

EFEITO DAS LEIS REGULAMENTÁVEIS DA PESCA DO PINTADO NOS PARÂMETROS DA CAPTURA, COMPRIMENTO DE MATURAÇÃO E BIOMASSA

Tamara Aparecida Nogueira dos ANJOS¹

Thelma SÁFADI¹

Solange Gomes Faria MARTINS²

■ RESUMO: A espécie *Pseudoplatystoma corruscans*, popularmente conhecida como Pintado ou Surubim, é um dos principais alvos na captura de peixe de água doce na América do Sul. No período de 1996 a 2013 a regulamentação da pesca na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso) passou por seis mudanças. Como a pressão exercida pela pesca sobre os estoques pesqueiros leva a uma evolução fenotípica da espécie explorada, podendo alterar o rendimento sustentável, os gestores da pesca devem estar atentos em propor um manejo adequado. Este artigo tem por objetivo avaliar o impacto das alterações ocorridas na legislação sobre os parâmetros da captura, comprimento de maturação e biomassa do estoque do Pintado, usando análise de intervenção de séries temporais. Os resultados foram obtidos a partir de adaptações realizadas no modelo Penna com base na biologia e nas características de pesca do Pintado, como proposto por Santos *et al.* (2012). Verificou-se que as alterações ocorridas na legislação da pesca afetaram a captura imediatamente (de forma abrupta), enquanto que nos parâmetros comprimento de maturação e biomassa, o efeito da intervenção ocorreu lentamente (de forma gradual).

■ PALAVRAS-CHAVE: Análise de intervenção; modelo Penna; *P. corruscans*; regulamentação da pesca.

¹Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Estatística, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mail: tamarananjos@gmail.com; safadi@des.ufla.br

²Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Física, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mail: solangemarti@gmail.com

1 Introdução

O declínio mundial dos estoques pesqueiros levam a necessidade de se compreender melhor a dinâmica populacional das espécies exploradas. Dentre as diferentes causas para este declínio, podemos citar fatores ambientais tais como: a poluição da água, a construção e operação de usinas hidrelétricas, assim como outras atividades humanas que geram impactos ambientais. Além disso, ainda há a pesca que gera seleção, causando evolução que altera o rendimento sustentável (LAW, 2000).

A pesca, na maioria das vezes, ocorre de forma sistemática, sendo baseada na adoção de cotas e tamanhos mínimos de captura, resultando na retirada de indivíduos maiores e mais velhos (AGOSTINHO *et al.*, 2007). A pressão exercida pela pesca sobre o estoque causa uma evolução fenotípica e, por esse motivo, os gestores da pesca devem estar atentos, pois, tais alterações são suscetíveis de ser difícil de se inverter e, se adequadamente controlada, pode trazer um ganho evolutivo no rendimento (LAW, 2000).

A espécie *Pseudoplatystoma corruscans*, destaca-se como um dos principais alvos nas capturas de peixes de água doce da América do Sul (MATEUS e PENHA, 2007). Tal espécie, popularmente conhecida como Pintado ou Surubim, é encontrada nas bacias brasileiras do Paraná, São Francisco e Paraguai (BUCKUP, 2007). Em 2008, o Pintado esteve criticamente ameaçado no estado de São Paulo (MELLO *et al.*, 2009).

A grande preocupação com o esgotamento das unidades populacionais tem gerado cada vez mais estudos relacionados com a conservação e recuperação dos estoques. Alguns autores buscam através de modelos de dinâmica populacional, revelar características detalhadas dos estoques de peixes e, assim, compreender o papel da evolução induzida pela pesca (ARLINGHAUS *et al.* 2009; ENBERG *et al.* 2009; SANTOS *et al.* 2012; SOUZA *et al.* 2012).

Santos *et al.* (2012) propuseram um modelo baseado no indivíduo, que leva em conta os efeitos evolutivos da pesca seletiva sobre a população explorada. Esse modelo é uma adaptação do modelo Penna (1995), baseada na biologia do Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*). Nessa mesma linha, Souza *et al.* (2012) simularam a dinâmica dessa mesma espécie, considerando diferentes cenários de pesca. Souza *et al.* (2012) ressaltaram que a estratégia de definir, além do tamanho mínimo de captura, um tamanho máximo de captura, pode ser uma medida eficaz, desde que sua adequação esteja baseada em estudos.

Em busca de um tamanho ótimo que minimizasse os efeitos da pesca seletiva, os legisladores que regulamentam as leis da pesca na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso) alteraram-nas por seis vezes no período de 1996 a 2013. No ano de 1996, entrou em vigor a Resolução nº 009/1996 - CONSEMA que determinou o comprimento de 80 cm como o tamanho mínimo de captura da espécie Pintado, com vigência até o ano de 2000 (MATO GROSSO, 1996). A Resolução nº 001/2000 - CONSEMA, vigente até 2009, alterou o tamanho mínimo de captura para 85 cm e a Lei nº 9096/2009, vigente até 2012, manteve este comprimento como o tamanho

mínimo de captura (MATO GROSSO, 2000; MATO GROSSO, 2009). Já a Lei nº 9794/2012, além de alterar o tamanho mínimo de captura para 90 cm, estipulou também um tamanho máximo de captura de 102 cm (MATO GROSSO, 2012). No ano de 2013, a legislação passou por duas alterações. A Lei nº 9893/2013 manteve o tamanho mínimo de captura de 90 cm e aumentou o tamanho máximo para 115 cm. Esta lei foi criada no dia 1º de março e, em 7 de março, foi modificada pela Lei nº 9895/2013 que definiu somente o tamanho mínimo de captura de 85 cm (MATO GROSSO, 2013a; MATO GROSSO, 2013b).

Anjos *et al.* (2014) avaliaram o impacto da alteração na legislação de pesca, com a Resolução nº 001/2000 - CONSEMA, sobre o parâmetro da captura, utilizando o modelo proposto por Santos *et al.* (2012). Observou-se que o efeito da intervenção no parâmetro da captura ocorreu de forma abrupta, ou seja, percebeu-se imediatamente a consequência da alteração na legislação sobre a captura.

Mediante sucessivas alterações na legislação surge a seguinte questão: quais os efeitos destas mudanças no estoque de Pintado na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso)? Este trabalho teve como foco avaliar o efeito das alterações das leis que regulamentam a pesca na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso) sobre os parâmetros da captura, comprimento de maturação e biomassa, no período em que ocorreram as seis intervenções, utilizando técnicas de séries temporais. Os resultados foram obtidos com a implementação do modelo Santos *et al.* (2012) em linguagem de programação C.

2 Metodologia

2.1 Modelo Santos para pesca

Santos *et al.* (2012) propuseram um modelo para estudar a dinâmica populacional do Pintado e traçar estratégias de pesca. Com os dados biológicos da espécie Pintado relatados por Mateus e Penha (2007) foram feitas adaptações no modelo Penna (PENNA, 1995), o qual trata-se de um modelo de bit-string que leva em conta o envelhecimento biológico dos indivíduos de uma espécie.

