8.	Triglicérides	16
4.2.5.9.	Ácidos graxos livres.....	16
4.2.6.	Análise Estatística.....	17
4.3.	Variáveis de desempenho produtivo	17
4.3.1.	Ganho em peso (GP).....	17
4.3.2.	Ganho em Comprimento (GC).....	17
4.3.3.	Conversão alimentar aparente (CAA).....	17
5.	RESULTADOS.....	18
5.1.	Parâmetros Zootécnicos	18
5.2.	Parâmetros Hematológicos	18
5.3.	Perfil Metabólico Hepático.....	19
5.4.	Perfil metabólico muscular	20
6.	DISCUSSÃO	22

6.1.	Performance de crescimento	22
6.2.	Respostas hematológicas	23
6.3.	Adaptações metabólicas	24
7.	CONCLUSÃO	27
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Gerais

Nos últimos anos a aquicultura teve maior incentivo e fomento devido à diminuição dos estoques pesqueiros e à sua grande importância no âmbito de manutenção e sustentabilidade alimentar do planeta, principalmente no que diz respeito à produção de espécies de grande valor comercial como o salmão e o bacalhau (WALDIGE & CASEIRO, 2004; FAO, 2009; JENNINGE et al., 2001; MILLER, 2007; RESENDE et al., 2009). Assim, estudos objetivando o bem estar e a produção dos peixes são de suma importância. Dentre estes, podemos destacar estudos sobre toxicidade (AVILEZ, 2004), nutrição (HONORATO, 2007; LUNDSTED, 2003; ALMEIDA, 2006) e manejo (INOUE & MORAES, 2003) de espécies de peixes Neotropicais, além de estudos com exercício ou atividade de natação aeróbica (HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007).

Os estudos com atividade de natação em peixes se destacam no âmbito da otimização da produção, assim como na busca do bem estar animal. Uma vez que estas vertentes lavam o animal a uma performance. Está derivada de alterações bioquímicas, como: aumento da produção de energia via β -oxidação e glicólise, permitindo uma mobilização de proteínas para fins de síntese protéica, e melhor aproveitamento do alimento, refletido em valores de melhor taxas de crescimento, de conversão alimentar e de ganho em peso (JOBBLING, 1993; YOUNG & CECH JR., 1994; JOBBLING, 1994; DAVISON, 1997; MILLIGAN, 2000; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000; AZUMA et al, 2002; BUGEON et al, 2003; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007).

Nos peixes, o ato de nadar compreende um sistema complexo de movimentos com os quais eles realizam numerosas atividades relacionadas à sua sobrevivência em diversos habitats (EVANS, 1993), tornado-se assim uma atividade natural neste grupo de animais. Partindo-se desse fato e visto que a atividade de natação forçada aeróbica promove grandes benefícios, tais como os citados acima, a aplicação desta atividade na piscicultura pode trazer grandes benefícios ao piscicultor.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Espécie

O matrinxã, *B. Amazonicus* (Spix & Agassiz 1829), é uma espécie restritamente originária da bacia Amazônica (HOWES, 1982), pertencente à família Characidae e à subfamília Bryconinae (ZANIBONI et al, 1988) e encontra-se bem distribuída por toda a bacia Amazônica, do Prata e de São Francisco (GOULDING, 1980; 1981). Tem porte médio podendo atingir um peso de 5 kg, um comprimento de 50 cm e um período de vida curto de 3,5 anos na natureza (SAINT-PAUL, 1986; VILLACORTA-CORREA, 1987). É uma espécie que, em condições de cativeiro, pode alcançar de 0,7 a 1 kg no primeiro ano de vida e na hora do abate pode apresentar 51,85% de rendimento de filé sem pele, além de possuir carne saborosa (GRAEF, 1995; VILAS BOAS, 2001). Pode suportar alta densidade de estocagem (CYRINO, 1986; ARBELAÉZ-ROJAS et al., 2002; URBINAT & CARNEIRO, 2004; BRANDÃO et al., 2005) e por isso é muito procurada para pesca esportiva e, no estado de São Paulo, tem um valor comercial significativo (VILLACORTA CORREA, 1987; SAINT-PAUL, 1989; HONCZARYK, 1994; SCORVO FILHO et al., 1998). Também responderem muito bem a atividade de natação aeróbica além de ter descrito na literatura sua velocidade ótima de nado (velocidade que promove melhores performance a essa espécie) (ARBELAÉZ-ROJAS, 2007).

Devido às qualidades citadas, a utilização desta espécie como modelo experimental de estudos com atividade de forçada de natação é muito promissora para otimização de sua criação.

2.2. Tipos de Atividade de Natação em peixes

A velocidade crítica de natação (U_{crit}) é uma ferramenta fundamental para se determinar a velocidade máxima que um peixe pode sustentar até que apresente fadiga. Partindo-se do valor encontrado para U_{crit} , podem-se categorizar os diferentes tipos de exercício (BRETT, 1964 *apud* RICHARDS et al., 2002).

A atividade de natação em peixes é classificada pelo tempo desta atividade, pela sua intensidade e pelos caminhos metabólicos empregados para atender a demanda energética. A atividade muscular e o recrutamento especializado dos diferentes tipos de fibras musculares respondem fielmente à velocidade imposta

de natação forçada. Desta forma os tipos de atividade de natação podem ser classificados segundo JOBLING (1994) e HOLK & LYKKEBOE (1998) em: natação explosiva, natação prolongada e natação aeróbica.

Os protocolos de natação consistem basicamente em colocar os peixes em tanques próprios, denominados câmaras de natação, onde são submetidos à natação contracorrente, se aumentado a velocidade de 5-10 cm/seg a intervalos de tempo pré-determinados ou, até que ocorra a fadiga. O momento em que o peixe perde a posição de nado (equilíbrio) por três vezes seguidas, após ter sido re-introduzido na correnteza, é definido como fadiga e é o ponto onde ele atinge sua velocidade máxima (JOBLING, 1994; RICHARDS et al., 2002). A velocidade de nado é expressa em cm/seg, ou em CC/seg. (comprimento corporal/segundo).

2.2.1. Atividade de natação explosiva

Esse tipo de natação, também chamado de atividade natatória de exaustão, tem como característica uma intensidade alta, resultando rapidamente em fadiga (JOBLING, 1994; TAYLOR et al., 1995). O tempo estimado para este tipo de atividade de natação não ultrapassa 20 segundos e o metabolismo gerador de energia utilizado para a manutenção de ATP é preferencialmente anaeróbico. As fibras musculares recrutadas nesse tipo de exercício são inicialmente as fibras musculares vermelhas (oxidativas) e posteriormente as fibras brancas (glicolíticas) (LACKNER et al., 1988; MOYES & WEST, 1995; TAYLOR et al., 1995; MILLIGAN, 1996; RICHARDS et al., 2002). Uma vez que o rendimento metabólico anaeróbico é menos eficiente que o aeróbico esse tipo de atividade natatória torna-se limitante. Velocidades acima de 1,5 CC/seg, tal como descrito para a espécie deste estudo, promovem maior mobilização de aminoácidos como fonte de combustível para atender às demandas energéticas. Isto sugere que velocidades de natação muito altas provocam efeitos danosos ao metabolismo e conseqüentemente ao crescimento de matrinxã (MORAES et al., 2009). A natação exaustiva promove também uma diminuição do pH sanguíneo e profundos distúrbios hidroeletrólíticos (WOOD, 1991; POSTLETHWAITE & MCDONALD, 1994; HOLK & LYKKEBOE, 1998).

2.2.2. Atividade de natação prolongada

Este tipo de atividade natatória é também chamado de atividade de natação aeróbica máxima. O tempo determinado para este tipo de atividade encontra-se entre 20 segundos e 200 minutos aproximadamente, tendo como resposta posterior a fadiga. Este tipo de atividade exige muito dos peixes e demanda de uma capacidade metabólica bastante alta. Portanto, é possível ser suportada somente por curtos períodos. Após essa atividade de natação, é necessário que os peixes passem por um período de repouso para que possam apresentar total recuperação e voltarem a se alimentar. Ambos, metabolismo aeróbico e anaeróbico, são os responsáveis pela manutenção das demandas energéticas desse tipo de atividade de natação. Sabe-se que os carboidratos são preferencialmente metabolizados para atender a demanda energética imposta nesse tipo de atividade; sendo o glicogênio muito utilizado para suportar a atividade natatória submáxima e explosiva (MOYES & WEST, 1995).

2.2.3. Atividade de natação aeróbica

Este tipo de atividade natatória é também chamado de atividade natatória de longa duração ou atividade de natação sustentada. Neste tipo de atividade os peixes são capazes de permanecer nadando em contra-corrente por longos períodos, sem atingirem exaustão ou fadiga muscular. Essa atividade de natação é realizada em baixa intensidade e com uma velocidade que varia entre leve e moderada. Teoricamente, os peixes permanecem em atividade indefinidamente, mas para fins práticos podem permanecer por mais de 200 minutos nesse regime de natação. Este tipo de atividade pode ser observado na natureza para diversas espécies enquanto atendem suas demandas respiratórias e mantêm sua flutuabilidade; ainda durante a alimentação a baixas velocidades e durante a migração de longa distância (JOBILING, 1994; DAVISON, 1997; HOLK & LYKKEBOE, 1998; AZUMA et al., 2000). Nesta situação, os peixes alimentam-se normalmente e a energia de origem exógena é destinada ao metabolismo basal, à manutenção e ao crescimento.

