

# Velocidade máxima de nado e possível desdobramento para o cálculo do tempo de resistência para peixes migratórios neotropicais.

Maurea Nicoletti Flynn

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, mestrado e doutorado em Oceanografia Biológica pela Universidade de São Paulo e pós-doutorado em ecologia aplicada e experimental pelo programa recém doutor do CNPq, Universidade de São Paulo. Foi coordenador do Curso de Engenharia Ambiental das Faculdades Oswaldo Cruz e Coordenadora de Pesquisas na Escola Superior de Química das Faculdades Oswaldo Cruz. Professor adjunto do curso de graduação em Ciências Biológicas e de pós-graduação em Biodiversidade da Universidade Presbiteriana Mackenzie. É atualmente professor credenciado do curso de pós graduação em tecnologia ambiental da FT-Limeira-UNICAMP. E-mail: maureaflynn@gmail.com

William Roberto Luiz Pereira

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Especialista em Biomatemática. Tem interesse na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia Teórica, Dinâmica Populacional e índices biológicos, tendo preferência aos seguintes temas: Alometria, Modelos Matemáticos Aplicados a Ecologia, Ecotoxicologia. Consultor da Bio.Sensu – Consultoria Ecológica. E-mail: william\_roberto\_luiz@hotmail.com

**Resumo**

Os impactos negativos decorrentes da construção de barragens referem-se a alterações introduzidas no ambiente hídrico para retenção da água, que na maioria das vezes são intransponíveis pela fauna aquática, em particular peixes. Para mitigar os efeitos sobre a ictiofauna migratória mecanismos de transposição são construídos sendo que para adequá-los a ictiofauna local é necessário que se conheça a velocidade máxima que os peixes podem desenvolver e o tempo que conseguem mantê-la, a chamada resistência de nado. Este trabalho sugere adequação das equações de Wardle-Yingqi-Beach para espécies de peixes neotropicais.

**Palavras-chave**

Peixes neotropicais, velocidade máxima de nado, tempo de resistência, equações de Wardle-Yingqi-Beach

**Abstract**

The negative impacts of dam construction refer to changes in the water environment resulting from the construction of a barrier on the river bed which retains water and is often impassable for aquatic fauna, particularly migratory fish. To facilitate faunal passage, transponder systems are implemented. For dimensioning fish ways it is necessary to know the fish swimming capacity, which includes swimming velocity and time resistance. Here an adaptation of the Wardle-Yingqi-Beach equations for Neotropical fish species is suggested.

**Key-words**

Neotropical fish, maximum fish swimming capacity, resistance time, Wardle-Yingqi-Beach equations

## Introdução

A ictiofauna neotropical de água doce é considerada uma das mais diversificadas e ricas do mundo, já contando com mais de 2400 espécies descritas (Lowe-McConnell, 1999). Com relação à estratégia de vida, a maioria das espécies que compõem a ictiofauna das bacias hidrográficas das regiões Sul e Sudeste do Brasil é considerada sedentária e de pequeno porte. Entretanto, as espécies migradoras, de médio e grande porte, historicamente vêm sustentando as modalidades de pescarias de subsistência, comerciais e recreativas (Agostinho et al. 2007).

Atualmente, muito se discute sobre as causas que diretamente agem sobre a progressiva diminuição das populações de peixes fluviais no Brasil, quando não, extinção de espécies. Segundo Paiva et al. (2002), há fatores que atuam por causas naturais ou resultantes de ações antrópicas, sendo os últimos relacionados principalmente ao represamento de rios, desmatamento ciliar, destruição de lagoas e alagados marginais, poluição, introdução de espécies exóticas, e sobrepesca.

As barragens constituem obstáculo à livre circulação da ictiofauna e podem até comprometer a continuidade de certas espécies, uma vez que impedem o acesso dos peixes a locais essenciais para o desempenho de determinadas funções biológicas, como por exemplo, a reprodução (Santo, 2005).

