

## Estimativas do Tamanho do Estoque de algumas Espécies de Peixes Comerciais da Amazônia a partir de Dados de Captura e Esforço

Urbano Lopes da Silva Júnior<sup>1,4</sup>, Marcelo Bassols Raseira<sup>1</sup>, Mauro Luis Ruffino<sup>2</sup>, Vandick da Silva Batista<sup>3</sup> & Rosseval Galdino Leite<sup>4</sup>

Recebido em 08/09/2016 – Aceito em 15/02/2017

**RESUMO** – A pesca é uma atividade que demanda a aplicação prática das teorias de ecologia de populações. Assim, estimar corretamente o tamanho dos estoques pesqueiros é fundamental para que os mesmos sejam manejados de forma adequada. Para isto, um dos parâmetros fundamentais é a capturabilidade ( $q$ ), frequentemente considerada constante, o que pode conduzir a avaliações equivocadas tanto para o potencial pesqueiro como para o estado de conservação dessas populações. Este trabalho procura utilizar um método baseado apenas em dados de captura e esforço para lidar com a variabilidade da capturabilidade de algumas espécies de peixes comerciais da Amazônia, a fim de estimar o tamanho de seus estoques e níveis atuais de exploração. Os valores de coeficiente de capturabilidade encontrados para as espécies estudadas variaram de  $2,8 \times 10^{-5}$  a  $1,3 \times 10^{-4}$ , e o valor encontrado na soma dos tamanhos dos estoques de peixes (*Colossoma macropomum*, *Semaprochilodus* spp., *Prochilodus nigricans*, *Triporthesus* spp., *Brycon* spp., *Myleus* spp., *Mylossoma* spp., *Hypophthalmus* spp., *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Pterygoplichthys pardalis* e *Cichla* spp.) foi de, aproximadamente, 600 mil toneladas. Implicações metodológicas para o contexto de dados escassos, estudos de capturabilidade, avaliação de estado de conservação das espécies e monitoramento da pesca serão discutidas neste artigo.

**Palavras-chave:** Amazônia; pesca; capturabilidade; biodiversidade aquática.

**ABSTRACT** – Fishing is an activity that demands the practical application of theories of population ecology, and correctly estimating the size of fish stocks is fundamental for them to be managed correctly. For this, one of the fundamental parameters is the catchability ( $q$ ), but it has often been considered a constant parameter, which can lead to erroneous evaluations both for the fishing potential and the state of conservation of these populations. This work aims to use a catch – and effort – based method to deal with the potential variability of the catchability of some commercial fish species in the Amazon in order to estimate the size of their stocks and their levels of exploitation. The catchability coefficient values found for the species studied (*Colossoma macropomum*, *Semaprochilodus* spp., *Prochilodus nigricans*, *Triporthesus* spp., *Brycon* spp., *Myleus* spp., *Mylossoma* spp., *Hypophthalmus* spp., *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Pterygoplichthys pardalis* and *Cichla* spp.) varied from

### Afiliação

- <sup>1</sup> Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Amazônica (CEPAM) / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Av. Rodrigo Otávio, N. 6.700, Manaus/AM, CEP: 69.077-000.
- <sup>2</sup> GSA Consultoria em Meio Ambiente LTDA, SAI 3, Lote 625, Bloco C, sala 232, Parte B, Brasília/DF, CEP: 71.200-030.
- <sup>3</sup> Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Av. Lourival Melo Mota, s/n – Tabuleiro do Martins, Rio Largo/AL, CEP: 57100-000.
- <sup>4</sup> Programa de Pós-graduação de Biologia de Água Doce e Pesca Interior - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av. André Araújo, 2936 - Petrópolis, Manaus-AM, CEP: 69.067-375.

### E-mails

urbano.silva@icmbio.gov.br, marcelo.raseira@icmbio.gov.br, mauro.luis.ruffino@gmail.com, vandickbatista@gmail.com, leitegr@inpa.gov.br

$2.8 \times 10^{-5}$  to  $1.3 \times 10^{-4}$ , and the value found for the sum of the sizes of the fish stocks was approximately 600,000 tons. Methodological implications for the context of poor data, catchability studies, evaluation of species conservation status and monitoring of fishing are discussed.

**Keywords:** Amazon; fishing; catchability; aquatic biodiversity.

**RESUMEN** – La pesca es una actividad que requiere la aplicación práctica de las teorías de la ecología de las poblaciones, y estimar el tamaño de las poblaciones de peces correctamente es esencial para que puedan ser manejados adecuadamente. Para ello uno de los parámetros clave es la capturabilidad ( $q$ ), pero a menudo ha sido considerado como un parámetro constante, lo que puede conducir a evaluaciones incorrectas, tanto para el potencial de la pesca como para el estado de conservación de estas poblaciones. En este trabajo se intenta utilizar un método basado sólo en la captura y esfuerzo para hacer frente a la variabilidad potencial de la capturabilidad de algunas especies de peces comerciales del Amazonas con el fin de estimar el tamaño de sus poblaciones y los niveles de explotación de datos. Los valores del coeficiente de capturabilidad encontrados para las especies estudiadas (*Colossoma macropomum*, *Semaprochilodus* spp., *Prochilodus nigricans*, *Triporthus* spp., *Brycon* spp., *Myleus* spp., *Mylossoma* spp., *Hypophthalmus* spp., *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Pterygoplichthys pardalis* y *Cichla* spp.) variaron desde el  $2,8 \times 10^{-5}$  a  $1,3 \times 10^{-4}$ , y el valor encontrado para la suma del tamaño de las poblaciones de peces fue de alrededor de 600.000 toneladas. Se discuten las implicaciones metodológicas para el contexto de la escasez de datos, estudios de la capturabilidad, la evaluación del estado de conservación de las especies y monitoreo de la pesca.

**Palabras clave:** Amazon; pesca; capturabilidad; biodiversidad acuática.

## Introdução

A teoria pesqueira leva à aplicação direta da dinâmica da população. Os estudos da dinâmica populacional dos estoques pesqueiros remontam há mais de um século, iniciando-se com Baranov (1918 *apud* Beverton & Holt 1957) e prosseguindo com estudos tais como os de Russel (1931 *apud* Haddon 2011), por meio de abordagens sintéticas, considerando os estoques como homogêneos. Outra importante linha de investigação teve seu desenvolvimento iniciado por Hjort (1914), no sentido de compreender como as variações ambientais sofridas nas fases iniciais da história de vida dos indivíduos afetam a dinâmica dos estoques pesqueiros, especialmente a taxa de recrutamento.

O trabalho de Beverton e Holt (1957) inaugurou uma fase em que os estudos desse tema ganharam uma dimensão mais analítica, e os estoques passaram a ser analisados de acordo com sua estrutura etária, a dinâmica de suas coortes e o estabelecimento da relação entre o recrutamento, o tamanho do estoque e a captura em peso. Compreender a relação entre o volume da captura e o tamanho do estoque é fundamental para inferir os níveis de exploração de uma pescaria. Teoricamente, essa relação é dada por:

$$C = q f B \quad \text{Equação 1}$$

Onde:  $C$  é a captura,  $q$  é a capturabilidade,  $f$  é o esforço de pesca e  $B$  é a biomassa do estoque.

A capturabilidade é um parâmetro crítico na determinação da relação entre captura e tamanho do estoque (Arreguín-Sánchez 1996). Nos modelos de produção tradicionais, a capturabilidade não recebia um tratamento específico, mas era assumida como específica e constante para cada idade nos modelos de avaliação de estoque com estrutura etária. Na VPA (*Virtual Population Analysis* – Pope & Shepherd 1982), por exemplo, ela é estimada por uma função exponencial. Todavia, como a mesma permanece invariante a outros fatores, essa premissa também acaba sendo violada, como nos casos de agregação espacial diferenciada de algumas das coortes (Megrey 1989).

Ao longo das últimas duas décadas, alguns estudos têm sido realizados no sentido de agregar mais compreensão sobre variação da capturabilidade, em termos de sua variabilidade espaço-temporal (Marchal *et al.* 2003, Francis *et al.* 2003, Pérez & Defeo 2003, Jiao *et al.* 2006, Velázquez-Abunader *et al.* 2013), de aspectos ambientais (Korman & Yard 2017), de parâmetros de história de vida (Arreguín-Sánchez 1996, Villegas-Ríos *et al.* 2014), da densidade e esforço de pesca (Ellis & Wang 2007), do efeito da distribuição espacial da frota (Salthaug & Aanes 2003), da agregação populacional e comportamento dos pescadores (Robinson *et al.* 2015, van Oostenbrugge *et al.* 2008). Somam-se a esses outros esforços para estimar a capturabilidade de alguns estoques (Hashemi *et al.* 2014, Zhou *et al.* 2011, Hosack *et al.* 2014), bem como para incorporar a variabilidade temporal nos modelos de avaliação de estoques pesqueiros (Wilberg *et al.* 2009).

Todavia, são raras as situações em que estimativas da capturabilidade estão disponíveis para que seu tamanho possa ser estimado com precisão e acurácia. Até mesmo a utilização de abordagens bayesianas demanda alguma informação a priori desse parâmetro (Mäntyniemi *et al.* 2005, Rivot *et al.* 2008, Brun *et al.* 2011, Ruiz & Laplanche 2010). Contudo, uma série de estudos tem demonstrado que, apesar de suas deficiências, as avaliações de estoque com escassez de dados (*data-poor fishery stock assessment*) possuem informações válidas para embasar decisões de manejo com certo nível de confiabilidade (Costello *et al.* 2012, Thorson *et al.* 2013, Dowling *et al.* 2015, Chrysafi & Kuparinen 2015).

