

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

LUCILEINE DE ASSUMPÇÃO

Análises morfométricas para predições do desempenho natatório de duas espécies de peixes neotropicais migradoras de longas distâncias

Toledo
2010

LUCILEINE DE ASSUMPÇÃO

Análises morfométricas para predições do desempenho natatório de duas espécies de peixes neotropicais migradoras de longas distâncias

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maristela Cavicchioli Makrakis

Toledo

2010

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária
UNIOESTE/Campus de Toledo.

Bibliotecária: Marilene de Fátima Donadel - CRB – 9/924

A851a Assumpção, Lucileine de
Análises morfométricas para predições do desempenho
natatório de duas espécies de peixes neotropicais migradoras
de longas distâncias / Lucileine de Assumpção. -- Toledo, PR
: [s. n.], 2010.
vii ; 26 f.

Orientadora: Dra. Maristela Cavicchioli Makrakis
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e
Engenharia de Pesca) - Universidade Estadual do Oeste do
Paraná. Campus de Toledo. Centro de Engenharias e Ciências
Exatas.

1. Peixes migradores – Caracterização morfológica 2.
Peixes neotropicais de água doce – Morfologia de locomoção
3. Biologia pesqueira 4. Comportamento animal I. Makrakis,
Maristela Cavicchioli, Or. II. T.

CDD 20. ed. 597.0525
597.1852
639.31

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCILEINE DE ASSUMÇÃO

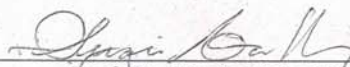
**Análises morfométricas para predições do desempenho natatório
de duas espécies de peixes neotropicais migradoras de longas
distâncias**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA



Prof^a Dr^a Maristela Cavicchioli Makrakis
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)



Prof. Dr. Sérgio Makrakis
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Oscar Akio Shibatta
Universidade Estadual de Londrina

Aprovada em: 29 de julho de 2010.

Local de defesa: Miniauditório - Unioeste/Campus de Toledo.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais pelo apoio e constante incentivo que permitiram o meu crescimento pessoal e minha formação profissional.

AGRADECIMENTOS

Nesta página muito especial, gostaria de agradecer a algumas pessoas, dentre as muitas que me ajudaram a realizar este trabalho.

Primeiramente A Deus, por iluminar meu caminho e de toda a minha família.

Aos meus pais Pedro e Lurdes que são meu sustento e minha vida, por tudo que fizeram por mim, dando amor, carinho e força para que eu conseguisse terminar meus estudos, um grande beijo.

Aos meus irmãos Marcos, Wagner e Lucilaine pela força, companheirismo e amizade.

Ao meu grande amor Fabio pelo apoio, companheirismo e ajuda em todos os momentos.

A minha orientadora Maristela pelo apoio, amizade e dedicação em mais uma etapa da minha formação e principalmente pela paciência prestada durante a orientação, e ao Sergio pelo apoio.

A minha grande amiga Patrícia, que tenho um imenso carinho, pelo apoio e incentivo em mais uma etapa da minha vida.

Ao Adriano pela amizade e pelas horas de descontração.

Ao Adilson pela amizade e apoio.

Ao Ricardo Luiz Wagner (Batatinha) pelo apoio nas coletas e o incentivo.

Ao GETECH pelo apoio técnico e financeiro e a todos os estagiários que contribuíram para a realização deste trabalho e pelo apoio.

A professora Elaine pelo apoio, auxílio nas análises estatísticas.

A CAPES pela concessão da bolsa.

A Companhia Energética de São Paulo-CESP, por ceder os peixes para a realização das medidas, pois sem este, minha dissertação não teria sido realizada.

Aos Amigos que jamais esquecerei pela amizade, companheirismo, carinho, os momentos de alegria e pelo apoio que me deram nas horas de dificuldade e também a todos os demais que não mencionei, pela convivência e pelo tempo que passamos juntos.

Análises morfométricas para predições do desempenho natatório de duas espécies de peixes neotropicais migradoras de longas distâncias

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar as características morfométricas relacionadas ao desempenho natatório de duas espécies de peixes neotropicais migradoras, de longas distâncias, as quais poderão subsidiar os estudos de capacidade natatória e o planejamento de futuros sistemas de transposição para peixes. Um total de 80 peixes adultos das espécies *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus* (40 de cada espécie) foram analisados, coletados na escada para peixes da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta (Porto Primavera), alto rio Paraná, no período de novembro de 2007 a janeiro de 2008 e em outubro de 2009. Treze medidas morfológicas foram realizadas para obtenção de oito razões morfométricas (razão muscular, razão propulsora, razão fineza, razão aspecto, fator altura do pedúnculo caudal, razão comprimento da nadadeira caudal, razão nadadeira peitoral e razão comprimento da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral) consideradas potencialmente importantes para descrever o desempenho natatório dos peixes. A Análise dos Componentes Principais (ACP) e a Análise de Variância foi aplicada para verificar o padrão de diversificação morfológica entre as duas espécies. *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus* diferiram quanto às características morfométricas relacionados ao desempenho natatório, como a razão muscular, razão comprimento da nadadeira caudal, fator altura do pedúnculo caudal, razão distância da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral e razão fineza. Essas razões morfométricas podem ser utilizadas para predizer o desempenho natatório das espécies estudadas. Ressalva-se, no entanto, a necessidade da realização de estudos relativos a levantamento da capacidade natatória (testes de velocidade prolongada e de explosão) para predizer se as espécies apresentam diferenças nas velocidades de natação/capacidade natatória, uma vez que o caráter preditivo deste tipo de abordagem forneceria maior precisão às análises, além de contribuir, de modo significativo, para subsidiar a ausência de informações básicas sobre a biologia de nossas espécies migradoras neotropicais.

