

**José Carlos Pacheco dos Santos**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS AGULHÕES BRANCO (*Kajikia  
albida* - POEY, 1860) E NEGRO (*Makaira nigricans* - LACEPEDE, 1802)  
CAPTURADOS NO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL**

Recife, PE  
2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS AGULHÕES BRANCO (*Kajikia albida* - POEY, 1860) E NEGRO (*Makaira nigricans* - LACEPEDE, 1802)  
CAPTURADOS NO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL**

**José Carlos Pacheco dos Santos**

Tese a ser apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Doutor.

**Fábio Hissa Vieira Hazin**  
Orientador

Recife, PE  
outubro 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS AGULHÕES BRANCO (*Kajikia albida* - POEY, 1860) E NEGRO (*Makaira nigricans* - LACEPEDE, 1802)  
CAPTURADOS NO ATLÂNTICO SUL OCIDENTAL**

**José Carlos Pacheco dos Santos**

Tese a ser defendida e julgada para obtenção do título de doutor em recursos Pesqueiros e Aquicultura em 28/10/2015 pela seguinte Banca Examinadora.

---

Prof. Dr. Fábio Hissa Vieira Hazin  
[Departamento de Pesca e Aquicultura]  
[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

---

Prof. Dr. Paulo Guilherme Oliveira  
[Departamento de Pesca e Aquicultura]  
[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

---

Prof. Dr. Humberto Gomes Hazin  
[Departamento de Pesca e Aquicultura]  
[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

---

Prof. Dr. Dráusio Pinheiro Vêras  
[Unidade Acadêmica de Serra Talhada]  
[Universidade Federal rural de Pernambuco]

---

Profa. Dra. Patrícia Barros Pinheiro  
[Departamento de Educação – DEDC – Campus VIII]  
[Universidade do Estado da Bahia]

“Apesar da distância o Mar continua sendo meu lar”

*José Carlos Pacheco dos Santos*

Aos meus pais e meu irmão, que me ensinaram a ser humano:

*Graça, José Carlos e Paulo*

Ao meu irmão, que se foi, mas está sempre presente na minha vida:

*Flávio Pacheco*

Aos que fazem minha vida ter sentido:

*Ana Flávia, Igor, Caio e Marina*

## **Agradecimentos**

À minha família, pela paciência e força principalmente durante os momentos de ausência.

Ao professor, amigo e orientador Fábio Hissa Vieira Hazin, pela confiança e oportunidade de executar este trabalho e pela orientação desde a graduação até o fim deste terceiro ciclo.

Ao amigo David Kerstetter, por toda Co-orientação prestada desde o mestrado.

Aos amigos Prof. Amorim e Eduardo Pimenta, pela amizade e por todo apoio nas marcações realizadas em Cabo Frio-RJ.

Aos Professores do Doutorado, que me repassaram conhecimentos de grande valia para conclusão desta minha pós-graduação.

Ao meu irmão Rafael Muniz, amigo de todas as horas.

Ao meu amigo Felipe Correia, por toda força mesmo que com meses de atraso, mas sempre sendo fundamental e decisiva.

A toda minha turma do Doutorado, pelos bons momentos em sala de aula.

Aos Estagiários do LOAA, Lucas Comassetto, Raquel Ventura, Marianna Torres, Tiago Hilário, Ivanildo Oliveira, Jannelson, Hébio, Diêgo, Adriano Leles, Ricácio, Vinicius, Marne.

Aos amigos Lecca, Dani Viana, Dráusio, Mari Rego, Paulinho, Patricia, Luisa, Juliana Aderaldo, Juliana Santos, Werusca e Dani, por todo apoio na construção deste trabalho.

Aos Amigos Bruno Macena, Bruno Mourato e André Portuga, pela importante participação nas programações das PSAT's.

Aos meus irmãos Felipe Pimentel e Thiago Landim, membros da equipe "P".

Aos funcionários do Departamento de Pesca e Aquicultura: Telma, Dona Eliane, Selma e Lia.

Às amigas Isabela e Ana Paula, pelo companheirismo de sempre.

À empresa NORPEIXE e todos seus funcionários, em especial aos diretores Gabriel e Lúcia Calzavara.

À empresa TRANSMAR e todos seus funcionários, em especial ao diretor Alceu Couto.

Aos Tripulantes das embarcações "UXIA", ALBATOS", "Mr. NR", "Transmar III" e "Alfa".

Aos amigos de pesca Lula, Beto, Paulinho e Laerte da Lancha Picante e Marco Ribas da Lancha Tarpon, por toda ajuda nas marcações Realizadas no Rio de Janeiro e Cabo Frio-RJ.

A Majestic Marlin, em especial ao Cap. Shawn, sua Esposa Lea, Angler Mike e a Thayara, por todo o apoio nas marcações realizadas em Canavieras-BA.

Ao meu amigo Rivaldo Segundo, por tudo que ele foi e continua sendo para os seus amigos aqui de baixo.

Ao criador de tudo e de todos, DEUS, pela saúde, paz, alegria e sucesso, que tenho e compartilho com todos que convivem comigo.

## RESUMO

No período de março de 2006 a dezembro de 2011, quatro exemplares de agulhão negro receberam marcas monitoradas por satélite (*Pop-up satellite archival tags-PSATs*), nas proximidades do talude continental, sendo duas no nordeste (agulhão-negro I e II em fevereiro e março de respectivamente) e duas no sudeste (agulhão-negro III e IV em dezembro 2011 e fevereiro de 2013 respectivamente). Os resultados demonstram um padrão claro de utilização do habitat com a maior parte do tempo dispendido predominantemente próximo à superfície do mar, em águas com uma faixa de temperatura restrita. Apesar da clara preferência por águas superficiais, os agulhões frequentemente realizaram mergulhos para camadas mais profundas (> 50 m). Visando a contribuir para uma melhor compreensão da situação atual dos estoques de agulhão branco e negro no Oceano Atlântico, a captura por unidade de esforço (CPUE) dessas duas espécies foi analisada com base em 92.766 lances de pesca com espinhel pelágico, realizados pela frota comercial brasileira no período de 1978 a 2012, padronizada por modelos inflacionados de zero, binominal negativa, delta log normal e modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição de erro tweedie. A frequência de zeros das capturas foi igual a 83% para o agulhão negro e 74% para o agulhão branco. Os seguintes fatores foram considerados na análise: ano, mês, área e estratégia de frota. A área de pesca total, variando de 10°N a 35°S, foi dividida em duas áreas, em 15°S de latitude. Índices de abundância de ambas as espécies mostraram uma forte oscilação interanual. A CPUE do agulhão negro, após um pico em 2001, mostrou uma tendência decrescente desde então, com exceção de 2010, quando voltou a crescer. A CPUE do marlin branco, por sua vez, após um pico em 1996, declinou até 2006, permaneceu estável entre 2006 e 2009, e, como o agulhão negro, aumentou novamente em 2010. Exclusivamente para o agulhão branco, foram utilizados também Modelos Aditivos Generalizados, incorporando dados da pescaria e as seguintes variáveis ambientais: temperatura da superfície do mar (sst), profundidade da camada de mistura (dml), concentração de clorofila e índice de iluminação da lua. O modelo final explicou a variabilidade da CPUE, com a dml e a sst tendo sido as variáveis ambientais mais importantes para explicar esta variação. Os maiores valores de CPUE ocorreram em águas onde a camada de mistura se estendia até 50 m de profundidade, enquanto a faixa de temperatura que concentrou as maiores abundâncias relativas foi de 26° a 29°C. Parece haver distinções na CPUE também durante os meses do ano, com os maiores valores tendo sido observados durante o primeiro e o quarto trimestre. As análises de predição espacial anual para o agulhão branco demonstraram haver uma área mais representativa localizada na porção central do Atlântico Sul. No entanto esta área não permanece fixa durante todos os meses de um ano. Estes resultados contribuem para uma melhor compreensão da distribuição espaço-temporal do agulhão branco e com isto inferir as possibilidades de fechamentos de áreas de pesca que apresentem maiores concentrações de indivíduos desta espécie, como uma possível ferramenta de ordenamento pesqueiro.

Palavras-chave: GLM, padronização CPUE, psat, distribuição espaço temporal, GAM.

## ABSTRACT

From March 2006 to December 2011, four copies of black marlin received marks monitored by satellite (Pop-up satellite tags-PSATs archival), near the continental slope, two in the Northeast (marlin-black I and II February and March respectively) and two in the southeast (black marlin-III and IV in December 2011 and February 2013 respectively). The results demonstrate a clear pattern of habitat use with most of the time spent predominantly near the sea surface, in water with a restricted temperature range. Despite the clear preference for surface water, the sauries often performed dives to deeper layers (> 50 m). Aiming to contribute to a better understanding of the current situation of white marlin and black stocks in the Atlantic Ocean, the catch per unit effort (CPUE) of these two species was analyzed based on 92,766 fishing bids by pelagic longline, carried out by the commercial fleet Brazil from 1978 to 2012, inflated by standard models of zero, negative binomial, delta log normal and generalized linear models (GLM) with distribution tweedie error. The frequency of zero catch was equal to 83% for black marlin and 74% for white marlin. The following factors were considered in the analysis: year, month, area and fleet strategy. The total fishing area ranging from 10 ° C to 35 ° S, was divided into two areas, 15 ° S latitude. Abundance of both species indices showed a strong interannual fluctuation. The CPUE of black marlin, after peaking in 2001, showed a declining trend since then, except for 2010, when it grew back. The CPUE of white marlin, in turn, after peaking in 1996, declined until 2006, remained stable between 2006 and 2009, and as the black marlin, increased again in 2010. Exclusively for white marlin were also used models Additives generalized, incorporating data from the fishery and the following environmental variables: sea surface temperature (SST), depth of the mixed layer (dml), chlorophyll concentration and moon lighting index. The final model explained the variability of CPUE, with dml and sst being the most important environmental factors to explain this variation. Higher CPE values occurred at a water mixture layer stretched up to 50 m deep, while the temperature range that concentrated the highest relative abundance was 26 ° to 29 ° C. There seems to be distinctions in CPUE also during the months of the year, with the highest values were observed during the first and fourth quarter. The analysis of annual spatial prediction for white marlin showed that there were a more representative area located in the central portion of the South Atlantic. However, this area does not remain fixed during all months of a year. These results contribute to a better understanding of spatial-temporal distribution of white marlin and thereby infer the possibilities for fisheries closures that have higher concentrations of this species as a possible fisheries management tool.

*Keywords:* GLM, CPUE standardization, psat, distribution timeline, GAM.

## Lista de figuras

<b>Artigo I</b>	<b>Pagina</b>
Figura 1- Locais de marcação (figura cheia) e da primeira transmissão (figura vazia) e rota mais curta de três agulhões-negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste e equatorial.....	42
Figura 2 – Frequência relativa do tempo gasto por faixa de 10 m de profundidade, de três agulhões-negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste e equatorial. ....	43
Figura 3 - Frequência relativa do tempo gasto por faixa de 2°C de temperatura, de três agulhões-negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste e equatorial. ....	44
Figura 4 - Comportamento circadiano com relação à preferência de profundidade e temperatura de dois agulhões-negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste equatorial.....	45
<b>Artigo II</b>	<b>Pagina</b>
Figure 1 - Distribution of the effort done by the Brazilian tuna longline fishery in the Atlantic Ocean, from 1978 to 2012 (35 years).....	58
Figure 2 - Bar plots of LMG the relative importance with confidence intervals (S: strategy, Y: year, Q: quarter, A: area) for white marlin (A) and blue marlin (B).....	59
Figure 3 - Proportion of sets with positive and zero catches of white marlin, by year, quarter, area and fishing strategy, of the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012. ....	60
Figure 4 - Proportion of sets with positive and zero catches of blue marlin, by year, quarter, area and fishing strategy, of the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012. ....	61
Figure 5 - Relative frequency of Strategy 1 to 3 by year of longliners operating from Brazil, from 1978 to 2012.....	62
Figure 6 - Residual analysis of the log-normal model fitting of white marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, 1978 to 2012.....	63

Figure 7 - Residual analysis of the log-normal model fitting of blue marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012.....	64
Figure 8 - Nominal and standardized CPUE of white marlin for Brazilian tuna longliners, from 1978 to 2012. ....	65
Figure 9 - Nominal and standardized CPUE of blue marlin for Brazilian tuna longliners, from 1978 to 2012. ....	66

**Artigo III**

Pagina

Figura 1 - Distribuição espacial do esforço de pesca (lances de pesca) realizados pela frota brasileira de 2005 a 2011. ....	72
Figura 2 - Distribuição dos resíduos e QQ plot do modelo final ajustado aos dados de CPUE do agulhão branco capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul utilizando a distribuição Tweedie. ....	74
Figura 3 - Efeitos das variáveis temporais na CPUE do agulhão branco, capturado por espinheleiros brasileiros no oceano Atlântico sul e equatorial no período de 2005 a 2011. TSM = Temperatura Superficial da Água do Mar; PCM = Profundidade da Camada de Mistura.....	75
Figura 4 – Efeito do ano (Y) na CPUE do agulhão branco, capturado por espinheleiros brasileiros no oceano Atlântico sul e equatorial no período de 2005 a 2011. ....	76
Figura 5 - Predição Espacial da CPUE do agulhão branco, capturado pela frota espinheleira brasileira no Atlântico sul e equatorial, nos anos de 2005 a 2011. O quadrado indica a área com os maiores valores de CPUE.....	77
Figura 6 – Percentual projetado de redução nas capturas do agulhão branco, espadarte, albacora bandolim e albacora branca capturadas pela frota espinheleira brasileira no Atlântico sul e equatorial. ....	77

## Lista de tabelas

### Artigo I

Pagina

Table 1 - Local, mês ano de marcação e de primeira transmissão da marca, menor distância percorrida e tamanho total (cm) de quatro agulhões-negro marcados com marcas PSATs, no Atlântico sudoeste e equatorial.....	41
--	----

### Artigo II

Pagina

Table 1 - Devianceanalysis of explanatory variables for the models used to standardize the CPUE series of blue and white marlins caught by the Brazilian tuna longline fleet, from 1980 to 2010.....	54
Table 2 - Etimated coefficients of the fixed factors of the GLMM models used for blue and white marlins.....	55
Table 3 - Sandarized CPUE white marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, 1978-2012.....	56
Table 4 - Standardized CPUE blue marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, 1978-2012.....	57

## Sumário

Agradecimento

Resumo

Abstract

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1 -Introdução .....	14
2 - Revisão da Literatura .....	17
2.1 - Taxonomia do agulhão negro <i>Makaira nigricans</i> (Lacepede, 1802) e branco <i>Kajikia albida</i> (Poey, 1860) .....	17
2.2 - Morfologia externa e identificação .....	17
2.2.1 – <i>Makaira nigricans</i> .....	17
2.2.2 – <i>Kajikia albida</i> .....	18
2.3 – Distribuição .....	18
2.4 – Alimentação .....	18
2.5 – Situação dos estoques .....	19
2.6 - PSAT (Pop-up Satellite Archival Tag) .....	19
2.7 – Padronização da CPUE .....	21
3 –Referência bibliográfica .....	23
4 – Artigo científico .....	30
4.1 - Artigo científico I .....	30
4.2 - Artigo científico II .....	46
4.3 - Artigo científico III .....	67
5 - Considerações Finais .....	84

## 1 - Introdução

A pesca de atuns com espinhel pelágico, tanto de superfície quanto profundo, ocorre em todos os oceanos, respondendo por uma grande parte da produção mundial de pescado. No Oceano Atlântico, a pesca de atuns com espinhel teve início nos anos 50, quando embarcações japonesas sediadas na cidade do Recife- PE lançaram os primeiros anzóis desta modalidade de pesca ao mar. Desde então, a pesca de atuns com espinhel no Brasil se desenvolveu e se disseminou ao longo de toda a costa. Apesar de ser uma arte com seletividade moderada, mais de 20 espécies são atualmente capturadas com regularidade pela frota espinheleira nacional, entre as quais se destacam a albacora-laje (*Thunnus albacares*), a albacora-bandolim (*Thunnus obesus*), a albacora-branca (*Thunnus alalunga*) e o espadarte (*Xiphias gladius*), as quais constituem o principal alvo dessa pesca. Além das espécies-alvo, porém, muitas outras espécies de peixe são também capturadas, incluindo desde várias espécies de agulhões e tubarões, até tartarugas e aves marinhas, as quais não constituem evidentemente o objetivo da pescaria (KERSTETTER e GRAVES, 2006). De forma geral, o volume total de agulhões capturados é bem superior ao total desembarcado, em função da prática comum do descarte desses animais (ICCAT, 2012). Em muitos casos, portanto, os dados de captura não são coletados, dificultando sobremaneira uma correta avaliação dos estoques e a decorrente implementação de medidas de manejo que possam assegurar a sua conservação (STEVENS, 2000). Entre os agulhões mais capturados na pesca comercial de atuns com espinhel estão o branco (*Kajikia albida* -Poey, 1860) e o negro (*Makaira nigricans* – Lacepede, 1802), além de também sofrerem uma crescente pressão pesqueira pela pesca esportiva, devido a sua popularização em todo o mundo (DA MATA, 2006).