Exemplo disso tem sido a bacia Amazônica, que possui uma série de estudos sobre a dinâmica dos seus estoques pesqueiros, iniciados na década de 1970 por Petreire (1978a, 1978b), com a instalação de um dos primeiros sistemas de estatística pesqueira de águas continentais do Brasil, e que, apesar de sua intermitência e descontinuidade ao longo dos anos, contou com alguns esforços de síntese (Bayley & Petreire 1989, Ruffino 2004, Batista 2012) para fornecer importantes decisões para o manejo da pesca na região.

Todavia, poucos estudos, e muitos deles defasados, tentaram estimar a ordem de magnitude da biomassa dos estoques pesqueiros da Amazônia Oriental (Bayley 1989, Bayley & Petreire 1989, Henderson & Hamilton 1995, Henderson & Crampton 1997, Silva-Júnior 1998).

A ausência da informação sobre a abundância das espécies de peixes em nível regional é crítica, não somente para uma avaliação do estado de sua conservação, mas também por inviabilizar, no mínimo parcialmente, a projeção potencial do uso de seus recursos e seu manejo sustentável.

Desta forma, o presente trabalho pretende fornecer uma estimativa do tamanho do estoque de algumas das principais espécies de peixes comerciais da Amazônia, na escala da porção brasileira de sua bacia. Isso é realizado através de uma adaptação do método desenvolvido por Mao (2007) para estimar os limites inferiores do tamanho de um estoque, baseado em dados de captura e esforço de pesca e em uma estimativa da capturabilidade.

A seguir, o artigo apresenta as premissas do método proposto por Mao (2007), especialmente de como os valores de referência de capturabilidade foram estimados. Logo são exibidos os resultados do processo de validação do modelo com dados gerados por uma simulação de estoques pesqueiros, de diferentes tamanhos, submetidos a exploração pesqueira, com diferentes níveis de esforço. Em seguida, o modelo é aplicado aos dados que são o principal objeto da presente análise e, por fim, são discutidas as implicações dos resultados.

## Metodologia

Para a estimativa dos tamanhos populacionais utilizou-se uma abordagem probabilística baseada no trabalho desenvolvido por Mao (2007), que estima os limites inferiores do tamanho de um dado estoque.

Considerando que os indivíduos de uma população de tamanho  $N$  estão submetidos a um processo de amostragem, constituído de certo número de amostras realizadas sucessivamente, cada qual com um determinado esforço  $m$ , a probabilidade de um indivíduo ser capturado na amostra correspondente ao tempo  $t$ , a uma capturabilidade  $\pi$ , é dado por:

$$g_{\pi}(t) = p_{\pi}(m_t) \prod_{k=1}^{t-1} \{1 - p_{\pi}(m_k)\} \quad \text{Equação 3}$$

Onde  $p_{\pi}(m_t)$  representa a probabilidade de um indivíduo ser capturado com o esforço de amostragem  $m_t$ , e o termo  $\prod_{k=1}^{t-1} \{1 - p_{\pi}(m_k)\}$  representa a probabilidade de ele não ter sido capturado em nenhum dos eventos anteriores.

Desta forma, a fração da população remanescente, segundo a probabilidade de captura de cada indivíduo presente nas amostras, é fornecida por  $\theta$ :

$$\theta = \frac{1 - \sum_{k=1}^w g_{\pi}(k)}{\sum_{k=1}^w g_{\pi}(k)} \quad \text{Equação 4}$$

Considerando que durante o processo de amostragem foram capturados  $n$  indivíduos, o estimador de verossimilhança do tamanho populacional ( $N$ ) é dado por:

$$N = n + n\theta \quad \text{Equação 5}$$

Em seguida, o método foi adaptado pelo presente trabalho para o contexto da pesca comercial, onde o volume capturado é expresso em termos de peso. Desta forma, e considerando as notações comumente utilizadas na literatura sobre pesca (Holt *et al.* 1959), as Equações 3, 4 e 5 podem ser reescritas, respectivamente, como:

$$g_q(t) = p_q(f_t) \prod_{k=1}^{t-1} \{1 - p_q(f_k)\} \quad \text{Equação 6}$$

$$\theta = \frac{1 - \sum_{k=1}^w g_q(k)}{\sum_{k=1}^w g_q(k)} \quad \text{Equação 7}$$

$$B = b + b\theta \quad \text{Equação 8}$$

Onde  $q$  é a capturabilidade,  $f$  é o esforço de pesca,  $b$  é o tamanho da amostra em peso (kg) e  $B$  é o tamanho total do estoque em peso (kg).

A função que relaciona a probabilidade de captura com a capturabilidade pode assumir diversos formatos (Mao 2007), mas por simplicidade e baseado na relação prevista na Equação 1, pode-se assumir que a probabilidade de captura está linearmente relacionada com o esforço e parametrizada pela capturabilidade:

$$\frac{C}{N} = qf \rightarrow p_q(f) = qf \quad \text{Equação 9}$$

Para a obtenção dos valores de capturabilidade para cada espécie que alimentou o modelo, adotou-se a premissa de que os mesmos podem ser interpretados como sendo o coeficiente angular da relação entre a captura por unidade de esforço (CPUE) e o esforço de pesca ( $f$ ) (Gulland 1977 *apud* Velazquez-Abunader 2014). Alternativamente, a relação entre CPUE e  $f$  pode ser exponencial (Fox 1970 *apud* Velazquez-Abunader 2014), e nesses casos, os valores de CPUE

foram logaritimizados. Desta forma, para a obtenção dos valores de capturabilidade de cada uma das espécies foi realizada uma regressão linear da relação  $CPUE - f$  ou  $\log(CPUE) - f$ . Quando o resultado da regressão foi estatisticamente significativo, a estimativa do coeficiente angular foi utilizada como valor de referência de capturabilidade para aquela espécie.

Os cálculos foram implementados através de um script, doravante aqui chamado de EPSCE – *Estimating Population Size with Catch and Effort Data*, desenvolvido e implementado no pacote R (R Core Team 2016). O script foi submetido à validação com um conjunto de dados gerados por um processo de amostragem simulado com tamanho da população de valor conhecido. Em seguida o modelo foi aplicado aos dados de captura em peso e esforço referente a algumas das principais espécies de peixes comerciais da Amazônia, conforme os dados gerados durante o projeto ProVárzea/IBAMA, entre os anos de 2001 e 2004, para dezesseis portos de desembarque ao longo dos rios Solimões e Amazonas (Ruffino *et al.* 2002, 2005, 2006; Thomé-Souza 2007). A abordagem aqui utilizada não tratou explicitamente da influência de outros fatores como o ciclo hidrológico, a estrutura etária e o aparelho de pesca sobre a capturabilidade, mas pretendeu contemplar os seus respectivos efeitos ao introduzir no modelo EPSCE os valores associados ao intervalo de confiança dos coeficientes de regressão obtidos. Também, ao considerar uma ampla escala espacial simultaneamente, espera-se minimizar alguns dos efeitos indesejáveis da relação entre CPUE e abundância, como, por exemplo, a hiperestabilidade (Harley *et al.* 2001), fazendo uma forte suposição de que, desta forma, a mesma seja um índice de abundância, supondo que, em média, nessa escala, a capturabilidade seja constante (Petrere *et al.* 2010).

## Resultados

À guisa de validação, um conjunto de valores teóricos de tamanho populacional foi gerado, e sobre os quais foi simulado um processo estocástico de pesca sob valores variados de capturabilidade e esforço. Os valores de esforço e captura obtidos foram retroalimentados no modelo EPSCE, a fim de averiguar em que medida o mesmo retorna os valores teóricos originais.