Palavras-chave: Morfologia, desempenho natatório, peixes migradores neotropicais

Morphometric analysis for swimming performance prediction of two long distances migratory neotropical species

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the morphometric characteristics related to swimming performance of two migratory neotropical species, of long distances, which would subsidize the study of swimming performance and the planning of futures fish pass systems. A total of 80 adult fish of the species *Leporinus elongatus* and *Prochilodus lineatus* (40 of each one) were analyzed, collected on the fish pass of Sergio Motta Hydroelectric Power Plant (Porto Primavera), high Paraná river, during November 2007 to January 2008 and October 2009. Thirteen morphological measurements were done to obtain eight morphometric ratios (muscle ratio, propulsive ratio, fineness ratio, aspect ratio, caudal peduncle depth factor, caudal fin length ratio, pectoral fin ratio and length from nose to pectoral fin base ratio) considered potentially important to describe the fish swimming performance. The Principal Component Analysis (PCA) and the Analysis of variance were applied to verify the morphological diversification pattern between the two species. *Leporinus elongatus* and *Prochilodus lineatus* differed regarding morphometric characteristics related to swimming performance, as muscle ratio, caudal fin length ratio, caudal peduncle depth factor, length from nose to pectoral fin base ratio and fineness ratio. These morphometric ratios can be used to predict the swimming performance of the studied species. However, it is important to emphasize the need of more studies related to survey of swimming performance (tests of prolonged and burst speed) to predict if the species presented differences for swimming speed/performance, whereas the predictive character of this kind of approach would give better precision to analysis, besides contributing significantly to subsidize the absence of basic information about the biology of our neotropical migratory native species.

Keywords: Morphology, swimming performance, neotropical migratory fish

Dissertação a ser submetida a revista *Neotropical Ichthyology*.

Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ni/>>*

SUMÁRIO

Introdução.....	9
Material e Métodos.....	10
Coleta de dados e medições morfológicas.....	10
Análises dos dados	12
Resultados.....	15
Discussão.....	19
Referências Bibliográficas.....	23

Introdução

Os peixes apresentam uma notável diversidade morfológica do corpo (Alexander 1974; Lauder, 1996), que pode estar associada com o desempenho natatório (Alexander, 1974; Blake, 1983, 2004; Webb, 1984a; Videler, 1993). O desempenho da natação é considerado uma das principais características para a sobrevivência dos peixes, determina a aptidão em muitos animais aquáticos (Beamish, 1978; Plaut, 2001), relaciona-se à capacidade do peixe em manter o posicionamento contra-corrente, à captura de alimentos e à fuga de predadores (Videler, 1993), bem como ao sucesso da migração (Fisher & Bellwood, 2003).

O desempenho natatório em peixes pode ser influenciado pelo tipo de locomoção, tamanho do corpo, forma, fisiologia, temperatura e comportamento (Beamish, 1978; Videler & Wardle, 1991; Hammer, 1995), podendo limitar o uso do habitat (Sambilay, 1990; Bandyopadhyay *et al.*, 1997; Gerstner, 1999). A relação entre o desempenho natatório e a morfologia do corpo representa uma maneira apropriada para avaliar a anatomia funcional dos peixes, pois o desempenho depende da relação entre a força de arrasto e o impulso produzido pelo peixe (Videler, 1993).

Várias características morfológicas do corpo dos peixes são consideradas importantes para a definição do desempenho natatório, incluindo as razões aspecto (*aspect ratio*) e muscular (*muscle ratio*) (Sambilay, 1990; Fisher *et al.*, 2000), fator altura do pedúnculo caudal (*caudal peduncle depth factor*) (Webb & Weihs, 1986), razão propulsora (*propulsive ratio*) (Fisher *et al.*, 2000), razão comprimento da nadadeira caudal (*caudal fin length ratio*) (Nanami, 2007), bem como a razão fineza (*fineness ratio*) (Bainbridge, 1960; Landweber, 1961; Webb, 1975; Blake, 1983; Scarnecchia, 1988). A forma do corpo e o tamanho das nadadeiras podem indicar confiavelmente o comportamento, o modo de natação e preferências de habitat em peixes (Keast & Webb, 1966; Webb, 1984), fornecendo mais precisão para a compreensão das relações entre a forma do corpo dos peixes e a função das estruturas (Winemiller, 1991).

Diversas pesquisas têm explorado as relações entre seleção de habitat, morfologia e ao desempenho/capacidade natatória em peixes marinhos e de clima temperado. Dentre estas, destacam-se os estudos realizados por Ohlberger *et al.* (2006), Fisher & Hogan (2007) e Nanami (2007) para avaliar a relação entre a capacidade natatória e a morfologia externa do corpo, analisando a velocidade ótima de natação; e por Aedo (2008) para analisar o

desempenho da natação para prever grupos funcionais baseados em semelhanças no uso do habitat e morfologia.

Apesar de existirem vários estudos de correlações entre o uso de habitat e os caracteres morfológicos para as espécies neotropicais, não há informações da relação funcional entre a variação na morfologia e no desempenho natatório. *Leporinus elongatus* (Anostomidae) Valenciennes 1850, conhecida como piapara, e *Prochilodus lineatus* (Prochilodontidae) (Valenciennes, 1836), como curimba, espécies neotropicais da bacia do rio Paraná, são consideradas migradoras de longas distâncias, realizando deslocamentos ascendentes ao longo do rio Paraná para a reprodução (Agostinho *et al.*, 2003), porém, deparando em sua rota migratória com obstáculos a serem transpostos. Ambas as espécies tem sido registradas nos sistemas de transposição para peixes ao longo do rio Paraná, como a escada para peixes da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera (Makrakis *et al.*, 2007a) e o Canal da Piracema, um canal lateral a Usina Hidrelétrica de Itaipu (Makrakis *et al.*, 2007b). Assim, considerando que variações na morfologia podem afetar a habilidade de natação (habilidade para desempenhar manobras precisas, aceleração potente, custo energético para natação sustentada) (Webb, 1982), o presente estudo pretende avaliar as características morfométricas relacionadas ao desempenho natatório entre *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus*, as quais poderão subsidiar os estudos de capacidade natatória e o planejamento de futuros sistemas de transposição para peixes.