Em 2002, as capturas brasileiras de agulhões branco e negro foram iguais a 407t e 387t, respectivamente, correspondendo, a quase oito vezes o limite de captura para fins de comercialização estabelecido para o País, igual a 52 t, para o agulhão branco, e uma vez e meia o limite de 253 t, definido para o negro. No ano de 2003, novamente os limites nacionais de captura foram largamente ultrapassados, com capturas de 265 t de agulhão branco e 577 t e de agulhão negro (411% e 128% acima do limite estabelecido pela ICCAT). Em resposta aos altos índices de captura, a SEAP/PR, em um esforço para cumprir as recomendações estabelecidas pela referida Comissão, publicou a Instrução Normativa Nº. 11, de 11 de Novembro de 2004, proibindo até 31 de dezembro de 2005 a comercialização no mercado interno, bem como a exportação, dos agulhões branco e negro, capturados em águas jurisdicionais brasileiras e no alto-mar. No ano seguinte, a SEAP/PR publicou a Instrução Normativa Nº. 12, de 14 de junho

de 2005, por meio da qual a comercialização no mercado interno foi proibida por tempo indeterminado, podendo ser revista diante dos resultados das avaliações sobre a condição dos estoques dos agulhões branco e negro, bem como das recomendações técnicas emanadas do Subcomitê Científico do Comitê Permanente de Gestão de Atuns e Afins (CPG). A partir de 2006, nenhum dos dois limites foram mais ultrapassados, com registros de captura máxima do agulhão negro e branco iguais a 298t e 90t, respectivamente, ambas no ano de 2006, e valores mínimos iguais a 63 t, para o agulhão negro, em 2011, e 36 t para o agulhão branco, em 2010. Tal resultado pode ser atribuído, em parte, tanto à normativa citada quanto à diminuição da frota arrendada no mesmo período. Uma outra possibilidade, entretanto, é que, por conta da regulamentação em vigor, parte das capturas dessas espécies não estejam sendo computadas nas estatísticas pesqueiras oficiais, sendo extremamente difícil de se avaliar o nível de subestimação das capturas, particularmente em razão do sistema de observadores de bordo haver sido suspenso desde 2012.

O elevado índice de captura incidental de agulhões, contudo, associado à carência aguda de informações sobre a biologia, ecologia e comportamento dessas espécies, é muito preocupante, em razão das dificuldades decorrentes para uma adequada avaliação dos seus estoques, conforme constatado nas últimas avaliações realizadas pela ICCAT (ICCAT, 2014). Um conhecimento adequado sobre a biologia das espécies capturadas é fundamental, por exemplo, para o desenvolvimento de modelos de padronização dos índices de captura por unidade de esforço, essenciais para a aplicação dos modelos de avaliação, além de crucial para a adoção e implementação de qualquer estratégia de manejo.

Entre as várias estratégias de mitigação das capturas incidentais de agulhões investigadas em todo mundo destaca-se o desenvolvimento de tecnologias diretamente relacionadas aos fatores operacionais da pesca (HAZIN, 2006), incluindo a introdução de mudanças na estrutura e funcionamento do equipamento de captura, como a utilização de anzóis circulares (KERSTETTER & GRAVES, 2006). Além disso, tem se buscado também o aprofundamento do conhecimento sobre o comportamento dessas espécies com vistas a melhor compreender os diversos aspectos de sua interação com a pesca, que possam interferir na sua capturabilidade e conseqüentemente nos seus índices de abundância relativa. Nesse sentido, um entendimento adequado sobre o uso do habitat e deslocamentos, tanto horizontais quanto verticais, dos agulhões, determinados pela sua preferência por determinadas profundidades e temperaturas, é fundamental para se analisar séries históricas da CPUE (captura por unidade de esforço), as quais constituem o principal fundamento dos modelos de avaliações de estoque. Uma outra informação que pode influenciar fortemente e de forma direta as estatísticas da pesca

de agulhões com o espinhel, e conseqüentemente os índices de CPUE, é o montante descartado vivo ou morto dessas espécies.

A expectativa, portanto, é de que as informações geradas pelo presente trabalho possam não apenas permitir um melhor entendimento acerca do comportamento migratório dos agulhões branco e negro no Oceano Atlântico, mas também contribuir para uma avaliação mais adequada dos estoques explorados. Espera-se, assim, que a realização desta pesquisa contribua também para fortalecer a participação científica brasileira no âmbito da ICCAT, com um importante rebatimento no futuro da pesca oceânica nacional.

## 2–Revisão da literatura

### 2.1. Taxonomia do agulhão branco *Kajikia albida* (Poey, 1860) e negro *Makaira nigricans* (Lacepede, 1802).

Os agulhões branco e negro pertencem à Ordem dos Perciformes, que são um grupo de peixes fortes e com raios espinhosos, sendo especialmente comuns em mares tropicais e subtropicais (NELSON, 1994). Segundo Nelson (2006), a família Istiophoridae, à qual pertencem os agulhões branco e negro, possui 11 espécies distribuídas em 3 gêneros: *Istiophorus*, *Makaira* (sinônimo: *Istiompax*) e *Tetrapturus* (sinônimo: *Kajikia*). Os agulhões estão classificados taxonomicamente da seguinte forma (NAKAMURA 1985):

Domínio: Eucariota

Reino: Animália

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Superclasse: Gnathostomata

Classe: Osteichythes

Subclasse: Actinopterygii

Ordem: Perciformes

Família: Istiophoridae

### 2.2. Morfologia externa e identificação

#### 2.2.1. *Makaira nigricans*

Apresenta corpo alongado e levemente comprimido, com a maxila superior prolongada, em forma de lança, arredondada na seção transversal e perfil da cabeça, entre a região pré-orbital e origem da primeira nadadeira dorsal, com declive acentuado. A primeira nadadeira dorsal é longa, com 39 a 43 raios e a segunda com 6 a 7. As nadadeiras peitorais apresentam 18 a 21 raios, sendo mais longos que as nadadeiras pélvicas. As nadadeiras anais são separadas, com a primeira apresentando de 13 a 15 raios e a segunda de 6 a 7. A linha lateral é complexa, formando um retículo, de difícil visualização nos exemplares adultos. Apresenta cerca de 15 fileiras verticais de manchas azul claras, no dorso e flancos. Ultrapassa 4,5 m de comprimento atingindo 580 kg de peso, com as fêmeas alcançando maior tamanho que os machos (FISHER, 1978; FIGUEIREDO, 2000).

### **2.2.2. *Kajikia albida***

Caracteriza-se por apresentar corpo alongado e comprimido, maxila superior prolongada, em forma de lança, arredondada na seção transversal, e duas nadadeiras dorsais sendo a primeira com 38 a 46 raios e a segunda com 5 a 7. Possui duas nadadeiras anais separadas, sendo a primeira com 12 a 18 raios, nadadeira pélvica de comprimento igual ou menor que o da peitoral, sendo constituída de um espinho e dois raios moles, e nadadeira peitoral com 18 a 21 raios. A extremidade da primeira nadadeira dorsal, da primeira anal e das nadadeiras peitorais são arredondadas. A linha lateral é visível, curvada sobre a nadadeira peitoral, e não apresentando marcas distintivas no corpo ou nas nadadeiras. Atinge 2,8 m de comprimento total, e mais de 80 kg de peso (FIGUEIREDO, 2000; FISHER, 1978).

### **2.3. Distribuição**

O agulhão branco está distribuído exclusivamente no Oceano Atlântico, entre as latitudes de 45°N e 45°S, embora haja registros no Mar Mediterrâneo (MOONEY & STONE, 1997). É uma espécie pelágica, com distribuição superficial, em águas acima da termoclina (NAKAMURA, 1985), estando presentes nas maiores latitudes apenas nos períodos mais quentes do ano (UEYANAGI *et al.*, 1970).

O agulhão negro, de acordo com Brill *et al.* (1998), é considerado como o mais tropical dos agulhões, embora seja também encontrado em regiões temperadas do Atlântico. Os limites geográficos são de 45°N e 40°S, embora sejam menos abundantes nas águas do Atlântico centro-este e do Atlântico centro-sul (NAKAMURA, 1985). Além do Atlântico, também são encontrados nos oceanos Pacífico e Índico (FAO, 1994).

### **2.4. Alimentação**

O agulhão branco apresenta um hábito alimentar oportunista, atacando cardumes de peixes voadores, pequenos atuns, juvenis de dourados e lulas. Trabalhos realizados com conteúdo estomacal indicam uma variada preferência por alimento de acordo com a região. No sul do Mar do Caribe, se alimenta principalmente de lulas e sardinhas (GARCIA DE LOS SALMONES *et al.*, 1989), enquanto que no nordeste dos Estados Unidos a preferência é por arenques e lulas (DESYLVA e DAVIS, 1963). Já na costa brasileira, o *Brama brama* e a lula *Ornithoteutis antillarum* foram as principais espécies encontradas por Vaske Jr. *et al.* (2004), nos estômagos dos agulhões brancos.

O agulhão negro se alimenta desde a superfície até águas mais profundas, realizando grandes incursões em busca de suas presas, que incluem principalmente peixes e moluscos pelágicos, com preferência por atuns, bonitos, serras, cavalinhas, dourados, lulas e sépias (OVICHINNIKOV, 1970).

## **2.5. Situação dos estoques**

Os agulhões são espécies altamente migratórias, de forma que a avaliação e o manejo de seus estoques são possíveis somente através de esforços conjuntos de várias nações, tarefa que, no Oceano Atlântico, compete à Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico (ICCAT- *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*). Segundo o Comitê Permanente de Pesquisa e Estatística da ICCAT (SCRS- *Standing Committee on Research and Statistics*) (ICCAT, 2005), o rendimento máximo sustentável (RMS) dos agulhões branco e negro no Atlântico situam-se, respectivamente, em torno de 960 t e 2.000 t.

Em 2006, as capturas de agulhão negro totalizaram 2.478 t. No mesmo ano, a ICCAT apresentou resultados de sua avaliação que indicavam que a tendência de queda da biomassa tinha parcialmente se estabilizado. Após cinco anos, com registros de captura sempre acima do RMS, atingindo, em 2008, um máximo de 4.665t, cerca de 133% acima do RMS, a ICCAT realizou, em 2011, uma avaliação completa, que assinalou um estado atual de sobrepesca de ambos os estoques (ICCAT, 2012).

## **2.6. PSAT (Pop-up Satellite Archival Tag)**

Um adequado conhecimento acerca da utilização do habitat por peixes marinhos é um elemento crucial para uma adequada gestão dos recursos pesqueiros, embora tal objetivo seja muito difícil de se alcançar plenamente, uma vez que os vários fatores ambientais que devem ser levados em conta influenciam diferentemente espécies distintas ou mesmo uma única espécie em locais e estágios ontogenéticos ou fisiológicos diversos (JOHNSON, 1980). Neste sentido, o conhecimento do comportamento migratório, das profundidades e temperaturas preferenciais e dos horários de maior captura das diversas espécies é essencial, não apenas para tornar o aparelho de pesca mais seletivo, melhor direcionando as capturas para as espécies alvo, mas para reduzir a pesca incidental da fauna acompanhante (BOGGS, 1992). Uma das ferramentas mais utilizadas para este fim nas duas últimas décadas tem sido as marcas PSAT- *Pop up Satellite Archival Tags*.

A marca PSAT foi desenvolvida no início dos anos 90, com o intuito inicial de mapear o deslocamento de grandes peixes pelágicos (ARNOLD e DEWAR, 2001; GUNN e BLOCK, 2001). Atualmente, este tipo de marca eletrônica, quando presa em algum peixe, além de coletar dados referentes à sua localização geográfica, é capaz de gerar importantes informações sobre o seu ambiente. Após ser liberada do animal, a marca flutua até a superfície, de onde se inicia o processo de transmissão dos dados arquivados para os satélites do sistema Argos que os transmitem, finalmente, a uma estação de recebimento em terra (PRINCE *et al.* 2002).

O primeiro peixe a receber este tipo de marca foi o atum azul, *Thunnus thynnus* (BLOCK *et al.*, 1998; LUTCAVAGE *et al.*, 1999), no oceano Atlântico Norte, com a finalidade de investigar a sua área de distribuição e a possível estrutura dos seus estoques. Posteriormente, Graves *et al.* (2002) utilizaram o mesmo tipo de marca para avaliar o índice de sobrevivência dos agulhões negros liberados vivos pela pesca esportiva norte-americana.

Apesar do pouco tempo desde a criação do primeiro modelo, várias modificações tecnológicas foram introduzidas nas PSATs para permitir a coleta do maior volume possível de informações. Os modelos fabricados a partir de 1996 passaram a permitir a coleta de variáveis como temperatura, pressão e luminosidade. Os níveis de luminosidade são utilizados para estimar a localização, enquanto as leituras de pressões são convertidas em medidas de profundidade. A combinação dos dados de temperatura e profundidade podem fornecer, por exemplo, entre outras, informações acerca do comportamento de natação do animal em estudo.

As PSATs foram desenvolvidas, também, com o intuito de ampliar as informações obtidas por meio da telemetria acústica, bastante difundida em pesquisas científicas realizadas desde a década de 70. A telemetria acústica é, ainda hoje, o método mais utilizado para estudos de movimentação e utilização de habitat (ARNOLD e DEWAR, 2001, GUNN e BLOCK, 2001). Entretanto, seu uso está limitado pela necessidade do trabalho intensivo, mapeamento em tempo real por meio de uma embarcação de pesquisa ou de estações fixas de recepção. Além disso, Dagorn *et al.* (2001) descreveram interações claras entre alguns atuns da espécie *Thunnus albacares*, marcados com transmissores acústicos, e as embarcações que realizavam seu monitoramento, contestando assim Brill *et al.* (1999) que reportaram a telemetria acústica como uma técnica com interferência praticamente nula no comportamento dos animais estudados. Até hoje, PSATs já foram usadas para estudar a sobrevivência, movimentos horizontais e utilização de habitat tanto do agulhão negro (GRAVES *et al.*, 2002; KERSTETTER *et al.*, 2003; PRINCE *et al.*, 2005; PRINCE e GOODYEAR 2006; GOODYEAR *et al.*, 2008), como do agulhão branco (HORODYSKY e GRAVES, 2005; PRINCE *et al.*, 2005; PRINCE e GOODYEAR, 2006; HORODYSKY *et al.*, 2007; GRAVES e HORODYSKY, 2008).

O sistema de identificação da posição geográfica durante o período de marcação é baseado no nível de luminosidade, o qual possibilita estimar o amanhecer e o entardecer, determinando, assim, o meio-dia local e a duração do dia luminoso, variáveis que, por sua vez, permitem estimar a latitude e a longitude do local onde a marca se encontra. A relação entre a duração do dia luminoso e a latitude, porém, é mais acentuada nas altas latitudes e na época dos solstícios e mais fraca próxima ao equador, tornando-se quase indeterminada nos equinócios (SIBERT *et al.*, 2003). A precisão da estimativa de localização, portanto, depende diretamente da latitude na qual o animal esteja. De acordo com Hill e Braun (2001), no entanto, até mesmo com ótimas análises de geo-referenciamento, a variabilidade esperada na longitude é em torno de  $0,3^\circ$  e na latitude nunca menos que  $0,7^\circ$ .

## 2.7. Padronização da CPUE

A CPUE (captura por unidade de esforço) é muitas vezes a principal informação na avaliação de estoques pesqueiros, assumida como índice de abundância relativa (GAVARIS, 1980; RICHARDS e SCHNUTE, 1986, 1992; HINTON e MAUNDER 2004). Com os dados de CPUE, podem-se aplicar modelos de produção geral para se determinar o nível ótimo de esforço, estimando-se a captura máxima de forma sustentada sem afetar a produtividade do estoque a longo prazo (PAULY, 1984).