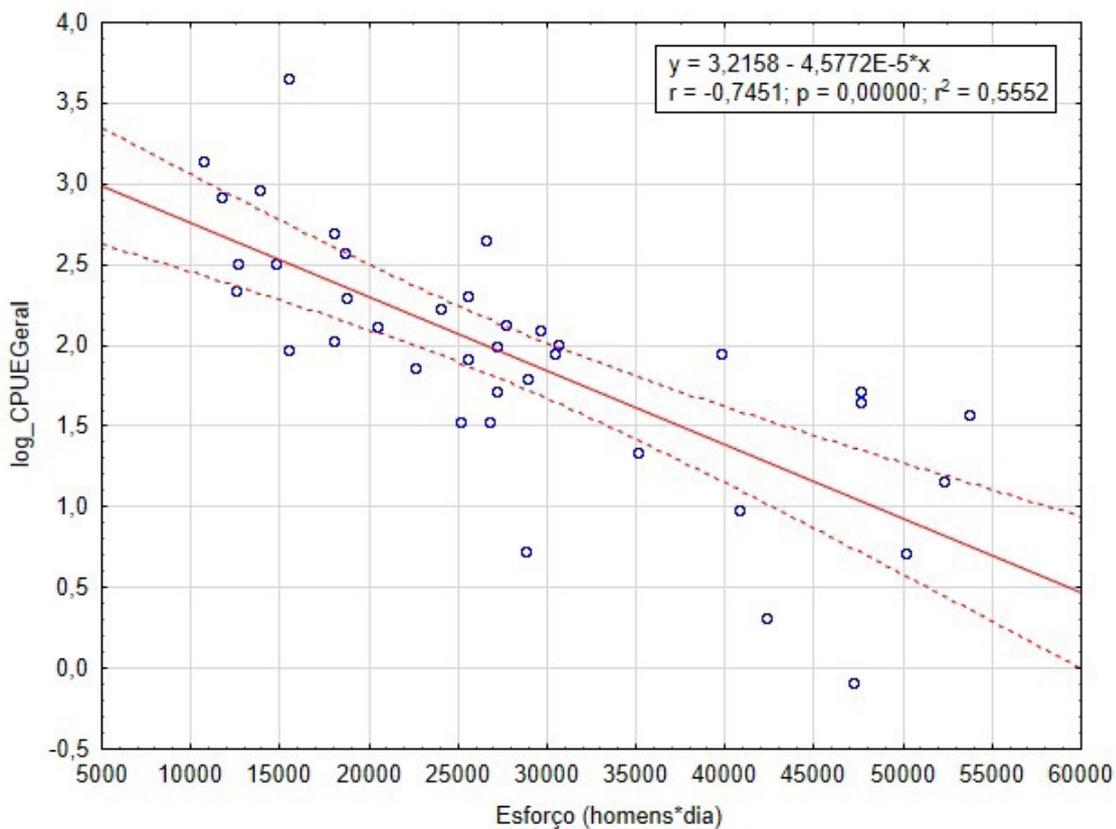
Os resultados do processo de validação encontram-se na Tabela 1, em que as estimativas geradas pelo EPSCE são confrontadas com os resultados da aplicação direta da Equação 1, utilizando o mesmo espectro de valores de  $q$ . É possível verificar, tendo como referência os valores da mediana e do intervalo interquartil, que o EPSCE fornece estimativas mais precisas e acuradas do tamanho da população original com relação à aplicação direta  $N = CPUE/q$ , embora com uma tendência à superestimação (14 a 18%).

Tabela 1 – Resultado do processo de validação do modelo.

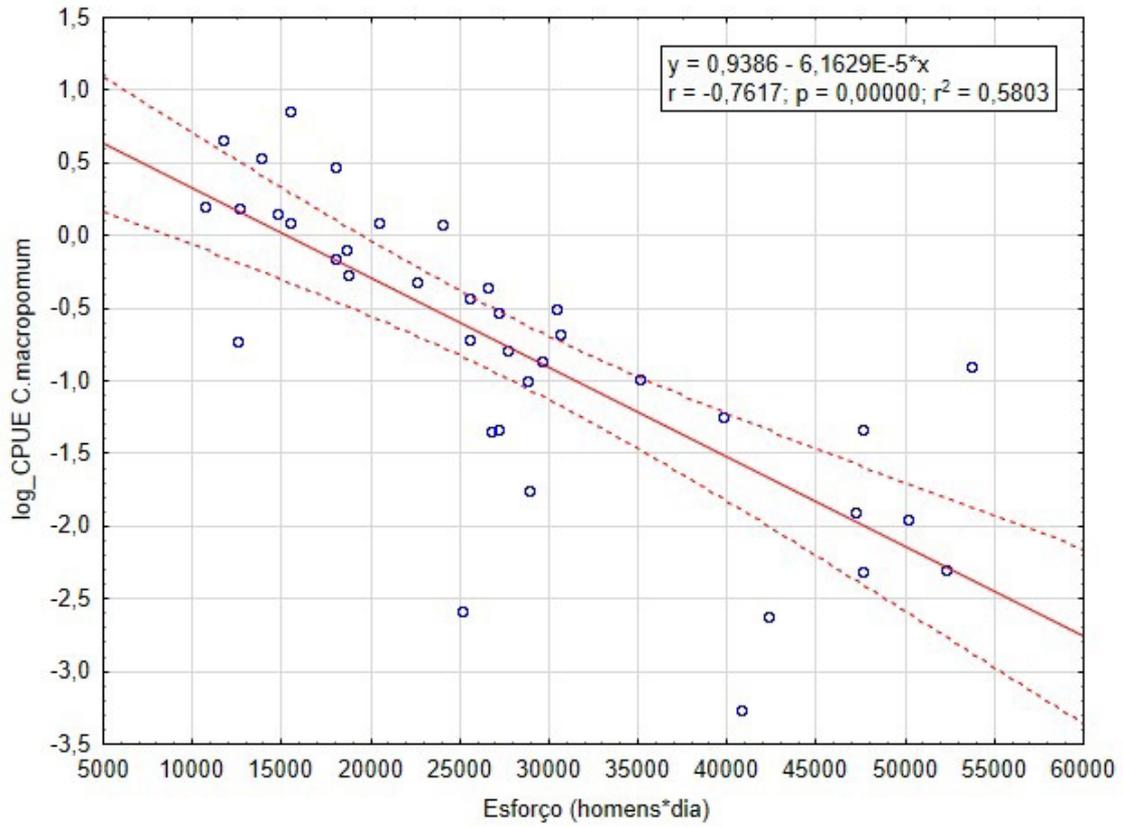
Aplicação direta da relação $N = CPUE/E.q$						
Tamanho da população original teórica (TPO)	Mínimo	Quartil 25%	Mediana	Quartil 75%	Máximo	Intervalo interquartil
5.000	250	4.496	7.369	38.506	673.368	34.010
10.000	454	8.218	13.437	69.695	1.228.300	61.477
50.000	2.081	42.655	69.722	361.534	6.379.659	318.879
100.000	3.872	81.951	134.009	695.799	12.273.908	613.848
Estimativa do modelo						
5.000	5.531	5.543	5.761	5.908	6.412	365
10.000	11.165	11.665	11.824	11.990	12.381	325
50.000	58.873	59.510	59.781	60.088	60.949	578
100.000	113.410	114.518	115.108	115.477	116.769	959

Os valores de capturabilidade ( $q$ ) utilizados pelo EPSCE foram obtidos a partir da regressão linear entre  $\log$  (CPUE) e esforço ( $f$ ) para cada uma das espécies, conforme a Figura 1. Em todos os casos, o resultado foi estatisticamente significativo ( $p < 0,05$ ), mas com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) abaixo de 0,4 na maioria dos casos, com exceção da captura geral ( $R^2 = 0,555$ ) e do tambaqui (*Colossoma macropomum*) ( $R^2 = 0,580$ ).

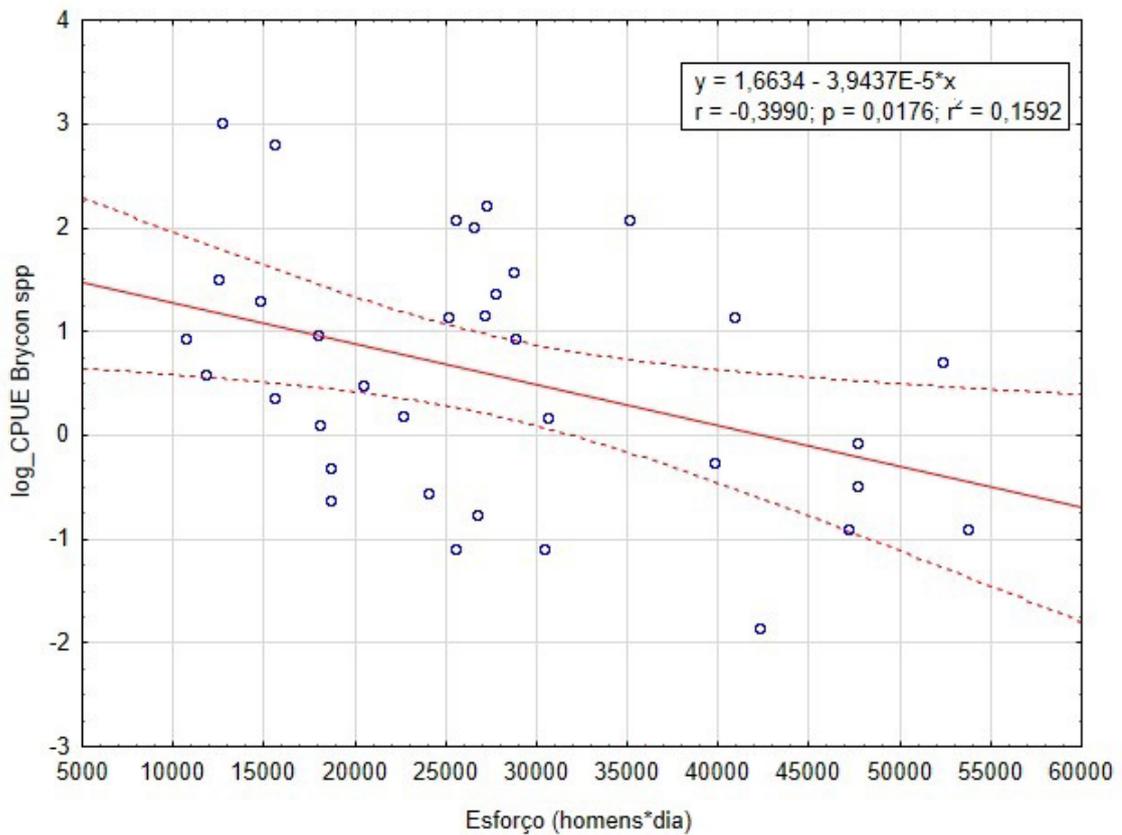
Figura 1 – Regressão da relação entre CPUE e esforço de pesca. A) Captura total; B) Tambaqui – *Colossoma macropomum*; C) Matrinxã – *Brycon* spp.; D) Jaraqui – *Semaprochilodus* spp.; E) Curimatã – *Prochilodus nigricans*; F) Sardinha – *Triportheus* spp.; G) Pacu – *Myleus* spp. + *Mylossoma* spp.; H) Dourada – *Brachyplatystoma rousseauxii*; I) Piramutaba – *Brachyplatystoma vaillantii*; J) Mapará – *Hypophthalmus* spp.; K) Acari-bodó – *Pterygoplichthys pardalis*; e L) Tucunaré – *Cichla* spp.