Material e Métodos

Coleta de dados e medições morfológicas

Para avaliar as características morfométricas relacionadas ao desempenho natatório entre *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus*, peixes adultos das espécies foram coletados na escada para peixes da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta, também conhecida como Porto Primavera, pertencente à Companhia Energética de São Paulo-CESP, situada no rio Paraná, na fronteira entre São Paulo e Mato Grosso do Sul, Brasil (Fig. 1). A escada para peixes foi construída no lado esquerdo da barragem, com 520 m de comprimento, constituída de cinquenta degraus-tanque, de 5 m de largura x 2 m de altura, permitindo que os peixes alcancem o reservatório (para maiores detalhes consultar Makrakis *et al.*, 2007a).

As amostragens foram efetuadas no período de novembro de 2007 a janeiro de 2008 e em outubro de 2009, com o uso de redes de arrasto e tarrafa. Os peixes capturados foram anestesiados com benzocaína (250 mg/l) para medição do comprimento total, comprimento padrão e largura máxima do corpo, com o auxílio de um paquímetro digital de 0,01 mm de precisão.

Posteriormente, cada indivíduo foi fotografado digitalmente, com uso de câmera digital Sony Cyber-shot DSC-H50 15x, com zoom óptico de 9.1 megapixels, para a realização das medições dos dados morfológicos a partir das imagens digitais. As medidas foram tomadas para a aproximação de 0,1 mm, utilizando o *software* de análise de imagem UTHSCSA ImageTool 3.0.



Fig. 1. Localização da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera), no rio Paraná, Brasil.

Análises dos dados

Um total de 13 variáveis morfológicas foram analisadas (Tabela 1, Fig. 2), que incluíram medidas de comprimento (comprimento total, comprimento padrão, comprimento do focinho à base da nadadeira peitoral e comprimento da nadadeira caudal), largura (largura máxima do corpo), altura (altura máxima do corpo, altura do pedúnculo caudal e altura da nadadeira caudal) e área (área do corpo, área propulsora, área muscular, área da nadadeira caudal e área da nadadeira peitoral), para obtenção das razões morfométricas consideradas potencialmente importantes para descrever o desempenho de natação dos peixes (Fisher & Hogan, 2007; Nanami, 2007). As razões morfométricas incluíram: razão muscular (RM) (Fisher *et al.*, 2000), razão propulsora (RP) (Fisher *et al.*, 2000), razão fineza (RF) (Landweber, 1961; Webb, 1975; Blake, 1983), razão aspecto (RA) (Sambilay, 1990), fator altura do pedúnculo caudal (CPDF) (Weihs & Webb, 1986), razão comprimento da nadadeira caudal (RCNC) (Nanami, 2007), razão nadadeira peitoral (RNPt) (Gatz, 1979) e razão comprimento da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral (RCFNpt) (Nanami, 2007) (Tabela 2).

A Análise dos Componentes Principais (ACP) foi aplicada para verificar o padrão de diversificação morfológica entre as duas espécies de peixes migradoras de longa distância. A ACP foi aplicada sobre uma matriz de correlação obtida a partir de valores das oito razões morfométricas: razão muscular, razão propulsora, razão fineza, razão aspecto, fator altura do pedúnculo caudal; razão comprimento da nadadeira caudal; razão comprimento da nadadeira caudal e razão comprimento da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral, utilizando o *software* PC-ORD v.4.01 (McCune e Mefford, 1999). A seleção dos eixos para a interpretação foi realizada segundo o método de *Broken-Stick* (Jackson, 1993), efetuando-se uma correlação de Pearson e Kendall para confirmar as seleções das variáveis que influenciaram na formação dos eixos. Para avaliar diferenças significativas entre as oito razões morfométricas relacionadas ao desempenho natatório das duas espécies foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA) sobre os escores dos eixos retidos na ACP, utilizando o *software* Statistica v.7, considerando as medidas com diferenças significativas as que apresentaram $P < 0,05$.

Tabela 1. Descrição das medidas morfológicas realizadas em *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus*.

Medidas morfológicas	Sigla	Descrição
Comprimento Total	CT	Distância compreendida entre a ponta do focinho e o final da nadadeira caudal.
Comprimento Padrão	CP	Distância compreendida entre a ponta do focinho e o final do pedúnculo caudal.
Comprimento do Focinho à Base da Nadadeira Peitoral	CFNPt	Distância da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral
Comprimento da Nadadeira Caudal	CNC	Distância do final do pedúnculo caudal até sua extremidade mais posterior.
Largura Máxima do Corpo	LMCp	Maior distância horizontal perpendicular ao eixo longitudinal do corpo.
Altura Máxima do Corpo	ALMCp	Maior distância ventro–dorsal perpendicular ao eixo longitudinal do corpo.
Altura do Pedúnculo Caudal	ALPd	Menor altura do pedúnculo.
Altura da Nadadeira Caudal	ALNC	Maior distância vertical perpendicular ao eixo do seu comprimento.
Área do Corpo	ACp	Área em vista lateral excluindo as nadadeiras
Área Propulsora	AP	Área, incluindo as nadadeiras, mas excluindo a cabeça e a região do intestino onde são inflexíveis ou falta sobreposição muscular e não pode ser utilizado para a propulsão
Área Muscular	AM	Área excluindo as nadadeiras e a cabeça e a região do intestino
Área da Nadadeira Caudal	ANC	Área com a nadadeira caudal naturalmente e totalmente estendida
Área da Nadadeira Peitoral	ANPt	Área com a nadadeira peitoral naturalmente e totalmente estendida

