

USO DA ABORDAGEM BAYESIANA NO ESTUDO DA DIETA DO PEIXE-GALO, *Selene setapinnis* (TELEOSTEI: CARANGIDAE) NOVA PROPOSTA DE ANÁLISE

Using the Bayesian approach to study the diet of Atlantic moonfish, *Selene setapinnis* (Teleostei: Carangidae) a new analysis proposal

Guilherme Rossi Gorni¹, Selene Loibel²

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo estudar a dieta alimentar do peixe-galo, *Selene setapinnis*, sob a ótica da teoria de Bayes. Os espécimes foram coletados durante cruzeiros de pesca realizados por barcos de arrasto camaroeiro na enseada de Itaguá (Ubatuba/SP). Todo material registrado nos estômagos foi classificado em quatro categorias alimentares: peixes teleósteos, moluscos cefalópodes, crustáceos e fragmentos vegetais. A inferência Bayesiana baseou-se na porcentagem numérica de cada categoria alimentar, adotando o método de Jeffreys para a obtenção da densidade de probabilidade a priori não informativa. Foram registrados 496 itens alimentares, sendo a categoria composta por crustáceos, responsável por aproximadamente 90% dieta, caracterizando-se como recurso primário de juvenis de *S. setapinnis*. Devido aos baixos valores na proporção do conteúdo gástrico registrado, peixes teleósteos, moluscos cefalópodes e fragmentos vegetais caracterizam-se como presas acidentais. A abordagem bayesiana empregada apresenta-se como alternativa à metodologia convencional.

Palavras-chaves: *Selene setapinnis*, dieta alimentar, inferência Bayesiana, ecologia trófica.

ABSTRACT

This work aimed to study the diet of Atlantic moonfish, *Selene setapinnis*, on the Bayesian approach. Specimens were collected during fishing cruises accomplished by bottom trawling boats in the Itaguá Bay (Ubatuba, São Paulo State). All registered stomach material was classified in four alimentary categories: teleost fish, cephalopod molluscs, crustacean and vegetal remains. The numeric percentage of each alimentary category was the base of the Bayesian inference, adopting the Jeffreys method for obtaining the non-informative a priori distribution. 496 alimentary items were registered; the category composed by crustaceans was responsible for approximately 90% of diet, being characterized as primary resource of juvenile *S. setapinnis*. Due to low values in the proportion of the registered gastric content, teleost fish, cephalopod molluscs, crustacean and vegetal remains are characterized as accidental prey. The use of Bayesian approach comes as an alternative to the traditional methodology.

Keywords: *Selene setapinnis*, feeding diet, Bayesian inference, trophic ecology.

¹ Departamento de Ciências Biológicas e da Saúde, Centro Universitário de Araraquara – UNIARA, Araraquara, SP, Brasil, E-mail: grgorni@gmail.com.br

² Departamento de Estatística, Matemática Aplicada e Computação, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, SP, Brasil, E-mail: sloibel@rc.unesp.br

INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre os hábitos alimentares e ecologia trófica constituem uma ferramenta fundamental para o entendimento da importância dos peixes dentro de ecossistemas (Qasim, 1972), pois elucidam suas relações baseadas nos recursos alimentares e indicam indiretamente o fluxo de energia através da comunidade (Yáñez-Arancibia & Nugent, 1977; Hajisamaea *et al.*, 2003). Segundo Krebs (1999) estes estudos permitem a inferência sobre os efeitos da competição e predação na estrutura destas comunidades. Neste âmbito, os peixes demersais têm particular importância no ambiente marinho devido à sua ligação direta com o ecossistema bentônico, provendo, desta forma, um elo entre a matéria orgânica sedimentada e os níveis tróficos superiores (Duarte & Andreatta 2003).