Admite-se que a atividade de natação de longa duração seja mantida preferencialmente pela oxidação lipídica (TOTLAND et al., 1987), com conseqüente aumento da mobilização de intermediários lipolíticos, como triacilgliceróis e ácidos

graxos (YOUNG & CECH JR, 1994; VAN DEN THILLART & VAN RAAJI, 1995; WEBER & HAMAN, 1996; FORSTER & OGATA, 1996; BERNARD et al., 1999; YOGATA & OKU, 2000; OGATA & OKU, 2000). Entretanto, hoje já se sabe que os carboidratos, tanto quanto os lipídios, também promovem a manutenção energética do organismo de peixes em atividade natatória aeróbica, ou sustentada, poupando proteína para o crescimento (DAVISON, 1997; WOOD, 2001).

2.3. Efeitos fisiológicos da natação aeróbica

Este tipo de atividade de natação melhora o crescimento, as taxas de conversão alimentar, a habilidade de nadar, modifica as respostas fisiológicas e bioquímicas, aumenta as taxas de sobrevivência e diminui o comportamento agressivo em diversas espécies (DAVISON, 1997; SHANGAVI & WEBER, 1999; YOGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002). Mesmo peixes considerados sedentários podem apresentar os benefícios pela atividade de natação forçada (OGATA & OKU 2000; YOGATA & OKU, 2000). Além disso, existem algumas espécies que também respondem positivamente quando esta atividade é interrompida, apresentando ganho de peso satisfatório mesmo no período em que permanecem sem atividade (DAVISON, 1997; BUGEON et al., 2003).

2.3.1. Desempenho Produtivo

A atividade de natação aeróbica resulta em maiores taxas de crescimento para diversas espécies de salmonídeos, (DAVISON & GOLDSPINK, 1977; LEON, 1986; TOTLAND et al., 1987; HOULIHAN & LAURENT, 1987; DAVISON, 1987; CHRISTIANSEN & JOBLING, 1990; JOBLING et al., 1993; YOUNG & CECH, 1994) *catfish* (*Ictalurus punctatus*), *striped bass* (*Morone saxatilis*), *whiting* (*Merlangius merlagus*); trutas (*Oncorhynchus mykiss*), “striped bass” (*Morone saxatilis*), “red sea bream” (*Pagrus major*), *yellowtail* (*Seriola quinqueradiata*) e matrinxã (*Brycon amazonicus*) (YOUNG & CECH, 1993a; YOUNG & CECH JR., 1994; JABOE & GRANT, 1996; HAMMER, 1996; DAVISON, 1997; YOGATA & OKU, 2000; AZUMA et al., 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007).

Outras respostas benéficas obtidas através dessa atividade de natação também foram detectadas, tais como mudanças no comportamento

alimentar dos peixes, os quais passam a ter melhor taxa de conversão alimentar acompanhada de aumento em peso. Em síntese, passam a ter maior ganho em peso por unidade de alimento consumido (CHRISTIANSEN & JOBLING, 1990; HALLER, 1991a,b; JORGENSEN & JOBLING, 1993). Além disso, o fluxo de água forçado faz com que a ração seja melhor distribuída nos tanques resultando em crescimento mais uniforme dos peixes (JOBLING, 1994; WOOD, 2001; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007).

Em um estudo com matrinxã (*Brycon amazonicus*) exercitado aerobicamente por 30 dias à velocidade de 1CC/seg, observou-se melhores taxas de conversão alimentar e de crescimento, com ganho em peso superior a 38 % em relação aos peixes não exercitados (HACKBARTH & MORAES, 2006). Da mesma forma, pacus (*Piaractus mesopotamicus*) exercitados aerobicamente a uma intensidade de 1 a 2 CC/seg apresentaram melhores taxas de ganho em peso, comprimento, altura, conversão alimentar (CA) e taxa de eficiência protéica (TEP). No mesmo estudo, exemplares de pacu que praticaram atividade a 2CC/seg cresceram mais de 50% em peso em relação aos peixes não exercitados e apresentam os melhores valores de CA e TEP. Os autores concluíram que este tipo de atividade de natação estimula o crescimento, bem como melhora o aproveitamento dos nutrientes da dieta (HACKBARTH et al., 2007).

Em nível muscular, a atividade de natação forçada aeróbica ocasiona em peixes um aumento no tamanho das fibras do músculo vermelho e do músculo branco (hipertrofia) (Figura 1), devido a maiores taxas de síntese protéica nestes tecidos (HOULIHAN & LAURENT, 1987). Como o músculo representa de 50 a 60 % do peso corporal dos peixes, mudanças neste tecido influenciam o crescimento do corpo como um todo (DAVISON & GOLDSPINK, 1977; JOHNSTON & MOON, 1980 a; TOTLAND et al., 1987; DAVISON, 1989).

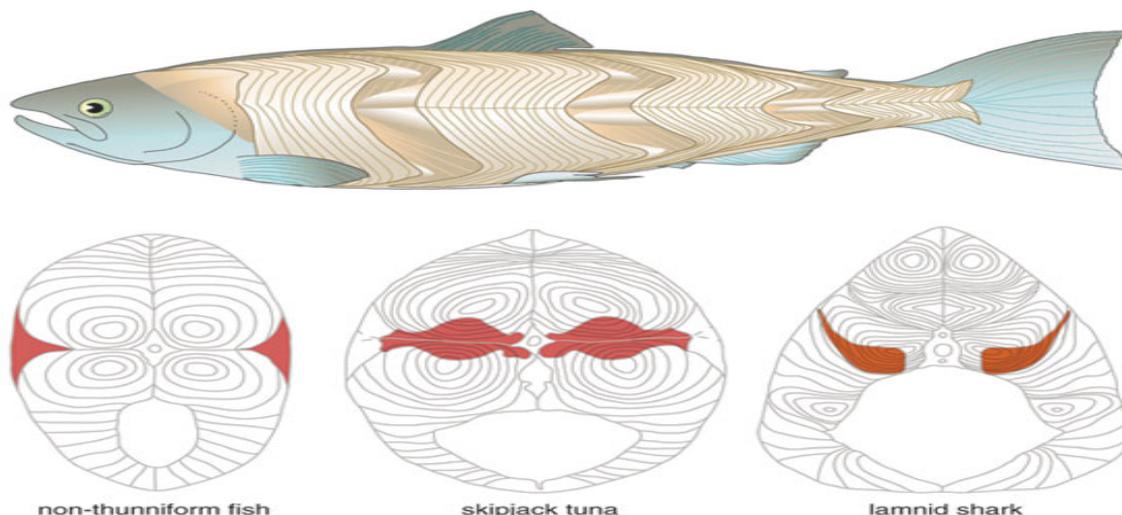


Figura 1. Desenho de tecido muscular vermelho e branco de peixes diferentes. Fonte: adaptado de: http://www.americanscientist.org:80/include/popup_fullImage.aspx?key=NCWz2dMqY1OIm9utC45yy+Om8IOPKgCE.

2.3.2. Parâmetros hematológicos

Os parâmetros hematológicos são ferramentas úteis na avaliação das condições dos peixes submetidos ao exercício, uma vez que essa atividade acarreta mudanças no fluxo sanguíneo e no diâmetro das veias, além de promover aumento na entrega de oxigênio. Dessa forma, são esperadas alterações na concentração de hematócrito (Hct), no conteúdo de eritrócitos (RBC), e no conteúdo de hemoglobina (Hb) (MARTINEZ et al., 1994; SATCHELL, 1991). Da mesma forma, a atividade natação também promove alteração no parâmetro Hemoglobina Corpuscular Média (HCM), o qual nos indica a concentração de hemoglobina em cada eritrócito e mostrando como está a capacidade respiratória do animal. Além disso, os parâmetros Volume Corpuscular Médio (VCM) e Concentração de Hemoglobina Corpuscular Média (CHCM) estão envolvidos com o fluxo sanguíneo e a dinâmica cardíaca (HOUSTON, 1990).

Sabe-se que peixes submetidos ao exercício de intensidade alta, apresentam alterações nas variáveis hematológicas e que o mesmo quadro não é visto em peixes submetidos a atividade de intensidade moderada ou leve (FRANKLIN et al, 1993; WOOD, 1991; HOLK & LYKKEBOE, 1998). Além de avaliar o impacto da atividade imposta sobre o transporte e aporte de oxigênio, os índices

hematológicos são utilizados também nos estudos de controle de patologias e de estresse de qualquer natureza (MARTINEZ et al., 1994).

2.3.3. Metabolismo Intermediário

A atividade de natação em peixes reorganiza seu metabolismo de forma a diminuir a mobilização protéica para fins energéticos, com aumento conseqüente do catabolismo de lipídios e carboidratos, permitindo assim maior síntese de proteína e maior taxa de crescimento (DAVISON, 1997; MOYES & WEST, 1995; WOOD, 2001; RICHARDS et al., 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Matrinxãs exercitados aerobicamente apresentam maior capacidade para oxidar lipídios e carboidratos, com taxa catabólica superior a 40 e 15 %, respectivamente. Além disso, observa-se aumento de 30 % na síntese de proteína muscular (ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Visto que a atividade de natação de longa duração favorece o crescimento ao permitir que os peixes metabolizem melhor o alimento ofertado, sua execução poderia contribuir para diminuição do problema de gastos com fontes protéicas, usualmente enfrentado na piscicultura. Os nutrientes protéicos representam de 50 a 70 % dos custos de produção, e a redução desta porcentagem pode ser alcançada através da utilização de ingredientes de alta qualidade, do uso de técnicas eficazes de processamento das rações e da aplicação de estratégias na alimentação e na criação (KUBITZA, 1998). A atividade de natação aeróbica poderia, desta forma, aumentar o aproveitamento da dieta resultando em maiores taxas de crescimento devido à melhor utilização de fontes não-protéicas. Todavia, todas as respostas fisiológicas apresentadas acima dependem da velocidade de natação a que os peixes são submetidos. E este valor geralmente se encontra entre um e dois comprimentos corporais/segundo (cc/s) (DAVISON, 1997; AZUMA et al, 2000; RICHARDS et al, 2002; HACKBARTH & MORAES, 2006; ARBELÁEZ-ROJAS, 2007). Em matrinxã (*B. amazonicus*), a velocidade ideal observada foi de 1,0 CC/seg. Esse valor foi obtido baseado em parâmetros de desempenho da espécie (ARBELÁEZ-ROJAS, 2007).