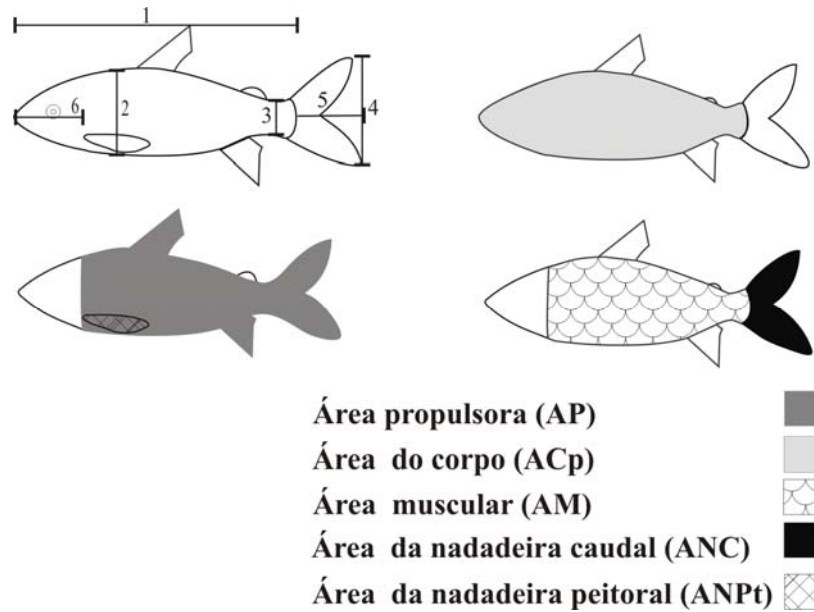


Fig. 2. Medidas morfológicas (1-6) e áreas relacionadas ao desempenho natatório (legenda) realizadas em *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus*: 1) comprimento padrão (CP), 2) altura máxima do corpo (ALMCp), 3) altura do pedúnculo caudal (ALPd), 4) altura da nadadeira caudal (ANC), 5) comprimento da nadadeira caudal (CNC) e 6) comprimento da ponta do focinho até a base da nadadeira peitoral (CFNPt). Área do corpo (ACp), Área propulsora (AP), Área muscular (AM), Área da nadadeira caudal (ANC) e Área da nadadeira peitoral (ANPt).

Tabela 2. Razões morfométricas calculadas para *Leporinus elongatus* e *Prochilodus lineatus*.

Razões morfométricas	Sigla	Fórmula
Razão Muscular	RM	AM/ACp
Razão Propulsora	RP	AP/ACp
Razão Fineza	RF	$CP/[(LCp+ALMCp)/2]$
Razão Aspecto	RA	$ALNC/ANC^{1/2}$
Razão Comprimento da Nadadeira Caudal	RCNC	CNC/CT
Fator Altura do Pedúnculo Caudal	CPDF	$ALPd/ALMCp$
Razão Comprimento da Nadadeira Peitoral	RNPt	$ANPt/ACp$
Razão Comprimento da Ponta do Focinho à Base da Nadadeira Peitoral	RCFNPt	$CFNPt/CT$

Resultados

Em relação aos valores médios das razões morfométricas para as espécies migradoras de longas distâncias analisadas, *P. lineatus* apresentou maiores médias para razão muscular, razão propulsão, razão aspecto e razão comprimento da nadadeira caudal (Tabela 3). Por outro lado, os valores médios da razão fineza, fator altura do pedúnculo caudal, razão da nadadeira peitoral e razão distância da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral foram maiores em *L. elongatus*.

Tabela 3. Valor médio das razões morfométricas para as espécies migradoras de longas distâncias analisadas.

Razões morfométricas	<i>L. elongatus</i>	<i>P. lineatus</i>
Razão Muscular (RM)	0,860	0,887
Razão Propulsora (RP)	1,091	1,109
Razão Fineza (RF)	4,679	4,018
Razão Aspecto (RA)	2,062	2,151
Fator Altura Pedúnculo Caudal (CPDF)	0,397	0,367
Razão Comprimento da Nadadeira Caudal (RCNC)	0,174	0,202
Razão Nadadeira Peitoral (RNPt)	0,031	0,027
Razão Distância da Ponta do Focinho à Base da Nadadeira Peitoral (RCFNPt)	0,193	0,153

A Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada para avaliar as oito razões morfométricas entre as duas espécies, *L. elongatus* e *P. lineatus*, revelou a formação de dois eixos com total de explicação de 66,66 % da variabilidade do conjunto de dados. Apenas o primeiro eixo (CP1) foi significativo, de acordo com o método de *Broken-Stick* (Tabela 4), com uma variabilidade de 47,76%, pois os demais eixos não apresentaram autovetores maiores do que o aleatorizado por *Broken-Stick*. As medidas que apresentaram valores de correlação maiores que 0,75 foram utilizadas para a interpretação, segundo a correlação de Pearson e Kendall. As variáveis que contribuíram para a formação do CP1, apresentando valores positivos, foram a razão fineza (RF) (0,884), fator altura do pedúnculo caudal (CPDF) (0,777) e a razão comprimento da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral (CFNPtR)

(0,889). As variáveis que correlacionaram negativamente foram a razão muscular (RM) (-0,773) e a razão comprimento da nadadeira caudal (RCNC) (-0,771) (Tabela 4).

Tabela 4. Autovalores da Análise de Componentes Principais (ACP) para as 8 razões morfométricas e os valores de correlação de Pearson e Kendall com ordenação dos eixos retidos na ACP. CP1=Eixo 1 da ACP; CP2=Eixo 2 da ACP; r= valor da correlação de Pearson; tau= tau de Kendall; r-sq= valor de r menos a soma dos quadrados. Os autovetores com valores mais elevados, foram selecionados para interpretar a ordenação das espécies no espaço morfológico multivariado, estão destacados em negrito.

Autovalores/Razões morfométricas	CP1	CP2	r	r-sq	tau
Autovalor	3,822	1,511			
Autovalor - <i>Broken-Stick</i>	2,718	1,718			
% de variabilidade explicada	47,769	18,893			
Razão Muscular (RM)	-0,3952	-0,3103	-0,773	0,597	-0,605
Razão Propulsora (RP)	-0,255	-0,5888	-0,498	0,248	-0,389
Razão Fineza (RF)	0,452	-0,1289	0,884	0,781	0,781
Razão Aspecto (RA)	-0,1222	0,2569	-0,239	0,057	0,057
Fator Altura do Pedúnculo Caudal (CPDF)	0,3974	-0,2245	0,777	0,604	0,604
Razão Comprimento da Nadadeira Caudal (RCNC)	-0,3943	-0,2154	-0,771	0,594	0,594
Razão Comprimento da Ponta do Focinho à Base da Nadadeira Peitoral (CFNPtR)	0,455	-0,132	0,889	0,791	0,791
Razão Comprimento da Nadadeira Peitoral (NPtR)	0,1979	-0,6002	0,387	0,150	0,263

