

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 06/09/2019.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Análise Bayesiana em estudos de comportamento agressivo de
peixes**

Eurico Mesquita Noletto Filho

Jaboticabal, SP
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Análise Bayesiana em estudos de comportamento agressivo de
peixes**

Eurico Mesquita Noletto Filho

Orientador: Dra. Eliane Gonçalves de Freitas

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Aquicultura da UNESP – CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor.

Jaboticabal, SP
2018

Noleto Filho, Eurico Mesquita

N791a Análise Bayesiana em estudos de comportamento agressivo de peixes / Eurico Mesquita Noleto Filho. -- Jaboticabal, 2018

vii, 136 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Centro de Aquicultura, 2018

Orientador: Eliane Gonçalves de Freitas

Banca examinadora: Eduardo Benedicto Ottoni, Eduardo Fernando dos Santos, Fernando Barbosa Noll, Fernando Rodrigues da Silva.

Bibliografia

1. Análise Bayesiana. 2. Comportamento agressivo. 3. Delineamento longitudinal. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 639.3.05

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Análise Bayesiana em estudos de comportamento agressivo de peixes

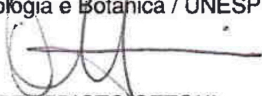
AUTOR: EURICO MESQUITA NOLETO FILHO

ORIENTADORA: ELIANE GONCALVES DE FREITAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:



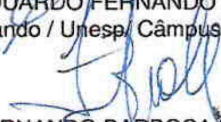
Profa. Dra. ELIANE GONCALVES DE FREITAS
Departamento de Zoologia e Botânica / UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto




Prof. Dr. EDUARDO BENEDICTO OTTONI
Departamento de Psicologia Experimental / Universidade de São Paulo, USP, São Paulo-SP



Prof. Dr. EDUARDO FERNANDO DOS SANTOS
Pós-doutorando / Unesp / Câmpus de São José do Rio Preto



Prof. Dr. FERNANDO BARBOSA NOLL
Departamento de Zoologia e Botânica / UNESP- Câmpus de São José do Rio Preto



Prof. Dr. FERNANDO RODRIGUES DA SILVA
Departamento de Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos

Jaboticabal, 06 de março de 2018

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
APOIO FINANCEIRO	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I - Introdução geral	11
APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	17
CAPÍTULO II - Bayesian analysis improves experimental studies about temporal patterning of aggression in fish.	24
CAPÍTULO III - The bias of combining variables on fish's aggressive behavior studies	56
CAPÍTULO IV - BayesBehav: A bayesian web tool for analyzing longitudinal data in agonistic behavior studies.	89
CAPÍTULO V - Conclusões Gerais	104
MATERIAL SUPLEMENTAR - BayesBehav: User's Guidelines	106
ANEXO - Artigo "Bayesian analysis improves experimental studies about temporal patterning of aggression in fish"	127

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Eurico e Evanilde, e aos meus irmãos Erico e Eduardo, por todo apoio em todos esses anos de pós graduação.

À minha orientadora, Prof. Dra. Eliane Gonçalves de Freitas por todas as conversas e conselhos que tivemos até hoje. Sou muito grato pela confiança nesse projeto!

À Ana Carolina dos Santos Gauy, pela amizade e ajuda nos experimentos laboratoriais.

À Maria Grazia Pennino que sempre esteve colaborando com o trabalho, ajudando com modelos estatísticos.

Aos integrantes do Laboratório de Comportamento Animal do IBILCE, pelo companheirismo e apoio nesses anos de doutorado.

À todos amigos da UNESP e da FURG, cujas conversas me ajudaram a crescer pessoalmente e profissionalmente.

À todos um muito obrigado!