Dentre os peixes de hábito demersal, *Selene setapinnis*, é uma espécie pertencente à família Carangidae, vulgarmente conhecido no Brasil como peixe-galo. Sua distribuição no Atlântico ocidental varia desde Nova Scotia, Canadá até o norte da Argentina. Espécimes juvenis são encontrados em águas com baixa salinidade, habitando substratos arenosos próximos a região costeira, enquanto os adultos podem ser encontrados constituindo cardumes próximos à superfície da água. (Menezes & Figueiredo, 1980; Cervigón *et al.*, 1992).

Apesar de *S. setapinnis* ser uma espécie de relativo valor comercial, frequentemente capturada como fauna acompanhante da pesca de arrasto do camarão sete-barbas: *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862), são poucos os trabalhos que visam a um melhor conhecimento da ecologia trófica deste carangídeo, salvo exceções como Governa (1987), Carvalho & Soares (1997) e Salles (2009). A dificuldade de acesso aos dados do conteúdo estomacal e, por consequência, a um número satisfatório de amostras, dificulta a formulação de conclusões sobre os padrões alimentares dessa espécie.

Uma resposta a esta situação é a utilização da abordagem Bayesiana na análise dos dados, visto que tal tratamento não necessita de resultados assintóticos, como a Estatística Clássica para a inferência. Além de informações pontuais sobre a proporção de cada categoria alimentar, essa metodologia gera como um de seus produtos a estimativa por intervalos de credibilidade, permitindo a comparação entre pesquisas distintas.

O presente artigo tem como objetivo estudar a dieta do peixe-galo sobre a óptica Bayesiana, considerando o modelo multinomial para os dados e utili-

zando uma densidade de probabilidade a priori não informativa para os parâmetros.

MATERIAL E MÉTODOS

Os peixes foram coletados durante cruzeiros de pesca realizados no segundo semestre de 2008 por barcos de arrasto camaroeiro na enseada de Itaguá, em Ubatuba/SP (23°26'55''S - 45°02'60''W). Os espécimes de *S. setapinnis* retidos na rede de pesca foram coletados e fixados em formol a 10% e posteriormente conservados em frascos contendo álcool a 70%.

No laboratório, os espécimes coletados foram dissecados para a obtenção do conteúdo estomacal e medidos com auxílio de um paquímetro com precisão de 0,05 mm para obtenção do comprimento padrão (CP). Todo material encontrado nos estômagos foi examinado sob microscópio estereoscópico sendo classificado em quatro categorias alimentares pré-definidas: peixes teleósteos, moluscos cefalópodes, crustáceos (zooplâncton) e fragmentos vegetais.

Inferência Bayesiana

A análise baseou-se somente nos estômagos com conteúdo gástrico ($m = 64$), sendo cada categoria alimentar quantificada pela porcentagem numérica (% N) (Hynes, 1950; Hyslop, 1980). Por conta da escassez de informações na literatura sobre a composição numérica da dieta desta espécie foi adotado o método de Jeffreys para a obtenção da densidade de probabilidade a priori não informativa (Box & Tiao, 1973; Paulino *et al.*, 2003).

Modelo multinomial

Definimos $Y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$ como o vetor do número de itens de cada categoria alimentar nos estômagos, sendo peixes (1), moluscos cefalópodes (2), crustáceos (3) e outros (4), e assumimos o modelo multinomial com parâmetros $\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$ dado por:

$$f(Y|\theta) = \frac{n!}{y_1! y_2! y_3! y_4!} \theta_1^{y_1} \theta_2^{y_2} \theta_3^{y_3} \theta_4^{y_4} \text{ onde } \sum_{j=1}^4 \theta_j = 1, \sum_{j=1}^4 y_j = n \quad (1)$$

A função de verossimilhança com este modelo pode ser escrita como:

$$L(Y|q) \propto \prod_{j=1}^4 q_j^{y_j} \quad (2)$$

Distribuição a priori não informativa

A escolha natural para se fazer a análise dos parâmetros do modelo multinomial consiste na classe de distribuições a priori conjugadas Dirichlet

e, neste caso, pode-se verificar que função não informativa calculada pelo método Jeffreys é a priori de referência e coincide com a distribuição Dirichlet, com parâmetros $a_j = 1/2, j = 1, \dots, 4$ (Berger & Bernardo, 1992; Yang & Berger, 1998; Heo & Kim, 2007; Clarke, 2010).