A distribuição dos escores da ACP demonstrou que as duas espécies analisadas diferem morfológicamente, separando as espécies quanto as razões morfométricas relacionadas ao desempenho natatório. *P. lineatus* apresentou maiores valores para a razão muscular (RM) e razão comprimento da nadadeira caudal (RCNC). Já *L. elongatus*, com os escores positivos, apresentou maiores valores da razão fineza (RF) caracterizando um corpo mais fino, e uma

razão comprimento da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral (CFNPtR) e maior fator altura do pedúnculo caudal (CPDF) demonstrando que a espécie apresenta uma menor altura do pedúnculo caudal. A ANOVA aplicada sobre os eixos retidos na análise de componentes principais também revelou que *P. lineatus* diferiu significativamente de *L. elongatus* quanto às razões morfométricas relacionadas ao desempenho natatório ($F_{1, 78}=415, 08, p=0,0001$) (Fig. 3 e Fig. 4).

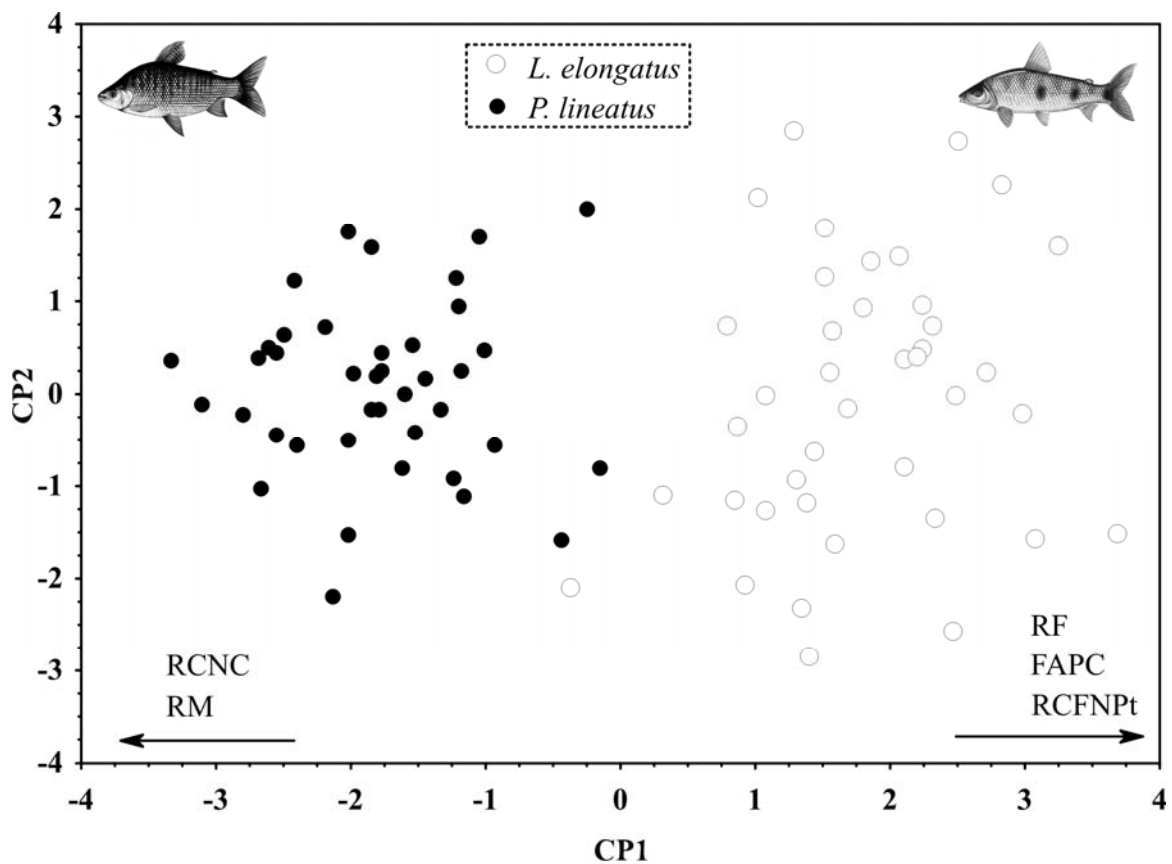


Fig. 3. Escores individuais da análise de componentes principais (ACP) evidenciando a variabilidade interespecífica entre as espécies migradoras de longas distâncias analisadas. RCNC= razão comprimento da nadadeira caudal; RM= razão muscular; RF= razão fineza; CPDF= fator altura do pedúnculo caudal e RCFNPt= Razão Distância da Ponta do Focinho à Base da Nadadeira Peitoral.