APOIO FINANCEIRO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida nos três anos de Doutorado.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo testar se uma abordagem Bayesiana aprimora à análise de modelos longitudinais em estudo de comportamento agressivo em peixes. Discutimos as vantagens da análise Bayesiana ao lidar com variáveis agrupadas, resultados não estatisticamente significativos e número de réplicas utilizando o Acará Bandeira (*Pterophyllum scalare*), como estudo de caso. Além disso, em um segundo estudo com dados de quatro espécies de ciclídeo (*Pterophyllum scalare*, *Oreochromis niloticus*, *Astronotus ocellatus* e *Cichlasoma*), verificamos os diferentes tipos de viés que combinar variáveis baseando-se em critérios energéticos, pode causar na análise de dados. Por fim, em um terceiro estudo, nós construímos uma ferramenta estatística usando o pacote *Shiny* para permitir que modelos Bayesianos se tornem mais acessíveis para estudos longitudinais com agressividade. O delineamento dos dois primeiros estudos foi semelhante. Para cada espécie, 15 grupos de 3 indivíduos foram submetidos a observações diárias durante 10 minutos em 5 dias. Para o primeiro estudo, as variáveis comportamentais foram analisadas parcialmente combinadas de acordo com a intensidade do comportamento (Ataques e Displays), e completamente combinadas (soma de todas variáveis). Para o segundo, as variáveis comportamentais foram analisadas individualmente e parcialmente combinadas de acordo com a intensidade do comportamento (Ataques e Displays). As frequências de cada registro foram modeladas usando cadeias de Monte Carlo Markov. Os resultados mostram que combinar variáveis, independente do critério, pode levar à conclusões tendenciosas, pois as variáveis que estão sendo combinadas podem apresentar diferentes frequências ou padrões temporais. Além disso, essa diferença de padrão pode acontecer de forma mais clara ou mais sutil. Alterações sutis não podem ser detectadas utilizando os métodos clássicos. Os métodos Bayesianos permitem verificar a viabilidade de combinar variáveis, pois mostram de maneira exata as mudanças na probabilidade de diferença. Outrossim, fornecem uma descrição clara das mudanças mesmo quando os padrões são sutis. Os resultados também mostraram que 12 repetições, para todas as espécies, não altera as conclusões do estudo, bem como que o uso de um pequeno tamanho de amostra poderia ser mais evidente dentro dos dias sobrepostos, que inclui a estabilidade do ranking social. Por fim, a ferramenta BayesBehav é apresentada para facilitar o uso da abordagem Bayesiana em pesquisas com comportamento agressivo de peixes.

Palavras-chave: Análise Bayesiana, Comportamento Agressivo, Delineamento Longitudinal

ABSTRACT

This work aims to test if a Bayesian approach improves the analysis of longitudinal models in the study of aggressive behavior in fish. We discuss the advantages of Bayesian analysis when dealing with combined variables, non-statistically significant results and the number of replicates using the Acará Bandeira (*Pterophyllum scalare*), as a case study. In addition, in a second study with data of four species of cichlid (*Pterophyllum scalare*, *Oreochromis niloticus*, *Astronotus ocellatus* and *Cichlasoma*), we have checked in more detail the possible bias types that pooling variables based on energetic criterion, can cause in the data analysis. Finally, we have developed a statistical tool using the *Shiny package* to allow Bayesian models to become more accessible for aggressive longitudinal studies. We have adopted a similar experimental design for the first two studies. For each species, 15 groups of 3 subjects were submitted to daily observations for 10 minutes, in 5 days. For the first study, the behavioral variables were analyzed partially combined according to the intensity of the behavior (Attacks and Displays) and completely combined (sum of all variables). For the second, the behavioral variables were analyzed individually and partially combined according to the intensity of the behavior (Attacks and Displays). The frequencies of each record were modeled using Monte Carlo Markov chains. The results show that combining variables, regardless of the criterion, can lead to biased conclusions since the variables that are being combined have different frequencies or temporal patterns. In addition, this difference in pattern can happen more clearly or more subtly. Subtle changes cannot be detected using classical methods. Bayesian methods allow verifying the feasibility of combining variables, as they accurately show changes in the probability of difference. Also, they provide a clear description of the changes even when the temporal patterns are subtle. In addition, the results showed that twelve replicates, for all species, does not change the study's conclusions, as well as that the use of a small sample size could be more evident within the overlapping days, which includes the social rank stability. Finally, the BayesBehav tool is presented as a suitable tool to facilitate the use of the Bayesian approach in aggressive fish behavior research.

Keywords: Aggressive behavior, Bayesian analysis, Longitudinal design.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento contínuo de indústrias, como à aquicultura e pesca, torna vital pesquisas científicas sobre o bem-estar de peixes cultivados e selvagens. Em particular, várias espécies de peixes interagem de forma agressiva para criar uma hierarquia de dominância e defender o território. Compreender os comportamentos agressivos pode beneficiar a gestão de peixes, mas ainda é necessário que seja superada a lacuna entre modelos matemáticos e dados experimentais. De fato, diferentes problemas surgem quando dados de comportamento são analisados devido à sua alta variabilidade e baixa frequência dos comportamentos individuais. Neste sentido, discutimos e propomos novas abordagens e ferramentas com o intuito de aprimorar a análise de dados de comportamentos agressivos. Estes são contextualizados nos tópicos a seguir.