Sabe-se que estudos com o objetivo de buscar o bem estar e a melhoria da performance animal vêm se destacando a cada ano, visto poderem contribuir com o desenvolvimento de ferramentas de extrema importância à saúde animal e à piscicultura. Desta forma, pode-se destacar a importância do presente

estudo, visto que a atividade de natação traria benefícios ao bem estar animal. Além disso, a aplicação da atividade de natação em sistemas de cultivo pode acarretar minimização de gastos para os produtores se forem aplicados intervalos regulares de repouso. Essa estratégia, entretanto, demanda o conhecimento do intervalo de tempo ideal de repouso para a recuperação do animal após a atividade de natação imposta, otimizando as respostas metabólicas aumentando a mobilização de proteínas para o crescimento.

A hipótese desse trabalho foi que a atividade de natação intermitente e com intensidade moderada promoveria respostas metabólicas que aumentariam a oxidação de carboidratos e lipídios, ao mesmo tempo em que aumentariam a síntese de proteínas, favorecendo assim o crescimento.

3. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar e comparar as respostas metabólicas e de crescimento de matrinxã (*B. amazonicus*) submetido à atividade de natação aeróbica contínua *versus* atividade de natação aeróbica intermitente. Para isso, foi proposto avaliar o tempo ideal de atividade de natação aeróbica intermitente através do:

- perfil metabólico de músculo branco e fígado;
- respostas hematológicas;
- desempenho zootécnico.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi desenvolvido com juvenis de matrinxã provenientes da Piscicultura Águas Claras (Mococa – SP). Os peixes foram transportados para as dependências do Departamento de Genética e Evolução (UFSCar) e mantidos em tanques de 2000L, com água sob fluxo contínuo, aeração constante e temperatura controlada, por um período de 30 dias para aclimação. Os parâmetros químicos e físicos da água (temperatura, pH, oxigênio dissolvido e amônia total), foram monitorados periodicamente a intervalos regulares de dois dias.

Após um mês, 100 juvenis de Matrinxã foram anestesiados com eugenol, a uma concentração de 40 mg.L^{-1} (INOUE et al, 2003); submetidos à biometria ($20 \pm 5\text{g}$ e $15 \pm 1\text{cm}$); sofreram implante de “transponders” de identificação (Animal TAG) e separados em cinco tanques circulares com capacidade de 200L, dotados de abastecimento contínuo e aeração constante.

Os “transponders” foram implantados na cavidade abdominal de forma padronizada, sendo que cada peixe foi considerado uma unidade experimental. Os peixes passaram por uma semana de recuperação após esta intervenção e a velocidade escolhida (1cc/sg) havia sido previamente estabelecida como ideal para a espécie (ARBELÁEZ-ROJAS, 2007).

A velocidade de correnteza em cada tanque foi regulada pela entrada de água, que era forçada através de uma bomba de 1/4CV. A água era bombeada em um sistema em L de tubos de PVC- $\frac{3}{4}$, com furos regularmente intervalados e mergulhado em cada caixa d’água. Uma haste do tubo em L era mergulhada verticalmente e a outra permanecia horizontalmente pouco abaixo da superfície bombeando a água que garantia o fluxo circular. No centro das caixas havia um cilindro rígido de rede que garantia um fluxo cilíndrico e a homogeneidade da correnteza. Ao centro do cilindro e de forma inacessível aos peixes havia um orifício escoadouro para a renovação contínua da água.

A água era filtrada em cilindro rotativo de malha de aço inoxidável e retornava aos tanques. O fluxo de água promotora da correnteza era medido por um fluxímetro (G. O. Environmental) e a velocidade da água era ajustada em comprimento corporal médio dos peixes por segundo (CC/seg).

Exceto o grupo sem atividade forçada, os demais grupos foram submetidos à atividade de natação a uma velocidade de 1,0 CC/seg, por um período de 30 dias.

4.1. Desenho experimental

O protocolo experimental foi conduzido da seguinte forma:

- a) grupo controle, em que aos animais não era imposta qualquer tipo de atividade(GC);
- b) grupo submetido a natação aeróbica contínua (NAC), no qual os peixes nadavam ininterruptamente por todo o período experimental;
- c) grupo submetido a natação aeróbica intermitente distribuída em 12hs de atividade, seguidas de 12hs de repouso (NAI 12) durante todo o período experimental;
- d) grupo submetido a natação aeróbica intermitente distribuída em 24hs de atividade, seguidas de 24hs de repouso (NAI 24) ao longo do período experimental;
- e) grupo submetido a natação aeróbica intermitente distribuída em 48hs de atividade, seguidas de 48hs de repouso (NAI 48) durante todo o período experimental.

Todos os grupos foram alimentados duas vezes ao dia, até a saciedade, com dieta comercial contendo 30% de proteína bruta.

4.2. Metodologia

4.2.1. Determinações hematimétricas

4.2.1.1. Hematócrito

Amostras de sangue coletadas por punção caudal em seringas heparinizadas eram transferidas para tubos de microhematócrito heparinizado, fechado com massa apropriada, centrifugados em centrífuga de microhematócrito por 3 minutos a 12.000 x g e a porcentagem de sedimentação dos eritrócitos era lida em cartão padronizado. O resultado está expresso em volume relativo por cento.

4.2.1.2. Hemoglobina

Em alíquotas de 10 μ L de sangue heparinizado eram adicionados 2mL de solução de Drabkin (KCN, KH₂PO₄, K₃[Fe(CN)₆] em água destilada). A densidade óptica resultante era determinada em 540nm (DRABKIN, 1948). O resultado está expresso em gramas por cento.

4.2.1.3. Contagem de eritrócitos (RBC)

Em alíquotas de 10 μ L de sangue heparinizado eram adicionados 2mL de solução de citrato formol (isotônica), sendo que desta mistura, eram utilizados 10 μ L para a contagem de células em microscópio óptico em câmara de Neubauer (LIMA et al, 1969).

A partir dos dados hematimétricos acima foram calculados: Volume Corpuscular Médio (VCM) através dos valores de hematócrito e da contagem de eritrócitos; Hemoglobina Corpuscular Média (HCM) através dos valores de hemoglobina total e da contagem de eritrócitos; e Concentração de Hemoglobina Corpuscular Média (CHCM) através dos valores de hemoglobina total e de hematócrito.

4.2.2. Preparação dos extratos ácidos

Para as determinações dos intermediários metabólicos amostras de fígado e músculo branco foram pesadas em quantidades apropriadas, mantendo-se a proporção de 100mg de tecido para 1,0mL TCA 20 %. Os tecidos foram homogeneizados a 1.000 rpm, sob banho de gelo, seguido de centrifugação por três minutos a 12.000 x g. Os sobrenadantes foram utilizados como extratos ácidos celulares.

4.2.3. Preparação dos extratos neutros

Alíquotas de fígado e músculo branco foram diluídos na proporção de 1/10 com água destilada. O processo é o mesmo descrito na preparação de extratos ácidos, em que TCA foi substituído por água destilada.

4.2.4. Preparação dos extratos alcalinos

Para as determinações de glicogênio, o tecido era pesado e colocado em tubos de ensaio, aos quais era adicionado 1 ml de KOH 6,0 N. Em seguida, os tubos eram fervidos em banho fervente por 5 minutos e posteriormente agitados para a dissolução completa dos tecidos.

4.2.5. Metabolismo intermediário

4.2.5.1. Glicogênio

As determinações de glicogênio foram realizadas como descrito por Bidinotto e colaboradores (1997). Amostras de fígado e músculo branco eram transferidas para um tubo de ensaio contendo 1,0mL de KOH 6,0N e incubados por cinco minutos a 100 °C em banho-maria. Em seguida, 250µL de extrato foram transferidos para tubos de ensaio onde eram adicionados 3mL de etanol e 100 µL de K₂SO₄ 10%, seguidos de agitação. As amostras eram centrifugadas a 3.000 x g por três minutos e o precipitado era ressuspendido em 2,5mL de água destilada, seguido de agitação. Um volume adequado desta dissolução era analisado quanto ao seu teor de açúcares (DUBOIE et al., 1956). A leitura óptica era realizada em 480nm. A concentração de açúcares totais foi estimada contra um padrão de glicose 1 mM e o valor está expresso em µmol de glicosil glicose/mg de tecido.

4.2.5.2. Glicose

A quantificação de glicose foi feita pelo método da Glicose Oxidase LABTEST (teste enzimático-Trinder, 1969). Neste processo a glicose reage com o oxigênio e com a água, liberando ácido glucônico e peróxido de hidrogênio. O peróxido reage com 4-aminoantipirina e fenol sob a ação catalisadora da peroxidase, através de uma reação oxidativa de acoplamento que forma uma antipirilquinonímia vermelha. A leitura óptica da concentração de produto era feita em 525nm.