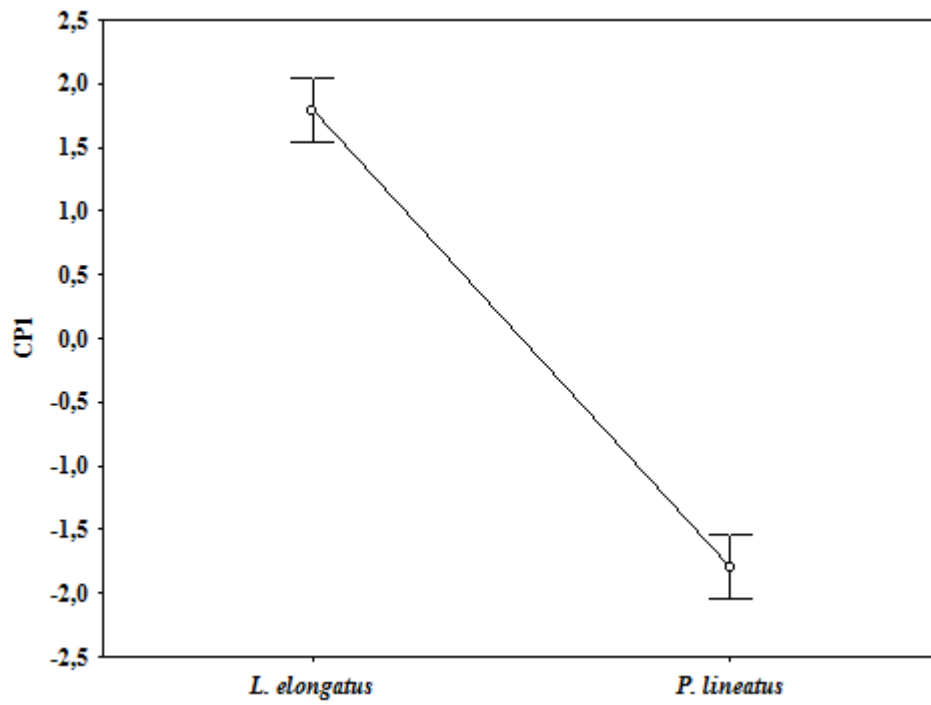


Fig. 4. Variação morfológica dos escores do primeiro eixo (CP1) da análise de componentes principais (ACP) para as espécies migradoras de longa distância analisadas (*L. elongatus* e *P. lineatus*).

Discussão

Muitos animais aquáticos apresentam a forma do corpo hidrodinâmica (fusiforme) o que confere um eficiente desempenho natatório, além de minimizar os custos de locomoção na água (Howell, 1930). Esta é teoricamente a forma ideal para locomoção em alta velocidade (Magnuson, 1978), caracterizando peixes com a altura máxima na parte anterior do corpo, um pedúnculo caudal relativamente fino, associada a uma nadadeira caudal alta, as quais amenizam as forças de oposição ao movimento, indicando peixes com natação periódica e sustentada (Keast & Weeb, 1969). As espécies estudadas, *L. elongatus* e *P. lineatus*, apesar de ambas possuírem a forma do corpo hidrodinâmica, são morfologicamente distintas.

Características morfológicas e a forma do corpo hidrodinâmica podem influenciar a habilidade natatória dos peixes (Videler & Wardle, 1991; Videler, 1993). O pedúnculo caudal fino apresentado por *L. elongatus*, pode gerar uma diminuição das ondas de turbulência causadas pelo deslocamento da parte anterior do corpo e, associado a uma nadadeira caudal alta, com extremidade inferior e superior fora da zona de turbulência, permite ao peixe aplicar maior força e propulsão (Breda *et al.*, 2005). Por outro lado, *P. lineatus* possui a maior altura máxima do corpo localizada na parte anterior, fazendo com que essa porção do corpo não oscile lateralmente durante a propulsão (Webb, 1984).

A maior razão muscular (RM) em *P. lineatus* foi determinante para a separação das espécies, conforme foi observado na ACP, mostrando que o curimba pode ser mais resistente em se manter em altas velocidades de água. Por apresentar uma maior razão muscular, essa espécie pode ser favorecida na realização de saltos e manter-se em condições de águas rápidas e turbulentas, possibilitando menor gasto energético devido a exibir um corpo maior e mais alto. Quanto mais aumenta o tamanho do corpo, o volume da massa muscular também aumenta, permitindo que os peixes alcancem velocidades mais altas durante a natação prolongada (Beamish, 1978). A maior razão propulsora (RP) também observada para esta espécie (1,109) está relacionada com a maior massa muscular (Fisher & Hogan, 2007). Ohlberger *et al.* (2006) mostraram que *Mugil cephalus cephalus* apresentava maior desempenho natatório, estando relacionado às suas características morfológicas, como a maior área muscular e maior área de propulsão, sugerindo que a maior capacidade de natação é em grande parte baseada no desenvolvimento de músculos e outras características relacionadas à locomoção. Estudos realizados por Fisher *et al.* (2000) evidenciaram resultados semelhantes

para três espécies de peixes de recifes (*Pomacentrus amboinensis*, *Sphaeramia nematoptera* e *Amphiprion melanopus*), onde a velocidade crítica de natação foi correlacionada com a maior área de propulsão.

Conforme evidenciado na ACP, a razão fineza foi uma variável que influenciou fortemente a diferenciação das duas espécies. A razão fineza diminuiu com o aumento da massa muscular dos peixes, uma vez que *P. lineatus* apresentou maior massa muscular. Dado que as espécies de peixes com razão fineza menores minimizam a resistência durante o giro sobre o eixo do corpo (Alexander, 1970), provavelmente *P. lineatus* apresenta maiores experiências de arrasto durante a manobra. Valores entre 2 a 6 para esta razão resultam numa redução do arrasto produzido pelo animal, sendo que espécies que apresentam valores em 4,5 apresentam uma ótima capacidade natatória (Von Mises, 1945; Blake, 1983; Webb, 1975). Resultado semelhante foi observado para *L. elongatus*, valor médio de razão fineza de 4,6, o que indica elevada capacidade natatória (Webb, 1975; Von Mises, 1945; Blake, 1983). Webb (1975) verificou que o valor que caracteriza a razão fineza, o qual causou uma diminuição do arrasto para a espécie *M. cephalus cephalus*, foi de 4,5, demonstrando que a espécie através dessa razão apresenta um melhor desempenho natatório. Estudos realizados com as espécies *Cyprinus carpio* e *Rutilus rutilus* para avaliar diferenças na eficiência de natação, demonstraram valores para a razão fineza abaixo de 4,5 para *Cyprinus carpio*, sendo que *Rutilus rutilus* apresentou valores mais elevados, caracterizando a espécie com a forma de corpo (hidrodinâmica) adequada ao desempenho natatório (Ohlberger *et al.*, 2006).

O fator altura do pedúnculo caudal (CPDF) está fortemente relacionado com a velocidade de natação (Fisher & Hogan, 2007), sendo uma variável importante para determinar a habilidade natatória em peixes. Esse fator foi também essencial para a diferenciação das espécies *L. elongatus* e *P. lineatus*, conforme mostrado nos resultados da ACP: *L. elongatus* apresentou maior valor médio para CPDF (0,39) em relação a *P. lineatus* (0,36). Valores semelhantes foram encontrados para as espécies *Leporinus obtusidens* e *P. lineatus* (0,40 e 0,37, respectivamente) por Carneiro (2003). De acordo com Gosline (1971), a força de propulsão está relacionada à largura do pedúnculo caudal, sendo que o pedúnculo caudal fino causa diminuição das ondas provocadas pela movimentação na região anterior do corpo em associação com uma nadadeira caudal alta, promovendo maior força de propulsão (Aleev, 1969). Um pedúnculo caudal estreito caracteriza peixes tuniformes, que utilizam a nadadeira caudal para gerar impulso para produzir alta velocidade em cruzeiro (Webb, 1984; Webb & Weihs, 1986). Baixos valores do fator altura pedúnculo caudal indicam alta manobrabilidade (Winemiller, 1991; Willis *et al.*, 2005; Oliveira, 2005).