Limitações na análise de dados

Em estudos com comportamento agonístico de peixes, a variável resposta é usualmente analisada de maneira quantitativa através da frequência de unidades comportamentais que caracterizam a agressividade (e.g. Todd et al. 2008, Kania 2012, Svensson et al. 2012). No entanto, a definição dessas unidades é feita de maneira qualitativa nos etogramas. Estes são inventários dos comportamentos usualmente presentes em uma espécie (Sakamoto et al. 2009). Geralmente esses comportamentos são utilizados como variáveis nos estudos comportamentais (e.g. Haller & Wittenberger 1987, Gomez-Laplaza & Morgan 1993, Werneyer et al. 2002). Alguns exemplos típicos dessas variáveis são ataques frontais, ameaças laterais e ondulações. Estas podem ser usadas de três maneiras: (i) Individualmente, quando nenhum tipo de combinação é feita nas variáveis (e.g. Oliveira et al. 2011); (ii) Parcialmente combinadas, quando agregadas baseando-se na intensidade do comportamento agressivo (e.g. Haller & Wittenberger 1987, Gomez-Laplaza & Morgan 1993, Werneyer et al. 2002); (iii) Totalmente combinadas, quando todos os eventos agonísticos são agregados em uma única variável (e.g. Gonçalves-de-Freitas et al. 2008, Maan et al. 2001, Ros et al. 2006). No entanto, entre essas classificações, a parcialmente combinada é a mais ambígua na literatura, devido à inconsistência em sua denominação. Alguns exemplos são a agressão explícita e contida (do inglês, *overt and restrained aggression*) (e.g. Desjardins et al. 2012,

Balzarini et al. 2014), os ataques de alta e baixa intensidade (do inglês, *high and low intensity attacks*) (e.g. Gomez-Laplaza & Morgan, 1993, Werneyer et al., 2002, Gonçalves-de-Freitas & Mariguela 2006), os ataques agonísticos assimétricos de alta intensidade (do inglês, *Asymmetric high-intensity agonistic attacks*), entre outros (e.g. Galhardo et al., 2008). Apesar da denominação, essas classificações têm algo em comum, todas elas são baseadas nos custos energéticos dos comportamentos agonísticos (e.g. Gomez-Laplaza & Morgan 1993, Ros et al., 2006, Arnold & Taborsky 2010). Embora a classificação das variáveis individuais de acordo com seus custos energéticos seja plausível, nenhum critério matemático foi adotado para combinar essas variáveis. Na verdade, combinar variáveis pode gerar um viés na análise de dados, especialmente quando as variáveis que foram combinadas apresentam padrões temporais distintos (Dearing et al. 2001). Portanto, é possível que exista um problema qualitativo na classificação dessas variáveis.

Além disso, algumas limitações dos dados de comportamentos agressivos podem trazer problemas quantitativos para as análises de dados. Dentre elas, destacamos: (i) as repetições são difíceis de produzir; (ii) a forma como estes comportamentos ocorrem é bastante variável dentro dos indivíduos e; (iii) o desenho experimental é longitudinal (isto é, diz respeito ao mesmo indivíduo ao longo do tempo) (Dow 1976). O uso da abordagem clássica para lidar com a essas limitações pode se tornar problemático pois impossibilita atender suposições paramétricas clássicas como normalidade, homocedasticidade e esfericidade. Além disso, essa abordagem utiliza como medida de probabilidade o “valor-p” (do inglês, *p-value*). Estes medem a probabilidade de um resultado extremo quando a mesma experiência é repetida várias vezes. A utilização do valor-p é criticada pois essa abordagem ignora resultados não significativos importantes na conclusão de estudos (Gelman 2013, Ludwig 2005, Pitak-Arnop 2010). Por fim, temos viés das comparações múltiplas, usualmente utilizadas como testes de pós-hoc nas abordagens clássicas (e.g. Terleph 2004, Carvalho et al. 2012). Quando estas são implementadas, a probabilidade de um pesquisador concluir erroneamente que há pelo menos um efeito estatisticamente significativo em um conjunto de testes aumenta de forma aditiva a cada teste (Gelman et al. 2012).