A utilização de índices de abundância baseados em dados de captura e esforço pode ser melhorada pelo processo de padronização, a fim de eliminar o impacto de outros fatores além de mudanças na biomassa do estoque ao longo do tempo (ORTIZ e AROCHA, 2004) e, conseqüentemente, produzir uma modelagem da influência de fatores e interações de diversas ordens na capturabilidade (GAVARIS, 1980; GULLAND, 1983; BANNEROT e AUSTIN, 1983; HILBORN e WATERS, 1992), por meio de métodos estatísticos de regressão.

Atualmente, um dos métodos mais tradicionais para a padronização de CPUE é a aplicação do modelo linear generalizado- GLM (MCCULLAGH e NELDER, 1989), que constitui, como o próprio nome sugere, uma generalização dos modelos lineares clássicos. Sua estrutura geral é formada por: a) a variável resposta (normalmente, mas não somente, a CPUE); b) o preditor linear que especifica as variáveis explicativas utilizadas; c) a função de ligação (link) que estabelece uma relação funcional entre o preditor linear e a variável resposta; e d) o erro do modelo que é derivado de uma distribuição de probabilidade da família exponencial (MCCULLAGH e NELDER, 1989). A aplicação dos GLMs pode separar os efeitos de muitos fatores que causam variabilidade na CPUE, sendo úteis para a produção de séries de CPUE

padronizadas (QUINN e DERISO, 1999) que são o principal fundamento dos diversos modelos de avaliação de estoques. Os GLMs têm sido, assim, amplamente utilizados na ciência pesqueira para a padronização da CPUE (MAUNDER e PUNT, 2004), embora tenham sido utilizados, também, em estudos de seletividade (MYERS e HOENIG, 1997) e para estimativa de parâmetros biológicos (BROMLEY, 2000), entre outros. Embora a grande maioria dos trabalhos científicos de padronização de captura e esforço pesqueiro se baseie no GLM (MAUNDER & PUNT, 2004), outras técnicas também têm sido aplicadas, incluindo, mais recentemente, o emprego do modelo aditivo generalizado- GAM (HASTIE e TIBSHIRANI, 1990; CHAMBERS e HASTIE, 1993).

Diversos trabalhos apresentam séries de CPUE padronizadas por GLM para o agulhão branco e negro do Atlântico, a partir de dados da pesca industrial (ex. UOZUMI, 1998; YOKAWA *et al.*, 2001; CHANG, 2003; ORTIZ e SCOTT, 2001, 2003; ANDRADE, 2006a e 2006b; AROCHA e ORTIZ 2006; DIAZ e ORTIZ 2006b), artesanal (AROCHA *et al.*, 2006a e 2006b) e esportiva (ORTIZ e FARBER 2001; ORTIZ, 2003; DIAZ e ORTIZ, 2006a). Informações sobre variações na abundância relativa dos agulhões branco e negro são importantes para o desenvolvimento de modelos de avaliação de estoques de agulhões e para o manejo dos mesmos (ORTIZ e FARBER, 2001; ORTIZ e SCOTT, 2003; AROCHA e ORTIZ, 2003).

Diversos trabalhos têm mostrado que o processo de padronização de índices de CPUE por GLM é, em geral, eficaz para eliminar a influência de fatores como avanços na eficiência tecnológica e conseqüentemente no poder de pesca da frota (AROCHA e ORTIZ, 2003 e 2005), estratégias de captura diferenciadas em função da espécie-alvo (STEPHENS e MACCALL, 2004), além de diversas variáveis ambientais (BIGELOW *et al.*, 1999; AGENBAG *et al.*, 2003).

### 3- Referência bibliográfica

- Agenbag, J. J., Richardson, A. J.; Demarcq, H., Freon, P., WEEKS, S., Shillington, F.A. 2003. Estimating environmental preferences of South African pelagic fish species using catch size- and remote sensing data. **Progress in Oceanography**, 59: 275–300.
- Andrade, H.A. 2006a Standardized CPUE for the Blue Marlin (*Makaira nigricans*) caught in the west of South Atlantic. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 59. SCRS/2005/046. (in press).
- Andrade, H.A. 2006b Analysis of aggregated fishing data using delta generalized linear models: white marlin (*Tetrapturus albidus*) caught by the Brazilian long-line fleet. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 59. SCRS/2005/105. (in press).
- Arnold, G., and H. Dewar. 2001. Electronic tags in marine fisheries research: a 30-year perspective. In Electronic tagging and tracking in marine fisheries (J. R. Sibert and J. L. Nielsen, eds.), **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, The Netherlands. p. 7–64.
- Arocha, F.; Marcano, L.A.; Valle, M.; Kleisner, K.; Die, D. 2006a. Catch rates for white marlin (*Tetrapturus albidus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*) from small scale fishery off La Guaira, Venezuela: Period 1991-2004. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid SCRS/2005/026. (in press).
- Arocha, F.; Larez, A.; Marcano, J.; Barrios, A.; Gutierrez, X.; Debrot, D.; Ortiz, M. 2006b. Standardized catch rates for white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the Venezuelan artisanal pelagic longline fishery off the caribbean sea and adjacent areas: period 1992-2003. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, SCRS/2005/064 (in press).
- Arocha, F. e Ortiz, M. 2006. Standardized catch rates for blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the Venezuelan pelagic longline fishery off the Caribbean sea and the western central Atlantic: Period 1991-2004. **ICCAT SCRS 2005/025** (in press).
- Arocha, F. e Ortiz, M. 2005. Standardized catch rates for blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the Venezuelan pelagic longline fishery off the Caribbean sea and the western central Atlantic: period 1991-2004. **ICCAT SCRS/2005/025** – 124-133.

- Arocha, F. e Ortiz, M. 2003. Standardized catch rates for blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the venezuelan pelagic longline fishery off the Caribbean sea and the western central Atlantic. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 55(2): 649- 659.
- Bannerot, S. P. ;Austin, C. B. 1983. Using frequency distributions of catch per unit effort to measure fish-stock abundance. **Transactions of the American Fisheries Society**, 112: 608–617.
- Bigelow, A.K., Boggs, C.H., He, X., 1999. Environmental effects on swordfish and blue sharks catch rates in the US. North Pacific longline fishery. **Fisheries Oceanography**. 8, 178-198
- Block, B. A., Dewar, H., Williams, T., Prince, E. D., Farwell, C. and Fudge, D. (1998). Archival tagging of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). **Marine Technology Society Journal**. 32, 37–43
- Boggs, C.H. 1992. Depth, capture time, and hooked longevity of longline-caught pelagic fish: Timing bites of fish with chips. **Fishery Bulletin** 90:643-658.
- Brill, R. W., Block, B. A., Boggs, C. H., Bigelow, K. A., Freund, E. V. and Marcinek, D. J. 1999. Horizontal movements and depth distribution of large adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) near the Hawaiian Islands recorded using ultrasonic telemetry: implications for the physiological ecology of pelagic fishes. **Marine Biology**. 133, 395–408.
- Brill, R. W., Cousins, K. L., Jones, D. R., Bushnell, P. G. and Steffensen, J. F. 1998. Blood volume, plasma volume and circulation time in a highenergy-demand teleost, the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). **Journal of Experimental Biology** . 201, 647–654.
- Bromley, P. J. 2000. Growth, sexual maturation and spawning in central North Sea plaice (*Pleuronectes platessa L.*), and the generation of maturity ogives from commercial catch data. **Journal of Sea Research**, 44: 27–43.
- Chambers, E.M., Hastie, T.J. **Statistical Models**. Chapman and Hall, London. 1993.
- Chang, S. 2003. Analysis of Taiwanese white marlin catch data and standardization of catch rates. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 55(2): 453-466.

- Da Mata, I.O., 2006. Pesca, distribuição, abundância relativa e biologia reprodutiva do agulhão branco, *Tetrapturus Albidus*, (Poey, 1986) capturado pela frota espinheleira brasileira. **Dissertação**. Programa de Pós graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura - UFRPE, Recife-Pernambuco, p. 118.
- Dagorn, L.; Bach, P.; Josse, E. 2000. Movement patterns of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean, determined using ultrasonic telemetry. **Marine Biology**, 136: 361-37.
- Desylva, D. P. and Davis, W. P. 1963. White marlin, *Tetrapturus albidus*, in the Middle Atlantic Bight, with observations on the hydrography of the fishing grounds. **Copeia**. 81-99p.
- Diaz, G.A. and Ortiz, M. 2006a Updated white marlin (*Tetrapturus albidus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*) catch rates from the US recreational tournament fishery in the Northwest Atlantic and the US Gulf of Mexico 1973-2004. .International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 12p. SCRS/2005/030 (in press).
- Diaz, G. A. and Ortiz, M. 2006b Updated white marlin (*Tretapturus albidus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*) catch rates from the U.S. pelagic longline fishery in the northwest Atlantic and Gulf of Mexico. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 16p. SCRS/2005/031 (in press).
- FAO, Fisheries Department, 1994. World review of highly migratory species and straddling stocks. **FAO Fisheries Technical Paper**. No. 337. Rome, FAO. 70 p.
- Figueiredo, J. L; N.A Menezes. **Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. VI. Teleostei** (5). São Paulo, Museu de Zoologia, Univ. São Paulo, 116p. 2000.
- Fischer, W. 1978. FAO species identification sheets for fishery purposes. Fish Area 31. Marine Resources Service Fishery Resources and Enviromental Division – **FAO Fisheries Departament vol. III**, Roma.
- Garcia De Los Salmones, R., O. Infante and J.J. Alio. 1989. Reproducción y alimentación del pez vela, de la aguja blanca y de la aguja azul en la region central de Venezuela. **Collective Volume of Scientific Papers**. ICCAT, 30: 436-439.
- Gavaris, S. 1980. Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. 37:2272-2275.

- Goodyear, C. P., Luo, J.G., Prince, E. D., Hoolihan, J. P., Snodgrass, D. Orbesen, E.S., Serafy, J. E. 2008. Vertical habitat use of Atlantic blue marlin, *Makaira nigricans*: interaction with pelagic longline gear. **Marine Ecology Progress Series**. 365:233–245.
- Graves, J.E. and A.Z. Horodysky (2008). Does hook choice matter? Effects of three circle hook models on post release survival of white marlin. North American **Journal of Fisheries Management** 28:471-480.
- Graves, J. E., B. E. Luckhurst & E. D. Prince. 2002. An evaluation of pop-up satellite tags for estimating post release survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) from a recreational fishery. **Fishery Bulletin**, 100:134-142.
- Gulland, J. A. Fish stock assessment: **A Manual of Basic Methods**. New York. 1983.
- Gunn, J., and B. Block 2001. Advances in acoustic, archival, and satellite tagging of tunas. In Tuna: physiology, ecology, and evolution (B. A. Block and E. D. Stevens, eds.), **Academic Press**, San Diego, CA. p. 167–224.
- Hastie, T. and Tibshirani, R. **Generalized Additive Models**. UK: Chapman and Hall, London. 1990.
- Hazin, H.G., 2006. Influência das variáveis oceanográficas na dinâmica populacional e pesca do espadarte, *Xiphias gladius* Linnaeus 1758, capturados pela frota brasileira. **Tese de doutorado - Universidade do Algarve/Portugal**, 213 pp.
- Hilborn, R. and Walters, C. J. **Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty**. Chapman and Hall, Inc., London, New York: 570p. 1992.
- Hill, R.D. and Braun MJ (2001) Geolocation by light levels—the next step latitude. In: Sibert JR, Nielsen JL (eds) Electronic tagging and tracking in marine fisheries. **Kluwer Academic Publishers**, Boston, pp 315–330.
- Hinton, M.G., Maunder, M.N. 2004. Methods for standardising CPUE and how to select among them. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**. 56, 169-177.
- Horodysky, A. Z. , D. W. Kerstetter R. J. Latour, and J. E. Graves. 2007. Habitat utilization and vertical movements of white marlin (*Tetrapturus albidus*) released from commercial and recreational fishing gears in the western North Atlantic Ocean: inferences from short duration pop-up archival satellite tags. **Fisheries Oceanography**. 16(3), 240–256.

ICCAT. 2012. **Report Of The Standing Committee On Research And Statistics (SCRS)** (Madrid, Spain, October 1-5, 2012), 110:131 p.

ICCAT. 2005. **Statistical Bulletin**. *Madri, Espanha*, 34: 127 p.

Instrução Normativa nº 12, de 14 de junho de 2005. Publicada no **Diário Oficial da União - Brasil** - SEAP/PR.

Instrução Normativa nº 11 , de 11 de novembro de 2004. Publicada no **Diário Oficial da União – Brasil** - SEAP/PR.

Johnson, D.H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. **Ecology**, 61(1): 65-71.

Kerstetter DW, Luckhurst BE, Prince ED, Graves JE (2003) Use of pop-up satellite archival tags to demonstrate survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) released from pelagic longline gear. **Fishery Bulletin**. 101:939–948

Lutcavage, M. E., R. W. Brill, G. B. Skomal, B. Chase, and P. Howey. 1999. Results of pop-up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: Do North Atlantic bluefin tuna spawn in the mid-Atlantic? **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**. 56:173–177.

Maunder, M. N; Punt, A. E. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. **Fishery Research**. 70: 141-159.

McCullagh, P. ; Nelder, J.A. **Generalized Linear Models, 2nd edition**. Chapman & Hall, London. 1989.

Mooney-Seus, M.L. and G.S. Stone, 1997. The forgotten giants: giant ocean fishes of the Atlantic and the Pacific. Ocean Wildlife Campaign, Washington, USA. **New England Aquarium**, Boston. 64 p.

Myers, R. A. ; Hoenig, J. M. 1997. Direct estimates of gear selectivity from multiple tagging experiments. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**. 54: 1–9.

Nakamura, I. 1985 FAO species catalogue: Billfishes of the World. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. n.125. v.5. Roma: **FAO Fishery Synopsis**. 65p.

Nelson, J.S. **Fishes of the world. 4rd edition**. John Wiley & Sons. New York, 622pp. 2006.

Nelson, J.S. **Fishes of the world. 3rd edition**. John Wiley & Sons. New York, 600pp. 1994.

- Ortiz, M. e Arocha, F. 2004. Alternative error distribution models for standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery. **Fisheries Research**, 70: 275–297.
- Ortiz, M. 2003. Standardized catch rates for white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the U.S. recreational tournaments fishery in the northwest Atlantic and the gulf of Mexico. SCRS/2002/066. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 55(2): 529-540.
- Ortiz, M. e Scott, G.P. 2003. Standardized catch rates for white marlin (*Tetrapturus albidus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*) from the pelagic longline fishery in the northwest Atlantic and the gulf of Mexico. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 55(2): 511-528.
- Ortiz, M. e Scott, G.P. 2001. Standardized catch rates for blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the U.S. pelagic longline fishery in the Northwest Atlantic and the Gulf of Mexico. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 53: 231–248.
- Ortiz, M. and Farber, M.I. 2001. Standardized catch rates for blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the U.S. recreational tournaments fishery in the northwest Atlantic and the gulf of Mexico. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 53: 216-230.
- Ovchinnikov, V. V. **Swordfishes and billfishes in the Atlantic Ocean. Ecology and Functional Morphology**. Atlantic Scientific Research Institute of fisheries and Oceanography. 1970.
- Pauly, D. **Fish Population Dynamics in Tropical Waters: A Manual for use with Programmable Calculators**. ICLARM Studies and Reviews. (8): 325 p. 1984.
- Prince, E. D. and Goodyear C.P. 2006. Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fishes. **Fish Oceanography** 15:451–464
- Prince, E. D., Cowen R. K., Orbesen E.S., Luthy S.A., Llopiz J.K., Richardson D.E., Serafy, J.E. 2005. Movements and spawning of white marlin (*Tetrapturus albidus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*) off Punta Cana, Dominican Republic. **Fishery Bulletin**. 103:659–669.
- Quinn, T. J. and Deriso, R. B. **Quantitative Fish Dynamics**. Oxford University Press, New York. 542p. 1999.