Para simular a evolução temporal de uma população de Pintado sujeita à pesca seletiva, considerou-se uma população de indivíduos “haplóides”, ou seja, reprodução assexuada (100% fêmeas), embora esta espécie se reproduza de forma sexuada. O estudo em questão tratou do efeito da pesca seletiva sobre as características do crescimento sem distinção entre machos e fêmeas.

Os indivíduos da população são representados por duas palavras computacionais de 64 bits, uma denominada “genótipo” e a outra denominada “fenótipo”. O “genótipo” é responsável pelas características de envelhecimento do indivíduo e, portanto, relacionado à idade. É assumido que cada bit no genótipo corresponde a uma idade do indivíduo em anos. Dessa maneira, se na idade i , o i -ésimo bit do genótipo for setado em 1, o indivíduo sofrerá o efeito da mutação deletéria naquela e nas demais idades de sua vida. O indivíduo certamente morrerá quando o número

de mutações deletérias na idade atual for igual ao limiar T , que é um parâmetro desse modelo.

Em cada idade do indivíduo é calculado seu comprimento de acordo com a equação de Von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1938),

$$L(j) = L_{\infty}[1 - e^{-k_i(j-j_0)}], \quad (1)$$

sendo $L(j)$ o comprimento do indivíduo, L_{∞} o comprimento assintótico, j_0 a idade teórica em que o comprimento é zero, j a idade atual do indivíduo e k_i a taxa de crescimento característica do indivíduo. Essa taxa de crescimento é definida pelo “fenótipo” de cada indivíduo como

$$k_i = \frac{\alpha \times s}{64}, \quad (2)$$

sendo s a soma de bits setados em 1 no “fenótipo” e α um parâmetro que determina o valor máximo que a taxa de crescimento k_i pode alcançar. O valor de α é determinado por meio de ajuste, no intuito de se obter os parâmetros de crescimento o mais próximo possível dos parâmetros obtidos experimentalmente.

Segundo Santos (1978), o tamanho em que cada indivíduo começa a reproduzir não é fixo e a frequência de indivíduos maduros aumenta de acordo com o comprimento do peixe. No modelo Penna, quando o indivíduo atinge uma idade R , certamente, ele se torna maduro. Aqui, o indivíduo matura em um dado tamanho, com uma probabilidade de maturação $m_i(L)$. Essa probabilidade é dada por

$$m_i(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_m(L-L_{im})}}, \quad (3)$$

sendo β_m o coeficiente de inclinação da curva de maturidade e L_{im} o tamanho em que o indivíduo tem 50% de probabilidade de tornar-se maduro. O comprimento L_{im} é proporcional à taxa de crescimento k_i e ao comprimento assintótico L_{∞} (HE e STEWART, 2001), ou seja,

$$L_{im} = \frac{1}{\alpha} \times k_i \times L_{\infty}. \quad (4)$$

Como α define o valor máximo que a taxa de crescimento k_i pode assumir, a equação (4) garante que $L_{im} \leq L_{\infty}$.

Quando o indivíduo se tornar maduro, ele irá gerar b filhos a cada reprodução. Sato *et al.* (1997) estimaram uma relação entre a fertilidade e o peso corporal do Pintado, dada por:

$$b(P) = -890137 + 191079P, \quad (5)$$

sendo P o peso do indivíduo em kg. O peso do indivíduo é calculado pela equação, proposta por Godinho *et al.* (1997),

$$P(L) = 1,734 \times 10^{-6} L^{3,335}, \quad (6)$$

sendo $P(L)$ o peso, em kg e L o comprimento do indivíduo, em cm.

A equação (5) apresenta uma relação linear entre a fertilidade e o peso corporal do Pintado. Baseado nesta relação linear, Santos *et al.* (2012) consideraram que a fertilidade depende do peso, de acordo com a seguinte equação:

$$b(P) = 1,0 + 2,0(P - P_{mat}), \quad (7)$$

sendo $P_{mat} = 1.734 \times 10^{-6} L_{mat}^{3,335}$ e L_{mat} o tamanho em que o indivíduo tornou-se maduro. Já neste trabalho, considera-se que a fertilidade depende do peso, de acordo com a seguinte equação:

$$b(P) = 2 \times P, \quad (8)$$

sendo P o peso do indivíduo em kg dado pela equação (6). Note que, no momento em que o indivíduo matura, a equação (7) fornecerá um número de filhos igual a 1, independente da idade em que o indivíduo maturou, pois, neste caso, $P = P_{mat}$, diferente da equação (8), em que o número de filhos irá variar de acordo com a idade em que o indivíduo maturou.

Para cada filho, no momento do nascimento, são feitas cópias do genótipo e do fenótipo da mãe. No genótipo são escolhidos M bits, os quais sofrerão mutações deletérias da seguinte forma: se o bit da mãe for setado em 0, o bit do filho passa a ser 1 ou se o bit da mãe for setado em 1 o do filho permanecerá 1, ou seja, na melhor das hipóteses, o genótipo do filho será igual ao da mãe. Já no fenótipo, os M bits sorteados são invertidos em relação aos bits correspondentes no fenótipo da mãe, com uma probabilidade de ocorrência de mutação de 0,5.

Além da morte por envelhecimento, o indivíduo poderá morrer com probabilidade $\frac{N(t)}{N_{max}}$ (fator de Verhuslt), devido às restrições ambientais, sendo $N(t)$ o número de indivíduos em determinada etapa temporal e N_{max} , a capacidade de carga do ambiente. O indivíduo poderá morrer também devido à pesca seletiva.

A pesca seletiva é implementada da seguinte maneira: há uma probabilidade E de o indivíduo ser encontrado e, se ele for encontrado, ele será capturado com uma probabilidade determinada por

$$S(L) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_s(L-LC)}}. \quad (9)$$

Essa curva é denominada como curva de seletividade logística, sendo LC o tamanho mínimo de captura definido pela legislação local e β_s é o coeficiente da curva de seletividade.

No final de cada etapa temporal, se o indivíduo não morrer, ele terá sua idade acrescida de um ano, e seu tamanho e peso serão atualizados de acordo com as equações (1) e (6), respectivamente.

2.2 Cenário para o estudo das alterações na resolução de pesca

O modelo Santos *et al.* (2012) foi aplicado à pesca da espécie *P. corruscans* para avaliar o impacto das mudanças na legislação sobre a captura, o comprimento de maturação e a biomassa. Para isto foi considerado um cenário constituído de diferentes estratégias de pesca, tendo como base as alterações na regulamentação da pesca na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso), ocorridas entre 1996 e 2013. É importante salientar que a Lei nº 9893/2013 não foi considerada nas simulações, pelo fato de que ela só esteve em vigor durante 7 dias, e os dados da simulação são gerados anualmente.