Nesse sentido, métodos Bayesianos serão testados como uma alternativa para aprimorar a análise de dados em estudos com interações agonísticas de peixes. Esse método vem crescendo em popularidade em áreas como ciências médicas, psicologia, ecologia e pesca - e.g. Alterovitz et al. 2007, Lee & Wagenmakers 2003, McCarthy 2007, Kinas & Andrade 2007. Algumas pesquisas já demonstraram que esses métodos são importantes para estudos com comportamento animal (McNamara & Houston 1980, McNamara & Olsson 2006). Contudo, ainda é pouco usado em estudos experimentais com comportamento agressivo de peixes.

O que é a análise Bayesiana?

É uma análise fundada pelo Reverendo Thomas Bayes (que originou o nome da análise), a qual possibilita descrever a incerteza de parâmetros desconhecidos de forma probabilística. A análise trata todos os parâmetros como quantidades aleatórias tornando possível este tipo de mensuração. Um atributo particular da análise Bayesiana é a capacidade de combinar o conhecimento prévio (Priori) a novos dados por meio de um modelo que produz um resultado posterior (McCarthy 2007). O conhecimento prévio pode ser algo não informativo, que não afeta os resultados (Jeffreys 1961), ou dados que ajudam na obtenção de uma melhor estimativa.

$$Priori + dados \xrightarrow{\text{modelo}} Posterior \text{ (adaptado de } \underline{\text{McCarthy et al. 2007}})$$

Os modelos Bayesianos permitem criar uma cadeia de dependências entre os parâmetros para modelos longitudinais (modelos hierárquicos) (Kruschke & Vanpaemel 2015). Estes possibilitam estimar separadamente a variância em observações de um mesmo indivíduo ao longo do tempo e entre indivíduos diferentes. Desse modo, a distribuição posterior conjunta para esse modelo pode ser descrita por:

$$p(\theta_z, \dots, \theta_{z-1}, \sigma^2[e] | \mu, \sigma^2[z] | \mathbf{x}) \propto p(\theta_z | \mu, \sigma^2[z]) p(\sigma^2[e]) p(\mu) p(\sigma^2[z])$$

Onde:

θ_z é média da variável mensurada em cada intervalo de tempo do período do estudo. μ é a média global de todos intervalos de tempo do período de estudo. $\sigma^2_{[z]}$ é a variância entre todos intervalos de tempo do período de estudo. $\sigma^2_{[e]}$ é a variância residual da variável medida.

Por que usar a análise Bayesiana?

Como supracitado, a análise Bayesiana têm suas vantagens evidenciadas em diversas áreas científicas. Uma dessas vantagens é possuir um paradigma estatístico diferente que possibilita medir a incerteza de parâmetros desconhecidos. Esse paradigma difere do clássico, no qual a probabilidade é definida como o limite da frequência relativa de dados observados em uma experiência se o mesmo procedimento de coleta e análise de dados fosse implementado várias vezes (McCarthy 2007). Por esta razão, em uma abordagem clássica, não podemos fornecer a probabilidade de diferença exata entre dois ou mais grupos de dados, mas a probabilidade de se obter um valor extremo ao repetir um experimento (Figura 1A). Para o método Bayesiano medir a incerteza de parâmetros desconhecidos permite calcular e inferir probabilidades exatas entre grupos (Figura 1B). Dessa forma, até os dados não significativos podem ser levados em consideração nas análises. Além disso, esse tipo de inferência pode ajudar a medir o impacto que agregar variáveis pode ter na análise de dados, pois possibilita mensurar de maneira exata o quanto a probabilidade de diferença entre dois grupos combinando ou não variáveis, muda.

Outra vantagem da análise Bayesiana é a forma multi-nível em que as comparações entre grupos são feitas, o que possibilita examinar as distribuições posteriores sob diferentes perspectivas ou margens (Kruschke, 2015). Portanto, este método é mais adequado para lidar com problemas de comparações múltiplas, pois ele altera as estimativas pontuais e seus intervalos, tornando-os próximos em vez de aumentar os intervalos de confiança como nas correções de estimativas clássicas (Gelman et al. 2012).