A distribuição conjunta de Jeffreys é dada por $\pi_0 = |I(\theta)|^{1/2}$, onde $I(\theta)$ é a matriz de informação de Fischer (Box & Tiao, 1973). Com a função de verossimilhança (2) temos que $I(\theta)$ é dada por:

$$I(\theta) = \begin{pmatrix} n/\theta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n/\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n/\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & n/\theta_4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Portanto, a distribuição a priori de Jeffreys é dada por:

$$\pi_0(\theta) = |I(\theta)|^{1/2} = \left(\prod_{j=1}^4 \theta_j^{-1} \right)^{1/2} \propto \prod_{j=1}^4 \theta_j^{-1/2} \quad (4)$$

Distribuição a posteriori conjunta

Combinando a verossimilhança (2) com a distribuição a priori de Jeffreys (4), temos que distribuição a posteriori conjunta para $\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$ é dada por:

$$\pi(\theta|Y) \propto \pi_0(\theta) L(Y|\theta) \propto \prod_{j=1}^4 \theta_j^{y_j-1/2}, \theta_j \geq 0 \quad (5)$$

Distribuições a posteriori marginais

A distribuição a posteriori conjunta para o vetor $\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$ em (5) é denominada de Dirichlet $(y_1 + 1/2, y_2 + 1/2, y_3 + 1/2, y_4 + 1/2)$. Com esse modelo como distribuição a posteriori conjunta, temos que as distribuições a posteriori marginais para $\theta_j, j = 1, \dots, 4$; serão Beta $(y_j + 1/2, n - y_j + 3/2)$ com densidades dadas por:

$$\pi(\theta_j) = \frac{\Gamma(n+2)}{\Gamma(y_j+1/2)\Gamma(n-y_j+3/2)} \theta_j^{y_j-1/2} (1-\theta_j)^{n-y_j+1/2}, 0 < \theta_j < 1 \quad (6)$$

com valor esperado e variância amostral dados por:

$$E(\theta_j) = \frac{y_j + 1/2}{n + 2} \quad (7)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram capturados 98 espécimes de *S. setapinnis* cujo comprimento furcal se distribuiu na faixa de 77 - 92 mm durante o período de coletas, classificados como juvenis com base em valores estimados para o comprimento médio na primeira maturidade sexual, L_{50} : 160 mm, na costa sudeste do Brasil (Vazzoler & Lizama, 1989) e 200 mm, no litoral sul de São Paulo (Bastos, 2003).

A análise dos estômagos revelou a presença de 496 itens alimentares distribuídos segundo as categorias anteriormente definidas, tendo-se encontrado indícios de predação a cardumes por esta espécie, haja vista ao registro de acúmulos de presas (principalmente larvas de Decapoda e camarões Sergestidae) nos estômagos. Na Tabela I estão apresentados os estimadores de máxima verossimilhança (EMV) e os intervalos de confiança (IC 95%) para as proporções das categorias alimentares: peixes teleosteos (θ_1), crustáceos (θ_2), moluscos cefalópodes (θ_3) e fragmentos vegetais (θ_4). A referida tabela traz também os valores da moda a posteriori (MP) e os intervalos de credibilidade bayesianos (Icred. 95%) calculados considerando-se o modelo multinomial, mostrando que as estimativas bayesianas coincidem exatamente com os EMV clássicos, como se espera com uso da distribuição a priori não informativa de Jeffreys.

Tabela I - Estimadores clássicos e Bayesianos da proporção de cada categoria alimentar (θ) na composição da dieta de juvenis de *Selene setapinnis*. EMV: estimador de máxima verossimilhança; IC (95%): intervalo de confiança ($\alpha = 95\%$); MP: moda a posteriori; Icred. (95%): intervalo de credibilidade bayesiano ($\alpha = 95\%$).