- Richards, L.J and Schnute, J.T. 1986 An experimental and statistical approach to the question: Is CPUE an index of abundance? **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, 43: 1214-1227.
- Sibert, J. R., Musyl M. K. and Brill, R.W. 2003. Horizontal movements of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) near Hawaii determined by Kalman filter analysis of archival tagging data. **Fish Oceanography** 12:141–151.
- Stephens, A. and Maccall, A. 2004 A multispecies approach to subsetting logbook data for purposes of estimating CPUE. **Fisheries Research**, 70: 299–310.
- Stevens, J. D. 2000. The population status of highly migratory oceanic sharks in the Pacific Ocean. **In Proceedings of the Symposium on Managing Highly Migratory Fish of the Pacific Ocean**, 4–6th November 1996, Monterey, California, National Coalition for Marine Conservation. Savannah. (In press.)
- Ueyanagi, S., Kikawa, S., Uto, M., e Nishikawa, Y. 1970. Distribution, spawning and relative abundance of billfishes in the Atlantic Ocean. **Bulletin / Far Seas Fisheries Research Laboratory**. 3:15-55.
- Uozumi, Y. 1998. Standardization of CPUE for white marlin caught by Japanese longline fishery in the Atlantic. SCRS/1996/094. ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 47: 255-265.
- Vaske-Junior, T. C. M. Vooren & R. P. T. Lessa. 2004. Feeding habits of four species of Istiophoridae (Pisces: Perciformes) from northeastern Brazil. **Environmental Biology of Fishes**, 70:293–304.
- Yokawa, K.; Takeuchi, Y.; Okazaki, M.; Uozumi, Y. 2001. Standardizations of CPUE of blue marlin and white marlin caught by Japanese longliners in the Atlantic ocean. . ICCAT, **Collective Volume of Scientific Papers**, Madrid, 53: 345-355.

## 4 – Artigo Científico

### 4.1 – Artigo Científico

#### **Migração e preferência de temperatura do agulhão-negro *Makaira nigricans* (Lacépède 1803), no Atlântico sudoeste e equatorial**

**A ser enviado para a Revista Neotropical Ichthyology**

#### **Resumo**

Quatro exemplares de agulhão-negro foram marcados com marcas eletrônicas monitoradas por satélite (*Pop-up satellite archival tags-PSATs*) nas águas próximas ao talude continental do nordeste e sudeste/sul do Brasil, durante fevereiro e março de 2006 (agulhão-negro I e II), dezembro de 2011 (agulhão-negro III) e fevereiro de 2013 (agulhão-negro IV). Os resultados demonstram um padrão claro de utilização do habitat com a maior parte do tempo dispendido predominantemente próximo à superfície do mar ocupando águas com uma faixa de temperatura restrita. Apesar da clara preferência por águas superficiais, os agulhões frequentemente realizaram mergulhos para camadas mais profundas (> 50 m).

**Palavras-chave:** Pop-up satellite archival tags (PSATs); movimentos verticais; movimentos Horizontais.

## Introdução

O agulhão-negro *Makaira nigricans* (LACÉPÈDE 1803), também conhecido como marlin azul, pertence à família Istiophoridae, integrada pelos peixes de bico, chamados de marlins ou agulhões. É um dos maiores peixes existentes, com um tamanho máximo de 450 cm e 910 kg (ROBINS e RAY, 1986). De hábito pelágico e oceânico, ocorre em regiões tropicais e temperadas do Atlântico, Pacífico e Índico, em águas com temperatura entre 22° e 31°C. É capturado principalmente como fauna acompanhante da pesca com espinhel que tem como alvo os atuns (*Thunnus ssp.*) e o espadarte (*Xiphias gladius*) (RESTREPO *et al.*, 2003). Apesar de representar apenas uma pequena fração das capturas realizadas por essa arte de pesca, a mesma responde pela maior parte da mortalidade da espécie no Atlântico (ICCAT, 1997; 2001). Outra fonte importante de mortalidade nesse oceano é a atividade de pesca com rede de emalhe praticada no oeste da África, especialmente em Ghana, chegando a representar quase 30% das capturas totais reportadas anualmente para a espécie, nesse oceano (ICCAT, 2006). Além de integrar a fauna acompanhante em diferentes modalidades da pesca comercial, tanto artesanal como industrial, o agulhão-negro constitui, também, um dos principais alvos da pesca esportiva em todo mundo. Em razão da sua ampla distribuição e de ser conseqüentemente capturado por diferentes artes de pesca em vários países, a gestão dos seus estoques somente é possível por meio de organizações regionais de ordenamento pesqueiro, tarefa que no Atlântico cabe à Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico- ICCAT.

Estudos de marcação têm mostrado que os agulhões-negro chegam a realizar longas migrações, registrando-se em uma ocasião o deslocamento de 3.800 milhas náuticas (mn) em 153 dias, ou aproximadamente 46 km/dia (BAYLEY & PRINCE, 1994). Apesar de sua grande importância ecológica e elevada mortalidade por pesca, muito pouco ainda se conhece, porém, sobre o seu comportamento e uso do habitat. Uma das tecnologias recentemente mais utilizadas para se alcançar uma melhor compreensão sobre os movimentos migratórios de grandes peixes pelágicos tem sido as marcas monitoradas por satélite, a exemplo das PSATs (Pop-up Satellite Archival Tags) (ARNOLD & DEWAR, 2001; GUNN & BLOCK, 2001). Os primeiros peixes a receberem este tipo de marca foram o atum-azul, *Thunnus thynnus*, (BLOCK *et al.*, 1998; LUTCAVAGE *et al.*, 1999) e o próprio agulhão-negro (GRAVES *et al.*, 2002), no oceano Atlântico Norte. Nesses estudos com atuns as PSAT's foram utilizadas para se investigar a sua área de distribuição e a possível estrutura dos estoques, enquanto o trabalho sobre o agulhão-negro objetivou avaliar o índice de sobrevivência dos espécimes liberados vivos pela pesca esportiva norte-americana.

No presente trabalho, os resultados das primeiras marcações em agulhões-negro realizadas no Atlântico Sul e Equatorial são analisados, incluindo uma avaliação da sobrevivência pós-captura no espinhel pelágico e na pesca esportiva oceânica; do padrão de movimentação da espécie, tanto vertical como horizontalmente, incluindo as suas variações circadianas; e de suas preferências de temperatura.

## **Material e Métodos**

Os dados utilizados no presente trabalho foram oriundos de quatro agulhões-negro marcados na costa nordeste (BUM I e BUM II) e sudeste do Brasil (BUM III e BUM IV). O primeiro (BUM I), capturado pela pesca esportiva de curso, recebeu a marca em fevereiro de 2006, no banco Royal Charlotte, próximo a Canavieiras-BA. O segundo (BUM II), capturado na pesca comercial de atuns com espinhel, foi marcado em março de 2006, nos bancos da cadeia norte, em frente ao Estado do Ceará. O terceiro (BUM III), também capturado pela pesca esportiva de curso, foi marcado em dezembro de 2011, próximo à Ilha Bela- SP. E o quarto (BUM IV), novamente capturado pela pesca esportiva de curso, foi marcado em fevereiro de 2013, próximo a Cabo Frio- RJ.

Em todos os 4 exemplares foram utilizadas marcas modelo MK10, fabricadas pela Wildlife Computers Inc. (Redmond, WA, USA), programadas para registrar profundidade, temperatura e intensidade de luz a cada 1 segundo, por um período de 120 dias. Exceto pelo BUM I, que não transmitiu dados, todas as outras 3 marcas transmitiram informações em períodos que variaram de 3 a 29 dias. Os registros de profundidade e temperatura para o BUM II foram compilados em histogramas com intervalos de 4 horas (01:00; 05:00; 09:00; 13:00; 17:00; 21:00) e para o BUM III e IV, em intervalos de 6 horas (00:00; 06:00; 12:00; 18:00), com amostras a cada 60 segundos. Para temperatura (°C) e profundidade (m) foram criados 14 intervalos de registros de dados (12; 15; 18; 20; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; >30 e -1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 250; >250).

Para analisar o comportamento de migração vertical em relação à profundidade e temperatura, os dados foram divididos da seguinte forma: BUM II: dia 05:00h, 09:00h, 13:00h e noite 17:00h, 21:00h, 01:00h; e BUM III e IV: dia: 06:00h e 12:00h e noite 18:00h e 00:00h. O comportamento circadiano foi analisado comparando-se os dados de profundidade e temperatura, divididos da seguinte forma: BUM II: dia (09:00 e 13:00), entardecer (17:00), noite (21:00 e 01:00) e amanhecer (05:00); e BUM III e IV: dia (12:00), entardecer (18:00), noite (00:00) e amanhecer (06:00).

A análise do comportamento circadiano dos agulhões marcados foi realizada apenas com dados das marcas colocadas no BUM II e III, em razão do tempo mais longo que permaneceram afixadas nos peixes. As posições geográficas dos locais exatos de marcação foram obtidas a partir do GPS da própria embarcação, enquanto o ponto de soltura da marca refere-se à posição da marca no momento em que a mesma iniciou a transmissão de dados, não sendo possível computar a distância percorrida pela marca à deriva, entre o momento em que a mesma veio à superfície e quando começou efetivamente a transmitir.

O teste ANOVA com significância de  $\leq 0.05$  foi utilizado para avaliar a significação estatística da diferença entre as médias de profundidade e de temperatura durante o dia e a noite, de cada peixe marcado.

## Resultados

Todas as marcas transmitiram os resultados antes do período programado. Os números totais de dias monitorados foram: 0 (BUM I), 17 (BUM II), 29 (BUM III), e 3 (BUM IV). Em relação à sobrevivência pós-captura, tanto o BUM II, capturado pelo espinhel, quanto os BUM III e IV, capturados na pesca esportiva, sobreviveram ao stress de sua captura. No caso do BUM I, como a marca jamais transmitiu, não há como se saber o que aconteceu com o animal marcado.

Todos os três agulhões marcados com sucesso realizaram movimentos de longa distância, confirmando o seu hábito fortemente migratório (Tabela 1, Fig. 1.). Considerando-se a mínima distância percorrida, ou seja, uma linha reta entre o ponto de marcação e de liberação da marca, o BUM II, marcado nos bancos da cadeia norte, navegou 1.135,2 km (613,0 mn), seguindo o sentido da Corrente Norte do Brasil; o BUM III, marcado próximo à Ilha Bela- SP, percorreu uma distância de 243,9 km (131,7 mn); e o BUM IV, marcado próximo a Cabo Frio-RJ, nadou por 172,0 km (92, 9 mn), ambos seguindo a direção da Corrente do Brasil. O BUM II se deslocou com uma velocidade de 1,50 mn/h (aproximadamente 36,0 mn/dia), o BUM III a 0,19 mn/h (aproximadamente 4,5 mn/dia) e o BUM IV a 1,29 mn/h (aproximadamente 31,0 mn/dia). A média de velocidade mínima para os 3 espécimes foi de 0,71 mn/h ou 17,1mn/dia.

Os resultados indicam uma clara preferência do agulhão-negro por águas mais rasas, próximas da superfície, em um intervalo de temperatura relativamente estreito. O BUM II passou 30% e 33% do seu tempo entre 0 e 20 m, durante o dia e a noite, respectivamente, e 52% e 51%, em profundidades de 0 a 50 m. O BUM III passou 36% e 35%, entre 0 e 20 m, e 80% e 77%, entre 0 e 50 m, durante o dia e a noite, respectivamente. Finalmente, o BUM IV

passou 46% e 40%, entre 0 e 20 m, e 75 e 80%, entre 0 e 50 m, durante o dia e a noite, respectivamente (Fig.2). No intervalo de profundidade de 51 a 100 m, o BUM II permaneceu 36% do seu tempo durante o dia e 26% durante a noite. Já o BUM III registrou percentuais de dia e noite de 17% e 18%, respectivamente, para o mesmo intervalo de profundidade, enquanto o BUM IV passou 25% do dia e 20% da noite.

Em relação à temperatura da água, BUM II permaneceu entre 27° e 28°C durante 70% do dia e 75% da noite; o BUM III demonstrou uma preferência de temperatura entre 23° e 24°C, permanecendo 74% e 70% do dia e da noite, respectivamente; enquanto o BUM IV preferiu o intervalo de temperatura entre 25° e 26°C, com uma permanência durante o dia de 46% e durante a noite de 37% (Fig. 3).

Os dados referentes à mínima e máxima temperatura diária mostram que os peixes marcados passaram a maior parte do tempo em águas com temperaturas no intervalo de 23° a 28°C (profundidade média de 50 m), com alguns mergulhos mais profundos. O BUM II realizou o mergulho mais profundo entre todos eles, atingindo 424 m de profundidade e uma temperatura de 8°C, durante o dia, enquanto o BUM III foi até 176 m, com temperatura de 17,6°C, durante a noite. O BUM IV foi o que realizou a menor migração vertical, atingindo a profundidade de 96m e uma temperatura de 22,1°C, durante um mergulho diurno. Com base na ANOVA efetuada, entretanto, não foi encontrada diferença significativa entre dia e noite, nem para a profundidade nem para a temperatura, em nenhum dos três agulhões marcados.

Em relação ao comportamento circadiano, os agulhões preferiram a camada mais superficial em todos os 4 horários do dia (Amanhecer, dia, entardecer e noite) (Fig. 4). O BUM II demonstrou uma distribuição preferencial entre 0 e 100 m, com uma amplitude de temperatura de 23.3°C a 28.7°C. Já o BUM III demonstrou uma preferência entre as profundidades de 0 e 50m, com temperaturas variando entre 24.8 e 22.9°C. Os mergulhos mais profundos, abaixo dos 150 m de profundidade, foram realizados pelo BUM II, no entardecer, representando 10% do seu comportamento durante este período. Já o BUM III realizou apenas dois mergulhos abaixo dos 150 m de profundidade, nos períodos da noite e do amanhecer, com o entardecer, porém, representando o período de maior frequência de mergulhos abaixo dos 50 m de profundidade (23%).

## Discussão

Assim como no presente trabalho, Kerstetter *et al.*(2003) também tiveram problemas com marcas que não reportaram dados, com duas das nove marcas utilizadas (22%) com a mesma espécie, não tendo enviado nenhum tipo de resultado. Os motivos das marcas não reportarem os dados vão desde possíveis problemas de fabricação até a possibilidade do peixe ser capturado e os pescadores retirarem a marca e a danificarem por não saberem do que se trata. Nenhum dos 3 peixes cujas marcas reportaram dados, porém, não foram a óbito, indicando uma boa taxa de sobrevivência pós-captura, tanto na pesca de espinhel como esportiva, conforme já reportado em outros trabalhos (KERSTETTER *et al.*, 2003). As razões para as 3 marcas terem se soltado prematuramente não são claras, mas podem decorrer de uma ampla série de fatores. De acordo com Musyl *et al.* (2011), prováveis causas de falhas e liberação prematura incluem falha de bateria, dano nas antenas, aumento da resistência como resultado de incrustação, infecções e necrose do tecido ao redor do local de marcação, e interferência na frequência reservada para o sistema de satélites ARGOS.

A média de deslocamento observada no presente trabalho, igual a 0,71 mn/h, ou 17,1 mn/dia, é bastante próxima dos valores encontrados por Graves *et al.*, (2002) (0,73mn/h e 17,6 mn/dia). Já Kerstetter *et al.* (2003) encontraram velocidades um pouco maiores, com média de 0,95mn/h e 22,9 mn/dia. Registros de velocidade oriundos de telemetria acústica com agulhão-negro no pacífico indicaram valores ainda mais altos, iguais a 1-2 mn/h (HOLLAND *et al.*,1990) e a 0,29-4,37 mn/h (BLOCK *et al.*, 1992). O curto período de tempo de monitoramento nesses casos, porém, associado ao estresse pós-captura, são as prováveis razões para essas diferenças.

Os resultados deste estudo mostraram uma preferência acentuada dos agulhões-negros por águas mais quentes da camada de mistura, com todos os agulhões marcados tendo permanecido menos de 3% de seu tempo em águas mais frias, abaixo de 12°C. Essa preferência por águas quentes e superficiais foi igualmente reportada para a espécie no Atlântico Norte (GRAVES *et al.*, 2002; KERSTETTER *et al.*, 2003; PRINCE & GOODYEAR 2006; GOODYEAR *et al.*, 2008), e no Pacífico (HOLLAND *et al.*, 1990; BLOCK *et al.*, 1992).

Os presentes resultados mostraram, porém, que os agulhões marcados, apesar de preferirem águas mais quentes e rasas, também realizam mergulhos profundos, de até 424 m. Goodyear *et al.*(2008), analisando um banco de dados de 51 marcas pop-up implantadas em agulhões-negro no Atlântico Norte, encontram um comportamento de deslocamento vertical complexo para a espécie, com a maior permanência em águas mais quentes, acima da

termoclina, sendo entremeada, com uma frequência relativamente alta, por mergulhos a profundidades comumente superiores a 50 m e 100 m, coincidindo, portanto, com o padrão observado neste estudo. As razões para esses deslocamentos verticais acentuados, comuns em grandes peixes pelágicos, ainda não foram bem esclarecidas, podendo refletir comportamentos diversos, como forrageamento, termorregulação ou fuga de predadores (BRILL & LUTCAVAGE, 2001). No presente caso, é provável que os mergulhos observados estejam relacionados a um comportamento alimentar oportunista, tendo em vista a presença de algumas espécies mesopelágicas na dieta da espécie (VASKE-JÚNIOR *et al.*, 2004; VASKE-JÚNIOR, 2005).