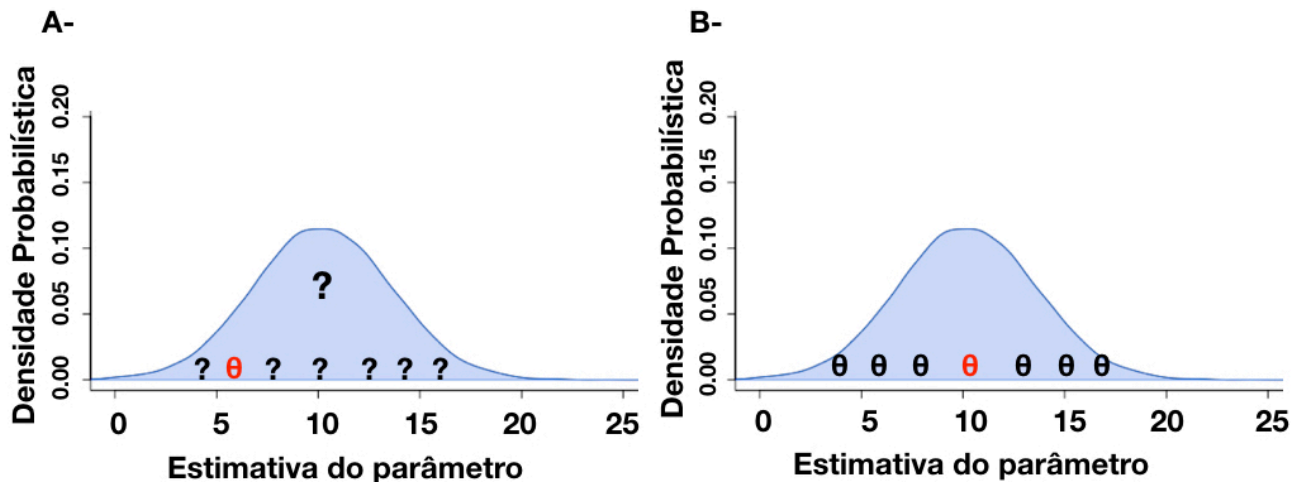


Figura 1: Comparação entre a interpretação de probabilidade nos métodos Frequentista (A) e Bayesiano (B). A análise Frequentista (A) considera θ como parte de um conjunto de infinitas estimativas de parâmetros que compõe uma distribuição de probabilidade ou populacional. No entanto, as demais estimativas de parâmetros (?) do conjunto e a distribuição de probabilidade são desconhecidos. A análise Bayesiana (B) mede a incerteza das estimativas de parâmetros que compõe a distribuição de probabilidade com base nos dados obtidos pelo experimento (θ). Portanto, as estimativas dos parâmetros e a distribuição de probabilidade são conhecidos e levados em consideração na inferência.

Os dados de interações agonísticas são usualmente analisados utilizando a distribuição normal. Contudo, esses dados também podem ser vistos como um processo de Poisson, pois são compostos por dados discretos (Ventura et al. 2015, Sadoul et al. 2016, Slavík et al. 2016). Além disso, métodos de reamostragem possibilitam simular dados, aumentando o número de amostras, ajudando na aproximação com a distribuição desejada (e.g. bootstrap paramétrico, estimativa por máxima verossimilhança) (Davison 1997, Paik et al. 2015). No entanto, ajustes mais fáceis e exatos para modelos mais complexos são obtidos nas análises Bayesianas usando as cadeias de Monte Carlo Markov (Clark 2005, Kinas & Andrade 2010). Esse método lida melhor com situações onde o

número de réplicas é menor, o que possibilita resultados mais robustos do que os Frequentistas (Zellner 1971, 1998).

Existem softwares capazes de fazer análise Bayesiana, alguns deles requerem conhecimento de programação (por exemplo, software R - R Development Core Team 2016; Python e; Stan - Carpenter et al. 2017), outros não (por exemplo, Jasp - Marsman & Wagenmakers 2016). Os softwares de programação têm a vantagem de serem mais plásticos com pacotes estatísticos específicos que atendem às necessidades exigidas por diferentes campos científicos. No entanto, nem todos os pesquisadores estão familiarizados com a linguagem de programação. Recentemente, o pacote de software R chamado Shiny (<http://www.rstudio.com/shiny/>) tornou possível criar ferramentas estatísticas online usando os pacotes estatísticos do software R. Ainda não existem softwares projetados especificamente para explorar dados longitudinais no contexto de estudos de comportamento agressivo.