A simulação foi composta de 100.270 etapas temporais, com uma população inicial de 10000 indivíduos. As primeiras 99950 etapas temporais foram necessárias para que a população atingisse uma estrutura etária e uma distribuição de fenótipos estáveis. Como não é conhecida a legislação de pesca anterior ao ano de 1996, a curva de seletividade logística baseada na Resolução nº 009/1996 - CONSEMA, foi adotada nas primeiras 99950 etapas temporais. A etapa temporal 99.951 correspondeu à primeira etapa temporal ($t = 1$) do cenário. Considerou-se também que nos 50 anos, anteriores ao ano de 1996, os peixes eram capturados com um comprimento mínimo de 85 cm. Desta forma, o ano de 1996 correspondeu à etapa temporal $t = 51$ do cenário. O cenário consiste, portanto, de 320 etapas temporais.

As diferentes estratégias de pesca no cenário foram aplicadas da seguinte maneira:

- A curva de seletividade logística,

$$S_1(L) = \frac{1}{1 + e^{-0.5(L-80)}} \quad (10)$$

foi mantida até $t = 54$. Sendo que $t = 51$ a $t = 54$ corresponde ao período em que a pesca foi regulamentada pela Resolução nº 009/1996 - CONSEMA, a qual define o tamanho mínimo de captura de 80 cm (MATO GROSSO, 1996).

- A seguir, a curva de seletividade S_2 ,

$$S_2(L) = \frac{1}{1 + e^{-0.5(L-85)}} \quad (11)$$

foi aplicada de $t = 55$ a $t = 66$, período de pesca regulamentada pela Resolução nº 001/2000 - CONSEMA e pela Lei nº 9096/2009, ambas definindo o tamanho mínimo de captura como 85 cm (MATO GROSSO, 2000; MATO GROSSO, 2009).

- Em $t = 67$, foi aplicada a curva de seletividade $S_3(L)$,

$$S_3(L) = \begin{cases} \frac{1}{1+e^{-0.5(L-90)}}, & \text{se } 0 < L \leq 102 \\ 0, & \text{se } L > 102. \end{cases} \quad (12)$$

baseada na Lei nº 9794/2012, que esteve em vigor apenas no ano de 2012.

• A partir de $t = 68$, foi aplicada a curva de seletividade S_2 , baseada na legislação atual, Lei nº 9895/2013, que define somente um tamanho mínimo de captura de 85

cm (MATO GROSSO, 2012; MATO GROSSO, 2013a; MATO GROSSO, 2013b).

Os parâmetros do modelo, L_∞ (comprimento assintótico) e j_0 (idade teórica em que o comprimento do indivíduo é zero) assumiram os valores estimados por Mateus e Penha (2007), os quais são apresentados na Tabela 1. Na mesma tabela é apresentado L_m (comprimento médio de primeira maturação), o qual não constitui um parâmetro do modelo.

Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros biológicos para o estoque de Pintado (MATEUS e PENHA, 2007)

L_∞ (cm)	j_0 (ano)	L_m (cm)
149,7	-0,871	75,0

Os demais parâmetros assumiram os seguintes valores:

1. $T = 1$ (limite de mutações deletérias);
2. $N_{max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);
3. $M = 1$ (número de mutações);
4. $\alpha = 0,25$ ano (constante de proporcionalidade);
5. $\beta_m = 0,5$ (coeficiente de inclinação da maturidade);
6. $E = 0,3$ (probabilidade de encontrar o indivíduo).

2.3 Séries temporais

Uma série temporal, em geral, é composta por três componentes $Z_t = T_t + S_t + a_t$, sendo T_t a componente tendência, S_t a componente sazonalidade e a_t a componente aleatória. A componente tendência pode ser entendida como uma mudança de nível ou inclinação das observações no decorrer do tempo. Fenômenos sazonais são aqueles que mostram flutuações em períodos, podendo ser mensal, bimestral, etc. A suposição usual é que a_t seja uma série puramente aleatória ou ruído branco, ou seja, independente e identicamente distribuído, com média zero e variância constante (MORETTIN e TOLOI, 2006).

Box e Jenkins (1976) apresentaram uma metodologia bastante utilizada na análise de modelos paramétricos. Tal metodologia consiste em ajustar modelos autorregressivos integrados de médias móveis ARIMA(p,d,q) a um conjunto de dados. O modelo ARIMA e a versão mais geral ARIMA sazonal (SARIMA) são apresentados no Apêndice deste artigo.

Para verificar o número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária aplicou-se o Teste de Cox-Stuart e o Teste de Fisher. O teste de Cox-Stuart verifica a existência da componente tendência enquanto que, o teste de

Fisher, verifica a existência da componente sazonalidade. Detalhes desses testes são encontrados em Morettin e Toloi (2006).

Em uma série temporal pode ocorrer, em determinado instante de tempo, um evento, independente do fenômeno que originou a série temporal, cujos efeitos são significativos sobre a mesma. A análise de intervenção tem por objetivo avaliar as mudanças no comportamento da série causados por esses fatores externos. A análise de intervenção é de grande utilidade na compreensão dos eventos externos e tem sido utilizada em várias áreas (ALJOURANI *et al.* 2012; CHARANI *et al.* 2017; LAM *et al.*, 2009; FERRAND *et al.*, 2011). Por esta razão, o efeito da intervenção foi introduzido ao modelo ARIMA e maiores detalhes são apresentados no Apêndice deste artigo.

Estimado o modelo ARIMA, partiu-se para a análise dos resíduos. Se este modelo representa adequadamente os dados, então, os resíduos constituem um ruído branco. O teste de Box e Pierce (1970) é baseado nas primeiras k autocorrelações (r_k) dos resíduos e verifica a existência de correlação. Este teste foi utilizado para verificar se os resíduos apresentam um processo de ruído branco.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se as funções do pacote TSA do programa R (R CORE TEAM, 2017).

3 Resultados e discussão

3.1 Captura

Na Figura 1 é apresentado o gráfico da evolução temporal da captura. A etapa temporal $t = 55$ corresponde ao ano de 2000, $t = 67$ ao ano de 2012 e $t = 68$ ao ano de 2013. Nesses anos ocorreram alterações na legislação. As setas na Figura 1 mostram exatamente estes momentos.

Nota-se pela função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial da série original (Figura 2 (a)) que a série não é estacionária. A presença da componente tendência foi verificada pelo teste de Cox-Stuart e deve ser explicada pela mudança de nível.

Na Figura 3 é apresentado o gráfico da série da captura estacionária. Nota-se a presença de picos nos momentos onde ocorreram as intervenções, os quais são esperados, pelo fato de as intervenções terem ocorrido de forma abrupta.

Na Figura 2 (b) são apresentadas a função de autocorrelação e a função de autocorrelação parcial da série estacionária, as quais auxiliam na escolha do modelo. Para propôr o modelo, também foram levadas em consideração as intervenções ocorridas em $t = 55$, $t = 67$ e $t = 68$.