Os resultados do presente estudo também sugerem que a temperatura da água, muito mais do que a profundidade em si, pode ser o principal fator de influência na distribuição vertical da espécie, além da termoclina, já que os animais marcados permaneceram a maior parte do tempo na camada de mistura, acima da mesma. O fato dos peixes marcados não apresentarem diferença significativa em relação à sua preferência por faixas de profundidade, entre o dia e a noite, porém, indica que a luminosidade não parece exercer uma influência importante no comportamento vertical da espécie. A diferença de temperatura observada para os 3 espécimes se deve evidentemente às diferentes latitudes em que os mesmos foram marcados, com o BUM II, que permaneceu preferencialmente entre 27 e 28°C, tendo sido marcado em uma área equatorial, enquanto o BUM IV (temperatura preferencial entre 25 e 26°C) e o BUM III (temperatura preferencial entre 23 e 24°C) em latitudes tropicais, esse último ainda um pouco mais ao sul.

O presente estudo demonstra que o agulhão-negro possui uma preferência por águas acima da termoclina, com temperaturas entre 24° e 28°C. Essa camada de distribuição se superpõe às faixas de profundidade e de temperatura onde atuam parte dos anzóis dos espinhéis pelágicos que visam à captura de atuns e afins. A redução da mortalidade da espécie nessa modalidade de pesca, portanto, essencial para a sua conservação, dependerá de medidas que assegurem a sobrevivência do animal após a sua captura, de forma a viabilizar a sua subsequente soltura, a exemplo da utilização do anzol circular.

## **Agradecimentos**

Este estudo foi financiado pelo Ministério da Pesca e Aquicultura do Brasil (MPA), Universidade de Miami, National Marine Fishery Service- Miami, e Virginia Institute of Marine Science. Teve, também, o apoio das empresas de Pesca Transmar e Norpeixe, ambas sediadas em Natal, às quais agradecemos, respectivamente, nas pessoas de Alceu Couto e Gabriel Calzavara. Agradecemos também, ao Dr. Kim Holland e a toda a equipe do seu laboratório no Hawai Institute of Marine Biology- HIMB. Agradecemos, por fim, ao apoio recebido dos Iates Club de Ilha Bela- SP e Rio de Janeiro- RJ.

## Literatura Citada

- Arnold, G., and H. Dewar 2001. Electronic tags in marine fisheries research: a 30-year perspective. In *Electronic tagging and tracking in marine fisheries* (J. R. Sibert and J. L. Nielsen, eds.), p. 7–64. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Bayley, R. E., and Prince, E. D., 1994. A review of tag release and recapture files for istiophoridae from the southeast fisheries center's cooperative game fish tagging program, 1954 to present. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 41: 527-548.
- Block, B. A., Dewar, H., Williams, T., Prince, E. D., Farwell, C. and Fudge, D. (1998). Archival tagging of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Mar. Tech. Soc. J.* 32, 37–43
- Block B. A., D. T. Booth and F. G. Carey. 1992(b). Depth and temperature of the blue marlin, *Makaira nigricans*, observed by acoustic telemetry. *Marine Biology*, 114: 175-183.
- Block, B. A. 1986. Structure of the brain and eye heater tissue in marlins, sailfish, and spearfishes. *Journal of Morphology*, 190:169-189.
- Brill, R. W. & M. E. Lutcavage. 2001. Understanding environmental influences on movements and depth distributions of tunas and billfishes can significantly improve population assessments. *American Fisheries Society Symposium*, 25:179-198
- Figueiredo, J. L; N.A Menezes 2000. *Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil*. VI. Teleostei (5). São Paulo, Museu de Zoologia, Univ. São Paulo, 116p.
- Fischer, W. 1978. *FAO species identification sheets for fishery purposes*. Fish Area 31. Marine Resources Service Fishery Resources and Environmental Division – FAO Fisheries Department vol III, Roma.
- Gunn, J., and B. Block 2001. Advances in acoustic, archival, and satellite tagging of tunas. In *Tuna: physiology, ecology, and evolution* (B. A. Block and E. D. Stevens, eds.), p. 167–224. Academic Press, San Diego, CA.
- Gunn, J. S., T. A. Patterson & J. G. Pepperell. 2003. Short-term movement and behaviour of black marlin, *Makaira indica* in the Coral Sea as determined through a pop-up satellite archival tagging experiment. *Marine Freshwater Research*, 54:515–525
- Graves, J. E., B. E. Luckhurst & E. D. Prince. 2002. An evaluation of pop-up satellite tags for estimating post release survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) from a recreational fishery. *Fishery Bulletin*, 100:134-142
- Goodyear, C. P, J. Luo, E. D. Prince, J. P. Hoolihan, D. Snodgrass, E. S. Orbesen & J. E. Serafy. 2008. Vertical habitat use of Atlantic blue marlin *Makaira nigricans*: interaction with pelagic longline gear. *Marine Ecology Progress Series*, 365:233-245

- Goodyear, C.P. and F. Arocha.2001. Size composition of blue and white marlin taken in selected fisheries in the western North Atlantic. Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 53: 249-257
- Hill, K.T., C.M. Cailliet, and R. L. Radtke.1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaira nigricans*. Fish Bull. 87: 829-843
- Holland, K., R. W. Brill & R. K. C. Chang. 1990. Horizontal and vertical movements of Pacific blue marlin captured and released using sportfishing gear. Fishery Bulletin, 88:397-402.
- ICCAT, 2005a. Resumo Executivo. Disponível em: <http://www.iccat.es/Documents/SCRS/ExecSum/BUM%20EN.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2006.
- ICCAT (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas) 2001.Recommendation 00-13, Establish Rebuilding Planfor Blue Marlin & White Marlin– 2001
- ICCAT (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas). 1997. Report for the biennial period, 1996–97. Part I (1996), vol. 2, 204 p. ICCAT, Madrid, Spain.
- Kerstetter, D. W., B. E. Luckhurst, E. D. Prince & J. E. Graves. 2003. Use of pop-up satellite archival tags to demonstrate survival of blue marlin (*Makaira nigricans*) released from pelagic longline gear. Fisheries Bulletin, 101:939–948.
- Lutcavage, M. E., R. W. Brill, G. B. Skomal, B. Chase, and P. Howey.1999. Results of pop-up satellite tagging of spawning size class fish in the Gulf of Maine: Do North Atlantic bluefin tuna spawn in the mid-Atlantic? Can. J. Fish.Aquat. Sci. 56:173–177.
- Musyl MK, Domeier ML, Nasby-Lucas N, Brill RW, Mcnaughton LM, Swimmer JY, Lutcavage MS, Wilson SG, Galuardi B and Liddle JB. 2011. Performance of pop-up satellite archival tags. Mar EcolProgSer 433: 1–28.
- Pepperell, J.G. and T.L.O. Davis (1999). Post-release behavior of black marlin (*Makaira indica*) caught and released using sport fishing gear off the Great Barrier Reef (Australia). Mar. Biol. 135:369-380.
- Prince, E. D., J. Luo, C. P. Goodyear, J. P. Hoolihan, D. Snodgrass, E. S. Orbesen, J. E. Serafy, M. Ortiz & M. J. Schirripa. 2010. Ocean scale hypoxia-based habitat compression of Atlantic istiophorid billfishes. Fisheries Oceanography, 19(6): 448-462.
- Prince, E. D & C. P. Goodyear. 2006. Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fish. Fisheries Oceanography, 15:451-464.
- Prince, E. D., M. Ortiz, and A. Venizelos. 2002b. A comparison of circle hook and “J” hook performance in recreational catch-and-release fisheries for billfish. In Catch and release

- in marine recreational fisheries (J. A. Lucy, and A. L. Studholme, eds.), p. 66–79. Am. Fish. Soc., Bethesda, MD.
- Restrepo, V., E. D. Prince, G. P. Scott & Y. Uozumi. 2003. ICCAT stock assessments of Atlantic billfish. *Marine Freshwater Research*, 54:361-367.
- Robins, C.R. and G.C. Ray. 1986. *A Field Guide to Atlantic Coast Fishes of North America*. Houghton Mifflin: Boston.
- Stramma, L., E. D. Prince, S. Schmidtke, J. Luo, J. Hoolihan, M. Visbeck, D. W. R. Wallace, P. Brandt, & A. Kortzinger. 2012. Expansion of oxygen minimum zones may reduce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, 2:33-37.
- Vaske-Junior, T. 2005. Cefalopodes oceanicos da zona econômica exclusiva do nordeste do Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 31(2):137–146.
- Vaske-Junior, T. C. M. Vooren & R. P. T. Lessa. 2004. Feeding habits of four species of Istiophoridae (Pisces: Perciformes) from northeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, 70:293–304.

**Tabelas**

Tabela 01. Local, mês e ano de marcação e de primeira transmissão da marca, menor distância percorrida e tamanho total (cm) de quatro agulhões-negro marcados com marcas PSATs, no Atlântico sudoeste e equatorial.

Agulhão-negro	Marca ID	Local da marcação	Mês e ano de Marcação	Local da transmissão	Dias monitorados	Distância entre os pontos	Tamanho estimado
BUM I	59082	16°10'S, 37°18'W	fev/2006	Não reportou	0	0	230cm
BUM II	59083	2°30'S, 38°52'W	mar/2006	2°22'N, 47°57'W	17	1.135,19 km	390cm
BUM III	97766	24°32'S, 44°29'W	dez/2011	28°46'S, 46°53'W	29	243,93 km	205cm
BUM IV	107856	23°38'S, 42°00'W	fev/2013	24°26'S, 43°27'W	5	172,04 km	280cm

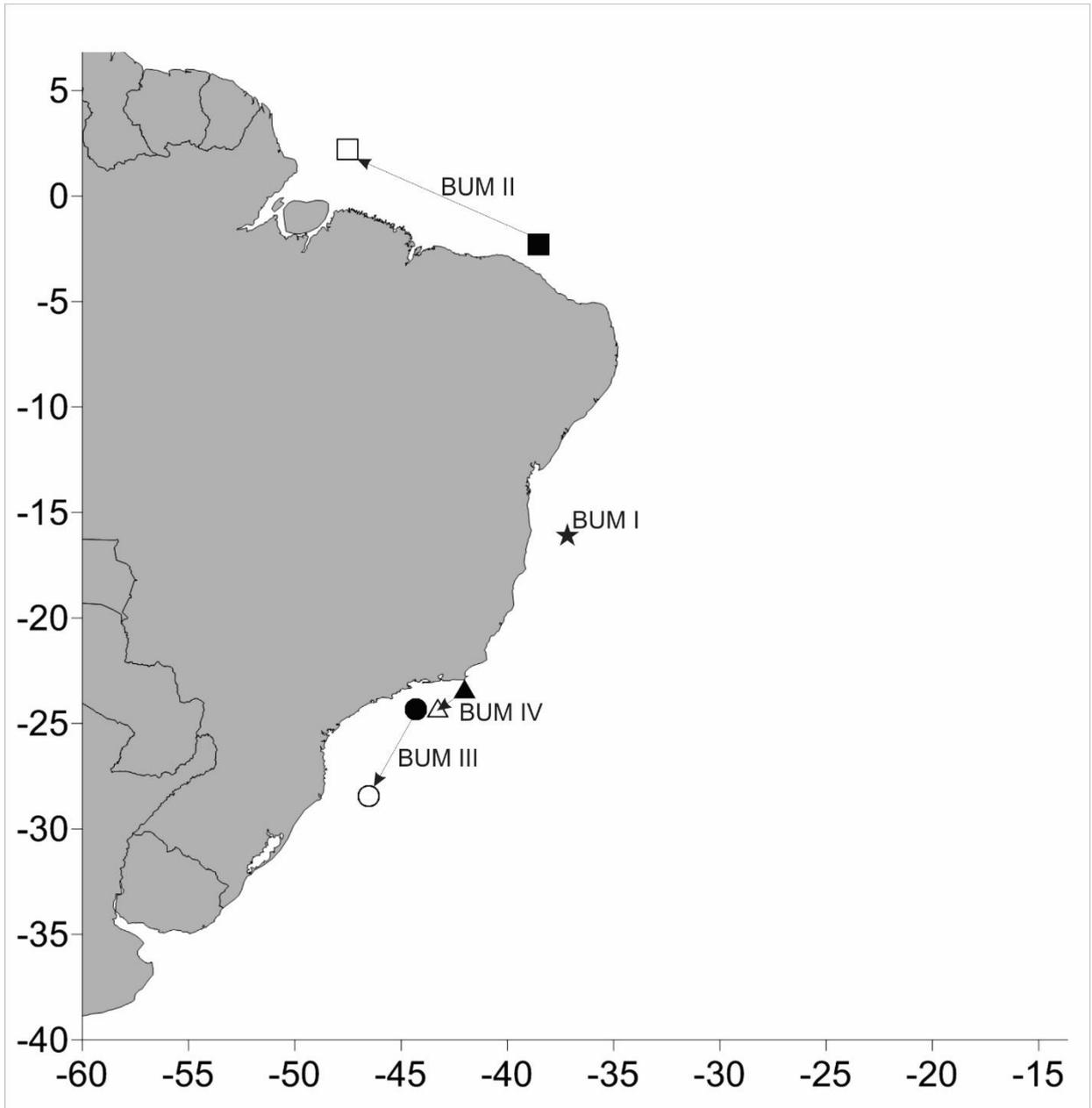
**Figuras**

Figura 1. Locais de marcação (figura cheia) e da primeira transmissão (figura vazia) e rota mais curta de três agulhões-negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste e equatorial.

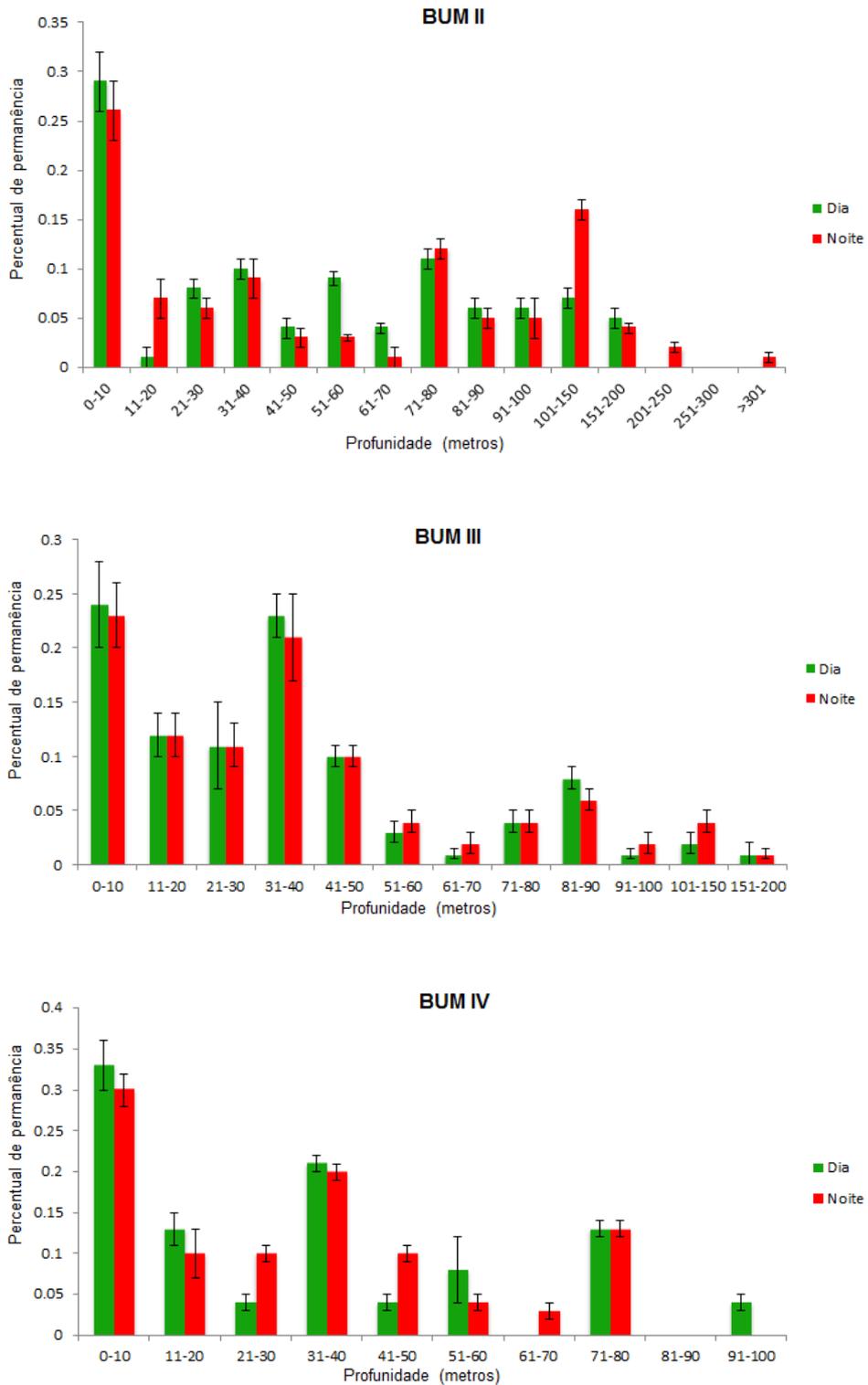


Figura 2. Frequência relativa do tempo gasto por faixa de 10 m de profundidade, de três agulhões-negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste e equatorial.