Considerando a importância dos estudos de comportamento agressivo para o bem-estar dos peixes na aquicultura, o conhecimento sobre delineamentos longitudinais é crucial para a compreensão adequada da agressão dos peixes. Este trabalho tem como objetivos: (i) Testar se uma abordagem Bayesiana aprimora a análise de modelos longitudinais em estudo com comportamento agressivo dos peixes. Foram discutidas as vantagens da análise Bayesiana ao lidar com dados totalmente combinados, resultados estatisticamente não significativos e número de réplicas utilizando o Acará Bandeira (*Pterophyllum scalare*) como estudo de caso; (ii) Investigar se agregar variáveis, utilizando como critério o custo energético dos eventos agonísticos, pode causar viés na análise de dados de 4 espécies de ciclídeo. Além disso, verificar qual tipo de distribuição (Poisson ou Gaussiana) e o número de réplicas é mais apropriado para cada uma dessas espécies; (iii) Construir uma ferramenta estatística utilizando o pacote Shiny para permitir que modelos Bayesianos se tornem mais acessíveis para estudos longitudinais com agressividade.

APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A tese esta dividida em três capítulos redigidos em inglês sob a forma de artigos científicos. No primeiro artigo os dados de comportamento agressivo são, pela primeira vez, explorados sob o prisma Bayesiano no qual foram discutidos métodos e aplicações da análise para dados de comportamento agressivo. Este artigo foi publicado na revista *Behavioral Processes* (ANEXO) e está apresentado de acordo com as normas da revista. No segundo artigo verificamos se existe viés da combinação de variáveis utilizando como critério o custo energético dos eventos agonísticos de 4 espécies de uma mesma família (Cichlidae). Foram escolhidas espécies com diferentes perfis agonísticos para aumentar os contextos nos quais combinar variáveis pode ou não gerar viés. Além disso, foram utilizadas as variáveis parcialmente combinadas e individuais, pois essa classificação apresenta um número menor de variáveis agrupadas facilitando a análise de dados. No terceiro artigo apresentamos a ferramenta online *BayesBehav*, cujo objetivo é facilitar a utilização dos métodos Bayesianos nos dados de comportamento agressivo. Este artigo vem acompanhado de um manual como material suplementar disponível na página 104 deste manuscrito. O segundo e terceiro artigos serão submetidos em breve e estão apresentados de acordo com as normas das revistas *Behavioral Processes* e *Methods in Ecology and Evolution*, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Alterovitz G Liu J Afkhami E Ramoni M F 2007 Bayesian methods for proteomics *Proteomics* 7 2843–2855 doi 10.1002/pmic.200700422
- Arnold, C., Taborsky, B., 2010. Social experience in early ontogeny has lasting effects on social skills in cooperatively breeding cichlids. *Anim. Behav.* 79, 621–630. doi:10.1016/j.anbehav.2009.12.008
- Balzarini, V., Taborsky, M., Wanner, S., Koch, F., Frommen, J.G., 2014. Mirror, mirror on the wall: The predictive value of mirror tests for measuring aggression in fish. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 68, 871–878. doi:10.1007/s00265-014-1698-7
- Carpenter B Gelman A Hoffman M D Lee D Goodrich B Betancourt M Brubaker M Guo J Li P Riddell A 2017 Stan A probabilistic programming language *J Stat Softw* 76 1–32 doi 10.18637/jss.v076.i01
- Carvalho, T.B., Ha, J.C., Gonçalves-de-Freitas, E., 2012. Light intensity can trigger different agonistic responses in juveniles of three cichlid species. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* 45, 91–100. doi:10.1080/10236244.2012.690564
- Clark J S Why environmental scientists are becoming Bayesians *Ecology Letters* 8 215 2005
- Davison A C and Hinkley D V *Bootstrap Methods and Their Application* Cambridge Cambridge University Press 1997
- Dearing, E., McCartney, K., Taylor, B.A., 2001. Change in Family Income-to-Needs Matters More for Children with Less. *Child Dev.* 72, 1779–1793. doi:10.1111/1467-8624.00378