Proporções	EMV	IC (95%)	MP	Icred. (95%)
θ_1 (Peixes Teleosteos)	0,0161	(0,0050; 0,0273)	0,0147	(0,0077; 0,0302)
θ_2 (Crustáceos)	0,9012	(0,8177; 0,9848)	0,8979	(0,8705; 0,9233)
θ_3 (Mol. Cefalópodes)	0,0020	(0,0000; 0,0060)	0,0010	(0,0002; 0,0093)
θ_4 (Frag. vegetais)	0,0806	(0,0557; 0,1056)	0,0788	(0,0593; 0,1073)

O peixe-galo é considerado uma espécie zooplânctívora que se alimenta principalmente de crustáceos (e.g., Goberna, 1987; Carvalho & Soares, 1997), o que corrobora os resultados obtidos pela análise proposta no presente estudo. O alto valor da moda a posteriori de θ_2 (proporção de crustáceos na alimentação de juvenis de *S. setapinnis*) (Tabela I) concorda com os resultados de Salles (2009), segundo os quais o Índice de importância Relativa (IIR) dos crustáceos na alimentação de *S. setapinnis* se aproxima de 96%. O elevado consumo de crustáceos zooplânctônicos pode ser atribuído ao fato de que esse item alimentar

é um dos preferidos por indivíduos nas fases larval e juvenil (Goberna, 1987)

Os baixos valores da moda a posteriori (MP) de θ_2 (peixes teleósteos), θ_3 (moluscos cefalópodes) e θ_4 (vegetais) são indicativos de que estes itens podem ser considerados acidentais na composição alimentar dos juvenis de *S. setapinnis* (Tabela I).

Sobre a abordagem Bayesiana utilizada, vale ressaltar que no presente artigo foi utilizada a distribuição a priori não informativa de Jeffreys devido à escassez de informações prévias sobre a composição alimentar do estrato juvenil. Esta formulação leva em conta, como métrica de quantificação dos itens alimentares, somente a porcentagem numérica (%N), visto que estes dados são compatíveis com a distribuição multinomial e permite a obtenção de informações sobre o comportamento alimentar de *S. setapinnis* (Macdonald & Green, 1983).

Embora possa ser considerado prematuro, pois tem base em trabalho em fase de preparação (Gorni & Loibel, *in prep.*) poder-se-á verificar, em um momento posterior, a utilização de forma conjunta, tanto da referida métrica numérica, quanto da porcentagem do peso (%P) de cada item alimentar registrado, desse modo tornando a análise mais completa do ponto de vista biológico.

CONCLUSÕES

A categoria alimentar composta por crustáceos (zooplâncton) aparenta ser o recurso preferencial de juvenis de *S. setapinnis* juvenis. Em comparação com o Índice de Importância Alimentar (Pinkas *et al.*, 1971; Cortés, 1997), que utiliza somente dados coletados na pesquisa vigente, a inferência Bayesiana permite incorporar, aos resultados originais, dados extraídos de estudos já realizados, gerando informações mais completas sobre o tema em questão. Quanto à dieta alimentar de *S. setapinnis*, além da estimativa pontual (moda a posteriori) sobre a proporção de cada categoria alimentar, a referida abordagem gerou como um de seus produtos a estimativa por intervalo de credibilidade, constituindo-se numa alternativa de análise para pesquisas dessa natureza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bastos, C.M.L.F. *Alimentação e aspectos da reprodução e pesca de Selene vomer e Selene setapinnis (Teleostei, Carangidae) desembarcados na região de Santos e Guarujá, SP, Brasil*. Tese de Doutorado, Programa de

Pós-Graduação em Zoologia, Universidade de São Paulo, 304 p., São Paulo, 2003.

Berger, J.O. & Bernardo, J.M. Ordered group reference priors with application to the multinomial problem. *Biometrika*, v.79, n.1, p.25-37,1992.

