



ESTIMATIVA DE ABUNDÂNCIA DO AGULHÃO - BRANCO (*TETRAPTURUS ALBIDUS*) CAPTURADO NO ATLÂNTICO SUL ATRAVÉS DE MODELOS DE CONTAGEM CONSIDERANDO SUPERDISPERSÃO E EXCESSO DE ZEROS

Fernando de Pol Mayer¹

Humber Agreli Andrade²

¹ PPG Ecologia, UFSC - fernandomayer@gmail.com; ² UFRPE

INTRODUÇÃO

O agulhão - branco (*Tetrapturus albidus*) é uma espécie oceânica e epipelágica, e devido ao formato alongado do seu corpo e à habilidade de rápida natação, habita águas tropicais e temperadas, e ocasionalmente águas frias de todo o Oceano Atlântico (11). Sua extensão latitudinal de distribuição vai de 45°N até 45°S no oeste, e até 35°S no leste do Atlântico. Devido à esta ampla distribuição, seu estoque é explotado por diversos países. Sendo assim, torna-se necessário que medidas de manejo sejam elaboradas e compartilhadas entre as diferentes nações que possuem alguma frota atuando sobre este recurso. Por isso, foi criada a *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas* (ICCAT) com a finalidade de organizar as informações pesqueiras de todos os países membros e recomendar medidas de manejo internacionais. Para fins de manejo, a ICCAT considera que existem duas populações de agulhão - branco no Atlântico, uma ao norte e outra ao sul de 5°N.

Recentemente, espécies consideradas como fauna acompanhante (como o agulhão - branco) vem recebendo maior atenção por parte da comissão, tanto pela tendência de aumento da captura e/ou pela fragilidade das populações. A preocupação da ICCAT se deve não somente ao aumento das capturas, mas também ao fato desta espécie ser considerada ecologicamente emblemática e de grande apelo conservacionista. Por esses motivos, a redução das mortalidades do agulhão - branco tem sido tomada como meta internacional (6; 7).

Apesar do cenário de declínio na abundância, se for considerado o elevado esforço realizado pelas frotas pesqueiras, a captura do agulhão - branco em pescarias comerciais pode ser considerada pouco frequente. Ou seja, a captura é um evento que ocorre raramente em um grande número de lances de pesca. De fato, a maioria dos pescadores considera a captura desta espécie como incidental (2).

Sob condições adequadas, as taxas de captura padronizadas (e.g. número de peixes capturados por 1000 anzóis) podem ser consideradas proporcionais à abundância de uma pop-

ulação (4). Para realizar estimativas de abundância através da padronização das taxas de captura, modelos que considerem o excesso de zeros em dados de captura incidental devem ser utilizados, caso contrário, corre-se o risco de se obter inferências incorretas (9). Além disso, quando existe excesso de zeros, normalmente ocorre também que a variância dos dados é maior do que a média, fenômeno denominado de superdispersão. Não considerar esta superdispersão pode levar à sérias subestimativas de erros - padrão e à uma inferência deficiente dos parâmetros da regressão (5).

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é realizar estimativas de abundância do agulhão - branco, com a finalidade de avaliar a situação do estoque desta espécie no Atlântico Sul. Estas estimativas foram realizadas através do uso de modelos que consideram o excesso de zeros e a superdispersão.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas informações armazenadas no banco de dados denominado *Task 2*, organizado pela ICCAT. Esta base de dados pode ser acessada via consulta pública no endereço www.iccat.int. Foram selecionadas as informações da frota de espinhel de superfície do Japão, devido à grande série temporal disponível (1960 - 2007). Ao todo, foram analisadas 15247 linhas da base de dados (média de 317 por ano). Cada linha contém informações como a posição geográfica, o trimestre, o esforço de pesca (número de anzóis) e a captura. É importante ressaltar que uma linha normalmente contém a informação agregada de diversos lances do espinhel (que possui em média cerca de 1000 anzóis).

Os modelos de regressão para dados de contagem podem ser classificados como um tipo particular da classe de Modelos Lineares Generalizados (MLGs) (10). De forma geral, os

MLGs descrevem a relação entre a média de uma variável resposta e uma série de preditores, através de uma função de ligação conhecida.