4.2.5.3. Lactato

Sua estimativa foi feita em extratos ácidos, de acordo com Harrower & Brown (1972). Um volume adequado de extrato era adicionado a 20 µL de CuSO₄.H₂O 4%, 3,5mL de ácido sulfúrico concentrado e 80 µL de p-fenilfenol (1,5g

de p-fenilfenol em solução aquosa de NaOH 2%). Após uma hora, os tubos eram fervidos por 90 segundos e imediatamente resfriados em banho de água. Foi utilizado como padrão uma solução de lactato contendo 20 nmols e a leitura óptica era realizada em 570nm.

4.2.5.4. Piruvato

A determinação de piruvato era realizada nos extratos ácidos, segundo Lu (1939). Um volume adequado de extrato era adicionado a 250 μ L de dinitrofenilhidrazina 0,1% em HCL 2,0N. Após 30 minutos de repouso a 37° C, eram adicionados 3,0 mL de NaOH 1,3N e a leitura óptica era efetuada em 440nm, contra um padrão de piruvato contendo 100nmols.

4.2.5.5. Proteína

Nas determinações do conteúdo total de proteína dos tecidos era utilizada uma alíquota de 10 μ l de homogeneizado celular. As amostras eram pipetadas nos poços de uma microplaca e em seguida 200 μ l do reagente de Bradford eram adicionados (BRADFORD et al., 1976). Esse reagente consiste de uma mistura de Comassie Brilliant Blue diluído em etanol P.A e ácido fosfórico. Paralelamente às amostras era realizada uma curva padrão de caseína 1%. A concentração de proteína era determinada espectrofotometricamente em 520 nm, utilizando-se um leitor de microplacas. O teor de proteínas está expresso em mg/g tecido.

4.2.5.6. Aminoácidos livres

O teor de aminoácidos livres era determinado em extratos neutros de músculo branco e fígado. Uma alíquota de extrato era transferida para um tubo de ensaio seguido da adição de 2 mL de ninhidrina 0,1% em propanol. Os tubos eram vedados e então colocados sob banho-maria a 40° C, por 40 minutos. Após este período, a leitura óptica era realizada em 570nm contra um padrão de ácido aminoacético 10 mM (COPLEY, 1941).

4.2.5.7. Amônia

As determinações de amônia em músculo branco e fígado eram feitas em extrato ácido. Uma alíquota adequado de extrato era transferida para um tubo com água destilada em um volume final de 2,0mL e adicionado 0,5mL de reativo de Nessler (GENTZKOW & MASEN, 1942). A leitura óptica era realizada em 420nm, contra padrão de amônia contendo 100nmols.

4.2.5.8. Triglicérides

Os níveis de triglicérides foram estimados colorimetricamente com o kit LABTEST (TESTE ENZIMÁTICO-TRINDER, 1969), que tem como princípio os seguintes passos: o glicerol é liberado através da hidrólise dos triacilgliceróis, catalisado por lípase é convertido pela ação de glicerolquinase em glicerol-3-fosfato, que é oxidado a dihidroxicetona e peróxido de hidrogênio na presença da glicerolfosfato oxidase. Esta reação de acoplamento que ocorre entre peróxido de hidrogênio, 4-aminoantipirina e ESPAS é catalisada pela peroxidase produzindo a quinoneimina que tem um máximo de absorvância em 540 nm. A cor violeta formada é diretamente proporcional à concentração de triacilglicerol na amostra.

4.2.5.9. Ácidos graxos livres

Os níveis de ácidos graxos livres foram estimados segundo Norvák (1965). Nos homogeneizados de fígado e músculo branco eram adicionados 1,0 mL de solução Dole (heptana, álcool isopropílico e ácido sulfúrico 1N na proporção de 1:4:0,1) seguidos de agitação. Posteriormente, eram adicionados 1,0 mL de heptano e 2,0 mL de água, agitando-se novamente por inversão. Uma alíquota equivalente a 600 µL da fase superior era retirada e adicionada a uma mistura de clorofórmio e heptano (5:1 v/v), e 1,0 mL de reagente de cobalto, constituído por 1,32 volumes de trietanolamina + 10 volumes de solução A (solução saturada de K₂SO₄, 6g de nitrato de cobalto e 0,8mL de ácido acético glacial) + 7 volumes de solução B (solução saturada de Na₂SO₄). As amostras eram fortemente agitadas e centrifugadas por dois minutos a 3.000 x g. Desta mistura, era retirada uma alíquota de 600 µL à qual se adicionava 600µL de solução indicadora (0,4% de α-nitroso-β-naftol em etanol,

diluída 12,5 vezes). A leitura óptica era realizada em 500 nm contra um padrão de ácido palmítico 0,4 mM.

4.2.6. Análise Estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos (GC, NAC, NAI 12, NAI 24, NAI 48), e 10 repetições e cada peixe foi considerado uma variedade experimental. Foram realizados os pré-testes de normalidade e homogeneidade, segundo pelas análises de variância (ANOVA). As médias foram comparativas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4.3. Variáveis de desempenho produtivo

Os parâmetros de desempenho foram calculados para cada animal, gerando assim as médias dos grupos e as formulas utilizadas foram descritas a seguir:

4.3.1. Ganho em peso (GP)

$$GP = \frac{(\text{Peso final} - \text{Peso inicial})}{\text{tempo}}$$

4.3.2. Ganho em Comprimento (GC)

$$GP = \frac{(\text{Comprimento final} - \text{Comprimento inicial})}{\text{tempo}}$$

4.3.3. Conversão alimentar aparente (CAA)

$$CAA = \frac{\text{Consumo de alimento}}{\text{Ganho em peso total}}$$

5. RESULTADOS

5.1. Parâmetros Zootécnicos

Os grupos que realizaram natação aeróbica intermitente, NAI12 e NAI24 apresentaram aumento significativo de GPT quando comparados ao grupo que não realizou atividade de natação aeróbica (GC). Da mesma forma, os peixes do grupo NAI12 mostraram menor ganho em crescimento total GCT quando comparados aos grupos GC e NAC. A TCE dos peixes submetidos a NAI12 foi significativamente menor quando comparado ao grupo GC, da mesma forma, os grupos NAI24 e NAI48, tiveram valores parecidos porém não significativos (Tabela 1).

A CAA dos peixes do grupo NAI12 foi significativamente maior em relação ao GC. Contrariamente, o grupo NAI 48 apresentou a menor taxa de CAA em relação ao GC. (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de crescimento de *Brycon amazonicus* submetido a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.

Parâmetro	Condição				
	GC.	NAC.	NAI12	NAI24	NAI48
GPT (g)	34,23±4,5 ^{AB}	46,27±5,4 ^A	20,94±6,1 ^B	24,94±3,8 ^B	29,08±4,3 ^{AB}
GCT (cm)	3,50±0,3 ^A	4,27±0,4 ^A	2,34±0,5 ^B	3±0,3 ^{AB}	4,01±0,2 ^{AB}
TCE	2,62±0,2 ^{AB}	3,41±0,2 ^A	1,7±0,2 ^B	2,08±0,2 ^{AB}	2,28±0,2 ^{AB}
CAA	1,54	1,13	1,70	1,19	1,07

Juvenis de matrinxã foram submetidos a atividade de natação aeróbica intermitente a velocidade de 1CC seg⁻¹ por período experimental de 30 dias. GC. – sem atividade de natação; NAC. – natação aeróbica contínua; NAI12, NAI24, NAI48 – atividade de natação aeróbica intermitente com períodos de 12/12h, 24/24h e 48/48h (atividade de natação aeróbica/repouso) respectivamente; GPT – Ganho em Peso Total; GCT – Ganho em Comprimento Total; TCE – Taxa de Crescimento Específico; CAA – Conversão Alimentar Aparente. Letras sobrescritas mostram diferenças significativas entre as condições para p<0,05.

5.2. Parâmetros Hematológicos

Os juvenis de matrinxã não apresentaram diferenças significativas no (Ht) e na (CHCM). Já os peixes do grupo NAI24 apresentaram um valor médio significativamente maior de hemoglobina total (Hb) quando comparados aos peixes do GC. Os valores médios de RBC foram significativamente menores nos peixes dos

grupos NAI12, NAI24, NAI48, quando comparados ao GC. Com relação aos valores médios de VCM, os peixes do grupo NAI12, NAI24 e NAI48 apresentaram valores superiores aos grupos NAC e CG. Os peixes do grupo NAI12, NAI24 e NAI48 apresentaram valores médios de HCM significativamente maiores que os do GC e NAC (Tabela 2).

Tabela 2. Perfil hematológico de *Brycon amazonicus* submetido a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.

Parâmetro	Condição				
	GC.	NAC.	NAI12/12	NAI24/24	NAI48/48
Ht	33,81±1,5	34,33±1,6	31,08±3,6	35,96±1,1	33,70±2,4
Hb	7,16±0,2 ^B	7,96±0,4 ^{AB}	8,44±0,4 ^{AB}	8,83±0,2 ^A	8,23±0,2 ^{AB}
RBC	2,83±0,1 ^A	2,39±0,2 ^{AB}	1,96±0,2 ^B	1,89±0,2 ^B	1,46±0,1 ^B
VCM	134,20±33 ^B	117,35±10 ^B	193,8±25 ^A	211,78±83 ^A	293,92±48 ^A
HCM	26,74±1,3 ^B	30,33±2,0 ^B	56,33±12,2 ^A	50,2±5,3 ^A	59,63±10,1 ^A
CHCM	22,22±0,7	22,01±0,3	24,87±1,4	24,16±0,8	23,22±1,9

Juvenis de matrinxá foram submetidos a atividade de natação aeróbica intermitente a velocidade de 1CC seg⁻¹ por período experimental de 30 dias. GC. – sem atividade de natação; NAC. – natação aeróbica contínua; NAI12, NAI24, NAI48 – atividade de natação aeróbica intermitente com períodos de 12/12h, 24/24h e 48/48h (atividade de natação aeróbica/repouso) respectivamente; Ht – hematócrito (%); Hb – hemoglobina (g%); RBC – número de eritrócitos (10⁶ mm⁻³); VCM – volume corpuscular médio (μ³); HCM – hemoglobina corpuscular média (μg); CHCM – concentração de hemoglobina corpuscular média (%). Letras sobrescritas mostram diferenças significativas entre as condições para p<0,05.