Box, G.E. & Tiao, G.C. *Bayesian inference in statistical analysis*. Addison-Wesley, 360 p., New York, 1973.

Carvalho, M.R. & Soares L.S.H. Alimentação da palometa *Chloroscombrus chrysurus* (Linnaeus, 1766) e do galo *Selene setapinnis* (Mitchil, 1815) da região do sudeste do Brasil, p.31, in *XII Encontro Brasileiro de Ictiologia*, São Paulo, 1997.

Cervigón, F.; Cipriani, R.; Fischer, W.; Garibaldi, L.; Hendrickx, M.; Lemus, A.J.; Márquez, R.; Poutiers, J.M.; Robaina, G. & Rodriguez, B. *Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur America*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 513 p., Roma, 1992.

Clarke, B. Reference priors for exponential families with increasing dimensions. *Electron. J. Stat.*, v.4, p.737-780, 2010.

Cortés, E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v.54, p.726-738, 1997.

Duarte, G.A.S. & Andreatta, J.V. Hábito alimentar das espécies de Achiridae e Cynoglossidae que ocorrem na Baía da Ribeira, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil. *Bioikos*, v.17, n.1/2, p.39-48, 2003.

Goberna, E. Estudios sobre contenido digestivo em diversas espécies de juveniles de peces. Analisis comparativo. *Publ. Com. Téc. Mix. Fr. Mar*, v.3, p.93-101, 1987.

Gorni, G.R. & Loibel, S. Use of Bayesian inference in analysis of fish stomach content: a new proposal. *In prep.*

Hajisamaea, S.; Choua, L.M. & Ibrahim, S. Feeding habits and trophic organization of the fish community in shallow waters of an impacted tropical habitat. *Est. Coast. Shelf Sci.*, v.58, p.89-98, 2003.

Heo, T-Y.; Kim, J-M. Bayesian inference for multinomial group testing. *Korean Comm. Stat.*, v.14, n.1, p.81-92, 2007.

Hynes, H.B.N. The food of fish-water sticklebacks (*Gasteronotus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. *J. Anim. Ecol.*, v.19, p.36-57, 1950.

- Hyslop, E.J. Stomach contents analysis; a review of methods and their applications. *J. Fish Biol.*, v. 17, p.411-429, 1980.
- Krebs, C.J. *Ecological methodology*. Benjamin Cummings, 2nd edition, 620 p., Menlo Park, 1999.
- Macdonald, J.S. & Green, R.H. Redundancy of variables used to describe importance of prey species in fish diets. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v.40, p.635-637, 1983.
- Menezes, N.A.; Figueiredo, J.L. *Manual de peixes marinhos do Sudeste do Brasil IV, Teleostei (3)*. Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 96 p., São Paulo, 1980.
- Paulino, C.D.; Turkman, M.A.A. & Murteira, B. *Estatística Bayesiana*. Fundação Calouste Gulbenkian, 446 p., Lisboa, 2003.
- Pinkas, L.; Oliphant, M.S. & Iverson, I.L.K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Fish. Bull.*, v.152, p.1-139, 1971.
- Qasim, S.Z. The dynamics of food and feeding habits of some marine fishes. *Indian J. Fish.*, v.19, n.1/2, p.11-28, 1972.
- Salles, A.C.R. *Ecologia trófica do extrato juvenil de peixes carangídeos do infralitoral raso da enseada de Caraguatatuba, São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, Universidade de São Paulo, 116 p., São Paulo, 2009.
- Vazzoler, A.E.A.M. & Lizama, M.A.P. Aspectos da biologia dos Carangidae na costa sudeste do Brasil, p.75 in *I Simpósio sobre Oceanografia*. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 1989.
- Yáñez-Arancibia, A. & Nugent, R. El papel ecológico de los peces en estuarios y lagunas costeras. *Ann. Cent. Cien. Mar. Limnol.*, v.4, p.107-117, 1977.
- Yang, R. & Berger, J.A. *A catalog of noninformative priors*. Purdue University, 44 p., West Lafayette, 1998.