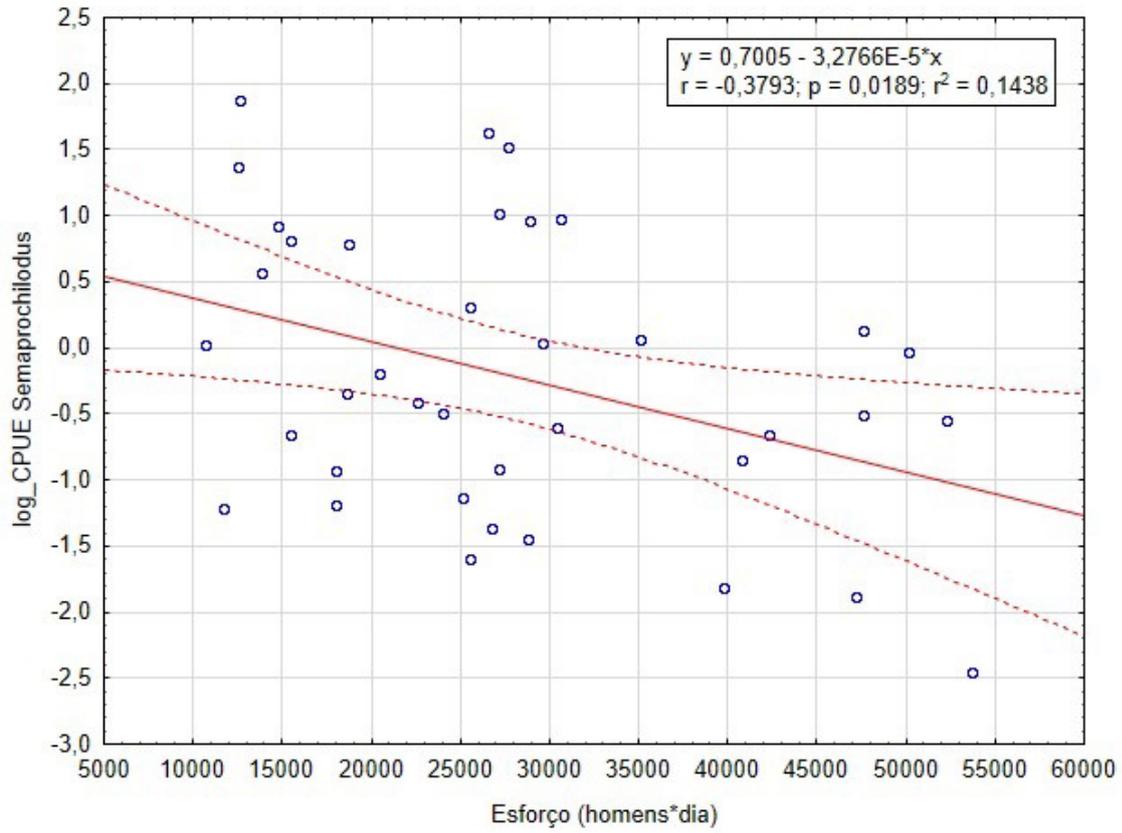
A



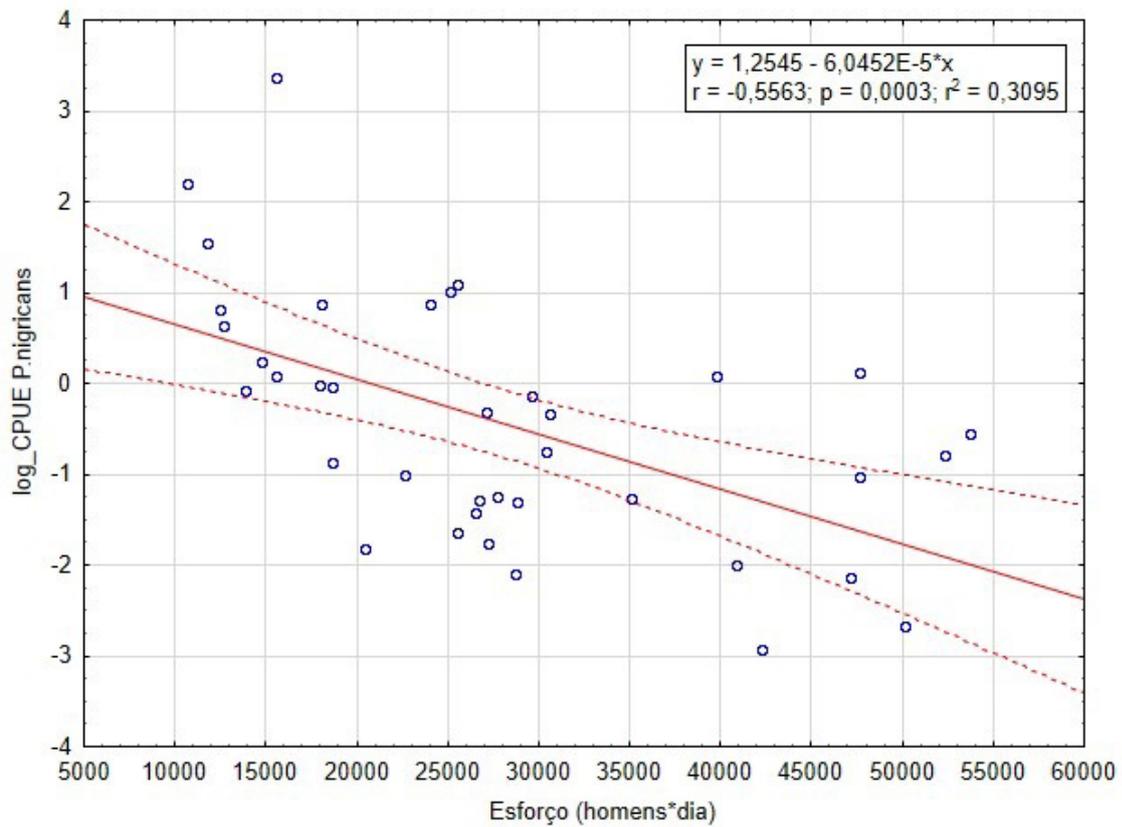
**B**



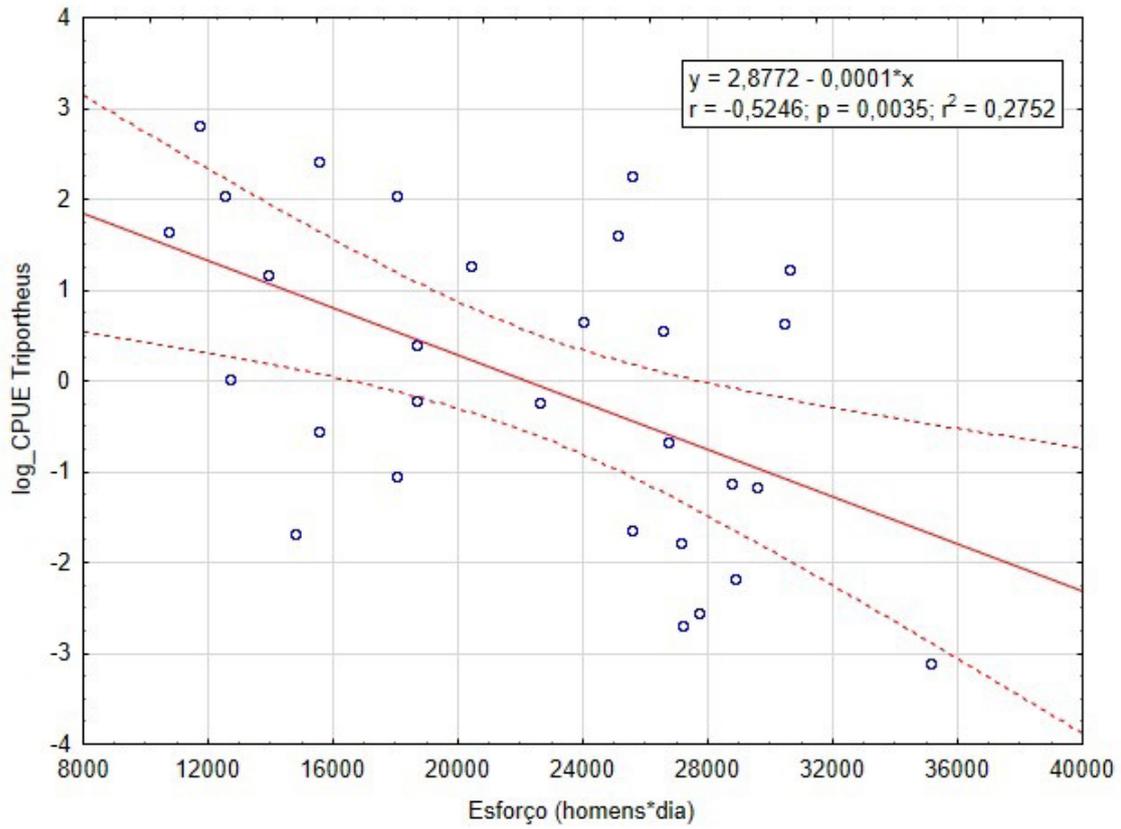
**C**



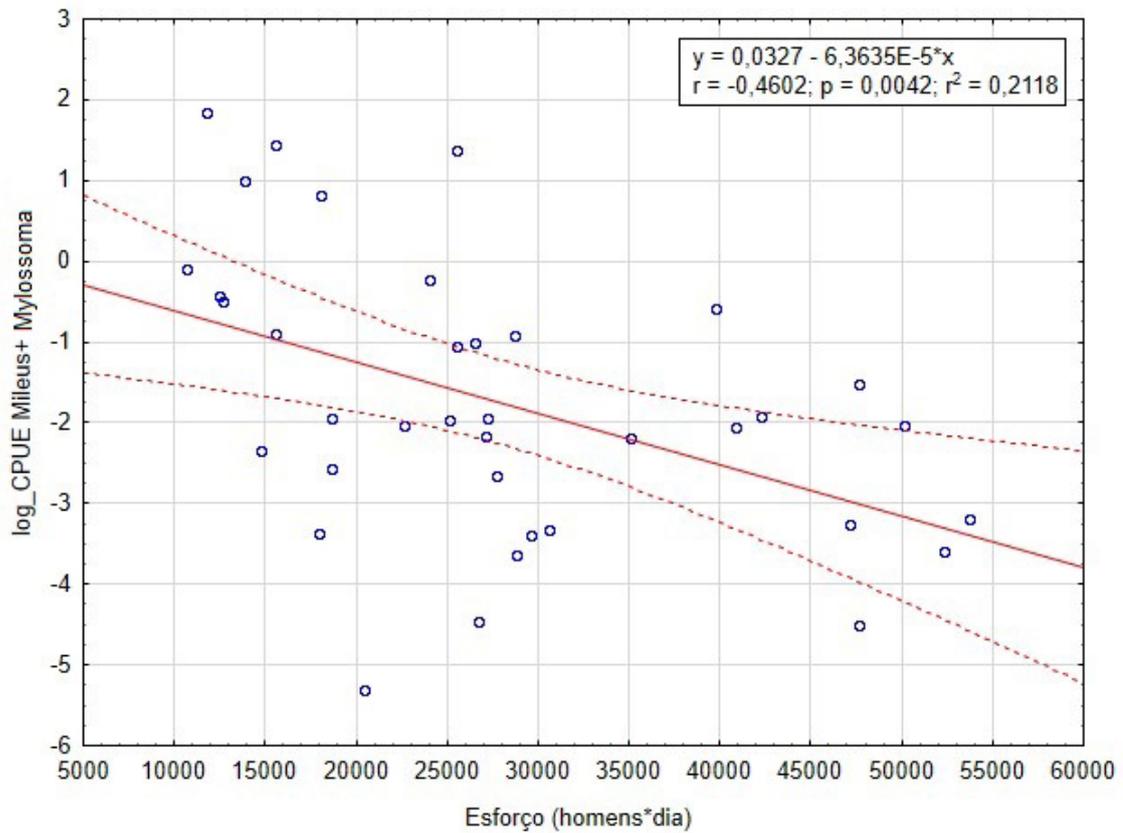
**D**



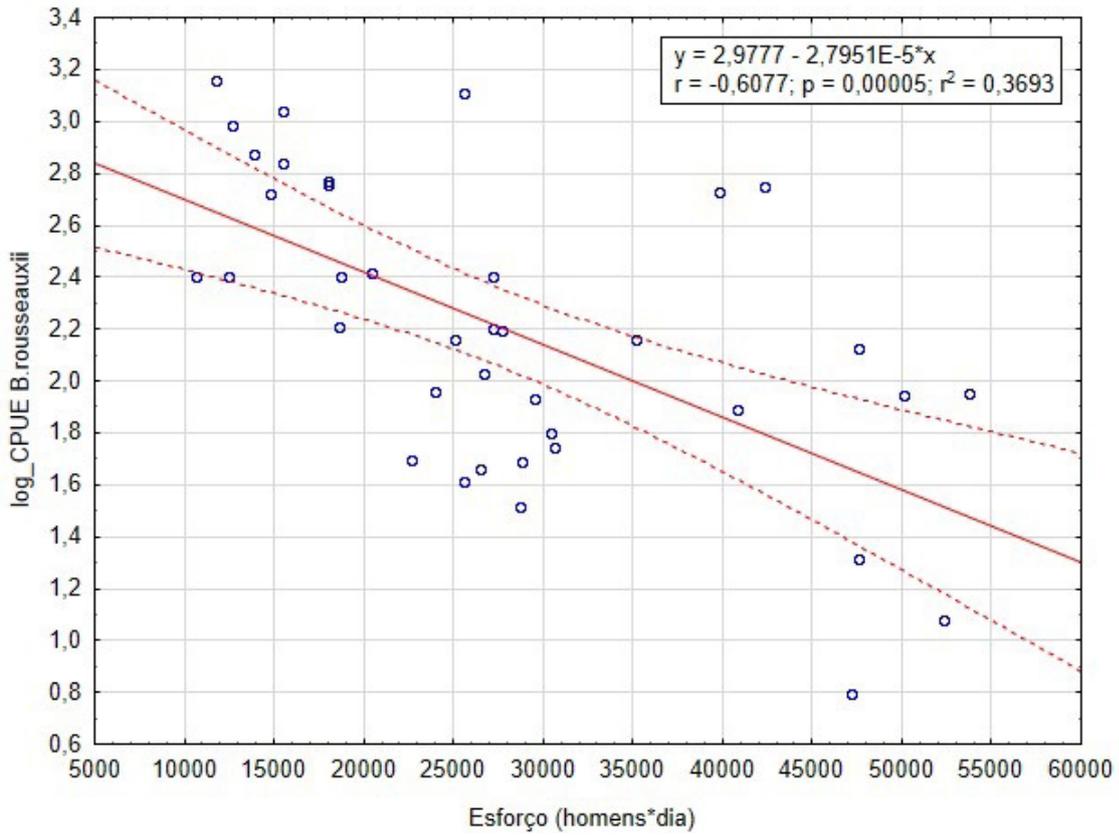
**E**



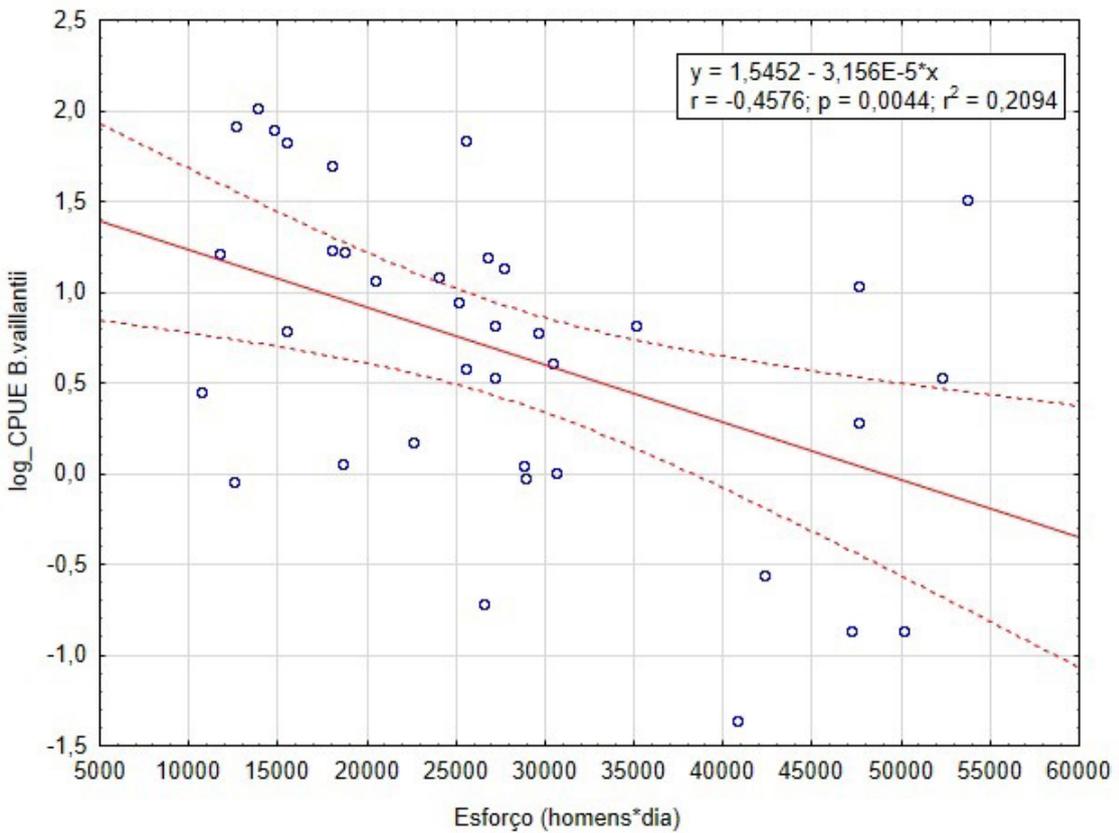