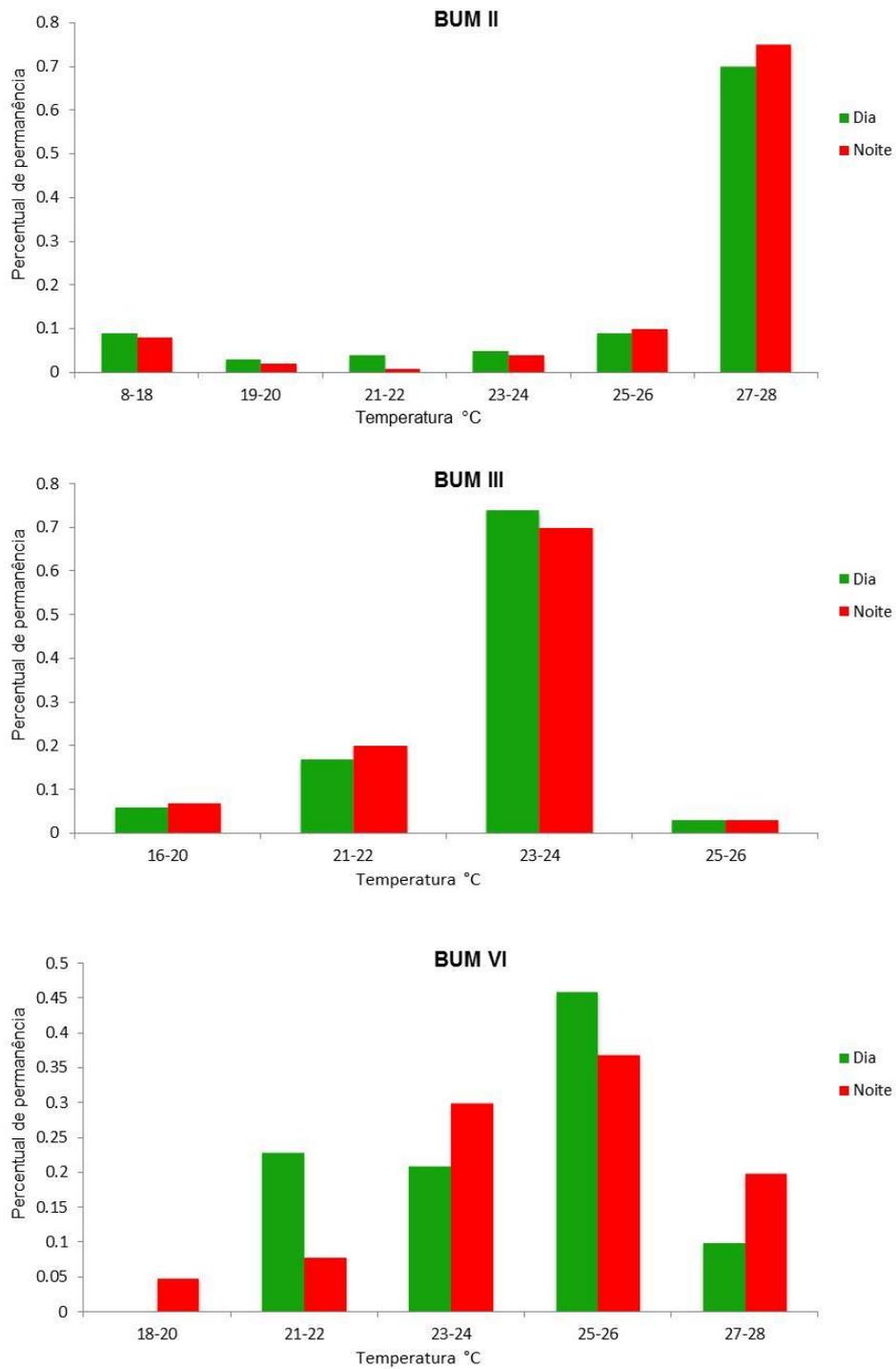


Figura 3. Frequência relativa do tempo gasto por faixa de 2°C de temperatura, de três agulhões-  
negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste e equatorial.

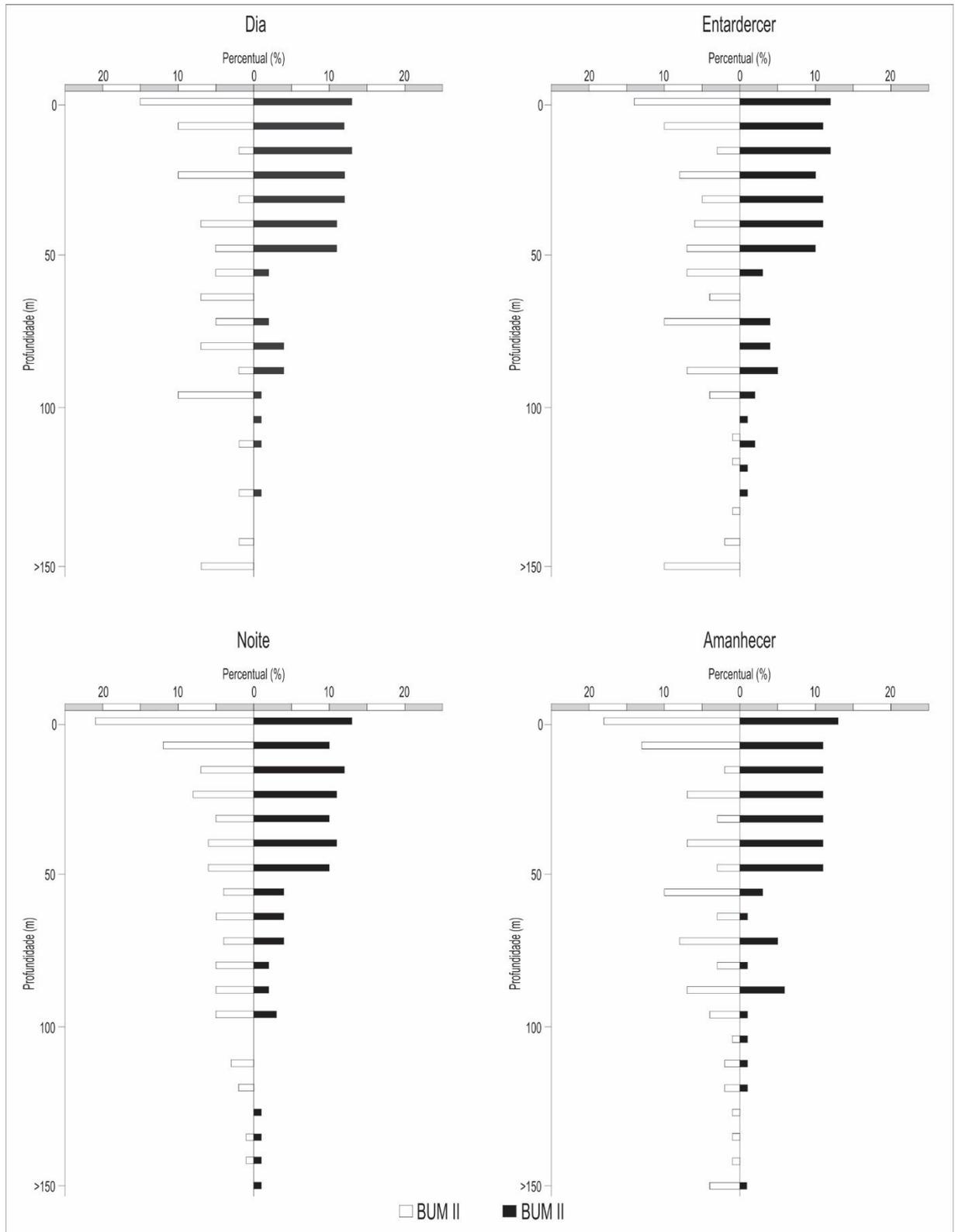


Figura 4. Comportamento circadiano com relação à preferência de profundidade e temperatura de dois agulhões-negro marcados com marca PSAT, no Atlântico sudoeste equatorial.

**4.2 – Artigo científico II**

**STANDARDIZED CATCH RATES OF WHITE MARLIN AND BLUE MARLIN  
CAUGHT BY THE BRAZILIAN TUNA LONGLINE FLEET (1978-2012)  
USING GENERALIZED LINEAR MIXED MODELS  
WITH A DELTA LOG APPROACH**

José C. Pacheco, Fábio H.V. Hazin

PUBLICADO NA: SCRS/2014/191 - Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 71(5): 2338-2354  
(2015)

**SUMMARY**

*Catch and effort data collected from the Brazilian tuna longline fleet (national and chartered) in the equatorial and southwestern Atlantic Ocean, from 1978 to 2012, including 92,766 sets, were analyzed. The CPUE of white marlin and blue marlin was standardized by a Generalized Linear Mixed Model (GLMM), using a Delta Lognormal approach. The factors used in the model were: quarter, year, area, and fishing strategy. The standardized CPUE series showed a significant oscillation over time, with a consistent declining trend from 2004 to 2012. The possible influence of regulatory measures on these trends is briefly discussed.*

## INTRODUCTION

The tuna longline fishery in the Atlantic Ocean started in 1950 and it has been, since then, one of the main gears used to catch these species, together with the purse seine and the baitboat fisheries. Despite the main target species of the tuna longline fishery has always been the swordfish and tunas of the genus *Thunnus* (*i.e.* albacore, *T. alalunga*; yellowfin, *T. albacares*; bigeye, *T. obesus*; and Bluefin, *T. thynnus*), several other species are caught together with them, including the various billfish species of the Istiophoridae family present in the Atlantic Ocean. Of them, the sailfish (*Istiophorus platypterus*), the white marlin, *Kajikia albida* (formerly *Tetrapturus albidus*), and the blue marlin (*Makaira nigricans*) are the ones most frequently caught. With regard to the white and blue marlin, the tuna longline fishery, together with the gillnet fishery in some African countries, such as Ghana, is the main source of fishing mortality, being, therefore, the main driver of the sharp reduction of their stocks observed in recent decades (ICCAT, 2001, 2012).

The significant impact of the tuna longline fishery on the sustainability of blue and white marlin stocks make the historical series of their relative abundance in this fishery a crucial component for the assessment of their status. For this purpose, the Catch per Unit of Effort (CPUE) from commercial fisheries has been traditionally used as the main index of relative abundance, despite its limitations (Shelton *et al.*, 2001), since it is commonly the only one available. The intrinsic limitations of the use of CPUE as an index of relative abundance are related to their non-linear relationship, since several factors influence the “catchability” of a given species, such as fishing area, season, time of the day, moon phase, fishing gear configuration, among others, which are constantly altered in the fishing strategy, in order to maximize the catches of the target species (Amorim e Arfelli, 1984; Hazin *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2010; Mourato *et al.*, 2011). The incorporation of these factors in the estimation of CPUE is, therefore, crucial for accurate stock assessments.

The main objective of the present paper was, therefore, to generate a standardized CPUE series for the white and blue marlins caught by Brazilian longliners in the Atlantic Ocean, which may be then utilized as an index of relative abundance in future stock assessments of the species. The Brazilian data on the historical changes of relative abundance of these marlin species are particularly relevant, not only because of the great geographic range of the fishing operations of Brazilian fishing boats, but also because the Brazilian catches have been historically among the largest in the Atlantic Ocean (ICCAT, 2012).

## MATERIAL AND METHODS

In the present study, catch and effort data from 92,766 tuna longline sets reported by the Brazilian tuna longline fleet, including both national and foreign chartered vessels, from 1978 to 2012, were analyzed. Data were obtained from fishing logbooks filled in by the skippers of the boat. The longline sets were distributed along a wide area of the equatorial and southwestern Atlantic Ocean, ranging from 10°E to 52°W of longitude, and from 10°N to 50°S of latitude (**Figure 1**). The resolution of 1° x 1°, per fishing set, was used for the analysis of the geographical distribution of fishing effort and catches.

Due to the high proportion of sets with zero catches of white marlin (80%) and blue marlin (82%), a generalized linear mixed model (GLMM) using the Delta Lognormal approach was used for the standardization of the CPUE series. In the Delta Lognormal model, the catch rates are assumed to be the result of two dependent processes: a) the probability of catching at least one fish; and b) the conditional expected mean catch rate given that there is a positive probability of capture. In this case, the probability of capture was assumed to follow a binomial distribution, while the mean catch rate was assumed to follow a normal error distribution of the log-transformed observed CPUE. A GLMM model was applied with the logit function being used as the link between the linear predictor and the binomial error response variable.

GLMM models are generally non-orthogonal and the order of entry of explanatory variables affects the contribution of each variable in the final model (McCullagh & Nelder, 1989). The relative importance of each explanatory variable was, therefore, calculated to set the order of entry for each variable ( $R^2$  - contribution averaged over ordering of regressors: LMG) (**Figure 2**) (Groemping, 2006).

For the final model, the selection of factors and interactions was carried out by analysis of deviance tables (Ortiz & Arocha, 2004). Briefly, main factors and interactions were included in the model if: a) the percentage of total deviance explained by a given factor/interaction was 4% or greater; and b) the Chi-square probability was 0.05 or less for the test of deviance explained versus the number of additional parameters estimated for a given factor or interaction. In the case of a statistically significant interaction between the year factor and any other factor, they were considered as random interactions in the final model.

Once the fixed factors and interactions were selected, all interactions involving the factor year were evaluated as random variables to obtain the estimated index per year, transforming the GLMs in a GLMMs (Cooke, 1997). Selection of the final mixed model was based on the Akaike's Information Criterion (AIC), Schwarz's Bayesian Information Criterion

(BIC), and a chi-square test of the difference between the [-2 log likelihood statistics] successive model formulations (Littell *et al.*, 1996). Relative indices for the delta model formulation were calculated as the product of the year effect least square means (LSmeans) from the binomial and the lognormal model components. The LSmeans estimates use a weighted factor of the proportional observed margins in the input data to account for the unbalanced characteristics of the data. LSmeans of lognormal positive trips were bias corrected using Lo *et al.* (1992) algorithms. Also, variance estimation of the standardized index was calculated following Walter & Ortiz (2012) for two-stage CPUE estimator.

The factors considered as explanatory variables were “Year” (35), “Quarter” (4), “Area” (A1=10°N-15°S; A2=15°S -25°S, A3=25°S -50°S), and “Fishing strategy” (3). The fishing strategy was estimated in two steps (Hazin, *et al.*, in press): in the first step, a cluster analysis was done to identify the different targeting strategies by combining groups that are internally coherent and externally isolated. Accordingly, based on the 92,766 fishing sets done, with about 25 species reported in the log-books, 6 clusters were identified, with the following species being predominant in the catches: 1) YFT; 2) BET; 3) BSH; 4) Others; 5) ALB; and 6) SWO. In the second step, a matrix was constructed considering the frequency of sets conducted by each fishing vessel within each cluster (Target Strategy). Then, a Fuzzy Clustering method with ordination-based Canonical Correspondence Analysis (CCA) was applied to find coherent patterns that discriminated clusters of vessels (Fishing Fleets) with similar fishing strategies. The choice of this method was based on the complexity of the Brazilian tuna longline fishery, which results from constant changes in fishing strategies and fleet composition, that cause many clusters to overlap, making interpretation of the results difficult. The other advantage of this method is that it is robust to the presence of outliers and overlapping which does not occur using only the K means methods (Mingoti & Lima, 2006).

## RESULTS AND DISCUSSION

The proportion of null catches of white and blue marlin was 80.0% and 82.0% for the entire period. In most cases, the proportion of positive catches of white marlin ranged between 4% and 37% of the sets and of the blue marlin from 3% to 35% (**Table 1**). The Strategy 1 was highly correlated with yellowfin tuna (39%), with important catches of albacore tuna (21%) and bigeye tuna (13%), blue marlin (6%) and white marlin (4%). Strategy 2 adopted a fishing strategy targeting mainly albacore tuna (61%), yellowfin tuna (15%) and bigeye tuna (11%).