Devido à grande quantidade de zeros e à superdispersão frequentemente encontrados em dados de captura incidental como a do agulhão - branco, o tradicional modelo de Poisson para dados de contagem não é apropriado. Uma distribuição alternativa à de Poisson, e que permite incorporar a superdispersão é a binomial negativa (BN). Ainda assim, o excesso de zeros pode afetar as estimativas dos parâmetros (8). Modelos capazes de incluir tanto a superdispersão quanto o excesso de zeros incluem os modelos inflacionados de zeros (8) e os modelos condicionais ou de barreira (14).

Os modelos inflacionados de zeros surgem quando a variável resposta é modelada como uma mistura de uma distribuição de Bernoulli para a presença/ausência de zeros e uma outra distribuição discreta para os valores positivos, como a de Poisson ou a BN. Detalhes específicos sobre esta abordagem podem ser encontrados em (8). Nos modelos condicionais, a modelagem da variável resposta é realizada em duas etapas. A primeira é quando nenhum animal ocorre, e a segunda é quando os animais ocorrem em diferentes níveis de abundância. Neste caso, a proporção de valores iguais a zero é o parâmetro de probabilidade de uma distribuição de Bernoulli, e os valores positivos são modelados separadamente através de uma distribuição discreta "truncada" (e.g. Poisson ou BN). Maiores detalhes sobre a formulação deste modelo podem ser encontrados em (14). Uma discussão sobre o uso destes modelos em Ecologia pode ser encontrada em (9).

Ao todo foram ajustados quatro modelos: mistura Poisson e BN, e condicional Poisson e BN para a variável resposta captura, e com a mesma matriz de covariáveis: ano (fator; 1960 - 2007), trimestre (fator; 1 - 4) e área (fator; NW, NE, SW, SE, em relação ao estoque sul do agulhão - branco, dividido na latitude 20°S e longitude 20°W). Como as covariáveis são as mesmas, as diferenças entre as predições deve ser resultado apenas da especificação de cada modelo. Convém ressaltar que em todos eles, um *offset* com o logaritmo do número de anzóis foi utilizado para compensar os valores agregados. A comparação entre os modelos foi realizada através do critério de informação de Akaike (AIC) (1). O modelo com o menor valor de AIC (i.e. aquele com melhor ajuste) foi selecionado para que as predições de taxa de captura padronizada por 1000 anzóis pudessem ser feitas. Estas estimativas foram realizadas através do cálculo da média ponderada predita pelo modelo para cada ano. Informações detalhadas sobre essa abordagem podem ser encontradas em (3). Todas as análises foram feitas através do *software* R 2.9.0 (12), com auxílio dos pacotes MASS (13) e pscl (15).

RESULTADOS

A proporção de zeros encontrada para a captura do agulhão branco no Atlântico Sul pela frota de barcos japoneses de espinhel de superfície foi de 63%. Os valores de captura variaram no intervalo [0, 4325]. A média de captura ponderada pelo esforço foi de cerca de 73 peixes, com variância ponderada igual a 37051 para o período analisado (1960 -

2007). Com isto, pode - se constatar que a variância é cerca de 500 vezes maior do que a média, o que indica uma superdispersão considerável nos dados. Estes resultados já indicam a justificativa para o uso de modelos que consideram superdispersão e excesso de zeros.