- Desjardins, J.K., Hofmann, H.A., Fernald, R.D., 2012. Social context influences aggressive and courtship behavior in a cichlid fish. *PLoS One* 7. doi:10.1371/journal.pone.0032781
- Dow M Ewing A W Sutherland I 1976 Studies on Behavior of Cyprinodont Fish 3 Temporal Patterning of Aggression in *Aphyosemion-Striatum* Boulenger *Behaviour* 59 252–268 doi 10 1163/156853976X00398
- Galhardo, L., Correia, J., Oliveira, R.F., 2008. The effect of substrate availability on behavioural and physiological indicators of welfare in the African cichlid (*Oreochromis mossambicus*). *Anim. Welf.* 17, 239–254.
- Gelman A 2013 P Values and Statistical Practice *Epidemiology* 24 69–72 doi 10 1097/EDE 0b013e31827886f7
- Gelman A Hill J Yajima M 2012 Why We Usually Don't Have to Worry About Multiple Comparisons *J Res Educ Eff* 5 189–211 doi 10 1080/19345747 2011 618213
- Gonçalves-de-Freitas, E., Mariguela, T.C., 2006. Social isolation and aggressiveness in the Amazonian juvenile fish *Astronotus ocellatus*. *Braz. J. Biol.* 66, 233–238. doi:10.1590/S1519-69842006000200007
- Gonçalves-de-Freitas E Teresa F B Gomes F S Giaquinto P C 2008 Effect of water renewal on dominance hierarchy of juvenile Nile tilapia *Appl Anim Behav Sci* 112 187–195 doi 10 1016/j.applanim 2007 07 002
- Gómez-Laplaza L M Morgan E 1993 Social isolation aggression and dominance in attacks in juvenile angelfish *Pterophyllum scalare* *Aggress Behav* 19 213–222 doi 10 1002/1098-2337 1993 19 3<213 AID-AB2480190306>3 0 CO 2-X
- Haller, J., Wittenberger, C., 1988. Biochemical energetics of hierarchy formation in *Betta splendens*. *Physiol. Behav.* 43, 447–450. doi:10.1016/0031-9384(88)90118-7

Jaynes E T Probability Theory The Logic of Science New York USA Cambridge University Press
2003

Jeffreys H 1961 Theory of Probability 3rd ed Theory of Probability Oxford University Press
Oxford UK

Kania B F 2012 Four-Week Fluoxetine SSRI Exposure Diminishes Aggressive Behaviour of Male
Siamese Fighting Fish *Betta splendens* J Behav Brain Sci 2 185–190 doi 10.4236/jbbs.2012
22022

Kinas P G & Andrade H A Introdução à análise Bayesiana com R Porto Alegre maisQnada 2010

Kinas P G Andrade H A 2007 Bayesian statistics for fishery stock assessment and management a
synthesis J Aquat Sci 2 103–112

Kruschke, J.K., 2015. Metric Predicted Variable with One Nominal Metric Predictor, in: Doing
Bayesian Data Analysis: A Tutorial with R, JAGS and Stan. Elsevier, pp. 553–581. ISBN:
978-0-12-405888-0

Kruschke, J.K., Vanpaemel, W., 2015. Bayesian Estimation in Hierarchical Models, The Oxford
Handbook of Computational and Mathematical Psychology. Oxford University Press. doi:
10.1093/oxfordhb/9780199957996.013.13

Lee M D Wagenmakers E -J 2005 Bayesian statistical inference in psychology comment on
Trafimow 2003 Psychol Rev 112 662-668-674 doi 10.1037/0033-295X.112.3.668

Ludwig D A 2005 Use and misuse of p-values in designed and observational studies guide for
researchers and reviewers Aviat Space Environ Med 76 675–80

Maan M E Groothuis T G G Wittenberg J 2001 Escalated fighting despite predictors of conflict
outcome Solving the paradox in a South American cichlid fish Anim Behav 62 623–634 doi
<http://dx.doi.org/10.1006/anbe.2001.1819>