Para mitigar o problema de mecanismos de transposição diversos são construídos. Para adequação destes a ictiofauna migratória é necessário que se conheça a velocidade máxima que determinada espécie de peixe pode desenvolver e o tempo de manutenção desta, a chamada resistência de nado. Este trabalho sugere adequação das equações de Wardle-Yingqi-Beach para espécies de peixes neotropicais.

## Desenvolvimento conceitual

Bainbridge (1957) definiu que a velocidade com que um peixe nada depende da forma do seu corpo, da textura de sua superfície, do seu tamanho e da frequência e amplitude do movimento de sua cauda (do movimento ondulatório ou do movimento das nadadeiras). Encontrou uma relação linear entre a frequência do movimento caudal e as velocidades realizadas, e que peixes maiores nadam mais rápido que peixes menores, fato evidenciado pela inclinação da reta que diminui com o tamanho do peixe. O autor concluiu que a velocidade é relacionada com o comprimento do peixe e frequência e amplitude do movimento caudal de maneira idêntica para diferentes espécies.

Wardle (1975) formalizou o problema A velocidade de um peixe ( $U$ ) é proporcional ao seu tamanho corporal ( $L$ ) e a frequência do movimento

caudal ( $f$ ), ou seja,  $U \propto Lf$ . Em velocidade constante, essa relação é expressa por

$$U(L, f) = KLf \quad (1)$$

onde a constante  $K$  é chamada de coeficiente de nado. A dimensão de  $U$  ficou definida em números de tamanhos corporais movidos em 1 segundo.

O problema dos peixes de pequeno porte foi analisado por Wardle (1975) ao notar que os indivíduos menores que 10 cm alcançavam velocidade de nado equivalente a 25L/s (comprimentos por segundo), mas os maiores que 100 cm eram incapazes de exceder 4L/s (comprimentos por segundo). Isto porque ao se estimular fibras musculares brancas (fibras que compõem a musculatura rápida dos peixes) por um único impulso elétrico, os peixes com 20 cm de tamanho corporal tinham tempo de contração muscular mais curto que 0,02s enquanto os com 80cm, de 0,05. Com essa evidência, Wardle definiu que o modo mais eficiente para se executar o nado mais rápido (condicionado pelo tempo mínimo de contração) ocorre quando o miótomo do lado esquerdo do peixe está começando a relaxar e o miótomo do lado direito está começando a contrair. Então uma onda corporal seria completada num tempo igual a duas vezes o menor tempo da musculatura mais rápida. Wardle generalizou o coeficiente de nado observando o peixe em nado estacionário, onde a velocidade de uma onda para trás é proporcional a velocidade de uma onda para frente e a distância movida para frente, cuja propulsão é fornecida por um movimento caudal completo, é de 0,7L (0,7 vezes o seu comprimento). A velocidade máxima que um peixe poderia executar foi então equacionada como

$$U_{max}(L, t_{mus}) = 0,7L/2t_{mus} \quad (2)$$

sendo  $t_{mus}$  o tempo de contração muscular.

Usando videocâmaras, Wardle (1975) confirmou seu equacionamento registrando o nado de peixes, notando que tanto a temperatura como o tamanho corporal afeta o tempo de contração da musculatura rápida usada no nado.

Conhecendo as variáveis que regulam uma contração muscular, Wardle mediu o tempo de contração da musculatura branca em diferentes tamanhos corporais, mostrando a existência de uma relação de escala entre o tempo de contração e o tamanho corporal (Wardle, 1975), ou seja,

$$t_{mus}(L) = cL^q \quad (3)$$

e para 15°C surgiu  $c = 0,0072$  e  $q = 0,4288$ .

A equação (3) faz parte do rol de equações biológicas conhecidas como equações alométricas, descritas pela forma geral

$$Y(M) = aM^b \quad (4)$$

onde  $Y$  é uma variável biológica de interesse,  $M$  é o tamanho do organismo mensurado pelo seu peso ( $M$ ) ou comprimento ( $L$ ),  $a$  é uma constante de normatização e  $b$  é um expoente alométrico. Essas equações tem alcançado um destaque importante na biologia (ver Brown et al., 2004), cujos

expoentes prevaletentes são múltiplos de 1/4 (Savage et al., 2004; Marquet et al., 2005).