Strategy 3 was highly correlated with swordfish (29%), blue shark (19%), yellowfin tuna (17%), bigeye tuna (16%) and albacore tuna (14%).

The number of sets with positive and null catches by factors (**Figures 3 and 4**) indicates that the proportion of positive sets was relatively uniform for quarter and area, but different for fishing strategy, as it should be expected, and for different years, since the distribution of the different fishing strategies changed from year to year (**Figure 5**). The standardized CPUE was estimated as the product of the estimated proportion of positive sets per year and the mean catch rate per year for positive sets for each year. The selected models for the lognormal and binomial components for both species were:

*Lognormal Model:*

$$\log(\text{CPUE}_{\text{BUM}}) = \text{Year} + \text{Strategy} + \text{Quarter} + \text{Area} + \text{random}(\text{Year}:\text{Quarter})$$

*Lognormal Model:*

$$\log(\text{CPUE}_{\text{WHM}}) = \text{Strategy} + \text{Year} + \text{Quarter} + \text{Area} + \text{random}(\text{Year}:\text{Quarter})$$

*Binomial Model:*

$$\text{Proportion}_{\text{BUM and WHM}} = \text{Year} + \text{Strategy} + \text{Quarter} + \text{Area} + \text{random}(\text{Year}:\text{Quarter}) + \text{random}(\text{Year}:\text{Area})$$

A diagnostic plot for the lognormal model showed that the assumption of the lognormal distribution for the positive dataset seemed to be adequate, as indicated by the QQ-plots (**Figures 6 and 7**). Residuals were homoscedastic in the case of the positive dataset. There were no temporal trends in the residuals in a yearly basis, so the assumption of independence of the samples was considered to be acceptable (**Figures 6 and 7**). The pseudo- $R^2$  values of the final models explained 23% (white marlin) and 27% (blue marlin) of the total variance. For the white marlin, the main factors were, in order of importance: year (58%), fishing strategy (31%), quarter (11%), and area (0.3%). For the blue marlin, the contributions of each factor were: fishing strategy (39%), year (34%), area (25%), and quarter (2%).

According to Maunder & Punt (2004), the relatively low values of the pseudo- $R^2$  found in the present work are common in catch and effort data, due to the several factors that influence relative abundance but can't be considered in the model, including environmental, technological and operational factors. Besides, despite the "fishing strategy" was included as a factor in the present case, it is clearly an oversimplification of the many factors that certainly can't be accounted for, including the targeting behavior of the skipper, which might be reflected

in slight operational changes in the fishing operation, which may have a significant impact on the catch composition.

The higher importance of the factor quarter in the relative abundance of the white marlin (11.0%), in relation to area (0.3%), and the contrary trend for the blue marlin, with area (25%) having a much higher contribution than quarter (2%), may suggested a more restricted distribution of the later. This aspect had already been indicated by previous works, which have shown that the blue marlin seem to be much more concentrated in the equatorial area (Silva *et al.*, 1994) than the white marlin, which tends to migrate seasonally along the Brazilian coast, southwardly, from the third to the first quarter of the year (Amorim *et al.*, 1994).

The estimates of the year factor for both species were significant, except for the white marlin in 1982, 1984 and 1985, suggesting the existence of clear interannual trends (**Table 2**). The standardized yearly CPUE for both species showed a strong oscillation throughout the whole period, but both of them exhibited a consistent declining trend from 2004 to 2012, dropping from 1.88 to 0.36 (5 times less), in the case of the white marlin, and from 2.36 to 0.23 (10 times less), in the case of the blue marlin (**Tables 3 and 4, Figures 8 and 9**). This declining trend, however, may reflect, in part, the entering into force of the normative instruction (N.I.) 11, of November 2004, of the Special Secretariat of Fisheries and Aquaculture, which prohibited the selling of blue and white marlin in the whole country. This normative instruction was reinforced by the N.I. 12, of July 2005, which prohibited the discard of marlins that were dead by the time of boarding. These regulatory instruments may have discouraged the catch of these species, with a direct influence in the fishing strategy, i.e. the skippers may have started to actively avoid areas with higher abundance of these species, particularly considering the nuisance to retrieve a big fish and store it on board, knowing that it will have to be donated. Furthermore, it is also possible that, due to the prohibition of selling, skippers have started to underreport the catches of both species, to avoid compliance issues. Unfortunately, based on the present data, it is not possible to estimate the possible influence of these behaviors on the blue and white marlin CPUE.

**REFERENCES**

- Amorim, A. F E Arfelli, C. A. 1984. Estudo biológico pesqueiro do espadarte, *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, no sudeste e sul do Brasil (1971 a 1981). *B. Inst. Pesca, São Paulo*, 11(único):35-62.
- Amorim, A.F.; C.A. Arfelli; F.H.V. Hazin; Antero-Silva, J.N.; R.P.T. Lessa; Arraes, R. R. 1994. Blue marlin (*Makaira nigricans*) fisheries off Brazilian coast from national and leased longliners (1971-1991). *Coll. Vol. Sci. Pap., ICCAT*,41:208 - 213.
- Carvalho, F.; Murie, D.; Hazin, F. H. V.; Hazin, H.; Leite-Mourato, B.; Travassos, P.; Burgess, G. 2010. Catch rates and size composition of blue sharks (*Prionace glauca*) caught by the Brazilian pelagic longline fleet in the southwestern Atlantic Ocean. *Aquat. Living Resour*, 23: 373-385.
- Cooke, J.G. 1997. A procedure for using catch-effort indices in bluefin tuna assessments. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 46: 228-232.
- Groemping, U. 2006. Relative Importance for Linear Regression in R: The Package relaimpo *Journal of Statistical Software* 17, Issue 1. Downloadable at <http://www.jstatsoft.org/v17/i01>
- Hazin, H. G.; Hazin, F. H. V.; Travassos, P.; Carvalho, F. C.; Erzini, K. 2007. Standardization of Swordfish CPUE series caught by Brazilian longliners in the Atlantic Ocean, by GLM, using the targeting strategy inferred by cluster analysis. *Coll. Vol. Sci. Pap., ICCAT*, 60(6): 2039-2047.
- Hazin, H; Carvalho, F; Hazin, F; Frédo, T; Mourato, B; Bonfil, R. Characterization of fishing behavior through fuzzy clustering analysis: an example using the Brazilian pelagic longline fishery. *Fish. Res.* (in press).
- ICCAT. 2012. Report of the Standing Committee on Research and Statistics. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas. 131p.
- ICCAT. 2001. Report of the fourth ICCAT billfish workshop. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas. 22p
- Littell, R.C.; Milliken, G.A.; Stroup, W.W.; R.D. Wolfinger. 1996. SAS® System for Mixed Models. SAS Institute Inc., Cary NC.
- Lo, N.C.H.; Jacobson, L.D.; J.L. Squire, J.L. 1992. Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 2515-2526.
- Maunder, M. N & Punt, A. E. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fishery Research*. 70: 141-159.
- Mccullagh, P. & Nelder, J.A., 1989. Generalized Linear Models, 2nd edition. Chapman & Hall, London.

- Mingoti, S. A. & Lima, J. O. 2006. Comparing SOM neural network with Fuzzy c-means, K-means and traditional hierarchical clustering algorithms. *European Journal of Operational Research*, 174 (3): 1742-1759.
- Mourato, B., Arfelli, C. Amorim, A., Hazin, H., Carvalho, F. Hazin, F. 2011. Spatio-temporal distribution and target species in a longline fishery off the southeastern coast of Brazil. *Braz. J. Oceanogr.* 59(2): 185-194.
- Ortiz, M. & Arocha, F. 2004. Alternative error distribution models for standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery. *Fish. Res.*, 70: 275–297.
- Silva, J.N.A., A.F. Amorim, R.P.T. Lessa, F.H.V. Hazin and C.A. Arfelli. 1994. White marlin (*Tetrapturus albidus*) fisheries off Brazilian coast from national and leased longliners fleet. *Coll. Vol. Sci. Pap., ICCAT.* 41:189 -198.
- Shelton J. H, Ransom A. M.; Alistair Dunn. 2001. Is catch-per-unit-effort-proportional to abundance? *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 58: 1760-1772.
- Walter, J. & Ortiz, M. 2012. Derivation of the delta-lognormal variance estimator and recommendation for approximating variances for two-stage CPUE standardization models. *Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT.* 68:365-369.

**Table 1-** Catch and effort information of the Brazilian longline fleet from 1978 to 2012

Year	Number of observations	Effort	WHM			BUM		
			Proportion Positive	Catches (n)	CPUE (n)	Proportion Positive	Catches (n)	CPUE (n)
1978	502	1,231,307.00	23%	534	0.4337	18%	160	0.130
1979	482	900,557.00	35%	707	0.7851	24%	201	0.223
1980	582	965,085.00	25%	444	0.4601	22%	204	0.211
1981	466	863,548.00	28%	345	0.3995	20%	176	0.204
1982	894	1,696,371.00	12%	219	0.1291	18%	402	0.237
1983	619	1,259,504.00	12%	219	0.1739	28%	580	0.460
1984	716	1,586,165.00	14%	169	0.1065	14%	381	0.240
1985	471	974,801.00	11%	119	0.1221	11%	109	0.112
1986	992	2,033,997.00	22%	666	0.3274	17%	391	0.192
1987	927	1,573,170.00	22%	493	0.3134	19%	556	0.353
1988	1221	2,393,556.00	17%	544	0.2273	16%	380	0.159
1989	1032	2,284,831.00	9%	351	0.1536	21%	600	0.263
1990	290	398,334.00	26%	253	0.6351	11%	52	0.131
1991	994	2,386,536.00	12%	511	0.2141	18%	394	0.165
1992	1215	3,362,712.00	12%	627	0.1865	12%	597	0.178
1993	265	447,782.00	29%	312	0.6968	21%	101	0.226
1994	875	2,051,283.00	8%	235	0.1146	13%	414	0.165
1995	1738	4,246,587.00	11%	595	0.1401	15%	871	0.182
1996	952	1,668,220.00	25%	1357	0.8134	12%	304	0.172
1997	1813	3,254,839.00	16%	1341	0.412	19%	1132	0.348
1998	2660	6,028,826.00	13%	1491	0.2473	17%	2728	0.452
1999	5253	10,798,082.00	17%	3846	0.3562	15%	2124	0.197
2000	8037	15,031,597.00	19%	6046	0.4022	17%	4626	0.308
2001	9500	18,678,703.00	10%	3753	0.2009	19%	7430	0.384
2002	6206	10,022,580.00	4%	837	0.0835	8%	1686	0.155
2003	3300	3,635,537.00	6%	487	0.134	8%	522	0.141
2004	7718	10,780,833.00	25%	7083	0.657	30%	6742	0.622
2005	8950	12,899,976.00	32%	8551	0.6629	37%	8198	0.630
2006	6120	7,890,150.00	28%	3834	0.4859	33%	4851	0.585
2007	5039	5,629,199.00	20%	3131	0.5562	19%	1840	0.326
2008	2699	3,036,739.00	19%	1274	0.4195	21%	1175	0.387
2009	2722	3,233,954.00	11%	523	0.1617	15%	793	0.245
2010	1452	1,797,697.00	20%	912	0.5073	14%	399	0.222
2011	2558	5,060,294.00	30%	1829	0.3614	15%	858	0.170
2012	3506	4,809,862.00	9%	607	0.1262	4%	291	0.061

**Table 2-** Estimated coefficients of the fixed factors of the GLMM models used for blue and white marlins.

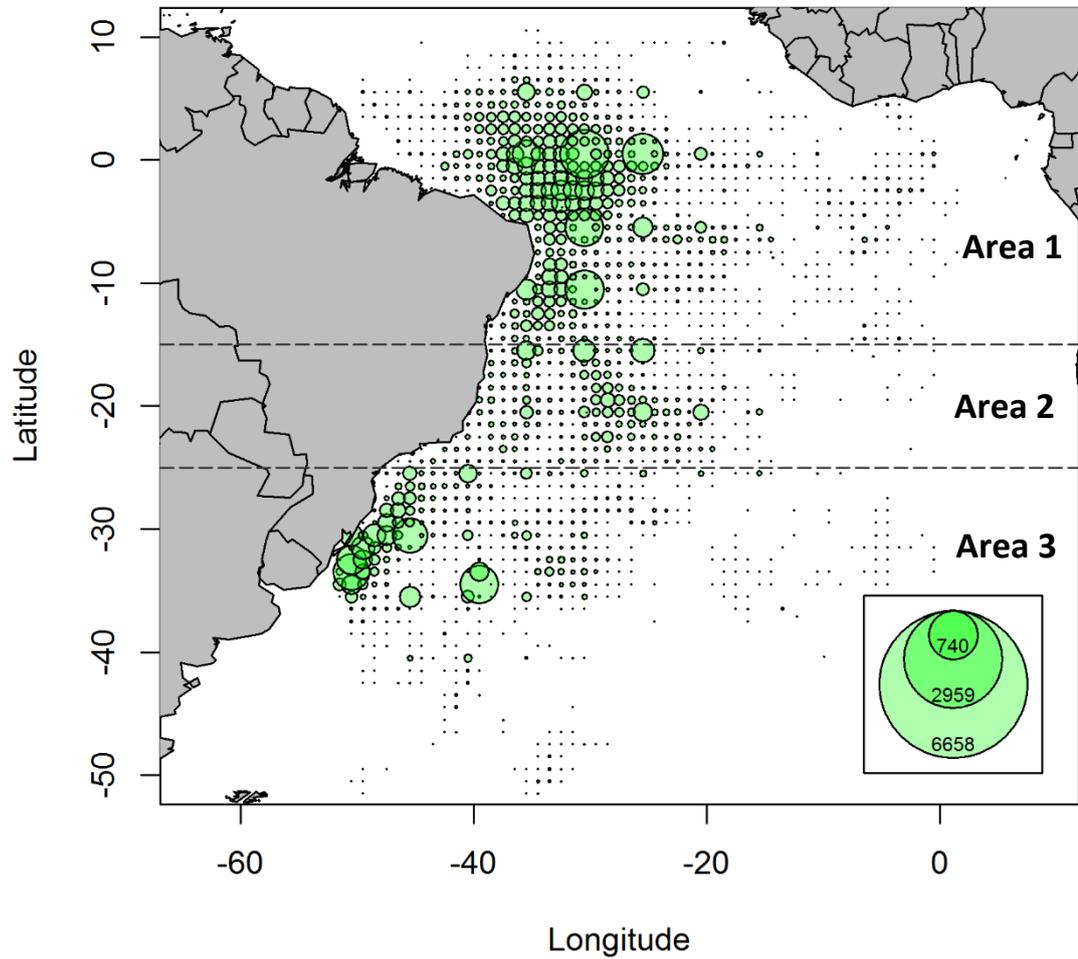
	WHM					BUM					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )		Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )		
(Intercept)	-0.11826	0.0725	-1.631	0.102846		(Intercept)	-0.8102	0.08009	-10.116	< 2e-16	***
Y1979	0.52643	0.09028	5.831	5.61E-09	***	Y1979	0.48907	0.10101	4.842	1.30E-06	***
Y1980	0.4742	0.09293	5.103	3.38E-07	***	Y1980	0.54457	0.09942	5.477	4.38E-08	***
Y1981	0.26432	0.09494	2.784	0.005377	**	Y1981	0.45441	0.10593	4.29	1.80E-05	***
Y1982	0.06589	0.0995	0.662	0.507889		Y1982	0.41579	0.09528	4.364	1.29E-05	***
Y1983	0.39093	0.11056	3.536	0.000407	***	Y1983	0.67681	0.094	7.2	6.24E-13	***
Y1984	-0.04019	0.10179	-0.395	0.693003		Y1984	0.63458	0.10569	6.004	1.96E-09	***
Y1985	0.05005	0.12302	0.407	0.684106		Y1985	0.55336	0.1243	4.452	8.56E-06	***
Y1986	0.37234	0.08579	4.34	1.43E-05	***	Y1986	0.54646	0.09419	5.802	6.67E-09	***
Y1987	0.4096	0.08696	4.71	2.50E-06	***	Y1987	0.99953	0.09423	10.607	< 2e-16	***
Y1988	0.22716	0.08709	2.608	0.009105	**	Y1988	0.53821	0.09161	5.875	4.29E-09	***
Y1989	0.7443	0.10458	7.117	1.15E-12	***	Y1989	0.8899	0.09043	9.841	< 2e-16	***
Y1990	0.91169	0.11299	8.069	7.58E-16	***	Y1990	0.76098	0.1488	5.114	3.19E-07	***
Y1991	0.61943	0.09825	6.305	2.96E-10	***	Y1991	0.86808	0.09349	9.285	< 2e-16	***
Y1992	0.65435	0.09618	6.803	1.06E-11	***	Y1992	0.95029	0.09808	9.689	< 2e-16	***
Y1993	0.88021	0.11329	7.77	8.35E-15	***	Y1993	1.15454	0.12505	9.233	< 2e-16	***
Y1994	0.67704	0.11336	5.973	2.38E-09	***	Y1994	0.99902	0.10713	9.325	< 2e-16	***
Y1995	0.62783	0.09024	6.958	3.60E-12	***	Y1995	1.03161	0.09074	11.369	< 2e-16	***
Y1996	0.99921	0.08811	11.341	< 2e-16	***	Y1996	1.05155	0.10306	10.204	< 2e-16	***
Y1997	0.85758	0.08373	10.242	< 2e-16	***	Y1997	0.9521	0.08725	10.912	< 2e-16	***
Y1998	0.8263	0.08125	10.17	< 2e-16	***	Y1998	0.85792	0.08652	9.916	< 2e-16	***
Y1999	0.90702	0.07545	12.022	< 2e-16	***	Y1999	0.92552	0.08261	11.204	< 2e-16	***
Y2000	0.81418	0.07387	11.022	< 2e-16	***	Y2000	1.07288	0.08108	13.233	< 2e-16	***
Y2001	1.00592	0.07525	13.368	< 2e-16	***	Y2001	1.16095	0.08035	14.449	< 2e-16	***
Y2002	0.84638	0.08369	10.113	< 2e-16	***	Y2002	0.94994	0.0846	11.228	< 2e-16	***
Y2003	0.67565	0.08981	7.523	5.63E-14	***	Y2003	1.04326	0.09123	11.436	< 2e-16	***
Y2004	0.63056	0.07329	8.604	< 2e-16	***	Y2004	0.9854	0.08006	12.308	< 2e-16	***
Y2005	0.4751	0.07251	6.552	5.85E-11	***	Y2005	0.87107	0.07974	10.923	< 2e-16	***
Y2006	0.46016	0.07282	6.319	2.70E-10	***	Y2006	0.83927	0.08013	10.474	< 2e-16	***
Y2007	0.60487	0.07442	8.128	4.68E-16	***	Y2007	0.84297	0.08182	10.303	< 2e-16	***
Y2008	0.60107	0.07808	7.698	1.46E-14	***	Y2008	0.85638	0.0842	10.171	< 2e-16	***
Y2009	0.37473	0.08172	4.586	4.56E-06	***	Y2009	0.74668	0.08646	8.637	< 2e-16	***
Y2010	0.79493	0.08246	9.64	< 2e-16	***	Y2010	0.77727	0.0928	8.376	< 2e-16	***
Y2011	0.32063	0.07576	4.232	2.33E-05	***	Y2011	0.74741	0.08676	8.615	< 2e-16	***
Y2012	0.33873	0.08182	4.14	3.49E-05	***	Y2012	0.68949	0.09853	6.998	2.69E-12	***
S2	-0.70692	0.02664	-26.536	< 2e-16	***	S2	-0.50924	0.02454	-20.754	< 2e-16	***
S3	-0.23247	0.01604	-14.49	< 2e-16	***	S3	0.12689	0.01632	7.775	7.94E-15	***
A2	0.08497	0.01853	4.585	4.57E-06	***	A2	0.41734	0.01528	27.315	< 2e-16	***
A3	0.0082	0.02414	0.34	0.734162		A3	-0.01163	0.02712	-0.429	0.66805	
Q2	-0.06099	0.01758	-3.47	0.000522	***	Q2	-0.10175	0.0153	-6.65	3.02E-11	***
Q3	0.19197	0.01725	11.129	< 2e-16	***	Q3	-0.05192	0.01687	-3.078	0.00209	**
Q4	0.11325	0.0169	6.701	2.14E-11	***	Q4	0.01382	0.01465	0.943	0.34553	