F



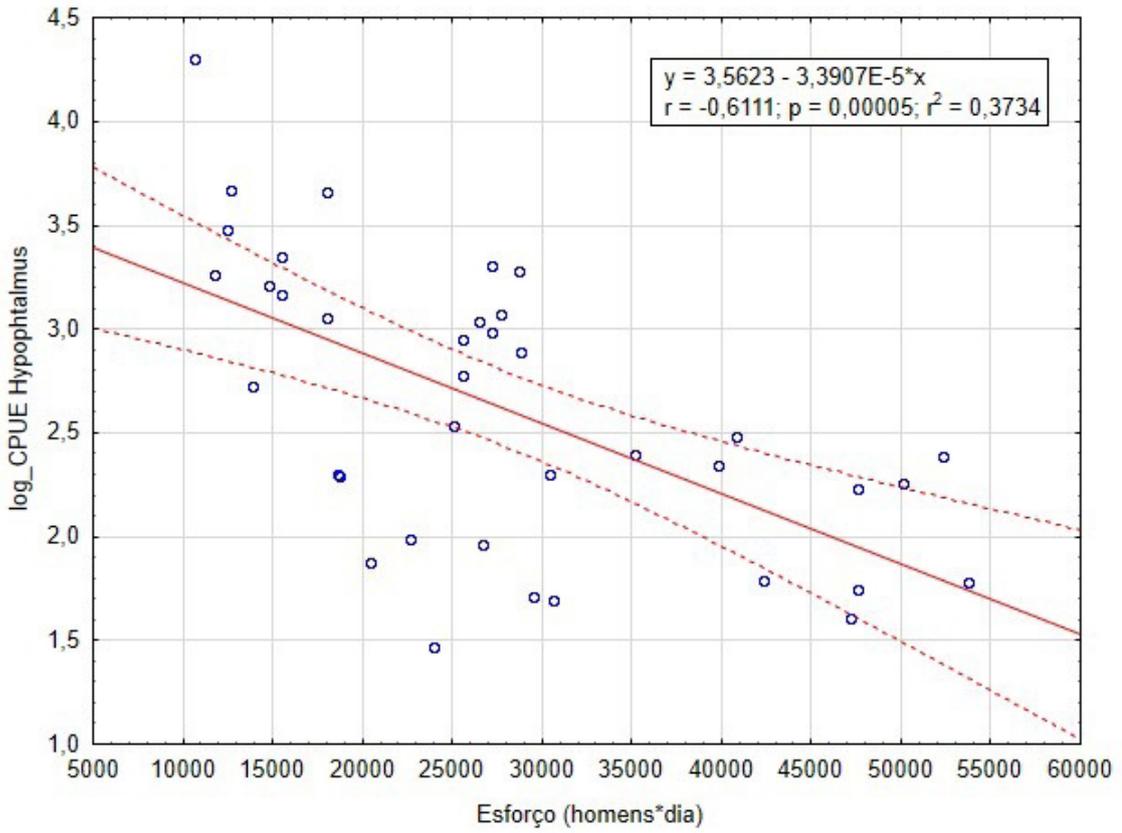
G



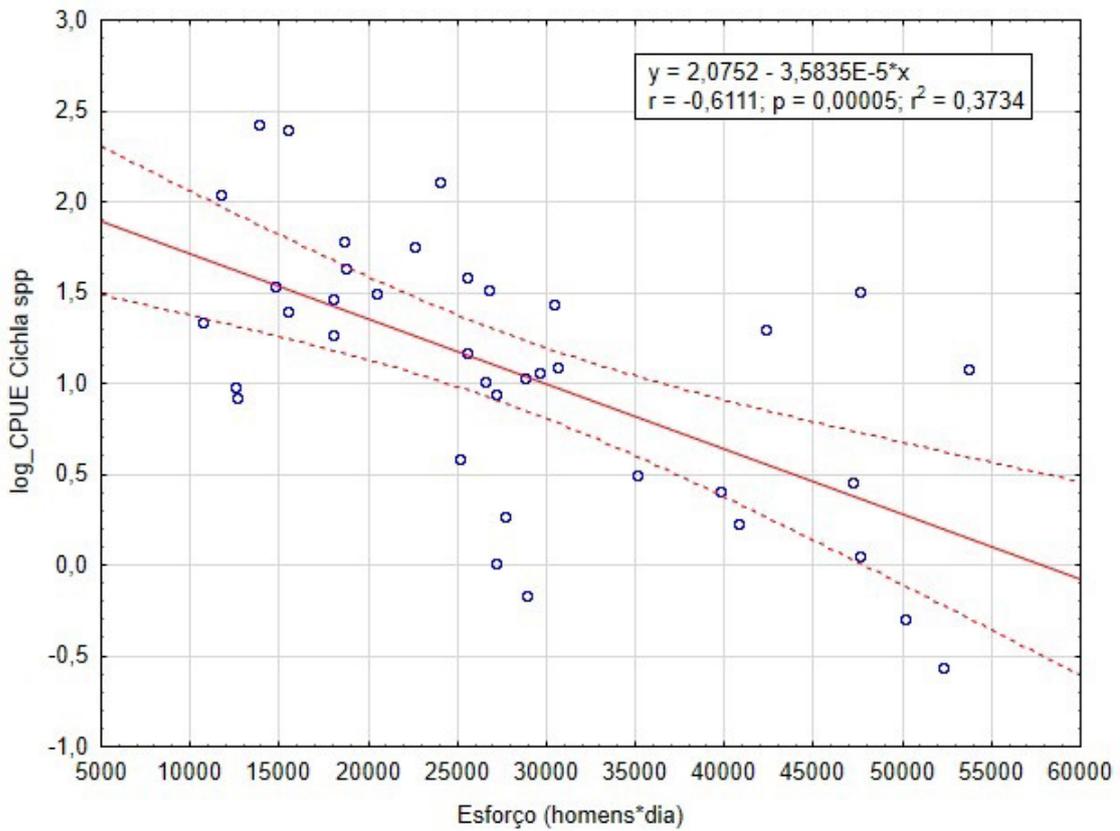
H



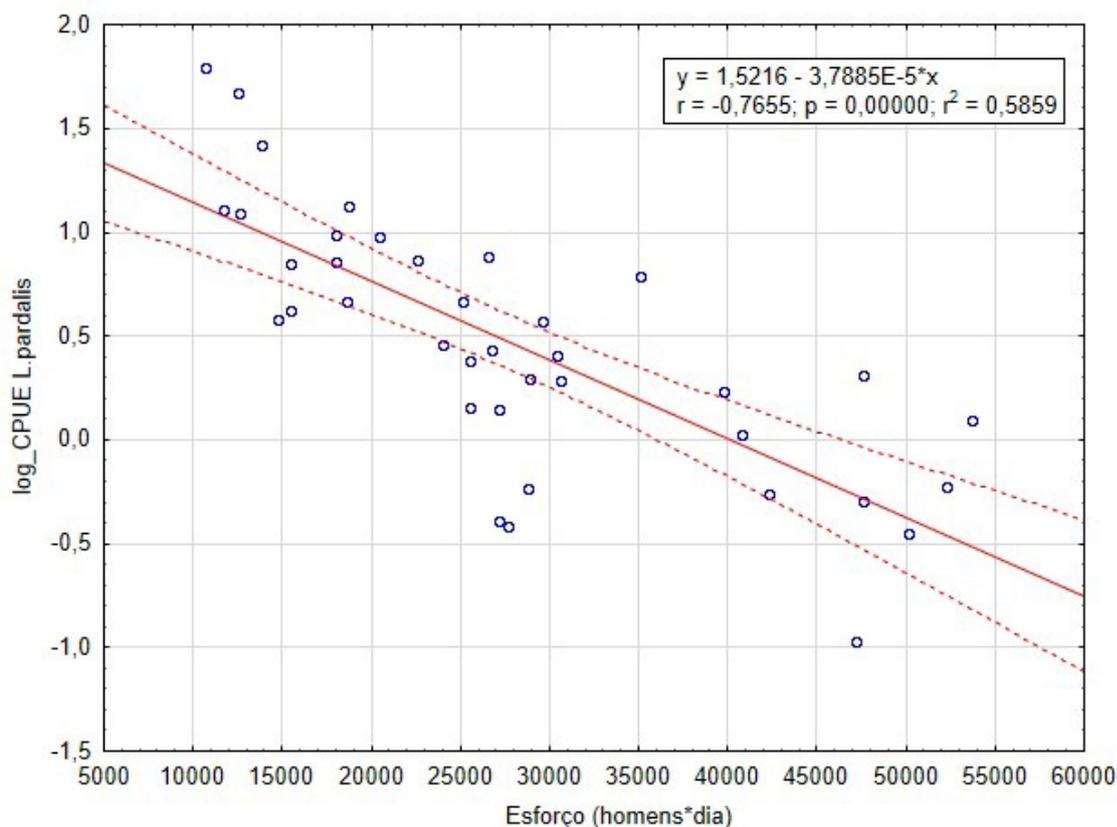
I



J



K



**L**

Na Tabela 2 constam os valores referentes aos coeficientes de regressão da Figura 1. Todos os valores se mantiveram na ordem de magnitude de  $10^{-5}$  e apresentaram coeficientes de variação superiores a 0,5. Os mesmos serviram de referência para gerar valores aleatórios de (q) a partir de uma distribuição normal para cada uma das espécies dentro do modelo EPSCE.