Para algumas regras alométricas a constante de normalização e o expoente são explicados (West et al., 1997) e fervorosamente debatidos (ver Etienne et al., 2006).

As relações alométricas também direcionam a atenção ao problema do nado em peixes. Goolish (1991) descreveu algumas delas (potência necessária para vencer a resistência durante a velocidade de explosão, potência máxima depreendida da musculatura vermelha, e outras, todas em função do comprimento  $L$ ), porém não se verificou nenhuma explicação biológica para a constante e expoente da equação (4).

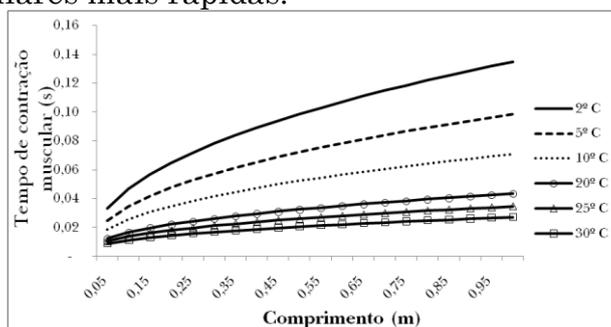
Yingqi (1982) encontrou a fórmula empírica que fornece o menor tempo de contração muscular em função do comprimento do peixe (para  $L$  em cm) e da temperatura muscular  $T_{mus}$ , considerando 276 medidas de  $t_{mus}$  para seis espécies de peixes que variavam entre  $5 < L < 80$  cm em temperaturas entre  $2^{\circ}\text{C} < T_{mus} < 30^{\circ}\text{C}$ :

$$t_{mus}(T_{mus}, L) = 0,0236 L^{0,4288} + 0,0028 \ln(T_{mus}) - 0,0059 \ln(T_{mus}) L^{0,4288} - 0,0077 \quad (5)$$

e Beach (1984) a transformou para  $L$  em metros:

$$t_{mus}(T_{mus}, L) = 0,1700 L^{0,4288} + 0,0028 \ln(T_{mus}) - 0,0425 \ln(T_{mus}) L^{0,4288} - 0,0077 \quad (6)$$

Observa-se na representação gráfica da equação (5) de Beach (1984) (Figura 1) que o tempo de contração aumenta com o tamanho do peixe (e por isso peixes maiores são mais lentos, confirmando Wardle, 1975) e conforme aumenta a temperatura, o tempo de contração diminui, fazendo com que um peixe de mesmo tamanho submetido a temperaturas mais altas desenvolva contrações musculares mais rápidas.



**Figura 1. Tempo de contração muscular em função do comprimento a diferentes temperaturas (2, 5, 10, 20, 25 e 30° C) (Beach 1984).**

Entretanto, conhecer somente a velocidade máxima que um peixe pode desenvolver não é o suficiente. É necessário conhecer também o tempo que o peixe consegue mantê-la, a dita resistência de nado, que depende da energia muscular estocada necessária para executar o nado em velocidade constante (Figura 2).

A energia de contração depende do glicogênio estocado nas células musculares e metabolizado pela Via do Glicogênio e a musculatura branca recupera o estoque de glicogênio lentamente. Peixes em repouso podem estocar por kg de massa muscular 10g/kg de glicogênio e o metabolismo de transformação glicogênio-ácido láctico produz 558 J (Joules) por grama de glicogênio. Portanto o valor máximo de energia estocada é de  $E_{max} = 5580$  J/kg. A energia mínima encontrada é de  $E_{min} = 674$  J/kg dado que foi observado um valor mínimo de 3g/kg de glicogênio por kg de massa muscular.