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi ARIMA(0,1,1) com intervenções

$$Z_t = \omega_1 X_{1,t} + \omega_2 X_{2,t} + \omega_3 X_{3,t} + \frac{(1 - \theta_1 B)a_t}{(1 - B)},$$

em que as variáveis binárias são,

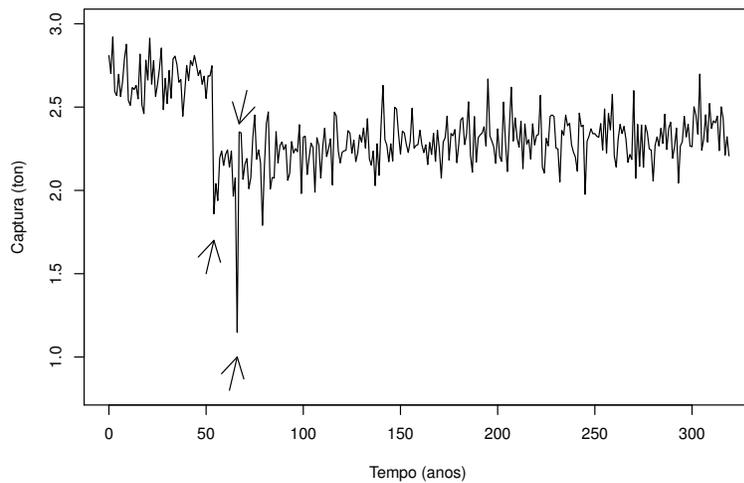


Figura 1 - Gráfico da captura.

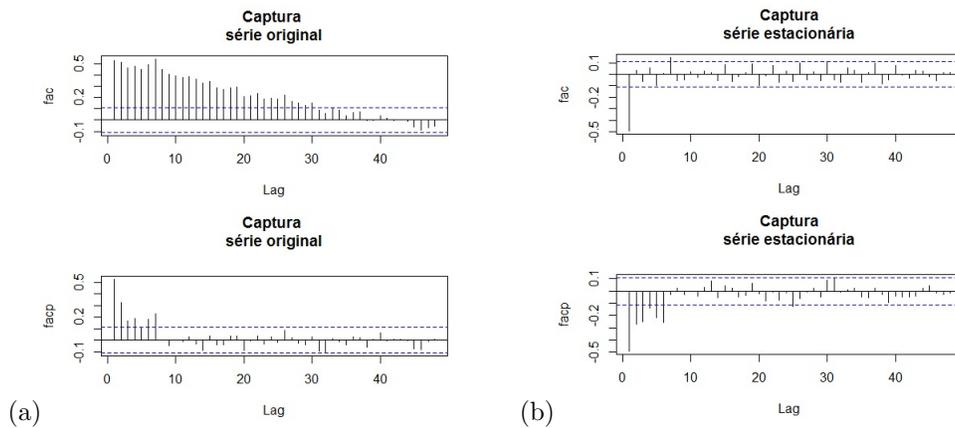


Figura 2 - (a) Correlograma da série da captura. (b) Correlograma da série estacionária da captura.

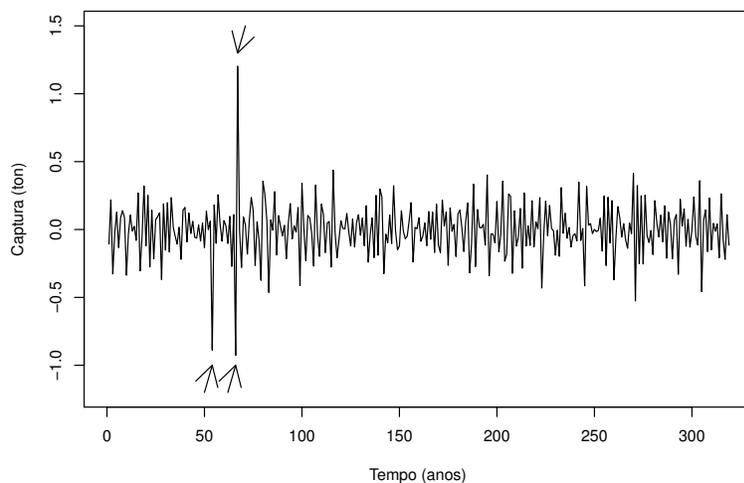


Figura 3 - Gráfico da série da captura estacionária.

$$X_{1,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } t < 55 \text{ e } t > 66 \\ 1, & \text{se } 55 \leq t \leq 66 \end{cases}$$

$$X_{2,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } t \neq 67 \\ 1, & \text{se } t = 67 \end{cases}$$

$$X_{3,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } t < 68 \\ 1, & \text{se } t \geq 68 \end{cases}$$

As estimativas dos parâmetros do modelo sugerido são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Estimativas dos parâmetros do modelo sugerido para a série da captura

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão
ARIMA (0,1,1)-CI	θ_1	-0,9637	0,0134
	ω_1	-0,5742	0,0443
	ω_2	-1,5348	0,1272
	ω_3	-0,4632	0,0404

Substituindo-se os valores das estimativas apresentados na Tabela 2, tem-se a

seguinte equação para o modelo ARIMA(0,1,1)-CI:

$$Z_t = -0,5742X_{1,t} - 1,5348X_{2,t} - 0,4632X_{3,t} + \frac{(1 + 0,9637B)a_t}{(1 - B)}$$

Utilizando-se o modelo proposto é possível verificar que os efeitos das intervenções causaram um decréscimo médio de, aproximadamente, 0,5742 toneladas, a partir da observação 55, que corresponde ao ano de 2000 (ocorreu a alteração na legislação que aumentou o tamanho mínimo de captura para 85 *cm*), um decréscimo de 1,5348 toneladas, comparado ao momento antes das intervenções, na observação 67 que corresponde ao ano de 2012 (ocorreu a alteração na legislação que definiu um tamanho mínimo de captura de 90 *cm* e máximo de 102 *cm*) e um decréscimo de 0,4632 toneladas, também comparado ao momento antes das intervenções, a partir da observação 68, que corresponde ao ano de 2013 (ocorreu a alteração na legislação e o tamanho mínimo de captura voltou a ser 85 *cm*).

3.2 Comprimento de maturação

Na Figura 4 apresenta-se a evolução temporal do comprimento de maturação, obtidas com a simulação no período de $t = 1$ a $t = 320$. A etapa temporal $t = 55$ corresponde ao ano de 2000, $t = 67$ ao ano de 2012 e $t = 68$ ao ano de 2013. Nesses anos ocorreram alterações na legislação. As setas na Figura 4 mostram exatamente estes momentos.

Ao contrário da captura observa-se que as intervenções afetaram o comprimento de maturação de forma gradual. Nota-se pela função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial da série original (Figura 5 (a)) que a série não é estacionária. A presença da componente tendência foi verificada pelo teste de Cox-Stuart e deve ser explicada pela inclinação.

Na Figura 6 é apresentado o gráfico da série estacionária do comprimento de maturação. Neste caso não ocorrem picos nos respectivos tempos das intervenções, isso se deve ao fato das intervenções terem ocorrido de forma gradual.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela função de autocorrelação e a função de autocorrelação parcial da série estacionária, representadas na Figura 5 (b). Para propôr o modelo, também foram levadas em consideração as intervenções ocorridas em $t = 55$, $t = 67$ e $t = 68$.