Tabela 2 – Valores de capturabilidade segundo os coeficientes de regressão (Figura 1) e respectivos erro-padrão, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV).

Espécie	Capturabilidade (q)	Erro-padrão	Desvio-padrão	CV
<i>Colossoma macropomum</i>	6,20E-05	9,00E-06	3,18E-05	0,51
<i>Semaprochilodus</i> spp.	3,30E-05	1,30E-05	4,59E-05	1,39
<i>Prochilodus nigricans</i>	6,00E-05	1,50E-05	5,30E-05	0,88
<i>Triportheus</i> spp.	1,30E-04	4,00E-05	1,41E-04	1,09
<i>Brycon</i> spp.	3,90E-05	1,60E-05	5,65E-05	1,45
<i>Myleus</i> spp. + <i>Mylossoma</i> spp.	6,40E-05	2,10E-05	7,41E-05	1,16
<i>Hypophthalmus</i> spp.	3,40E-05	7,00E-06	2,47E-05	0,73
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	2,80E-05	6,00E-06	2,12E-05	0,76
<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	3,20E-05	1,00E-05	3,53E-05	1,10
<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	3,80E-05	5,00E-06	1,77E-05	0,46
<i>Cichla</i> spp.	6,40E-05	2,10E-05	7,41E-05	1,16
Todas as demais espécies	4,60E-05	7,00E-06	2,47E-05	0,54

Na Tabela 3 constam as medianas e o intervalo interquartil das estimativas de tamanho do estoque realizadas pelo modelo EPSC, bem como o nível de exploração do estoque de cada espécie ou conjunto de espécies, tendo como base a captura média das mesmas entre os anos de 2001 a 2004. O jaraqui (*Semaprochilodus* spp.) foi o grupo de espécies com maior tamanho de estoque, enquanto o grupo das sardinhas (*Triportheus* spp.) foi o que apresentou maior nível de exploração.

Tabela 3 – Estimativa do tamanho do estoque (kg) e taxa de exploração em relação (%) à biomassa estimada.

Espécie	Mediana	ITQ (Q75-Q25)	Captura média anual (kg)
<i>Colossoma macropomum</i>	10.537.570	130.564	956.146
<i>Semaprochilodus</i> spp.	128.748.362	840.371	9.382.587
<i>Prochilodus nigricans</i>	47.213.562	340.878	4.776.877
<i>Triportheus</i> spp.	11.167.229	508.014	1.726.890
<i>Brycon</i> spp.	10.688.817	334.380	941.101
<i>Myleus</i> spp. + <i>Mylossoma</i> spp.	1.462.392	123.739	181.459
<i>Hypophthalmus</i> spp.	89.875.232	545.502	4.933.901
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	71.420.622	418.117	3.296.580
<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	21.755.685	284.330	1.354.337
<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	8.976.080	127.465	508.188
<i>Cichla</i> spp.	20.427.185	234.998	1.122.504
Todas as demais espécies	177.570.544	499.076	12.114.714
<b>TOTAL</b>	<b>599.843.280</b>		<b>41.295.284</b>

## Discussão

O processo de validação indicou que o EPSC estima com relativa precisão o tamanho de populações simuladas, com tendência à superestimação da ordem de 14-18%. A dimensão de tal desvio, todavia, não invalida o uso do método em um contexto em que poucas informações existem sobre o estado de um determinado estoque. Além disso, o método aqui sugerido pode apresentar a vantagem em relação a outros métodos, tais como a VPA, de ter o potencial de ser aplicado principalmente em situações em que estudos populacionais, principalmente sobre mortalidade e crescimento, são escassos ou defasados.

Como os demais modelos de avaliação de estoque pesqueiro, o presente método é altamente dependente das premissas referentes à capturabilidade. Neste trabalho, procurou-se estimá-la para cada grupo de espécies de maneira aproximada, pois o conjunto de dados não dispunha do detalhamento necessário para analisar de forma adequada as diferentes fontes de variação. Além do esforço, uma série de covariáveis ambientais está possivelmente relacionada à capturabilidade (Korman & Yard 2017), e o dimensionamento de seus efeitos depende de um desenho experimental que, muitas vezes, os dados provenientes da pesca não são capazes de fornecer (Lynch *et al.* 2012). Para efeitos práticos, a utilização de seu espectro de variação, baseado no seu intervalo de confiança do coeficiente das regressões, pretendeu considerar esses efeitos, mesmo que de modo indiscriminado.

As estimativas de tamanho de estoque do conjunto de espécies apontaram para um valor mínimo em torno de 600 mil toneladas. Considerando-se que as áreas alagáveis de onde a maior parte das capturas monitoradas entre 2001 e 2004 pelo ProVárzea/IBAMA possuem uma área de cerca de 250 milhões de hectares, é possível afirmar que a biomassa de peixes nessa região

é, aproximadamente, 24 kg/ha, tendo como referência o período de cheia. Esse é um valor bem abaixo das estimativas realizadas anteriormente (Bayley 1989, Bayley & Petrere 1989, Henderson & Hamilton 1995, Henderson & Crampton 1997, Silva-Júnior 1998), baseadas em localidades específicas da várzea, tais como sistemas de lagos, onde provavelmente os peixes estavam sujeitos a maior concentração. Vale ressaltar que, para rios tropicais, no período de seca, com menor extensão, a ordem de magnitude da ictiomassa é de  $10^3$  kg/ha (Welcomme 2001).

Os valores de níveis de exploração (Tabela 3) indicam que uma fração (5,5 – 15,0%) da biomassa total de peixes tem sido explorada, com referência ao volume de captura entre 2001 e 2004. Essa informação deve ser vista com cautela em caso de se inferir o potencial pesqueiro atual da região, tanto pela defasagem temporal dos dados de captura disponíveis quanto pelo fato de não estar aí incluída a exploração para autoconsumo da população ribeirinha. Se considerarmos que a pesca de subsistência perfaz, no mínimo, 50% das capturas totais, e que o crescimento demográfico na região tem sido, aproximadamente, de 2,5% ao ano (IBGE, 2017), os níveis de exploração atuais podem estar na ordem 13 a 35%, aproximadamente. Por outro lado, em um estudo síntese, Isaac & Almeida (2011) estimaram um consumo total de pescado na Amazônia brasileira de, aproximadamente, 576 mil toneladas/ano, o que implicaria em uma taxa de reposição anual de 100% do estoque.

## Conclusões

Um método de simulação probabilística, cuja aplicação é o tema deste trabalho, pode ser muito útil em situações onde os dados são escassos para os procedimentos convencionais de avaliação dos estoques pesqueiros. Embora o EPSCE tenha utilizado valores aleatórios de capturabilidade baseados em valores de referência, o modelo permite a utilização de informações mais completas e específicas.

A escassez sobre estudos de capturabilidade em pescarias continentais é flagrante na literatura científica, e praticamente não existe nenhum do gênero para a bacia Amazônica. Assim, este trabalho apresenta as primeiras estimativas, sendo premente a necessidade de estudos nesse sentido para o manejo das pescarias da região e a respectiva conservação dessas espécies.

Os valores estimados da biomassa das várias espécies aqui consideradas devem ser vistos apenas como um ponto de referência no tempo, a partir do qual outras estimativas no futuro devem ser calculadas, bem como as tendências devem ser avaliadas, principalmente no sentido de fornecer dados para os processos de avaliação do estado de conservação das espécies. Para tanto é necessário que haja uma estratégia continuada de estatística pesqueira na região. Desde o final da década de 70, sob a liderança de diferentes iniciativas, a pesca na Amazônia tem sido monitorada de forma intermitente e pouco sustentável.

A pesca depende da produtividade biológica e da manutenção da diversidade das áreas alagadas. Logo, ela é um indicativo da saúde desses ecossistemas. Desta forma, o monitoramento da pesca pode ser um importante instrumento para a manutenção da biodiversidade aquática.

## Referências bibliográficas

- Arreguín-Sanchez, F. 1996. Catchability: a key parameter for fish stock assessment. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, 6(2): 221-242.
- Batista, V.S.; Isaac, V.J.; Fabr , N.N.; Gonzales, J.C.A.; Almeida, O.; Rivero, S. & Oliveira Jr, J.N. (org), 2012. **Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avalia o integrada**. IBAMA/ProVárzea, 276 p.
- Baranov, T.I. 1918. On the question of the biological basis of fisheries. **Nauchn Issledov. Ikhtologicheskii Inst. Izv.** 1: 81-128.