Já a contração dos músculos vermelhos aeróbicos depende do suplemento de gordura ou proteína estocada e do oxigênio disponível na água. O grau de desenvolvimento da musculatura vermelha varia de espécie para espécie, podendo tomar valores entre 300mg/O<sub>2</sub>/kg/hr até 2000mg/O<sub>2</sub>/kg/hr. Se 1mg de oxigênio pode despende 20J de energia, então a potência armazenada pela musculatura vermelha varia entre  $Pr_{300} = 1,67$ W/kg (Watts) e  $Pr_{2000} = 11,1$ W/kg.

Yingqi (1982) definiu  $Pc$  como o potencial químico por unidade de peso necessário para garantir a velocidade máxima de nado pelo estoque de glicogênio na musculatura branca e  $Pr$  como o suprimento pela musculatura vermelha através da tomada do oxigênio da água através do processo de respiração. Sabendo que o suprimento energético vem de ambas as musculaturas, sendo a contribuição energética da musculatura vermelha muito baixa, o tempo de resistência foi medido como:

$$t_{resist} = \frac{E}{(Pc - Pr)} \quad (7)$$

sendo  $t$  medido em segundos (s).

Para calcular  $Pc$  e  $Pr$ , Yingqi partiu de princípios físicos (força de arrasto  $R$ , que depende da forma do peixe, da sua área corporal, da densidade da água e de outros parâmetros), onde a potência efetiva seria  $Pw = RU$ , sendo  $R$  a força de arrasto. Depois foram inseridos outros conceitos físicos, como trabalho, número de Reynolds, velocidade cinemática, eficiência do propelente, etc. E a partir de uma série de derivações, Yingqi encontrou as equações de  $Pc$  para fluxo laminar e turbulento:

$$Pc_{lam}(T, U_{max}, L) = 0,3294 \exp^{-0,01305T} (U_{max})^{2,8} 2,5L^{-1,45} \quad (8)$$

$$Pc_{turb}(T, U_{max}, L) = 0,9751 \exp^{-0,00533T} (U_{max})^{2,8} 2,5L^{-1,45} \quad (9)$$

onde o potencial químico  $Pc$  depende do número de Reynold, que revela o comportamento do fluxo de água onde o peixe está inserido. Portanto, Yingqi (1982) foi capaz de derivar uma relação que permite medir o tempo de resistência de nado a partir de restrições físicas, químicas e biológicas.

Estudando o salmão *Oncorhynchus nerka* Beach (1984) considerou que a energia máxima estocada por este era de  $E = 1790$ J/kg de massa muscular. Para calcular  $E$  contido em todo o tamanho corporal do peixe, ele

se utilizou de uma outra alometria comum na biologia da pesca conhecida como relação peso-comprimento ou lei cúbica, descrita na forma:

$$W(L) = aL^b \quad (10)$$

concluindo que  $E = E(L)$ . A equação (10) permite que seja conhecido o peso do peixe por seu comprimento e estes determinados, novamente, por uma constante de normalização e um expoente específico.

Para os estudos com salmão, Beach usou a fórmula  $W = 10,836L^{2,964}$ , de maneira que a energia máxima estocada fosse função do comprimento do peixe,

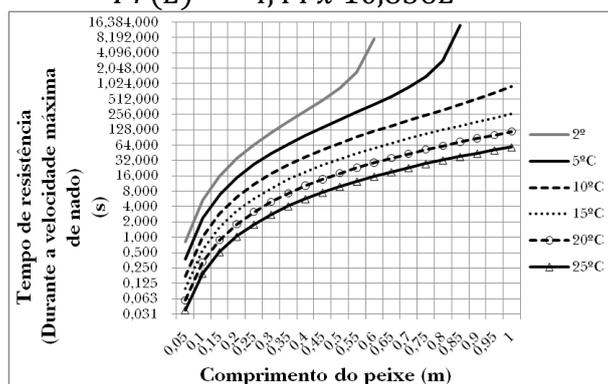
$$E(L) = 1790 \times 10,836L^{2,964}$$

É proposto aqui:

$$E(L) = 1790 \times aL^b \quad (11)$$

Para o potencial máximo de retirada de oxigênio, Beach (1984) considerou que o salmão era capaz de retirar 800mg/O<sub>2</sub>/kg/hr, salientando que a unidade de massa considerada correspondia à massa total do peixe, não a massa muscular. Se 1mg de oxigênio realiza 20 J de energia, a potência fornecida pela musculatura vermelha no nado aeróbico seria de  $Pr_{salmão} = 4,44W/kg$  de massa de peixe. E mais uma vez Beach utilizou a relação peso-comprimento do salmão  $W = 10,836L^{2,964}$ , tornando-se

$$Pr(L) = 4,44 \times 10,836L^{2,964}$$



**Figura 2. Representação gráfica do tempo de resistência de nado segundo a fórmula de Wardle-Yingqi-Beach submetido a diferentes temperaturas.**

Considerando as proposições acima, sugerimos que:

$$Pr(L) = Pr_{espécie} \times W(L)$$

$$Pr(L) = Pr_{espécie} \times aL^b \quad (12)$$

onde a equação (12) seja espécie-específica, como a equação (11).

Froese (2006) realizou uma meta-análise da relação peso-comprimento, que surge da relação de escala  $W = aL^b$  quando se relaciona graficamente o peso e o comprimento de diversos peixes coletados a partir de uma amostra da população. O expoente fica em torno de  $b = 3$  (e por isso essa relação alométrica é conhecida como lei cúbica) quando os pontos observados são ajustados numa curva-potência. Esse valor é normalmente

distribuído (Froese, 2006) e para uma dada amostragem de peixes o expoente é classificado como alométrico negativo (quando  $b < 3$ ), isométrico (quando  $b = 3$ ) ou alométrico positivo (quando  $b > 3$ ). Ao analisar 3929 registros de relações peso-comprimento para 1773 espécies, os valores assumiram um espectro de  $1,96 < b < 3,94$ . Uma variedade de estudos busca compreender os fatores fisiológicos e ecológicos reguladores de  $b$ .

Para peixes coletados em campo as relações peso-comprimento podem ser obtidas, revelando a constante de normatização e o expoente característico. Para uma mesma espécie de peixe, essa relação alométrica pode diferir substancialmente de um estudo para outro e os motivos para essa variação, manifestada em diferenças na constante e no expoente, podem ser gerados por causas biológicas, de procedimentos metodológicos e estatísticos. As fontes de variabilidade são apontadas por Kimmerer et. al. (2005).

Yingqi (1982) já havia apontado que o oxigênio consumido depende da espécie em questão, além de fatores ambientais, como a disponibilidade de oxigênio dissolvido na água (Kramer, 1987). Para fins práticos, consideremos que o cálculo de  $Pr$  deva ser mensurado a partir da capacidade que determinada espécie possua de fazer essa retirada em experimentos controlados.

Podemos definir que  $Pc$  é condicionado pela temperatura muscular branca, pelo tamanho do peixe e por sua velocidade máxima;  $Pr$  depende da relação peso-comprimento e da capacidade do peixe em retirar oxigênio da água e  $E$  depende da capacidade de estocagem de glicogênio massa muscular, que por sua vez depende da relação peso-comprimento.

*Mugil curema*, peixe que migra do mar em direção ao estuário e lagos durante a fase jovem, atinge a 20 °C, 180mg/O<sub>2</sub>/kg/hr de consumo de oxigênio, portanto,

$$Pr_{curema} = 20 \times 180 / 3600 = 1W/kg$$

Se considerarmos a relação peso-comprimento de indivíduos amostrados em Piaçaguera (Araujo et. al., 2011) utilizando o comprimento total (figura 3):