A razão comprimento da nadadeira caudal (RCNC) foi determinante para a diferenciação de *L. elongatus* (0,174) e *P. lineatus* que apresentou maior valor médio dessa razão (0,202), mostrando que esta espécie apresenta maior comprimento da nadadeira caudal, conforme foi mostrado nos resultados da ACP. No entanto, *P. lineatus* apresentou maior razão comprimento nadadeira caudal e conseqüentemente maior razão aspecto. Áreas maiores da nadadeira caudal são importantes para a aceleração (Balon, *et al.*, 1986) e, de acordo com Videler (1993), a razão da nadadeira caudal foi identificada como significativamente relacionada com o desempenho natatório, tendo conseqüências importantes para o impulso e redução do arrasto em peixes.

Em relação a razão aspecto, não ocorreu uma diferenciação entre as espécies analisadas. No entanto, *P. lineatus* apresentou maior valor médio para esta razão (2,15), indicando ser uma espécie de peixes nadadores ativos e contínuos, os quais apresentam tendência a bifurcações da caudal e redução de sua área (Gatz, 1979a; Balon, *et al.*, 1986). Por outro lado, *L. elongatus* apresentou menores valores para a razão aspecto (2,06).

A razão nadadeira peitoral (RNPt) e a razão comprimento da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral (RCFNPt) são utilizadas para prever a habilidade de posicionamento entre as espécies de peixes, sendo avaliada pela utilização das suas nadadeiras peitorais para realizar movimentos como girar, mudar de posição (Nanami, 2007). Existindo, no entanto fortes correlações entre as formas das nadadeiras e, forma do corpo com as habilidades locomotoras e a utilização de microhabitats (Keast & Webb, 1966). A razão distância da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral foi importante para a distinguir as duas espécies estudadas conforme evidenciado na ACP: *L. elongatus* apresenta as nadadeiras peitorais localizadas mais próximas ao centro de gravidade do corpo do peixe, fazendo que o peixe movimente seu corpo mais facilmente (Nanami, 2007), podendo exibir maior habilidade de posicionamento. Por outro lado, um valor mais baixo, como observado para *P. lineatus*, indica que a nadadeira peitoral está localizada distante do centro de gravidade, resultando em maior força de arrasto enquanto o peixe se move (Nanami, 2007). Os maiores valores para a razão da nadadeira peitoral (RNPt) estão associados à maior velocidade de natação (Breda *et al.*, 2005). Valores altos da razão da nadadeira peitoral indicam nadadeiras longas e estreitas, presentes em grandes migradores (Keast & Webb, 1966). No entanto, essa razão morfológica relacionada à locomoção não foi uma variável que influenciou a separação das duas espécies estudadas.

Concluindo, as espécies estudadas diferiram quanto às características morfométricas relacionados ao desempenho natatório, como a razão muscular, razão comprimento da

nadadeira caudal, fator altura do pedúnculo caudal, razão distância da ponta do focinho à base da nadadeira peitoral e razão fineza. Ambas têm um bom desempenho natatório, porém elas exibem comportamentos diferenciados. *Prochilodus lineatus* apresenta corpo mais alto e com maior massa muscular (RM) favorecendo a realização de saltos, comportamento típico da espécie. Já *L. elongatus*, que salta em menor frequência, apresentou um pedúnculo caudal mais fino e uma maior razão fineza, características que possibilitam aplicar maior força e propulsão, permitindo a espécie alcançar uma locomoção de alta velocidade, e evidenciando através dessa diferenciação morfológica um melhor desempenho em relação a *P. lineatus*. Essas razões morfométricas podem ser utilizadas para predizer o desempenho natatório das espécies estudadas. Ressalva-se, no entanto, a necessidade da realização de estudos relativos a levantamento da capacidade natatória (testes de velocidade prolongada e de explosão) para predizer se as espécies apresentam diferenças nas velocidades de natação/capacidade natatória, uma vez que o caráter preditivo deste tipo de abordagem forneceria maior precisão às análises, além de contribuir, de modo significativo, para subsidiar a ausência de informações básicas sobre a biologia de nossas espécies migradoras neotropicais. O sucesso das passagens para peixes pode ser aumentado, considerando as informações reportadas neste estudo, uma vez que características básicas como o desempenho natatório das espécies neotropicais não tem sido levado em conta quando da concepção de sistemas de transposição para peixes na América do Sul.

Referências Bibliográficas

Aedo, J. R. 2008. Does Shape Predict Performance? An Analysis of Morphology and Swimming Performance in Great Basin Fishes. Thesis (Master of Science)- Faculty of Brigham Young University, Provo, Utah. 52 p.

Agostinho, A. A., L. C. Gomes, H. I. Suzuki & H. F. Júlio Jr. 2003. Migratory fishes of the Upper Paraná River Basin Brazil. Pp. 19-89. In: Carolsfeld, J., B. Harvey, C. Ross & A. Baer (Eds.). Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status. Vitoria: World Bank, 372p.

Alexander, R.McN. 1974. Functional design in fishes. London, UK: Hutchinson Publishers.

Allev, Y. G. 1969. Function and Gross Morphology in Fish. Jerusalem, Program for Scientific Translations, 230 p.

Bainbridge, R. 1960. Speed and stamina in three fish. *Journal of Experimental Biology*, 37(1): 129 -153.

Balon, E.K.; Crawford, S.S.; Lelek, A. Fish communities of the upper Danube River (Germany, Austria) prior to the new Rhein-Main-Donan connection. *Environmental Biology of Fishes.*, v.15. p. 243-271. 1986.