Entre os modelos ajustados, os modelos de mistura e condicional onde a distribuição de Poisson para os valores positivos foi utilizada tiveram resultados similares de acordo com o critério de informação (AIC mistura Poisson = 628215; AIC condicional Poisson = 629613), com um pequeno ganho do modelo de mistura. Os modelos ajustados com a distribuição BN (mistura e condicional) apresentaram uma grande redução nos valores de AIC em relação aos modelos anteriores (AIC mistura BN = 57347; AIC condicional BN = 59396), o que indica um melhor ajuste com esta distribuição. De acordo com esse critério, o modelo de mistura BN foi o que apresentou o melhor ajuste entre todos. Por esse motivo, esse modelo foi selecionado para o cálculo das taxas de captura anuais padronizadas do agulhão - branco. Através da variação da taxa de captura média anual padronizada do agulhão - branco no Atlântico Sul, percebe - se uma grande queda na abundância a partir de 1970. Entre 1960 e 1969, a taxa de captura oscilou entre cerca de 1 a 6,5 peças por 1000 anzóis. Após esse período, as estimativas variaram entre 0,01 e 0,6 peixes por 1000 anzóis. Estes resultados corroboram com a tendência de declínio da biomassa deste estoque reportada anteriormente (6; 7). No entanto, é necessário cautela na interpretação destes resultados. A queda de abundância abrupta a partir de 1970 pode ser tanto consequência de uma queda na biomassa do estoque, quanto ser diretamente dependente de outros fatores. Por exemplo, durante o período anterior a 1970, a frota do Japão poderia direcionar o esforço para a captura de agulhões ou outras espécies com distribuição similar (i.e. mais superficiais), como a albacora - lage. Com isso, a configuração do petrecho de pesca estaria mais propícia para a captura de agulhões. Após 1970, uma mudança no direcionamento do alvo da pescaria para espécies com distribuição mais profunda (como o espadarte por exemplo), e uma consequente alteração na configuração dos espinhéis pode ter sido a causa desta queda, uma vez que os agulhões estariam menos expostos à ação dos anzóis. Para tentar investigar se de fato houve uma queda na abundância do agulhão - branco, uma análise considerando as capturas de outras frotas seria necessária. No entanto, devido à falta de informações de muitas frotas em vários anos, este tipo de análise torna - se restrita, pelo menos no que diz respeito às bases de dados da ICCAT.

CONCLUSÃO

Devido à grande quantidade de zeros e à superdispersão observada nos dados de captura do agulhão - branco, podemos concluir que as estimativas de abundância devem ser realizadas por modelos que levem em conta estes fatores, como os modelos de mistura e condicionais. A distribuição binomial negativa ainda apresenta uma vantagem nesses casos por acomodar melhor a superdispersão. As estimativas de abundância do agulhão - branco realizadas através de um modelo de mistura BN apresentaram uma grande variação,

com uma queda significativa a partir de 1970. A interpretação deste resultado deve ser feita com cautela, pois ele pode representar tanto uma verdadeira diminuição na abundância quanto outros fatores que não puderam ser identificados.

REFERÊNCIAS

1. Akaike, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Autom. Control*, 19(6): 716 - 723, 1974.
2. Andrade, H. A. Estimation of the relative abundance of Atlantic billfish: effects of three approaches to cope with catches equal to zero. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 60(5): 1707 - 1719, 2007.
3. Andrade, H. A. Standardized catch rates for skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) caught in the southwest of south Atlantic ocean. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, in press*, 2009.
4. Hilborn, R., Walters, C. J. *Quantitative fisheries stock assessment. Choice, dynamics & uncertainty*. Chapman & Hall, New York, 1992, 570p.
5. Hinde, J., Demétrio, C. G. B. Overdispersion: Models and estimation. *Comput. Stat. Data Anal.*, 27: 151 - 170, 1998.
6. ICCAT. Report of the 2002 ICCAT white marlin stock assessment meeting. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 55(2): 350 - 452, 2003.
7. ICCAT. Report of the 2006 ICCAT billfish stock assessment. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 60(5): 1431 - 1546, 2007.
8. Lambert, D. Zero - Inflated Poisson regression, with application to defects in manufacturing. *Technometrics*, 34(1): 1 - 14, 1992.
9. Martin, T. G., Wintle, B. A., Rhodes, J. R., Kuhnert, P. M., Field, S. A., Low - Choy, S. J., Tyre, A. J., Possingham, H. P. Zero tolerance ecology: improving ecological inference by modelling the source of zero observations. *Ecol. Lett.*, 8: 1235 - 1246, 2005.
10. McCullagh, P., Nelder, J. A. *Generalized Linear Models*. Chapman & Hall, London, 1989, 513 p.
11. Nakamura, I. FAO species catalogue. Vol. 5. Billfishes of the world. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. *FAO Fish. Synop.*, 125(5): 1 - 65, 1985.
12. R Development Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2009.
13. Venables, W. N., Ripley, B. D. *Modern applied statistics with S*. Springer, New York, 2002, 495p.
14. Welsh, A. H., Cunningham, R. B., Donnelly, C. F., Lindenmayer, D. B. Modelling the abundance of rare species: statistical models for counts with extra zeros. *Ecol. Model.*, 88: 297 - 308, 1996.
15. Zeileis, A., Kleiber, C., Jackman, S. Regression models for count data in R. *J. Stat. Softw.*, 27(8): 1 - 25, 2008.