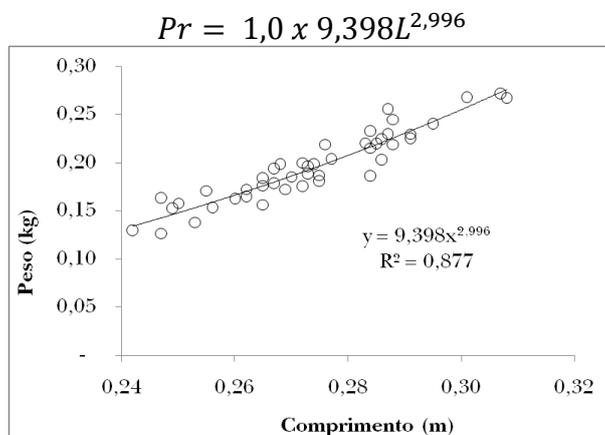


Figura 3. Relação peso-comprimento de *Mugil curema* de indivíduos amostrados em Piaçaguera, Cubatão, a partir de dados de Araujo et al. (2011), considerando o comprimento total como medida padrão. Por considerar esse modo de mensuração do comprimento e transformar as medidas de cm para m e g para kg, s valores de a e b não correspondem ao encontrado no trabalho.

Aplicando-se  $P_c$  regido por fluxo turbulento e  $E$  através do limite imposto por Beach (1984), ao ajustar-se a relação peso-comprimento teremos:

$$E(L) = 1790 \times aL^b = 1790 \times 9,398L^{2,996}$$

Na figura 4 estão apresentados os resultados calculados para o tempo de resistência de *M. curema* (dados de Araújo et al. 2011).

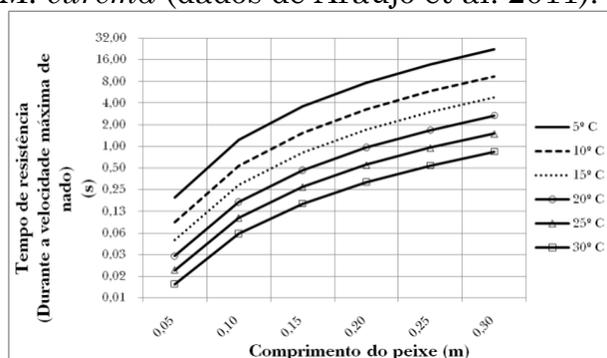


Figura 4. Tempo de resistência durante a velocidade máxima de nado de *M. curema* submetido a temperaturas de 5, 10, 15, 20, 25 e 30°C.

### Considerações

O cálculo da velocidade máxima de nado e do tempo de resistência a partir das fórmulas descritas acima tem aplicações práticas em problemas de transposição de barreiras introduzidas pelo represamento da água para utilização hidrelétrica (Armstrong et al., 2010). As fórmulas de Beach (1984), para cálculo da velocidade máxima de nado e tempo necessário para executá-lo, foram combinadas por Larinier (2002) que demonstrou a relação existente entre a velocidade máxima e tempo de resistência para diferentes tamanhos de peixes submetidos a diferentes temperaturas. Apesar das conhecidas limitações desses modelos, os mesmos foram aplicados para salmão, truta-marrom (*Salmo trutta morpha fario*) e truta-marinha (*S. trutta morpha trutta*) de regiões temperadas. Em tais estudos, assume-se que peixe de qualquer espécie desenvolverá velocidade máxima e terá tempo de resistência unicamente em função do seu comprimento e temperatura muscular, sem levar em conta as particularidades fisiológicas de cada espécie.

Experimentos em laboratório já foram realizados com uma série de espécies de peixes de regiões temperadas (Armstrong et al., 2010). Para peixes tropicais, Santos (2007) testou a capacidade natatória de alguns peixes sul-americanos representativos da fauna brasileira em túneis hidrodinâmicos: piau (*Leporinus reinhardti*), curimba (*Prochilodus costatus*) e mandi *Pimelodus maculatus*. Os gráficos para velocidade crítica (uma medida particular derivada da velocidade máxima) em função do comprimento total de peixes, quando logaritmizados, não apresentaram forte correlação linear (para as três espécies,  $R^2 < 0,50$ ), porém, quando comparados os dados obtidos para peixes de ambientes temperados (entre 25 e 27°C), os peixes sul-americanos apresentaram velocidades críticas maiores.