5.3. Perfil Metabólico Hepático

O grupo NAI 12 apresentou aumento significativo do teor de glicogênio hepático quando comparado aos outros grupos. Os grupos NAI 12, NAI 24, NAI 48 e NAC apresentaram um aumento significativo nos teores de glicose hepática quando comparados ao GC. Os maiores valores de piruvato e lactato foram observados nos peixes do grupo NAI 12. Os peixes que foram submetidos a qualquer um dos quatro regimes de natação apresentaram menores teores de aminoácidos livres que o GC. Entre os peixes exercitados os do grupo NAI 48 apresentaram valores menores na concentração de aminoácidos livres. Os grupos NAI 24 e NAI 48 apresentaram aumento significativo no teor de TAG em relação ao GC sendo que os maiores valores foram observados no grupo NAI 48. O grupo NAI 12 apresentou o menor teor entre os demais grupos exercitados. Todos os grupos submetidos a atividade de

natação contínua ou intermitente apresentaram valores menores de AGL. Não foram observadas alterações nos teores de proteína hepática (Tabela 3).

Tabela 3. Perfil metabólico hepático de *Brycon amazonicus* submetidos a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.

Metabólito	Condição				
	GC.	NAC.	NAI12	NAI24	NAI48
Glicogênio	73,22±9 ^B	58,89±4,2 ^B	163,32±10,6 ^A	67,11±4,1 ^B	51,35±1,7 ^B
Glicose	41,37±0,7 ^D	99,96±3,6 ^C	133,82±2,8 ^A	117,39±7,2 ^B	104,24±1,7 ^C
Piruvato	0,70±0,02 ^B	0,56±0,02 ^C	0,86±0,04 ^A	0,71±0,03 ^B	0,65±0,02 ^{BC}
Lactato	15,09±0,5 ^B	16,10±1,6 ^{AB}	20,82±1,6 ^A	16,41±2,2 ^{AB}	15,46±0,7 ^B
Proteína	31,2±0,2	32,5±0,7	31,8±0,4	29,3±1,2	29,4±1,2
AAL	14,53±0,2 ^A	11,89±0,5 ^B	8,57±0,4 ^{CD}	9,57±0,4 ^C	6,78±1,5 ^D
TAG	2,33±0,07 ^C	1,50±0,03 ^D	2,18±0,07 ^D	3,51±0,2 ^B	4,47±0,1 ^A
AGL	1,16±0,31 ^{AB}	0,76±0,03 ^B	0,80±0,04 ^{AB}	1,09±0,07 ^{AB}	1,42±0,04 ^A
TAG/AGL	1,74	1,97	2,73	3,22	3,15

Juvenis de matrinxá foram submetidos a atividade de natação aeróbica intermitente a velocidade de 1CC seg⁻¹ por período experimental de 30 dias. GC. – sem atividade de natação; NAC. – natação aeróbica contínua; NAI12, NAI24, NAI48 – atividade de natação aeróbica intermitente com períodos de 12/12h, 24/24h e 48/48h (atividade de natação aeróbica/repouso) respectivamente; glicogênio (μmol de glicosil-glicose g proteína⁻¹); glicose (nmol/g); piruvato ($\mu\text{mol/g}$); lactato ($\mu\text{mol/g}$); proteína (mg/g); AAL – aminoácidos livres ($\mu\text{mol/g}$); TAG – triacilglicerol (mg/g), AGL – ácidos graxos livres ($\mu\text{mol/g}$); relação TAG/AGL. Letras sobrescritas mostram diferenças significativas entre as condições para $p < 0,05$.

5.4. Perfil metabólico muscular

O teor médio de glicogênio muscular não se alterou em nenhuma das condições experimentais. As concentrações médias de glicose dos peixes dos grupos submetidos atividade de natação intermitentemente foram significativamente maiores que as dos peixes do grupo NAC e GC. Os peixes do grupo NAI12 apresentou um aumento no teor de piruvato em relação ao GC e também aos peixes do grupo NAC. Os peixes dos grupos NAI12 apresentaram aumento significativo da concentração de lactato em relação ao GC e também ao NAI48. Os peixes do grupo NAI 48 apresentaram este aumento de forma mais acentuada quando comparado aos demais grupos. O teor de proteína muscular dos peixes de todos os grupos que foram submetidos a atividade de natação diminuiu significativamente quando comparado ao GC. Os peixes dos grupos NAI48 apresentaram valores de

concentração de aminoácidos livres maiores que o GC sendo que o grupo NAI48 apresentou o maior valor. Os peixes do grupo NAI12 apresentou aumento significativo da concentração de triacilgliceróis quando comparado aos demais grupos. Os peixes dos grupos NAC, NAI12 e NAI24 apresentaram diminuição significativa do teor de ácidos graxos livres quando comparados aos peixes do GC (Tabela 4).

Tabela 4. Perfil metabólico muscular de *Brycon amazonicus* submetidos a diferentes condições de atividade de natação aeróbica.

Metabólito	Condição				
	GC.	NAC	NAI12	NAI24	NAI48
Glicogênio	2,20±0,2	2,25±0,2	2,86±1,1	2,10±0,16	2,44±0,1
Glicose	17,15±2,0 ^B	22,11±2,7 ^B	48,47±7,4 ^A	41,17±2,6 ^A	39,80±5,2 ^A
Piruvato	0,040±0,1 ^B	0,03±0,1 ^B	0,12±0,1 ^A	0,05±0,1 ^{AB}	0,07±0,1 ^{AB}
Lactato	46,37±3,5 ^C	44,38±0,9 ^C	55,00±4,5 ^{BC}	66,43±1,3 ^{AB}	68,00±2 ^A
L/P	1159	1479	458	1328	971
Proteína	32,20±3,0	33,19±2,4	26,42±1,3	18,85±2,3	18,79±2,3
AAL	28,53±5,0 ^B	54,50±8,6 ^{AB}	57,35±9,9 ^{AB}	45,63±4,3 ^{AB}	62,43±6,3 ^A
TAG	0,36±0,1 ^B	0,35±0,1 ^B	0,46±0,1 ^A	0,34±0,1 ^B	0,35±0,1 ^B
AGL	0,08±0,01 ^A	0,04±0,1 ^B	0,04±0,1 ^B	0,03±0,1 ^B	0,07±0,1 ^{AB}
TAG/AGL	4,5	8,7	11,5	11,3	5,0

Juvenis de matrinxá foram submetidos a atividade de natação aeróbica intermitente a velocidade de 1CC seg⁻¹ por período experimental de 30 dias. GC. – sem atividade de natação; NAC. – natação aeróbica contínua; NAI12, NAI24, NAI48 – atividade de natação aeróbica intermitente com períodos de 12/12h, 24/24h e 48/48h (atividade de natação aeróbica/repouso) respectivamente; glicogênio (μmol de glicosil-glicose g proteína⁻¹); glicose (nmol/g); piruvato(nmol/g); lactato(μmol /g); proteína(mg/g); L/P – relação lactato/piruvato; AAL – aminoácidos livres (μmol /g); TAG – triacilglicerol (mg/g), AGL – ácidos graxos livres (μmol /g); relação TAG/AGL. Letras sobrescritas mostram diferenças significativas entre as condições para $p < 0,05$.

6. DISCUSSÃO

6.1. Performance de crescimento

Matrinxãs submetidos quer a atividade de natação contínua quer intermitente não apresentaram benefícios aparentes na performance de crescimento, tal como inferido a partir dos valores inalterados de GPT, GCT e TCE. Porém, apesar de não significativos, foram discretamente maiores nos animais sob regime de natação aeróbica contínua, seguidos pelos peixes dos grupos de atividade de natação intermitente NAI24 e NAI48. Admite-se que os intervalos de tempo das razões natação/ repouso no desenho experimental deste estudo certamente não foram suficientes para ampliar as diferenças observadas nos parâmetros GPT, GCT e TCE entre os diferentes grupos, resultando em muitas alterações não significativas, já que em um estudo com matrinxã submetido ao regime de de natação sustentada, na mesma intensidade empregada neste estudo, apresentou valores de performance significativamente superiores aos descritos aqui. Todavia, o período empregado para que se obtenham essas respostas é de 72 dias (HACKBARTH & MORAES, 2006) ou 60 dias (ARBELÁEZ-ROJAS & MORAES, 2009).

A atividade de natação aeróbica contínua tem demonstrado bons resultados para outras espécies como: striped bass *Morone saxatilis* (YOUNG & CECH JR. 1994), rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (BUGEON et al., 2002), red sea bream *Pagrus major* (FORSTER & OGATA, 1996), masu salmon *Oncorhynchus masou masou* (AZUMA et al., 2002), Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* (OGATA & OKU, 2000) e yellowtail *Seriola quinqueradiata* (YOGATA & OKU, 2000). Também, os peixes submetidos a atividade de natação aeróbica contínua apresentaram respostas de crescimento melhoradas quando comparados aos peixes que não foram submetidos a atividade aeróbica de natação; além de melhorarem também a CAA, assim como observado em salmonídeos (DAVISON & GOLDSPINK, 1977; TOTLAND et al., 1987; JOBLING, 1993; DAVISON, 1997), bagre do canal (JARBOE & GRANT, 1996), e matrinxã (HACKBARTH & MORAES, 2006).