É importante salientar que foram considerados modelos que levam em consideração as três intervenções ($t = 55$, $t = 67$ e $t = 68$) e uma intervenção a partir de $t = 55$, pelo fato de as alterações terem ocorrido em um curto período de tempo e terem influência uma sobre a outra.

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi ARIMA(1,1,1) com intervenção

$$Z_t = \frac{\omega_0}{1 - \delta B} X_{1,t} + \frac{(1 - \theta_1 B)a_t}{(1 - B)(1 - \phi_1 B)},$$

em que a variável binária é

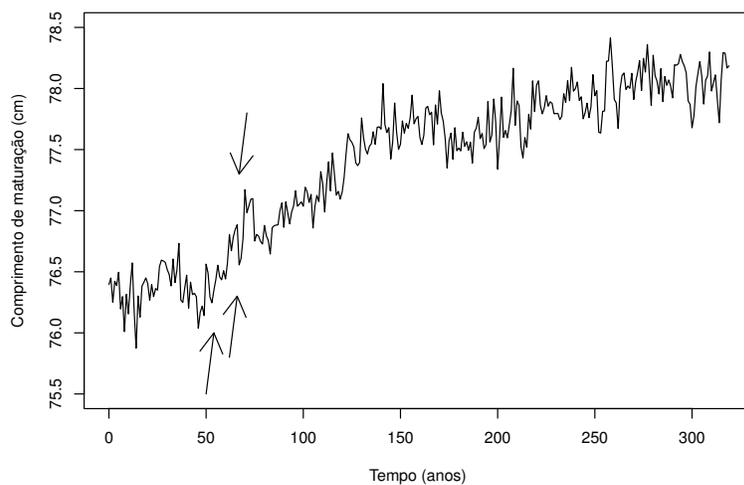


Figura 4 - Gráfico do comprimento de maturação.

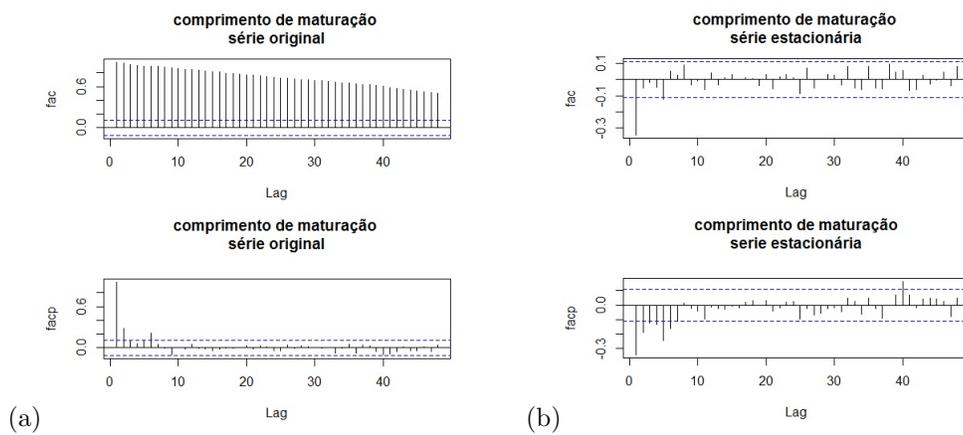


Figura 5 - (a) Correlograma da série do comprimento de maturação. (b) Correlograma da série estacionária do comprimento de maturação.

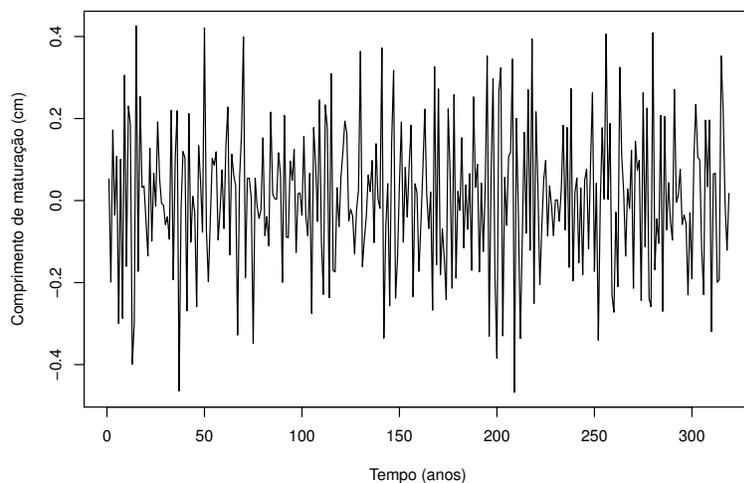


Figura 6 - Gráfico da série estacionária do comprimento de maturação.

$$X_{1,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } t < 55 \\ 1, & \text{se } t \geq 55 \end{cases}$$

As estimativas dos parâmetros do modelo sugerido são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros do modelo sugerido para a série do comprimento de maturação

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão
ARIMA(1,1,1)-CI	ϕ_1	0,3763	0,0685
	θ_1	-0,9224	0,0348
	ω_0	0,0214	0,0052
	δ	0,9875	0,0042

Substituindo-se os valores das estimativas apresentados na Tabela 3 tem-se a seguinte equação para o modelo ARIMA(1,1,1)-CI:

$$(1 - B)Z_t = \frac{0,0214}{1 - 0,9875B} X_{1,t} + \frac{(1 + 0,9224)a_t}{(1 - 0,3763B)},$$

Pode-se dizer, com base no modelo ajustado aos dados, que as alterações na

legislação nos anos de 2000, 2012 e 2013 fizeram o comprimento de maturação aumentar até $\frac{\omega_0}{1-\delta} = \frac{0,0214}{1-0,9875} = 1,7 \text{ cm}$, a partir de $t = 55$.

3.3 Biomassa

Na Figura 7 apresenta-se a evolução temporal da biomassa, obtida com a simulação no período de $t = 1$ a $t = 320$. A etapa temporal $t = 55$ corresponde ao ano de 2000, $t = 67$ à alteração na legislação no ano de 2012 e $t = 68$ ao ano de 2013. Nesses anos ocorreram alterações na legislação. As setas na Figura 7 mostram exatamente estes momentos.

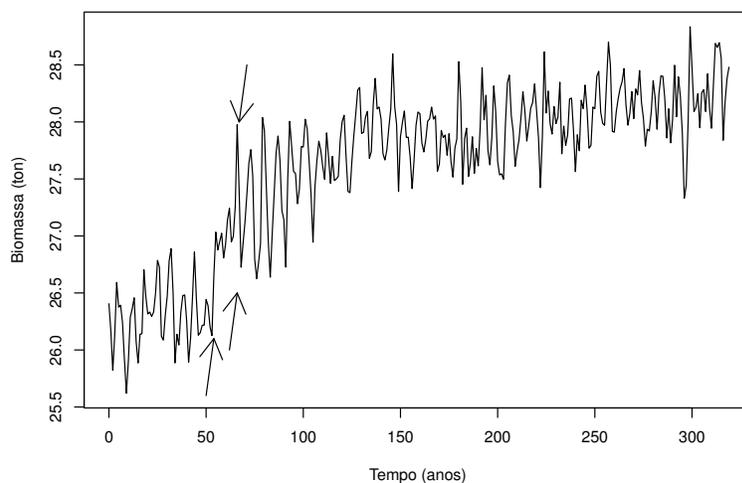


Figura 7 - Gráfico da biomassa.