Ensaio laboratoriais em túneis hidrodinâmicos ainda são escassos, principalmente para espécies neotropicais apesar da legislação de alguns estados brasileiros obrigarem a implementação de mecanismos de transposição para peixes.

O cálculo de todos os parâmetros e variáveis envolvidas nesse fenômeno, apesar de partirem de premissas gerais, carece de particularidades características da espécie (relação peso-comprimento e capacidade de retirada de  $O_2$ ), como apontado no presente estudo, subestimando ou superestimando o tempo de resistência.

Além do mais, a fonte energética não tem origem apenas da reserva de glicogênio nos músculos. Ao medir a utilização energética total na corsula, (um outro mugilídeo), *Rhinomugil corsula*, Sukumaran e Kutty (1987) encontraram maiores quantidades de excreção de nitrogênio e amônia depois que os peixes foram submetidos a exercícios de nado intenso, indicando a utilização de proteínas durante a última fase do exercício.

Ao calcular  $E$  e  $Pr$ , Beach (1984) faz o ajuste para  $E(L)$  e  $Pr(L)$  usando a relação peso-comprimento  $W = aL^b$ , entretanto não deixa isso explícito. Portanto, sugere-se aqui que a energia estocada seja avaliada por  $E(L) = 1790 \times aL^b$ , sendo, que para maior precisão,  $E(L)$  seja espécie-específica, e que o potencial máximo de retirada de oxigênio seja calculado por  $Pr(L) = Pr_{espécie} \times aL^b$ , permitindo que a fórmula de Wardle-Yingqi possa ser aplicada a qualquer peixe.

Com essa extensão também é possível verificar se o tempo de resistência é passível de variação em função da relação peso-comprimento, refletida em diferenças na constante de normalização e no expoente de alometria. Ambos podem “incorporar” os efeitos do ambiente sobre a população-alvo, já que, para um determinado comprimento, o peso de um peixe pode variar como resultado de seu histórico alimentar e pela alocação de energia requerida para crescer e reproduzir. Conseqüentemente, esses parâmetros podem variar espacialmente (entre regiões) e temporalmente (entre estações) (Kimmerer et al., 2005).

È importante lembrar que  $E(L)$  calculado pode estar subestimado, pois essa variável considera apenas o estoque energético da reserva de glicogênio intramuscular  $E = 1790 \text{ J/kg}$  de músculo de peixe e isso é questionável, já que a distribuição de músculos ao longo de todo o corpo do peixe pode variar de espécie para espécie. Beach definiu esse valor considerando que um salmão de massa corporal média tem 50% do seu peso total reservado para musculatura e sem muitas justificativas, ele partiu de  $E_{max}=5580 \text{ J/kg}$  para  $E_{salmão}=1790 \text{ J/kg}$ .

### Bibliografia

AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; PETRY, A. C.; GOMES, L.C.; JULIO JUNIOR, H. F. (2007). *Fish diversity in the upper Parana River basin: habitats, fisheries, management and conservation*. Aquat. Ecosys. Health Manage 10(2): 174-186.

ARAUJO, C. C. ; FLYNN, M. N. ; PEREIRA, W. R. L. S. (2011). *Fator de condição e relação peso-comprimento de Mugil curema Valenciennes, 1836 (Pisces Mugilidae) como potencial bioindicador de contaminação por HPAs em ambientes estuários*. Revinter, 4: 51-64.

ARMSTRONG, G. S.; APRAHAMIAN, M. W.; FEWINGS, G. A.; GOUGH, P. J.; READER, N. A.; VARALLO, P. V. (2010). *Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales*. Environment Agency Rio House Waterside Drive, Aztec West Almondsbury, Bristol. BS32 4UD.