O crescimento dos peixes está diretamente relacionado à sua capacidade de converter o alimento, sendo a quantidade consumida um fator menos importante (CHRISTIANSEN & JOBLING, 1993; JOBLING, 1994; DAVISON, 1997;

KESTEMONT & BARAS, 2001; HACKBARTH & MORAES, 2006). Valores significativamente mais altos na CAA dos peixes sob regime de natação aeróbica intermitente, com intervalos de 12/12 horas, indicam que os matrinxãs nestas condições necessitaram mais alimento para seu crescimento. Não é do conhecimento dos autores a descrição desta resposta em outras espécies, até o momento. Exceção feita à CAA observada em matrinxã sob atividade de natação aeróbica intermitente do grupo NAI12, os demais parâmetros são significativamente melhores nos demais intervalos de intermitência de atividade natatória. Entretanto, devido à semelhança entre os peixes dos grupos de atividade natatória contínua e do grupo que não foi submetido a qualquer regime de natação, não é sensato concluir a favor de qualquer intervalo de atividade de natação/repouso. Futuros trabalhos ampliando o intervalo de tempo experimental e as razões atividade de natação/repouso poderão falar a favor ou contra a aplicação desse tipo de regime de natação intermitente no cultivo de matrinxã, assim como permitirão otimizar esses parâmetros.

6.2. Respostas hematológicas

O quadro hematológico de matrinxã sob atividade de natação aeróbica contínua não mostrou alterações em relação aos peixes que não foram submetidos a exercício (GC). Os valores de Ht mantiveram-se constantes em todas as condições ao longo do período experimental. É sabido que situações geradoras de estresse levam ao aumento de catecolaminas e cortisol, o que acaba resultando em aumento dos valores de Ht (MARTINEZ et al, 1994; IWAMA et al., 1997; URBINATI & CARNEIRO, 2001); esse resultado é sugestivo de que nenhuma das condições experimentais foi estressante. Valores aumentados de Hb nos peixes submetidos à atividade de natação com intermitência de 48/48 horas e em todos os peixes que sofreram regime de natação mesmo não sendo significativo, sugerem que sua demanda metabólica é maior que nos peixes não submetidos a essa atividade. Esse aumento implica no uso de oxigênio, o que reflete preferência pelo metabolismo aeróbico. Curiosamente, observa-se uma anemia, mais propriamente uma oligoglobulia, nos peixes submetidos à atividade de natação intermitente. Todavia, os volumes corpusculares aumentados nesses peixes foram parcialmente compensadores, explicando os valores de Ht constantes; e a CHCM constante

diante de Hb e HCM aumentadas. Em face do número muito reduzido de informações sobre peixes submetidos à atividade de natação intermitente é difícil qualquer comparação com outras espécies; não é de conhecimento dos autores qualquer dado de respostas hematológicas em peixes submetidos a esse tipo de atividade. Entretanto, a macrocitose observada é por certo fisiológica devendo-se provavelmente a fenômenos relacionados ao aumento de superfície de membrana (GUISASOLA, 1991); eritropoiese acelerada pode ser ainda uma causa desse tipo de quadro hematológico (GUISASOLA, 1991). De qualquer forma, esse quadro hematológico foi observado somente nos peixes submetidos às atividades de natação intermitentes, o que mostra uma clara alteração imposta pelo regime intermitente de atividade de natação.

6.3. Adaptações metabólicas

Juvenis de matrinxã submetidos à condição de de natação intermitente com intervalo de 12/12 horas apresentaram biossíntese pronunciada de glicogênio hepático: nas demais condições essa resposta foi semelhante. A biossíntese aumentada de glicogênio necessita de um aumento na disponibilidade de glicose, observada também e apenas nessa condição; considerando-se que a oferta de alimento foi a mesma em todas as condições, isto só seria possível diante de um melhor aproveitamento dos nutrientes. Uma possibilidade de aumento na biossíntese de glicogênio hepático seria a oferta endógena de glicose; situação metabólica típica de um quadro gliconeogênico. A gliconeogênese hepática a partir de fontes protéicas para manutenção dos níveis de glicose é relatada em outras espécies submetidas a atividade de natação: *Dicentrarchus labrax* (YANG et al., 2002; PERES & OLIVA-TELES, 2001), *Anguilla australis australis* (ENGIN & CARTER, 2001) e *Rhamdia quelen* (MELO et al., 2006). A gliconeogênese também é descrita em matrinxã submetidos a atividade de natação aeróbica contínua (HACKBARTH & MORAES 2006; MORAES et al., 2009). A gliconeogênese demanda uma disponibilidade aumentada de piruvato, tal como observado nas condições de atividade de natação intermitente, e fundamentalmente na condição de intervalo entre 12/12 horas. Dois caminhos metabólicos seriam responsáveis pelo aumento das concentrações de piruvato no tecido hepático: a oxidação do lactato e o catabolismo protéico. Na condição de regime intermitente de de natação com

12/12 horas de intervalo observa-se a maior concentração hepática de lactato, seguida da 24/24 e exercício contínuo; fato esse sugestivo de que a gliconeogênese hepática na condição 12/12 deve também ter contribuição efetiva do ciclo de Cori. Todavia, a gliconeogênese hepática a partir de aminoácidos foi baixa nos peixes do grupo NAI12: considerando-se níveis inalterados de proteína em todas as condições, as mobilizações de aminoácidos para a biossíntese de glicogênio não foram relevantes nas condições de atividade de natação intermitente; a mesma inferência não pode ser feita para a condição sem regime de atividade de natação, que apesar de não apresentar gliconeogênese evidente apresentou grande mobilização de aminoácidos. O catabolismo protéico em peixes submetidos a atividade de natação, ainda que discretamente aumentado em 10%, destina-se à disponibilização de aminoácidos para o fígado, músculo e cérebro (van den Thillart e van Raaji, 1995).

Juvenis de matrinxã na condição de atividade de natação intermitente sob a condição de 12/12 horas assemelham-se à situação de atividade de natação contínua, sintetizando menores quantidades de lipídio; na condição de intermitência 48/48 horas os teores de lipídios sintetizados são significativamente maiores que em todas as outras condições. As relações TAG/AGL mostram que as condições de atividade de natação intermitente facilitam a biossíntese de lipídios no fígado, a qual é crescente com aumento dos intervalos atividade de natação/ repouso. Esses resultados sugerem que a atividade de natação intermitente possa trazer adaptações benéficas ao matrinxã com preservação de fontes lipídicas e glicídicas, e maior mobilização de fontes protéicas com possibilidade de melhoras nos parâmetros de performance de crescimento, como também observado em peixes submetidos à atividade de natação aeróbica contínua (DAVISON, 1997; WOOD, 2001).

Nenhuma das condições experimentais levou ao acúmulo de glicogênio muscular, entretanto, os juvenis de matrinxã nas condições de atividade de natação intermitente apresentaram os mais altos valores de glicose; seguidos de altos valores de piruvato. Este quadro metabólico é indicativo de uma atividade glicolítica mais intensa que nas condições de atividade de natação contínua e sem atividade de natação; entretanto, as razões L/P na condição 12/12 horas de atividade de natação intermitente foi a menor observada. A relação L/P possibilita avaliar e comparar a intensidade de fermentação láctica; assim a condição de atividade de

natação intermitente de 12/12 horas parece ser mais favorável que qualquer outra condição testada levando-se em conta a baixa fermentação láctica; a condição de atividade de natação intermitente destaca-se assim das situações de atividade de natação exaustiva a qual provoca maior degradação de proteínas assim como a preferência por vias anaeróbicas, com aumento de lactato e prejuízo do crescimento (JOBILING, 1994; TAYLOR et al., 1995). Todas as condições de atividade de natação apresentam uma mobilização grande de aminoácidos que se reflete nas taxas de crescimento; a exacerbação desses valores poderia ser alcançada através da amplificação dos períodos experimentais, o que permitiria otimizar as condições de atividade de natação. As reservas musculares de lipídios são significativamente maiores em matrinxãs que sofreram regime de atividade de natação com intermitência de 12 horas; as razões TAG/AGL permitem afirmar que nas condições de atividade de natação com intermitência de 12 e 24 horas ocorrem as maiores reservas de lipídeos, e a condição de natação intermitente com intervalo de 48/48 horas é bem próxima da condição de regime sem atividade de natação. Este perfil é relatado em estudos com matrinxã e pacu submetidos à atividade de natação aeróbica contínua (ARBELÁEZ-ROJAS, 2007; HACKBARTH & MORAES, 2006; MORAES et al., 2009).

Em síntese, juvenis de matrinxã submetidos a diferentes regimes de atividade de natação ao longo de 30 dias apresentaram: 1) performances de crescimento iguais em todos os regimes; 2) maior aproveitamento de nutrientes em exercício intermitente de 12/12; 3) aumento nos teores de Hb com oligoglobulia e macrocitose nas atividades de natação intermitentes; 4) gliconeogênese com aumento das reservas de glicogênio em atividades de natação intermitente com intervalo de 12/12 horas; 5) reduzida gliconeogênese a partir de aminoácidos no regime 12/12; 6) diminuição da biossíntese hepática de lipídios em regime 12/12; 7) baixa fermentação láctica na condição de atividade de natação intermitente com intervalo de 12/12 horas.