- Bayley, P.B. 1983. **Central Amazon fish populations: biomass, production and some dynamics characteristics**. (PhD Thesis). Dalhousie University. 330 p.
- Bayley, P.B. 1989. Aquatic environments in the Amazon Basin, with an analysis of carbon sources, fish production, and yield. In: Dodge, D.P. (ed.) Proc. International Large River Symposium (LARS). **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, 106: 399-408.
- Bayley, P.B. & Petrere 1989. Amazon fisheries: assessment methods, current status and management points. In: Dodge, D.P. (ed.). Proceedings of the International Large River Symposium. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, 106: 385-398.
- Beverton, R.J.H. & Holt, S.J. 1957. **On the Dynamics of Exploited Fish Populations**. U.K. Ministry of Agriculture and Fisheries, Fisheries Investigations. 533p.
- Chrysafi, A. & Kuparinen, A. 2015. Assessing abundance of populations with limited data: Lessons learned from data-poor fisheries stock assessment. **Environmental Reviews**, 1:1-44.
- Dowling, N.A. et al. 2015. Empirical harvest strategies for data-poor fisheries: A review of the literature. **Fisheries Research**, 171: 141-153.
- Ellis, N. & Wang, Y. 2007. Effects of fish density distribution and effort distribution. **ICES Journal of Marine Science**, 64: 178-191.
- Francis, R.I.C.C.; Hurst, R.J. & Renwick, J.A. 2003. Quantifying annual variation in catchability for commercial and research fishing. **Fishery Bulletin**, 101(2): 293-304.
- Fox, W.W. 1970. An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. **Trans. Am. Fish. Soc.** 99: 80-88.
- Gulland, J.A. 1977. **Fish population dynamics**. Wiley, 372 p.
- Haddon.M. 2011. **Modelling and Quantitative Methods in Fisheries**. 2 Ed. CRC Press, 433p
- Harley, S.J.; Myers, R.A. & Dunn, A. 2001. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 58: 1760-1772
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2017. Projeções e estimativas da população do Brasil e das Unidades da Federação. **IBGE** <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>> (Acesso em 18/02/2017).
- Hashemi et al. 2014. Estimation of fish composition and catchability coefficient of gillnet in the Shadegan Wetland. **Iran. J. Ichthyol.**, 1(1): 51-60.
- Henderson, P.A. & Crampton, W.G.R. 1997. A comparison of fish diversity and abundance between nutrient-rich and nutrient-poor lakes in the Upper Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, 13: 175-198.
- Henderson, P.A. & Hamilton, H.F. 1995. Standing crop and distribution of fish indrifting and attached floating meadow within and Upper Amazonian varzea lake. **Journal of Fish Biology**, 47: 266-276.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. **Rapports ET Procès-verbaux des Réunions du Conseil Permanent International pour l'exploration de la Mer**, 20: 1-228.
- Holt, S.J.; Gulland, J.A.; Taylor, C. & Kurit, S. 1959. A standard terminology and notation for fishery dynamics. **ICES J Mar Sci.** 24(2): 239-242.
- Hosack, G.; Peters, G. & Ludsin, S. 2014. Interspecific relationships and environmentally driven catchabilities estimated from fisheries data. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, 71: 447-463.
- Isaac, V. & Almeida, M.C. 2011. **El consumo de pescado en la Amazonia Brasileña**. COOPESCAALC Documento Ocasional N. 13, 43p.
- Jiao, Y.; Reid, K. & Nudds, T. 2006. Variation in the catchability of yellow perch (*Perca flavescens*) in the fisheries of Lake Erie using a Bayesian error-in-variable approach. **ICES Journal of Marine Science**, 63(9): 1695-1704.

- Korman, J. & Yard, M.D. 2017. Effects of environmental covariates and density on the catchability of fish populations and interpretation of catch per unit effort trends. **Fisheries Research**, 189: 18-34.
- Lynch, P.D.; Shertzer, K.W. & Latour, R.J. 2012. Performance of methods used to estimate indices of abundance for highly migratory species. **Fisheries Research**, 125: 27-39.
- Mäntyniemi, S.; Romakkaniemi, A. & Arjas, E. 2005. Bayesian removal estimation of a population size under unequal catchability. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 62(2): 291-300.
- Mao, C.X. 2007. Estimating population sizes by catch-effort methods. **Statistical Methodology**, 4(1): 111-119.
- Marchal, P. et al. 2003. Annual trends in catchability and fish stock assessments. **Scientia Marina**, 67(1): 63-73.
- Megrey, B.A. 1989. Review and comparison of age-structured stock assessment models from theoretical and applied points of view. In: Edwards, E.F. & Megrey, B.A. eds. *Mathematical Analysis of Fish Stock Dynamics*. **Am. Fish. Sot. Symp.** 6: 8-48.
- van Oostenbrugge, H.J.A.E. et al. 2008. Linking catchability and fisher behaviour under effort management. **Aquatic Living Resources**, 21(3): 265-273.
- Pérez E, E.P. & Defeo, O. 2003. Time-space variation in the catchability coefficient as a function of catch per unit of effort in heterocarpus reedi (decapoda, pandalidae) in North-central Chile. **Interciencia**, 28(3):178-182.
- Petriere, M. 1978a. Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. I- Esforço e captura por unidade de esforço. **Acta Amazonica**, 8(3): 439-454.
- Petriere, M. 1978b. Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. II. Locais e aparelhos de captura e estatística de desembarque. **Acta Amazonica**, 8(2): 1-54.
- Petriere, M.; Giacomini, H. & de Marco, P. 2010. Catch-per-unit-effort: which estimator is best. **Braz. J. Biol.** 70(3): 483-491.
- Pope, J.G. & Shepherd, J.G. (1982). A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. **J Cons. CIEM**, 40: 176-84.
- R Core Team. 2016. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing,
- Robinson, J. et al. 2015. Fish and fisher behaviour influence the vulnerability of groupers (Epinephelidae) to fishing at a multispecies spawning aggregation site. **Coral Reefs**, 34(2): 371-382.
- Ruffino, M.L. (ed). 2004. **A pesca e os recursos pesqueiros da Amazônia brasileira**. ProVárzea/IBAMA. 272p.
- Ruffino, M.L.; Oliveira, C.; Viana, J.P.; Barthem, R.B.; Batista, V.S. & Isaac, V. J. 2002. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará-2001**. ProVárzea/IBAMA. 84 p.
- Ruffino, M.L.; Silva Jr, U.; Soares, E.C.; Silva, C.O.; Barthem, R.B.; Batista, V.S.; Estupiñan, G.; Isaac V.J.; Fonseca, S. & Pinto, W. 2005. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará-2002**. ProVárzea/IBAMA, 84 p.
- Ruffino, M.L.; Soares, E.C.; Silva, C.O.; Barthem, R.B.; Batista, V.S.; Estupiñan, G. & Pinro, W. 2006. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará-2003**. ProVárzea/IBAMA, 76 p.
- Ruiz, P. & Laplanche, C. 2010. A hierarchical model to estimate the abundance and biomass of salmonids by using removal sampling and biometric data from multiple locations. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 67: 2032-2044.
- Russell, E.S. 1931. Some theoretical considerations on the "overfishing" problem. **Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer**, 6: 3-20.
- Silva-Júnior, U.L. 1998. **Análise da produção pesqueira de um lago de várzea do Baixo Amazonas através de um modelo de balanço de massas**. Dissertação (Mestrado). INPA, 68p.



- Salthaug, A. & Aanes, S. 2003. Catchability and the spatial distribution of fishing vessels. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 60(3): 259-268.
- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. **Bulletin, Inter-American Tropical Tuna Commission**. 1: 25-56
- Thomé-Souza, M.J.F.; Raseira, M.B.; Ruffino, M.L.; Silva, C.O.; Batista, V.S.; Barthem, R.B. & Amaral, E.S.R. 2007. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará– 2004**. IBAMA/ProVárzea, 74 p.
- Thorson, J.T. et al. 2013. A new role for effort dynamics in the theory of harvested populations and data-poor stock assessment. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 70(12): 1829-1844.
- Velázquez-Abunader, I.; Salas, S. & Cabrera, M.A. 2013. Differential Catchability by Zone, Fleet, and Size: The Case of the Red Octopus (*Octopus maya*) and Common Octopus (*Octopus vulgaris*) Fishery in Yucatan, Mexico. **Journal of Shellfish Research**, 32(3): 845-854.
- Villegas-Ríos, D. et al. 2014. Life-history and activity shape catchability in a sedentary fish. **Marine Ecology Progress Series**, 515: 239-250.
- Welcomme, R.L. 2001. **Inland Fisheries Ecology and Management**. Fishing News Books, Blackwell Science, FAO, 357p.
- Wilberg, M.J. et al. 2009. Incorporating time-varying catchability into population dynamic stock assessment models. **Reviews in Fisheries Science**, 18(1): 7-24.
- Zhou, S. et al. 2011. Estimating multifleet catchability coefficients and natural mortality from fishery catch and effort data: comparison of Bayesian state-space and observation error models. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 68(7): 1171-1181.

Revista Biodiversidade Brasileira – BioBrasil. 2017, n. 1.

<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/issue/view/44>

**Biodiversidade Brasileira** é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886