Ao contrário da captura observa-se que as intervenções afetaram a biomassa de forma gradual. Nota-se pela função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial da série original (Figura 8 (a)) que a série não é estacionária. A evolução temporal da biomassa apresenta as componentes tendência e ciclo (7 anos), verificadas pelo teste de Cox-Stuart e teste de Fisher, respectivamente.

Na Figura 9 tem-se o gráfico da série estacionária da biomassa. Neste caso não ocorrem picos nos respectivos tempos das intervenções, isso se deve ao fato das intervenções terem ocorrido de forma gradual.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela função de autocorrelação e a função de autocorrelação parcial da série estacionária, representadas na Figura 8 (b). Para propôr o modelo, também foram levadas em consideração as intervenções ocorridas em $t = 55$, $t = 67$ e $t = 68$.

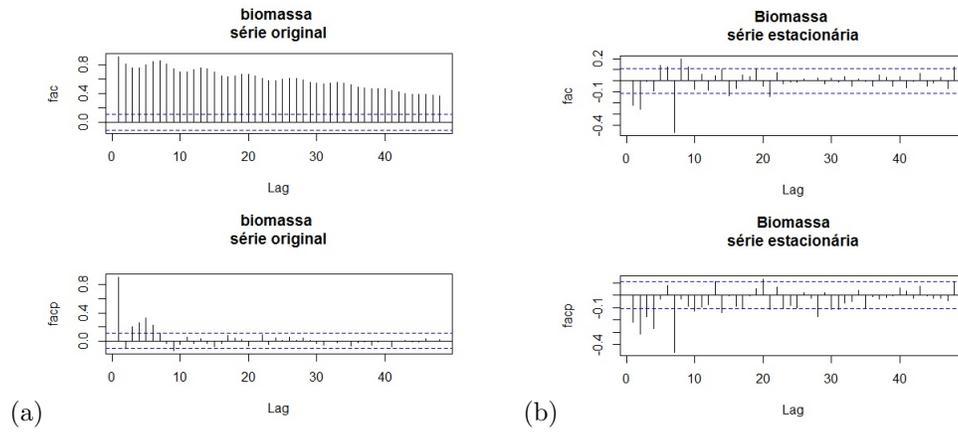


Figura 8 - (a) Correlograma da série da biomassa. (b) Correlograma da série estacionária da biomassa.

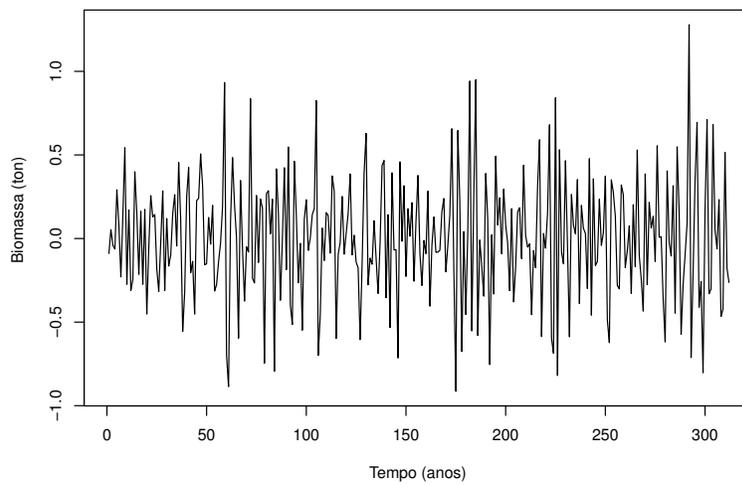


Figura 9 - Gráfico da série da biomassa estacionária.

Foram considerados modelos que levam em consideração as três intervenções ($t = 55$, $t = 67$ e $t = 68$) e uma intervenção a partir de $t = 55$, pelo fato de as alterações terem ocorrido em um curto período de tempo e também influenciarem uma a outra.

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi SARIMA(2, 1, 2) $X(0, 1, 1)_7$ com intervenção

$$Z_t = \frac{\omega_0}{1 - \delta B} X_{1,t} + \frac{(1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2)(1 - \Theta_1 B^7) a_t}{(1 - B)(1 - B^7)(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2)}$$

em que a variável binária é

$$X_{1,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } t < 55 \\ 1, & \text{se } t \geq 55 \end{cases}$$

As estimativas dos parâmetros do modelo sugerido são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros do modelo sugerido para a série da biomassa

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro padrão
SARIMA(2, 1, 2) $X(0, 1, 1)_7$	ϕ_1	1,0678	0,0645
	ϕ_2	-0,6726	0,0540
	θ_1	-1,4689	0,0715
	θ_2	0,5717	0,0713
	Θ	-0,9800	0,0768
	ω_0	0,2199	0,0805
	δ	0,7347	0,1136

Substituindo-se os valores das estimativas apresentados na Tabela 4, tem-se a seguinte equação para o modelo SARIMA(2, 1, 2) $X(0, 1, 1)_7$:

$$Z_t = \frac{0,2199}{1 - 0,7347B} X_{1,t} + \frac{(1 + 1,4689B - 0,5717B^2)(1 + 0,9800B^7) a_t}{(1 - B)(1 - B^7)(1 - 1,0678B + 0,6726B^2)}$$

Pode-se dizer, com base no modelo ajustado aos dados, que as alterações na legislação, nos anos de 2000, 2012 e 2013, fizeram a biomassa aumentar até $\frac{\omega_0}{1 - \delta} = \frac{0,2199}{1 - 0,7347} = 0,83$ toneladas, a partir de $t = 55$.

3.4 Discussão

Em trabalhos anteriores (SOUZA *et al.*, 2012 e SANTOS *et al.*, 2012) buscaram, através da simulação computacional, compreender o efeito evolutivo, e portanto a longo prazo, de alterações na forma da pesca sobre o estoque do

Pintado. Neste trabalho, considerando que a regulamentação da pesca na bacia do Rio Paraguai no período de 1996 a 2013 passou por seis alterações, é importante uma avaliação, a curto prazo, do comportamento de parâmetros biológicos.

A regulamentação da pesca na bacia do rio Paraguai (Mato Grosso) sofreu alterações em pequenos intervalos de tempo e, assim, buscou-se neste trabalho compreender o efeito de cada alteração, utilizando a análise de intervenção. Verificou-se com o modelo que as alterações na legislação da pesca causaram uma mudança imediata na captura. A lei 9794/12 que estabeleceu uma janela de captura (90 cm como tamanho mínimo e 102 cm como tamanho máximo) gerou uma redução na captura de 1,5348 toneladas, o que corresponde a um decréscimo de aproximadamente 57% na captura, comparado ao período anterior às intervenções. Considerando inalterado os custos dos insumos e o preço de venda dos peixes, esta redução certamente gera grandes perdas econômicas para a comunidade pesqueira. Embora a janela de captura gere vantagens evolutivas para a espécie explorada, a sua escolha deve ser bem avaliada pelos gestores, devido aos impactos econômicos e sociais que uma escolha inadequada pode gerar. Já em 2013, a Lei 9895/2013, restabeleceu o comprimento mínimo de captura para 85 cm. Esta alteração gerou uma redução na captura de 0,4632 toneladas, o que corresponde a um decréscimo de 17%, valor bastante inferior ao decréscimo ocasionado pela legislação anterior.