7. CONCLUSÃO

O regime de atividade de natação intermitente com regime de 12/12 horas apresentou vantagens metabólicas sobre os outros regimes de nado devendo-se ampliar o período de atividade de natação para que o performance de crescimento possa ser vantajoso.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L.C., LUNDSTEDT, L.M., MORAES, G. Digestive enzyme responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed on different levels of protein and lipids. *Aquaculture Nutrition* v. 12, p. 443-450. 2006.

ARBELÁEZ-ROJAS, G. A.; FRACALOSSO, D. M.; FIM, J.L. Composição corporal de tambaqui, *Colossoma macropomum* e matrinxã, *B. cephalus*, em sistemas de criação intensiva, em igarapé, e semi-intensiva, em viveiros. *Rev. Bras. Zoot.*, v. 31, p.1059-1069. 2002.

ARBELÁEZ-ROJAS, G.A. Efeitos da natação sustentada no crescimento, na densidade de estocagem e na composição corporal em juvenis de *Brycon amazonicus*. Aspectos adaptativos e respostas metabólicas. 2002. Tese (Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2007.

ARBELÁEZ-ROJAS, G.A., Moraes, G. Interação do exercício de natação sustentada e da densidade de estocagem no desempenho e na composição corporal de juvenis de matrinxã (*Brycon amazonicus*). *Ciência Rural*, v. 39, p. 201-208. 2009.

AVILEZ, I.M, ALTRAN, A.E., AGUIAR, H.H., MORAES, G. Hematological responses of the Neotropical teleost matrinxã (*Brycon cephalus*) to environmental nitrite. *Comp. Biochem. Physiol. C*, v. 139, p. 135-139. 2004.

AZUMA, T., NODA, S., YADA, T., OTOTAKE, M., NAGOYA, H., MMORIYAMA, S., YAMADA, H., NAKANISHI, T., IWATA, M. Profiles in growth, smoltification, immune function and swimming performance of 1-year-old masu salmon *Onchorhynchus masou masou* reared in water flow. *Fisheries Science*, v. 68, p. 1282-1294. 2002.

BERNARD, S.F., REIDY, S.P., ZWINGELSTEIN, G. & WEBER, J-M. Glycerol and fatty acid kinetics in rainbow trout: effects of endurance swimming. *J. Exp. Biol.*, v. 202C, p. 279-288. 1999.

BIDINOTTO, P.M., SOUSA, R.H.S., MORAES, G. Hepatic glycogen in eight tropical freshwater teleost fish: A procedure for field determinants of microsamples. Bol. Tec. CEPTA – Pirassununga, v. 10, p. 53-60. 1997.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, Analytical Biochemistry, v. 72, p. 248-254. 1976.

BRANDÃO, F. R.; GOMES, L. C.; CHAGAS, E. C. ARAÚJO, L. D.; SILVA, A. L. F. Densidade de estocagem de matrinxã (*Brycon amazônicos*) na recria em tanque-rede. Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB), v. 40,n.3, p. 299-303. 2005.

BUGEON, J., LEFEVRE, F., PAUCONNEAU, B. Fillet texture and muscle structure in brown trout (*Salmo trutta*) subjected to long-term exercise. Aquaculture Research, v. 34, p. 1287-1295. 2003.

CASTAGNOLLI, N. Criação de peixes de água doce. Ed. UNESP, Jaboticabal. 1992.

CHRISTIANSEN, J.S.; JOBLING, M. The behaviour and the relationship between food intake and growth and juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., subjected to sustained exercise. Canadian Journal of Zoology, v. 68, p. 2185-2191. 1990.

COPLEY, N.G. Alloxan and ninhydrin test. Analyst., v. 66, p. 492-493. 1941.

DAVISON, W. The effects of exercise training on teleost fish, a review of recent literature. Comp. Biochem. Physiol. A., v. 117, p. 67-75. 1997.

DAVISON, W., GOLDSPING, G. The effect of prolonged exercise on the lateral musculature of the Brown trout *Salmo trutta*. J. Exp. Biol., v. 70, p. 1-12. 1977.

DRABKIN, D. The standardization of hemoglobin measurement. *Am. J. Med. Sci.* 215C: 110-111. TRINDER, P., (1969). Determination of glucose in blood using glucose oxidase with in the alternative oxygen accept. *Ann. Clin. Biochem.*, v. 6, p. 24-27. 1948.

ENGIN, K., CARTER, C.G. Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian Short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. *Aquaculture*, v. 194, p. 123–136. 2001.

EVANS DH, editor. *The Physiology of Fishes*. Boca Raton, FL: CRC Press. 1993.

FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. *The state of world fisheries and aquaculture*. Roma: FAO. 2009

FORSTER, I.P., OGATA, H. Growth and whole-body lipid content of juvenile red sea bream resred under different conditions of exercise training and dietary lipid. *Fisheries Science*, v. 62, p. 404-409. 1996.

FRANKLIN, C.E., DAVISON, W. & MCKENZIE, J.C. The role of the spleen during exercise in the antartic teleost, *Pagothenia borchgrevinki*. *J. Exp. Biol.*, v. 174C, p. 381-386. 1993.

GENTZKOW, C.J., MASEN, J.M. An accurate method for the determination of blood urea nitrogen by direct nesslerization. *J. Biol. Chem.*, v. 143, p. 531-544. 1942.

GOMIERO, J.S.G., RIBEIRO, P.A.P., FERREIRA, M.W., LOGATO, P.V.R. Rendimento de carcaça de peixe matrinxã (*Brycon cephalus*) nos diferentes cortes de cabeça. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras , v. 27, p. 211-216. 2003.

GOULDING, M. *The Fishes and the forest: Explorations in Amazonian Natural History*. University of California Press. Berkeley, California. 280p.1980.

GRAEF, E. W. (1995). As espécies de peixes com potencial para criação no Amazonas. In: Val, A. L. & A. Honczaryk (ed.). Criando peixes na Amazônia (p. 29-43). Manaus: INPA. CYRINO, 1986.

GUISASOLA ZULUETA MC, GARCIA DE LA FUENTE A, DULIN INIGUEZ EL, GILSANZ FERNANDEZ C. Structural alterations of the red cell membrane in myelodysplastic syndromes. *An. Med. Interna* v. 8, n. 2, p., 57-60. 1991.

HACKBARTH, A., MORAES, G. Biochemical responses of matrinxã, *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) after sustained swimming. *Aquaculture Research*, v. 37, p. 1070-1078. 2006.

HALLER, J. Biochemical cost of a fight in fed and fasted, *Betta splendens*. *Physiol. Behav.*, v. 49, p. 79-82. 1991.

HAMMER, C.; SCHWARZ, G. The effect of prolonged swimming activity on the growth, proximate body composition and caloric content of o-age group Whiting, *Merlangius, merlangus* (L. Gadidae). *Arch. Fish. Mar. Res.*, v. 44, p. 13-32. 1996.

HARROWER, J.R., BROWN, C.H. Blood lactic acid. A micromethod adapted to field collection of microliter samples. *J. Appl. Physiol.*, v.32C, p. 224-228. 1972.

HOLK, K.; LYKKEBOE, G. The impact of endurance training on arterial plasma K^+ levels and swimming performance of rainbow trout. *J. Exp. Biol.*, v.201C, p. 1373-1380. 1998.

HONCZARYK, A. Efeito da densidade de estocagem sobre a performance do matrinxã, *Brycon cephalus* Gunter, 1869 (Teleostei; Characidae). *Anais do Simpósio Brasileiro de Aquicultura/III Encontro Brasileiro de Patologia de Organismos Aquáticos*. Piracicaba., p.15. 1994.

HONORATO, C.A.; HACKBARTH, A.; CARNEIRO, D.J.; MORAES, G. Efeito de dietas extrusadas e peletizadas com diferentes níveis de carboidratos e lipídeos

sobre a composição corporal e eficiência de retenção de nutrientes de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). In: Congresso Brasileiro de Produção de Peixes Nativos de Água Doce, 2007, Dourados. Anais...Dourados: World Aquaculture, v. 1, 354 p. 2007.

HOULIHAN, D.F.; LAURENT, P. The effects of exercise training on the performance, growth, and protein turnover of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Can.J.Fish. aquat. Sci., v. 44, p. 1614-1621. 1987.

HOUSTON, A.H. Blood and circulation. In: SCHRECK, C.B. & MOYLE, P.B. (eds.). Methods for fish biology. American Fisheries Society, Maryland, p.273-334. 1990.

HOWES, G.J. Review of the genus Brycon (Teleostei: Characoidei). Bulletin of the British Museum Natural History and Zoology, v.43, p.1-47. 1982.

INOUE, L.A.K.A, NETO, C.S., MORAES, G. Clove oil as anesthetic for juveniles of matrinxã, *Brycon cephalus* (Gunther, 1869). Ciência Rural, v. 33, p. 943-947. 2003.

IWAMA, G., PICKERING, A.D., SUMPTER, P.J., SCHRECK, C.B. Fish stress and Health in Aquaculture. Cambridge University Press, 432p. 1997

JARBOE, H.H., GRANT, W.J. The effects of water velocity on the growth, dressout, and body composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, raised in circular tanks. J. Applied Aquaculture, v. 6, p. 13-21. 1996.

JENNINGS, S.; KAISER, M J.; REYNOLDS, J. D. Marine fisheries ecology. United Kingdom: Blackwell Science, 417p. 2001.

JOBLING, M. Bioenergetics: feed intake and energy partitioning. In: Fish Ecophysiology. Rankin, J.C and Jensen, F.B. Chapman & Hal (Eds),I. London. 1993

JOBLING, M. Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, London. 1994.

JOHNSTON, I.A. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish. *Journal of Experimental Biology*, v. 209, p.2249-2264. 2006.