- Marsman M Wagenmakers E -J 2016 Bayesian benefits with JASP Eur J Dev Psychol 1–11 doi 10 1080/17405629 2016 1259614
- McCarthy M A 2007 Introduction in Bayesian Methods for Ecology Cambridge University Press pp 1–29 doi 10 1017/CBO9781107415324 004
- McNamara J Houston a 1980 The application of statistical decision theory to animal behaviour J Theor Biol 85 673–690 doi 10 1016/0022-5193 80 90265-9
- McNamara J M Green R F Olsson O 2006 Bayes' theorem and its applications in animal behaviour Oikos 112 243–251 doi 10 1111/j 0030-1299 2006 14228 x
- Oliveira, R.F., Silva, J.F., Simões, J.M., 2011. Fighting zebrafish: characterization of aggressive behavior and winner-loser effects. *Zebrafish* 8, 73–81. doi:10.1089/zeb.2011.0690
- Paik, M.C., Lee, Y., Ha, I. Do, 2015. FREQUENTIST INFERENCE ON RANDOM EFFECTS BASED ON SUMMARIZABILITY 25, 1107–1132.
- Pitak-Arnnop P Dhanuthai K Hemprich A Pausch N C 2010 Misleading p-value do you recognise it Eur J Dent 4 356–8 doi 10 2460/javma 241 6 690
- R Development Core Team R 2016 R A Language and Environment for Statistical Computing R Found Stat Comput doi 10 1007/978-3-540-74686-7
- Ros A F H Becker K Oliveira R F 2006 Aggressive behaviour and energy metabolism in a cichlid fish *Oreochromis mossambicus* Physiol Behav 89 164–170 doi 10 1016/j physbeh 2006 05 043
- Sadoul, B., Foucard, A., Valotaire, C., Labbé, L., Goardon, L., Lecalvez, J.M., Médale, F., 2016. Adaptive capacities from survival to stress responses of two isogenic lines of rainbow trout fed a plant-based diet. *Nat. Publ. Gr.* 1–11. doi:10.1038/srep35957

- Sakamoto, K.Q., Sato, K., Ishizuka, M., Watanuki, Y., Takahashi, A., Daunt, F., Wanless, S., 2009. Can ethograms be automatically generated using body acceleration data from free-ranging birds? *PLoS One* 4. doi:10.1371/journal.pone.0005379
- Slavík, O., Horký, P., Wackermannová, M., 2016. How does agonistic behaviour differ in albino and pigmented fish? *PeerJ* 4, e1937. doi:10.7717/peerj.1937
- Svensson P A Lehtonen T K Wong B B M 2012 A high aggression strategy for smaller males *PLoS One* 7 doi 10 1371/journal pone 0043121
- Terleph, T.A., 2004. The function of agonistic display behaviours in *Gnathonemus petersii*. *J. Fish Biol.* 64, 1373–1385. doi:10.1111/j.0022-1112.2004.00401.x
- Todd N Sica a Trahey R 2008 Aggression Interactions and Preference for Males in Female Siamese Fighting Fish *Betta splendens* *J Behav Neurosci Res* 15–28
- Wernerer, M., Kramer, B., 2002. Intraspecific agonistic interactions in freely swimming mormyrid fish, *Marcusenius macrolepidotus* (South African form). *J. Ethol.* 20, 107–121. doi:10.1007/s10164-002-0062-y
- Ventura, H.T., Silva, F.F. e., Varona, L., Figueiredo, E.A.P. de, Costa, E.V., Silva, L.P. da, Ventura, R., Lopes, P.S., 2015. Comparing multi-trait Poisson and Gaussian Bayesian models for genetic evaluation of litter traits in pigs. *Livest. Sci.* 176, 47–53. doi:10.1016/j.livsci.2015.03.030
- Zellner, A., 1971. *An Introduction to Bayesian Econometrics* John Wiley & Sons Ltd/Inc New York.
- Zellner, A., 1998. The finite sample properties of simultaneous equations' estimates and estimators Bayesian and non-Bayesian approaches. *J. Econom.* 6, 185–212.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES GERAIS

- Os resultados destacam que ao combinar variáveis comportamentais, a distribuição resultante é notavelmente influenciada por apenas uma variável para cada categoria. Conseqüentemente, combinar variáveis pode gerar resultados enviesados em alguns casos, alterando as probabilidades das principais variáveis. Além disso, as espécies com baixa frequência em comportamento agressivo são mais sensíveis a este viés. Este pode ocorrer quando agrupar parcial ou completamente as variáveis.
- As mudanças diárias na agressividade podem ocorrer sutilmente não sendo detectadas quando os p-valores são implementados. Pelo contrário, os métodos Bayesianos fornecem uma descrição clara das mudanças mesmo quando os padrões são sutis.
- Quanto à família de distribuição de probabilidade, o modelo Gaussiano foi mais adequado para a maioria das espécies. A única exceção foi o *A. ocellatus*, que é melhor modelado com a distribuição de Poisson.
- Além disso, os resultados mostraram que o número de repetições (15 ou 12) não varia as conclusões do estudo, bem como o uso de um pequeno tamanho de amostra poderia ser mais evidente dentro dos dias sobrepostos para todas as espécies no estudo.
- Portanto, podemos concluir que a abordagem Bayesiana poderia ser um método estatístico mais rico e adequado para estudos longitudinais com comportamento agressivo dos peixes.