Bandyopadhyay, P.R., J. M. Castano, J. Q. Rice, R. B. Phillips, W. H. Nedderman & W. K. Macy. 1997. Low-speed maneuvering and hydrodynamics of fish and small underwater vehicles. *Journal of Fluids Engineering*, 119(11): 136-144.

Beamish, F. W. H. 1978. Swimming capacity. In. Hoar, W. S. & D. J. Randall (Ed.). *Fish Physiology*. New York, Academic Press, Pp.101-187. 576p.

Blake, R. W. 1983. Functional design and burst-and-coast swimming in fishes. *Canadian Journal of Zoology*, 61: 2491–2494.

Blake, R. W. 2004. Fish functional design and swimming performance. *Journal of Fish Biology*, 65: 1193-1222.

Breda, L., Oliveira, E. F. and Goulart, E. 2005. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. *Acta Scientiarum*, 27(4): 371-381.

Carneiro, S. C. 2003. Aspectos anatômicos relacionados à natação e à alimentação de nove espécies de peixes characiformes coletados nos rios Piracicaba e Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas)- Instituto de Biociências, UNESP - Rio Claro. 105p.

- Fisher, R., Bellwood, D. R. and Job, S. D. 2000. The development of swimming abilities in reef fish larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 202: 163-173.
- Fisher, R. and Bellwood, D. R. 2003. Undisturbed swimming behaviour and nocturnal activity of coral reef fish larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 263: 177-188.
- Fisher, R. & J.D. Hogan. 2007. Morphological predictors of swimming speed: a case study of pre-settlement juvenile coral reef fishes. *The Journal of Experimental Biology*, 210(14): 2436-2443.
- GATZ, Jr., A.J. 1979a. Ecological morphology of freshwater stream fishes. *Tulane Stud. Zool. Bot.*, v. 21, n.2 p. 91-124,
- Gatz Jr., A.J. 1979b. Community organization in fishes as indicated by morphological features. *Ecology*, 60(4): 711-718.
- Gerstner, C. L. 1999. Maneuverability of four species of coral-reef fish that differ in body and pectoral-fin morphology. *Canadian Journal of Zoology*, 77(7): 1102-1110.
- Gosline, W. A. 1971. Functional morphology and classification of Magnuson fishes. Honolulu: University Press of Hawaii. 208p.
- Hammer, C. 1995. Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 112(1): 1-20.
- Howell AB. 1930. Aquatic mammals. Charles C Thomas, Springfield, IL.
- Jackson, D. A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, 74: 2204-2214.
- Keast, A. & D. Webb. 1966. Mouth and body form relative to feeding ecology in the fish fauna of a small lake, Lake Opinicon, Ontario. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 23(12): 1845-1874.
- Landweber, L. Motion of immersed and floating bodies. In: Streeter, V. L. (ed.): *Handbook of Fluid Dynamics*. McGraw-Hill Book Co., New York. 1961.
- Lauder, G. V. 1996. The argument from design, p. 55-91. In Rose, M. R. and Lauder, G. V. (eds.), *Adaptation*. Academic Press, San Diego, California.
- Magnuson, J. J. 1978. Locomotion by scombrid fishes: hydrodynamics, morphology and behaviour. In *Fish Physiology*, vol. 7 (ed. W. S. Hoar and D. J. Randall), London: Academic Press, 239-313.
- Makrakis S, Makrakis M. C, Wagner RL, Dias JHP, Gomes LC. 2007a. Utilization of the fish ladder at the Engenheiro SergioMotta Dam, Brazil, by long distance migrating potamodromous species. *Neotropical Ichthyology*, 5: 197-204.

- Makrakis S, Gomes L. C, Makrakis MC, Fernandez, DR, Pavanelli, CS. 2007b. The Canal da Piracema as a fishpass system. *Neotropical Ichthyology*, 5:185-195.
- McCune, B.; Mefford, M. J. 1999. PC-ORD: Multivariate analysis of ecological data. Version 4.01. Oregon, MjM Software Design.
- Nanami, A. 2007. Juvenile swimming performance of three fish species on an exposed sandy beach in Japan. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 348(11): 1-10.
- Ohlberger, J., G. Staaks & F. Hölker. 2006. Swimming efficiency and the influence of morphology on swimming costs in fishes. *Journal of Comparative Physiology B*, 176: 17-25.
- Oliveira, E. F. 2005. Padrões ecomorfológicos ea Assembléia de eixos da elanície de inundação do Alto Rio Paraná, Brasil. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientas Aquáticos Continentais). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, Paraná, Brasil. 68p.
- Plaut, I. 2001. Critical swimming speed: its ecological relevance. *Comparative Biochemistry Physiology*, 131(1): 41-50.
- Sambilay, V. C. Jr. 1990. Interrelationships between swimming speed, caudal fin aspect ratio and body length of fishes. *Fishbyte*, 8(3): 16-20.
- Scarnecchia, D. L. 1988. The importance of streamlining in influencing fish community structure in channelized and unchannelized reaches of a prairie stream. *Regulated Rivers: Research and Management*, 2(2): 155–166.
- Videler, J. J. & C. S. Wardle. 1991. Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1(1): 23-40.
- Videler, J. J. 1993. *Fish Swimming*. Chapman and Hall, London, New York.
- Von Mises, R. 1945. *Theory of Flight*. Dover Books, New York.
- Webb, P. W. 1975. Hydrodynamics and energetics of fish propulsion. *Bulletin of the fisheries research board of Canada*, 190: 1-158.
- Webb, P. W. 1982. Fast-start resistance of trout. *Journal of Experimental Biology*, 96: 93-06.
- Webb, P. W. 1984. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*.vol, 24,:107-120.
- Webb, P. W. & D. Weihs. 1986. Functional locomotor morphology of early life history stages of fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115: 115-127.
- Willis, S. C., Winemiller, K. O. & Lopez-Fernandez, H. 2005. Habitat structural complexity and morphological diversity of fish assemblages in a Neotropical floodplain river. *Oecologia*, 142, 284-295.
- Winemiller, K. O. 1991. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. *Ecological Monographs*, 61(4): 343-365.