No ajuste do modelo ARIMA com intervenção para a biomassa e comprimento de maturação, observou-se apenas uma intervenção significativa (Resolução 001/2000-CONSEMA), ao contrário da captura, onde foram observadas três intervenções significativas. A intervenção ocorreu de forma gradual, gerando efeitos positivos para a espécie explorada.

Conclusões

O modelo proposto por Santos *et al.* (2012) e a análise dos resultados com o modelo SARIMA com intervenção, ajudaram a interpretar as possíveis consequências das diversas alterações ocorridas em um curto intervalo de tempo sobre o estoque do Pintado na Bacia do Rio Paraguai (Mato Grosso).

Ficou claro que as alterações geradas por mudanças na regulamentação da pesca afetaram imediatamente a captura e, por esta razão, propostas de mudanças merecem análise criteriosa dos gestores. Uma alternativa para dar subsídios à tomada de decisões, seria a modelagem matemática e/ou computacional, com o suporte de pesquisas relativas ao estudo dos parâmetros biológicos e de pesca da espécie explorada.

As alterações na captura devido a alterações na regulamentação da pesca merecem atenção e devem ser monitoradas. Os efeitos são notáveis para a comunidade pesqueira que, além de ser detentora de um valioso conhecimento adquirido durante gerações, encontram na pesca a fonte para sustento de suas famílias.

Agradecimentos

Agradecemos à Capes, FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro e aos revisores e editores pelas sugestões.

ANJOS, T. A. N.; SÁFADI, T.; MARTINS, S. G. F. Effect of the regulated Pintado fishing laws on the parameters of catch, maturity length and biomass. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.36, n.3, p.730-752, 2018.

■ **ABSTRACT:** *The pressure exerted by the fishery on the fish stocks leads to a phenotypic evolution and can change the sustainable yield, for this reason, the fishery managers must be careful to propose an appropriate management. The species *Pseudoplatystoma corruscans*, popularly known as Pintado or Surubim, is one of the main targets for catching freshwater fish in South America. From 1996 to 2013 fishing regulations in the Paraguay River Basin (Mato Grosso) went through Six changes. This paper aims to evaluate the impact of changes in legislation on the parameters of the catch, maturation length and biomass of the Pintado stock, using time series intervention analysis. The data were obtained through simulation, the model is an adaptation of the Penna model based on the biology and the fishing characteristics of Pintado. Changes in fisheries legislation affected the catch immediately (abruptly), as in the maturation length and biomass parameters, the intervention effect occurs slowly (gradually).*

■ **KEYWORDS:** *Intervention analysis; Penna model; *P. corruscans*; fishing regulations.*

Referências

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Maringá: EDUEM, 2007. 501p.

ALJOURMANI, B.; SÀNCHEZ-ESPIGARES, J. A.; CAÑAMERAS, N.; JOSA, R.; MONSERRAT, J. Time series outlier and intervention analysis: Irrigation management influences on soil water content in silty loam soil. *Agricultural Water management*, v.111, p.105-114, 2012.

ANJOS, T. A. N.; CRUZ, E. F.; SÁFADI, T.; MARTINS, S. G. F. Efeito da alteração na legislação sobre o parâmetro da captura do Pintado. *Revista da Estatística UFOP*, v.3, n.2, p.118-125, 2014.

ARLINGHAUS, R.; MATSUMURA, S.; DIECKMANN, U. Quantifying selection differentials caused by recreational fishing: development of modeling framework and application to reproductive investment in pike (*Esox lucius*). *Evolutionary Applications*, v.2, p.335-355, 2009.

BERTALANFFY, L. V. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, v.10, n.2, p.181-213, 1938.

- BOX, G.; PIERCE, D. Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models. *Journal of the American Statistical Association*, v.65, p.1509-1526, 1970.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. *Time series analysis, forecasting and control*. San Francisco: Holden-Day, 1976. 575p.
- BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A.; GHAZZI, M. S. *Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil*. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2007. 195p.
- CENTRO DE PESQUISA DO PANTANAL. *Implicações da Lei Estadual MT nº 9794 de 30/07/2012 sobre a Pesca e Conservação dos Recursos Pesqueiros*. Cuiabá, 2012. 7 p. Disponível em: http://www.cpap.embrapa.br/pesca/online/PESCA2012_CPP1.pdf. Acesso em: 13 nov. 2013.
- CHARANI E.; GHARBI, M.; MOORE L. S. P.; CASTRO-SANCHÉZ, E.; LAWSON, W.; GILCHRIST, M.; HOLMES, A. H. Effect of adding a mobile health intervention to a multimodal antimicrobial stewardship programme across three teaching hospitals: an interrupted time series study. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, v.72, n.6, p.1825-1831, 2017.
- CONOVER, D. O.; MUNCH, S. B. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales. *Science*, v.297, n.5578, p.94-96, 2002.
- ENBERG, K.; JORGENSEN, C.; DUNLOP, E. S.; HEINO, M.; DIECKMANN, U. Implications of fisheries-induced evolution for stock rebuilding and recovery. *Evolutionary Applications*, v.2, n.3, 2009.
- FERRAND, Y.; KELTON, C. M. L.; GUO, J. J.; LEVY, M. S.; YU, Y. Using time-series intervention analysis to understand U.S. Medicaid expenditures on antidepressant agents. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, v.7, p.64-80, 2011.
- GODINHO, H. P. *et al.* Pesca e biologia do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* no rio São Francisco. In: MIRANDA, M. O. T. (Ed.). *Surubim*. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, 1997. p.27-42.
- HE, J. X.; STEWART, J. D. Age and size at first reproduction of fishes: predictive models based only on growth trajectories. *Ecology*, v.82, n.3, p.784-791, 2001.
- LAM, C. Y.; IP, W. H.; LAU, C. W. A business process activity model and performance measurement using a time series ARIMA intervention analysis. *Expert Systems with Applications*, v.36, p.6986-6994, 2009.
- LAW, R. Fishing, selection, and phenotypic evolution. *Journal of Marine Science*, v.57, p.659-668, 2000.

MATEUS, L. A. F.; PENHA, J. M. F. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (Siluriformes, Pimelodidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, v.24, n.1, p.87-98, 2007.

MATO GROSSO. *Resolução CONSEMA n° 009/1996*, 14 de maio de 1996. Estabelece corredor de vegetação área de trânsito a fauna. Cuiabá, 1996. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=208>. Acesso em: 10 jun. 2013.