BAINBRIDGE, R. (1957). *The swimming of fish as related to size and to the frequency and amplitude of the tail beat*. J. Exp. Biol. 35: 109-33

BEACH, M. H. (1984). *Fish pass design - criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers*. Fish. Res. Tech. Rep., MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft (78), pp. 46.

BROWN, J. H.; GILLOOLY, J.F.; ALLEN, A. P.; SAVAGE, V. M; WEST, G. B. (2004). *Toward a metabolic theory of ecology*. Ecology. 85: 1771–1789.

ETIENNE, R. S., APOL, M. E. F. & OLFF, H. (2006). *Demystifying the West, Brown & Enquist model of the allometry of metabolism*. Funct. Ecol. 20: 394–399

FROESE, R. (2006). *Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations*. J. Appl. Ichthyol. 22: 241-253.

FROESE, R. and PAULY, D. (Eds). (2011). *FishBase. World Wide Web electronic publication*. www.fishbase.org, version (10/2011).

GOOLISH, E. M. (1991). *Aerobic and anaerobic scaling in fish*. Biol. Rev., 66: 33-56.

- KRAMER, D. L. (1987). *Dissolved oxygen and fish behavior*. Environ. Biol. Fish, 18: 81-92.
- KIMMERER, W.; AVENT, S. R.; BOLLENS, S. M. (2005). *Variability in length-weight relationships used to estimate biomass of estuarine fish from survey data*. T. Am. Fish. Soc., 134:481–495.
- LARINIER, M. (2002). *Biological factors to be taken into account in the design of fish passage facilities, the concept of obstructions to upstream migration*, pp28-38. In Larinier, M., Travade, F., Porcher., 2002: *Fishways: biological basis, design criteria and monitoring*. Bull. Fr. Peche Piscic., 364 suppl., 208p. ISBN 92-5-104665-4.
- LOWE-MCCONNELL, R. H. (1999). *Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais*. São Paulo, Ed. Edusp, 535p.
- MARQUET, P. A.; QUIÑONES, R. A.; ABADES, S.; LABRA, F.; TOGNELLI, M.; ARIM, M.; RIVADENEIRA, M. (2005). *Scaling and power-laws in ecological systems*. J. Exp. Bio., 208: 1749–1769.
- PAIVA, M.P.; ANDRADE-TUBINO, M.F.; GODOY, M.P. (2002). *As represas e os peixes nativos do Rio Grande: Bacia do Paraná, Brasil*. Rio de Janeiro. Ed. Interciência. 78p.

SANTO, M. (2005). *Dispositivos de passagem para peixes em Portugal*. *Direção-Geral dos Recursos Florestais*. Ed. Editideias, 135p.

- SANTOS, H. A. (2007). *A influência da capacidade natatória de peixes neotropicais no projeto hidráulico de mecanismos de transposição*. Tese de doutoramento, Universidade Federal de Minas Gerais.
- SAVAGE, V. M.; GILLOOLY, J. F.; WOODRUFF, W. H.; WEST, G. B.; ALLEN, A. P.; ENQUIST, B. J.; BROWN, J. H. (2004) *The predominance of quaternary-power scaling in biology*. *Funct. Ecol*, 18: 257–282.
- SUKUMARAN, N. and KUTTY, M. N. (1987). *Energy utilization in freshwater mullet, *Rhinomugil corsula* (Hamilton) under exercise*. Proc. Indian Acad. Sci. (Anim. Sci.), 96 (6): 705-714.
- WARDLE, C. S. (1975). *Limits of fish swimming speed*. *Nature*, 225: 725-727.
- WEST, G. B., BROWN, J. H. & ENQUIST, B. J. (1997). *A general model for the origin of allometric scaling laws in biology*. *Science*, 276: 122–126.
- YINGQI, Z. (1982). *The swimming behaviour of fish in towed gears; a re-examination of the principles*. *Scott. Fish. Work. Pap., Dept. Agric. Fish. Scotl.*, 4: 1-55.