JOHNSTON, I.A.; MOON, T. W. Exercise training in skeletal muscle of brook trout, *Salvelinus fontinalis*. *J. Exp. Biol.*, v. 87, p.177-194. 1980.

JORGENSEN, E.H.; JOBLING, M. The effects of exercise on growth, food utilization and osmoregulatory capacity of juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, v. 110, p. 233-246. 1993.

KESTEMONT, P., BARAS, E. Environmental factors and feed intake: mechanisms and interactions. In: Houlihan D., Boujard T. and M. Jobling. *Food intake in fish*. Oxford-UK, Blackwell-science, p.131-145. 2001.

KESTEMONT, P., BARAS, E., YANG, S. Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, Amsterdam, v. 253, p. 592-601. 2006.

KIEFFER, J.D., Arsenault, L.M., Litvak, M.K., Behaviour and performance of juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* at different water velocities. *J. Fish Biol.*, v. 74, p. 674 – 682. 2009.

KRUGER, N.J. The Bradford method for protein quantification. In: Walker, J.M (Ed.), *Methods in Molecular Biology*, Vol 32: Basic Protein and Peptide Protocols. Human Press Inc., Totowa, NJ. 1994.

KUBITZA, F. *Nutrição e alimentação de peixes cultivados*. 3. Ed. Jundiaí: gaspari. 1998

LACKNER, R.; WIESER, W.; HUBER, M.; VIA, J. D. Responses of intermediary metabolism to acute handling stress and recovery in untrained and trained *Leuciscus cephalus* (Cyprinidae, Teleostei). *J. Exp.Biol.*, v. 140, p. 393:404. 1988.

LEON, K. A. (). Effect of exercise on feed consumption, growth, food conversion, and stamina of brook trout. *Prog. Fish-Cult.*, v. 48, p. 43-46. 1989.

LIMA, A.O; SOARES, J.B.; GRECO, J.B.; GALIZZI, J. & CANÇADO. J.R. Métodos de laboratório aplicados à clínica. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 653p. 1969.

LOWE T. E., WELLS R.M.G. Exercise challenge in Antarctic fishes: do haematology and muscle metabolite levels limit swimming performance? *Polar Biol.*, v. 17,p. 211-218. 1997.

LU, G.D. The metabolism of pyruvic acid in normal and vitamin B-deficient state. I. A rapid specific and sensitive method for the estimation of blood pyruvate. *Biochem. J.*, v. 33, p. 249-254. 1939.

LUNDSTEDT, L.M. Aspectos adaptativos dos processos digestivo e metabólico de juvenis de pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) arraçoados com diferentes níveis de proteína e energia. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. 139p. 2003.

MARTINEZ, F.J.; GARCIA-RIERA, M.P. CANTERAS, M.; COSTA, J. & ZAMORA, S. Blood parameters in rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*): simultaneous influence of various factors. *Comp. Biochem. Physiol A*, v. 107, p. 95-100. 1994.

MCDONALD, G., MILLIGAN, L. Ionic, osmotic and acid-base regulation in stress. In: Iwama, G., Pickering, A.D., Sumpter, P.J., Schreck, C.B. 1997. *Fish stress and Health in Aquaculture*. Cambridge University Press, 432p. 1997.

MELO, L.M. LUNDSTEDT, I. METÓN, I.V. BAANANTE; G. MORAES. Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae), *Comp. Biochem. Physiol. A*, v. 145, p. 181–187. 2006.

MENDONÇA, J.O.J., SENHORINI, J.A., FONTES, N.A.A. et al. Influência da fonte protéica no crescimento do matrinhã (*Brycon cephalus*) GÜNTHER, 1869 (TELEOSTEI, CHARACIDAE), em viveiros. Bol. Tecn. CEPTA, v. 6, n.1, p. 51-57. 1993.

MILLER, G. T. Ciência Ambiental. Tradução da 11 ed. Norte-americana. São Paulo: Thomson. 2007.

MILLIGAN, C.C., HOOKE, G.B., JOHNSON, C. Sustained swimming at. Low velocity following a bout of exhaustive exercise enhances metabolic recovery in rainbow trout. J. Experim. Biol., v. 203, p. 921-226. 2000.

MORAES, G., HACKBARTH, A, ARBELÁEZ-ROJAS, G.A., FABRIZZI, F, NUNES, C.S. Adaptações bioquímicas à natação sustentada em peixes com alto potencial para piscicultura. In: Manejo e Sanidade de Peixes em Cultivo. Tavares-Dias, M. (Org), Embrapa Amapá, Macapá, p. 269-294. 2009.

MOYES, C.D., WEST, T.G. Exercise metabolism of fish In: Hochachka, P.W. & Mommsen, T.P. (Eds.). Metabolic Biochemistry. Biochemistry and molecular biology of fishes. Elsevier Science, Amsterdam, v. 4, p. 367-392. 1995.

NORVÁK, M. Colorimetric ultramicro method for the determination of free fatty acids. J. Lipid Research, v. 6, p. 431-433. 1965.

OGATA, H.Y., OKU, H. Effects of water velocity on growth performance of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aqua. Soc., v. 31, p. 225-231. 2000.

PERES and A. OLIVA-TELES. Effect of dietary protein lipid level on metabolic utilization of diets by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles, Fish Physiol. Biochem., v. 25, p. 269–275. 2001.

POSTLETHWAITE, E. K.; McDONALD, D. G. Mechanisms of Na⁺ and Cl⁻ regulation in freshwater-adapted rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during exercise and stress. *J. Exp. Biol.*, v.198, p. 295-304. 1995.

RESENDE, E. K.; RIBEIRO, R. O.; LEGAT, A. P.; BENITES, C. Melhoramento genético em peixes – uma revolução na aquicultura do Brasil. *Boletim SBI*, v. 94, p. 5-6. 2009.

RICHARDS, J.G., MERCADO, A.J., CALYTON, C.A., HEIGENHAUSER, G.J.F., WOOD, C.M., Substrate utilization during graded aerobic exercise in rainbow trout. *Experimental Biology*, v. 205, p. 2067-2077. 2002.

SAINT-PAUL, U. Potential for aquaculture of South American freshwater fishes: a review. *Aquaculture*, v. 54, p. 205-240. 1986.

SATCHEL, G.H. *Physiology and form of fish circulation*. Cambridge University Press, UK. 1991

SCORVO FILHO, J. D.; MARTIN, N. B.; AYROZA, L. M. S. Piscicultura em São Paulo: custos e retornos de diferentes sistemas de produção na safra 1996/97. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 28, n. 3, p.41-62, 1998.

SHANGAVI, D.S., WEBWE, J.M. Effects of sustained swimming on hepatic glucose production of rainbow trout. *J. Exp. Biol.*, v. 202, p. 2161-2166. 1999.

TAYLOR, S.E.; EGGINTON, S. & TAYLOR, E.W. Seasonal temperature acclimatisation of rainbow trout: cardiovascular and morphometric influences on maximal sustainable exercise level. *F. Exp. Biol.*, v. 199, p. 835-845. 1995.

TOTLAND, G.K., KRYVI, H., JØDESTØL, K.A., CHRISTIANSEN, E.N., TANGERÅS, A. and SLINDE, E. Growth and composition of the swimming muscle of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during long-term swimming. *Aquaculture*, v. 66, p. 299–313. 1987.

URBINATI, E.C.; CARNEIRO, P.C.F. Práticas de Manejo e Estresse dos Peixes em Piscicultura Intensiva. In Cyrino, J.E.P.; Urbinati, E.C.; Castagnolli, N. (Eds.). Tópicos Especiais em Piscicultura Tropical. Editora TecArt. p. 171-193. 2004.

VAN DEN THILLART, G., VAN RAAIJ, M. Circulatory substrate fluxes and their regulation. In: Hochachka, P.W., Mommsen, T.P. (Eds.). Metabolic biochemistry, biochemistry and molecular biology of fish, vol.4 Amsterdam: Elsevier, p.14-63. 1995.

VILLACORTA-CORREA. M. A. Crescimento do matrinxã, *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) (Teleostei, Characidae) no rio Negro, seus afluentes e no baixo rio Solimões. INPA/FUA, Manaus, AM. 124p. (Máster thesis). 1987.

WALDIGE, V.; CASEIRO, A. A indústria de rações: situação atual e perspectivas. Panorama Aquicul., v. 81, n. 14, p. 27-32. 2004.

WEBER, J. M.; HAMAN, F. Pathways for metabolic fuels and oxygen in high performance fish. Comp. Bioch. Physiol., v. 113, p. 33-38. 1996.

WOOD, C.M. Influence of feeding, exercise and temperature on nitrogen metabolism and excretion. In: Wricht P. & Anderson, P. Nitrogen excretion. Academic Press, Califórnia, p. 201-238. 2001.

YANG, S., SHENG L.T.; GUANG L. F.; HWA L. C. Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). Aquaculture Amsterdam, v. 253, p. 592-601. 2006.

YOGATA, H., OKU, H. The effects of swimming exercise on growth and whole-body protein and fat contents of fed and unfed fingerling yellowtail. Fisheries science 66, v., p. 1100 -1105. 2000.

YOUNG, P.S., CECH JR., J.J. Effects of different exercise conditioning velocities on the energy reserves and swimming stress responses in young of-the-year striped bass (*Morone saxatilis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., v. 51, p. 1528-1534. 1994.

ZANIBONI, FILHO, E. Biologia da reprodução do matrinxã, *Brycon cephalus* (Gunther, 1869) (Teleostei, Characidae). INPA/FUA, Manaus, AM. 138p. (máster thesis). 1985.

|