MATO GROSSO. *Resolução CONSEMA n° 001/2000*, de 16 de março de 2000. Cuiabá, 2000. Disponível em: http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=2856&Itemid=403. Acesso em: 10 jun. 2013.

MATO GROSSO. *Lei n° 9096*, de 16 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política da Pesca no Estado de Mato Grosso e dá outras providências. Cuiabá, 2009. Disponível em: <http://monitoramento.sema.mt.gov.br/simlam/LEI%20N%C2%BA%209.096,%20de%2016%20de%20janeiro%20de%202009.doc>. Acesso em: 10 mar. 2013.

MATO GROSSO. *Lei n° 9794*, de 30 de julho de 2012. Altera dispositivos da Lei n° 9.096, de 16 de janeiro de 2009. Cuiabá, 2012. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=243758>. Acesso em: 10 mar. 2013.

MATO GROSSO. *Lei n° 9893*, de 1 de março de 2013. Modifica dispositivos da Lei n° 9.096, de 16 de janeiro de 2009, alterada pela Lei n° 9.794, de 30 de julho de 2012, e dá outras providências. Cuiabá, 2013a. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=251884>. Acesso em: 10 jun. 2013.

MATO GROSSO. *Lei n° 9895*, de 7 de março de 2013. Modifica dispositivos da Lei n° 9.096, de 16 de janeiro de 2009. Cuiabá, 2013b. Disponível em: <http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=252093>. Acesso em: 10 jun. 2013.

MELLO, P. H.; VENTURIERI, R. L. L.; HONJI, R. M.; MOREIRA, R. G. Threatened fishes of the world: *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz, 1829) (Siluriformes: Pimelodidae). *Environmental Biology of Fishes*, v.85, p.359-360, 2009.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Análise de séries temporais*. 2.ed. São Paulo: Edigard Blücher, 2006. 538 p.

PENNA, T. J. P. A bit string model for biological aging. *Journal of Statistical Physics*, v.78, n.5/6, p.1629-1633, 1995.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <http://www.R-project.org>.

SANTOS, E. P. *Dinâmica de populações aplicada à pesca e piscicultura*. São Paulo: Hucitec, 1978. 129 p.

SANTOS, R. V. R.; MARTINS, S. G. F.; POMPEU, P. S. An individual-based model for evolutionary effects of selective fishing applied to Pintado *Pseudoplatystoma corruscans*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v.391, n.21, p.5112-5120, 2012.

SATO, Y.; CARDOSO, E. L.; SALUM, W. B.; GODINHO, H. P. Indução experimental da desova do surubim *Pseudoplatystoma corruscans*. In: MIRANDA, M. O. T. (Ed.). *Surubim*. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais, 1997. p.69-79.

SOUZA, A. A.; MARTINS, S. G. F.; POMPEU, P. S. An individual-based model applied to the study of different fishing strategies of Pintado *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz, 1829). *BioSystems*, v.110, n.1, p.51-59, 2012.

Recebido em 27.03.2017.

Aprovado após revisão em 13.11.2017.

Apêndice

Modelo ARIMA

Definem-se os modelos do tipo autorregressivo média móvel de ordem p e q , (ARMA(p , q)), da forma

$$\phi(B)Z_t = \theta(B)a_t, \quad (13)$$

sendo B o operador de translação para o passado, $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ o polinômio autorregressivo e $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ o polinômio de médias móveis.

Na realidade, a maioria das séries é não estacionária, entretanto, após tomar a primeira ou a segunda diferença, elas se tornam estacionárias. Esse tipo de não estacionariedade é chamado de homogêneo (MORETTIN e TOLOI, 2006).

Se a série é não estacionária do tipo homogêneo, o modelo utilizado é o autorregressivo integrado de médias móveis, ARIMA(p , d , q), da forma

$$\phi(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)a_t, \quad (14)$$

sendo d o número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária, Δ o operador diferença e $\phi(B)$ e $\theta(B)$, os polinômios autorregressivo e média móvel, respectivamente.

Modelo ARIMA sazonal - SARIMA

Pode acontecer de, mesmo após eliminar a sazonalidade determinística, haver autocorrelação significativa em “lags” de baixa ordem ou em “lags” sazonais, múltiplos de período s . Portanto, há a necessidade de se considerar uma sazonalidade estocástica, ou seja, ajustar à série original um modelo ARIMA sazonal (SARIMA).

O modelo SARIMA(p, d, q) $X(P, D, Q)_s$ pode ser escrito como

$$\phi(B)\Phi(B^s)(1 - B^s)^D(1 - B)^d Z_t = \theta(B)\Theta(B^s)a_t, \quad (15)$$

sendo $\phi(B)$, $\theta(B)$ e d como definidos em (14) e $\Phi(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \dots - \Phi_P (B^s)^P$ o polinômio autorregressivo sazonal de ordem P , $\Theta(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \dots - \Theta_Q (B^s)^Q$, o polinômio médias móveis sazonal de ordem Q e D o número de diferenças sazonais.

Intervenção

Um modelo que leva em conta a ocorrência de múltiplas intervenções, dado por

$$Z_t = \sum_{j=1}^k \nu_j(B)X_{j,t} + N_t, \quad (16)$$

sendo

k o número de intervenções;

$X_{j,t}$ a variável binária que neste trabalho é do tipo degrau

$$X_{j,t} = \begin{cases} 0, & \text{se } t < T \\ 1, & \text{se } t \geq T; \end{cases} \quad (17)$$

$\nu_j(B)$ a função transferência;

N_t a série livre do efeito da intervenção e denominada série residual.

Uma intervenção pode afetar uma série temporal de várias formas, sendo que, na sua manifestação, ela pode ser abrupta ou gradual, na sua duração, permanente ou temporária.

Dependendo do efeito da intervenção, tem-se uma forma apropriada para a função de transferência, $\nu(B)$, que é dada por

$$\nu(B) = \frac{\omega(B)B^b}{\delta(B)} \quad (18)$$

sendo $\omega(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \dots - \omega_s B^s$ e $\delta(B) = 1 - \delta_1 B - \dots - \delta_r B^r$ polinômios em B e b é a defasagem para o início do efeito da intervenção.

As formas de $\nu(B)$ que nos interessam são $\nu(B) = \omega_0$ e $\nu(B) = \frac{\omega_0}{1-\delta}$ e as situações são apresentadas na Figura 10.

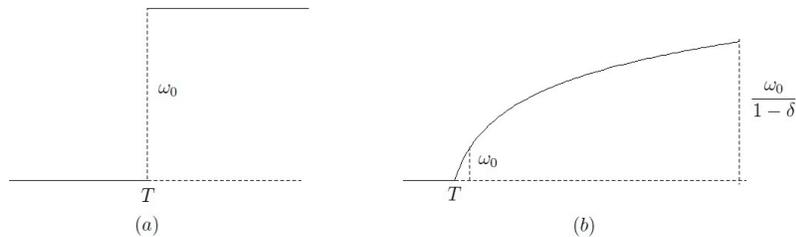


Figura 10 - Efeito das intervenções. Fonte: Morettin e Toloí (2006).