**Table 3-** Standardized CPUE of white marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012.

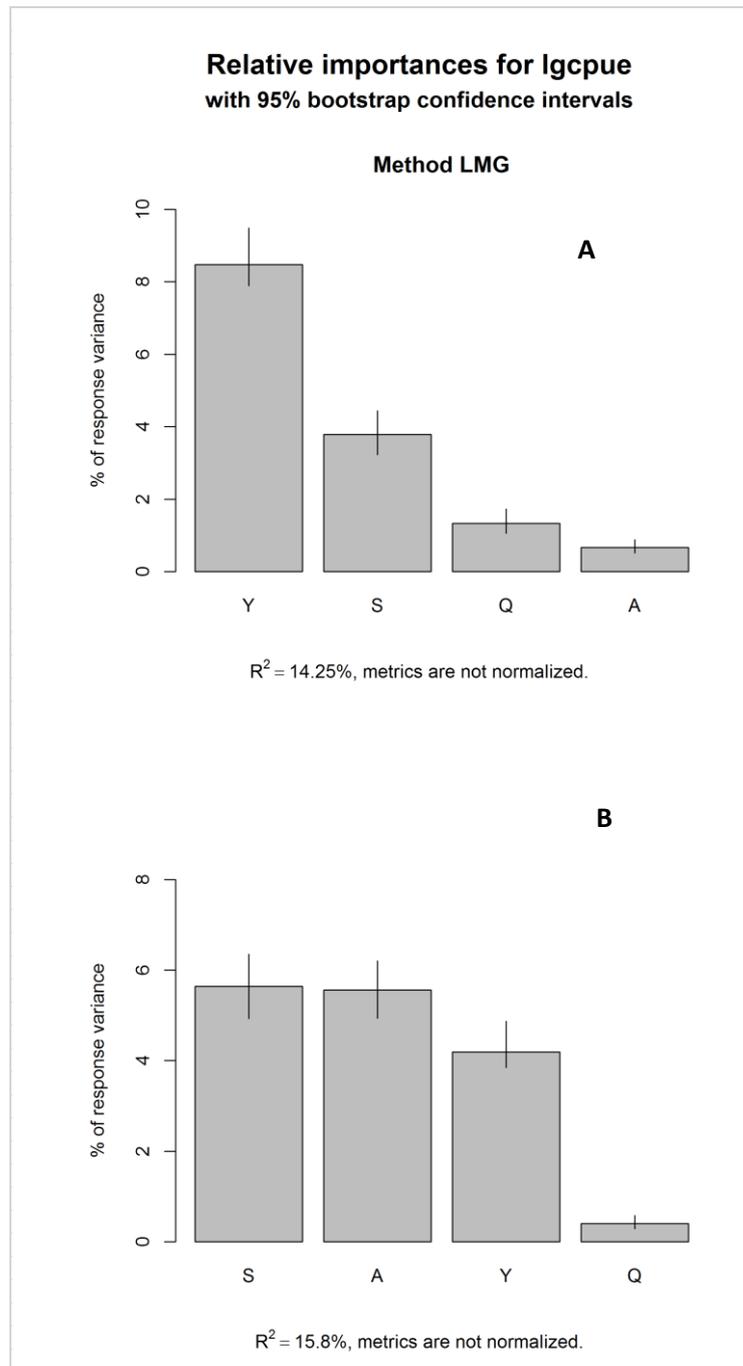
<b>Year</b>	<b>Index</b>	<b>LCI_index</b>	<b>UCI_index</b>	<b>se_index</b>	<b>CV_index</b>	<b>scaled_index</b>	<b>scaled_CPUE</b>
1978	0.192	0.058	0.559	0.101	0.524	0.977	1.244
1979	0.344	0.087	1.119	0.198	0.576	1.748	2.251
1980	0.216	0.052	0.792	0.133	0.616	1.097	1.319
1981	0.271	0.047	1.178	0.185	0.683	1.378	1.146
1982	0.126	0.024	0.548	0.088	0.693	0.642	0.370
1983	0.168	0.028	0.815	0.124	0.737	0.853	0.499
1984	0.085	0.020	0.323	0.054	0.636	0.434	0.306
1985	0.061	0.012	0.280	0.043	0.697	0.312	0.350
1986	0.217	0.055	0.741	0.128	0.592	1.102	0.939
1987	0.201	0.055	0.646	0.114	0.568	1.019	0.899
1988	0.139	0.034	0.511	0.086	0.618	0.706	0.652
1989	0.095	0.021	0.415	0.065	0.679	0.485	0.440
1990	0.236	0.034	1.360	0.186	0.789	1.200	1.821
1991	0.161	0.042	0.560	0.096	0.596	0.817	0.614
1992	0.087	0.023	0.314	0.053	0.607	0.442	0.535
1993	0.189	0.028	1.070	0.146	0.771	0.959	1.998
1994	0.122	0.030	0.471	0.077	0.630	0.622	0.328
1995	0.178	0.043	0.668	0.111	0.624	0.904	0.402
1996	0.696	0.221	1.918	0.348	0.501	3.536	2.332
1997	0.287	0.086	0.871	0.155	0.540	1.457	1.181
1998	0.218	0.065	0.677	0.119	0.549	1.107	0.709
1999	0.377	0.116	1.115	0.199	0.528	1.918	1.021
2000	0.255	0.077	0.782	0.138	0.543	1.296	1.153
2001	0.085	0.023	0.303	0.051	0.599	0.434	0.576
2002	0.037	0.010	0.134	0.022	0.604	0.189	0.239
2003	0.078	0.021	0.282	0.047	0.609	0.395	0.384
2004	0.128	0.037	0.418	0.073	0.567	0.652	1.884
2005	0.193	0.059	0.581	0.103	0.534	0.983	1.901
2006	0.245	0.076	0.712	0.127	0.521	1.243	1.393
2007	0.207	0.062	0.642	0.113	0.547	1.053	1.595
2008	0.210	0.061	0.682	0.119	0.567	1.065	1.203
2009	0.111	0.032	0.363	0.063	0.568	0.565	0.464
2010	0.234	0.070	0.708	0.126	0.539	1.187	1.455
2011	0.384	0.130	0.991	0.181	0.470	1.952	1.036
2012	0.053	0.014	0.190	0.032	0.604	0.269	0.362

**Table 4-** Standardized CPUE of blue marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012.

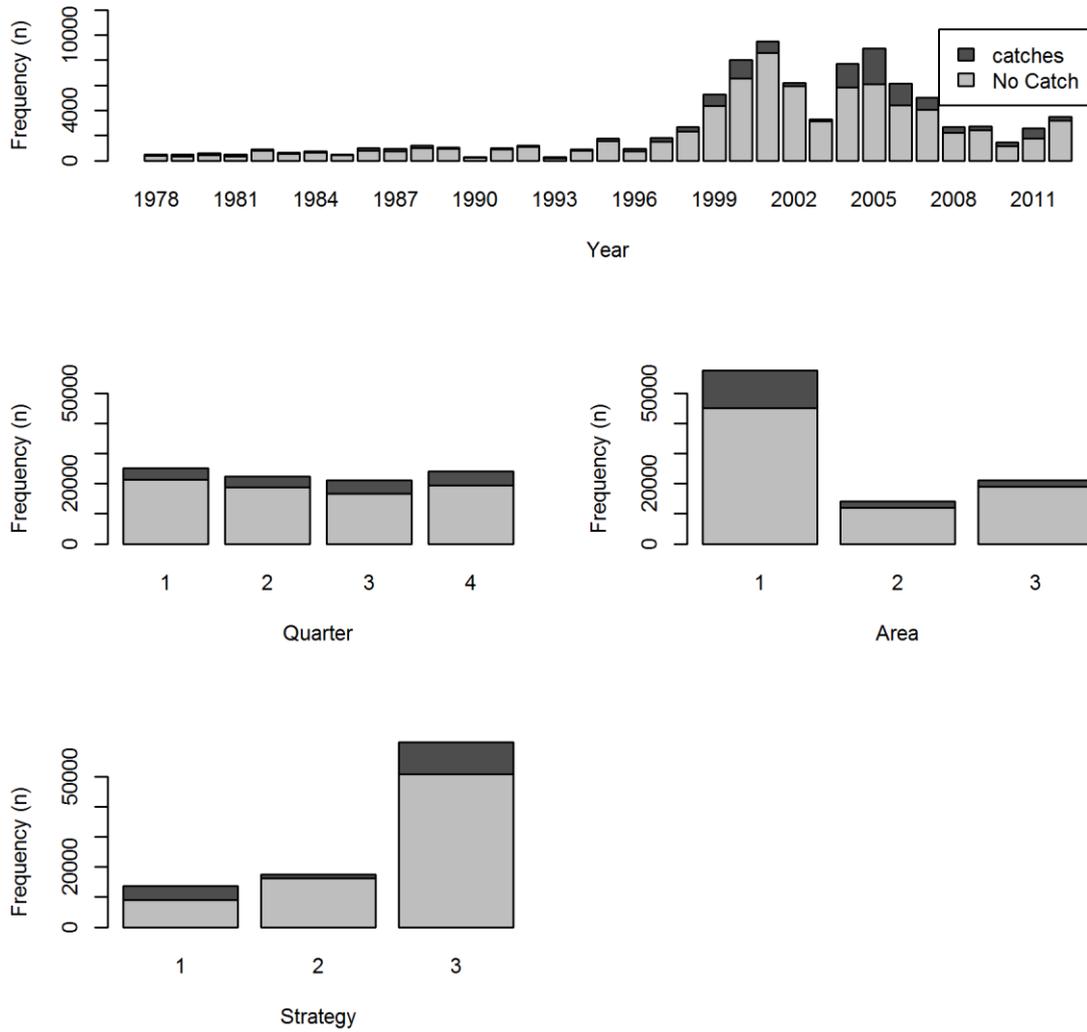
<b>Year</b>	<b>Index</b>	<b>LCI_index</b>	<b>UCI_index</b>	<b>se_index</b>	<b>CV_index</b>	<b>scaled_index</b>	<b>scaled_CPUE</b>
1978	0.098	0.052	0.180	0.029	0.299	0.612	0.493
1979	0.272	0.137	0.536	0.096	0.353	1.708	0.847
1980	0.287	0.150	0.546	0.096	0.333	1.803	0.802
1981	0.309	0.145	0.648	0.117	0.379	1.940	0.774
1982	0.235	0.121	0.453	0.081	0.343	1.476	0.899
1983	0.509	0.245	1.050	0.197	0.386	3.194	1.748
1984	0.149	0.077	0.286	0.047	0.317	0.935	0.912
1985	0.129	0.057	0.286	0.049	0.378	0.807	0.424
1986	0.107	0.058	0.198	0.033	0.308	0.672	0.730
1987	0.165	0.090	0.301	0.050	0.301	1.037	1.341
1988	0.137	0.075	0.251	0.042	0.307	0.860	0.603
1989	0.212	0.117	0.382	0.064	0.302	1.332	0.997
1990	0.052	0.019	0.145	0.024	0.458	0.329	0.495
1991	0.151	0.086	0.265	0.043	0.283	0.949	0.627
1992	0.078	0.042	0.144	0.024	0.303	0.490	0.674
1993	0.132	0.053	0.329	0.056	0.424	0.830	0.856
1994	0.103	0.057	0.186	0.030	0.292	0.646	0.635
1995	0.108	0.060	0.193	0.032	0.300	0.677	0.725
1996	0.075	0.041	0.138	0.022	0.294	0.472	0.664
1997	0.132	0.080	0.219	0.034	0.260	0.830	1.320
1998	0.172	0.105	0.282	0.045	0.259	1.080	1.717
1999	0.083	0.051	0.133	0.021	0.258	0.518	0.747
2000	0.136	0.086	0.215	0.034	0.252	0.851	1.168
2001	0.226	0.144	0.355	0.056	0.250	1.416	1.510
2002	0.087	0.053	0.142	0.022	0.260	0.543	0.558
2003	0.051	0.028	0.092	0.015	0.301	0.319	0.519
2004	0.272	0.173	0.427	0.069	0.252	1.707	2.362
2005	0.276	0.177	0.431	0.070	0.252	1.734	2.403
2006	0.241	0.152	0.383	0.063	0.260	1.512	2.102
2007	0.143	0.089	0.230	0.037	0.257	0.899	1.235
2008	0.150	0.088	0.257	0.043	0.287	0.942	1.468
2009	0.083	0.047	0.147	0.025	0.297	0.523	0.931
2010	0.093	0.051	0.169	0.028	0.299	0.585	0.842
2011	0.084	0.048	0.149	0.025	0.297	0.529	0.643
2012	0.039	0.021	0.072	0.012	0.310	0.243	0.230



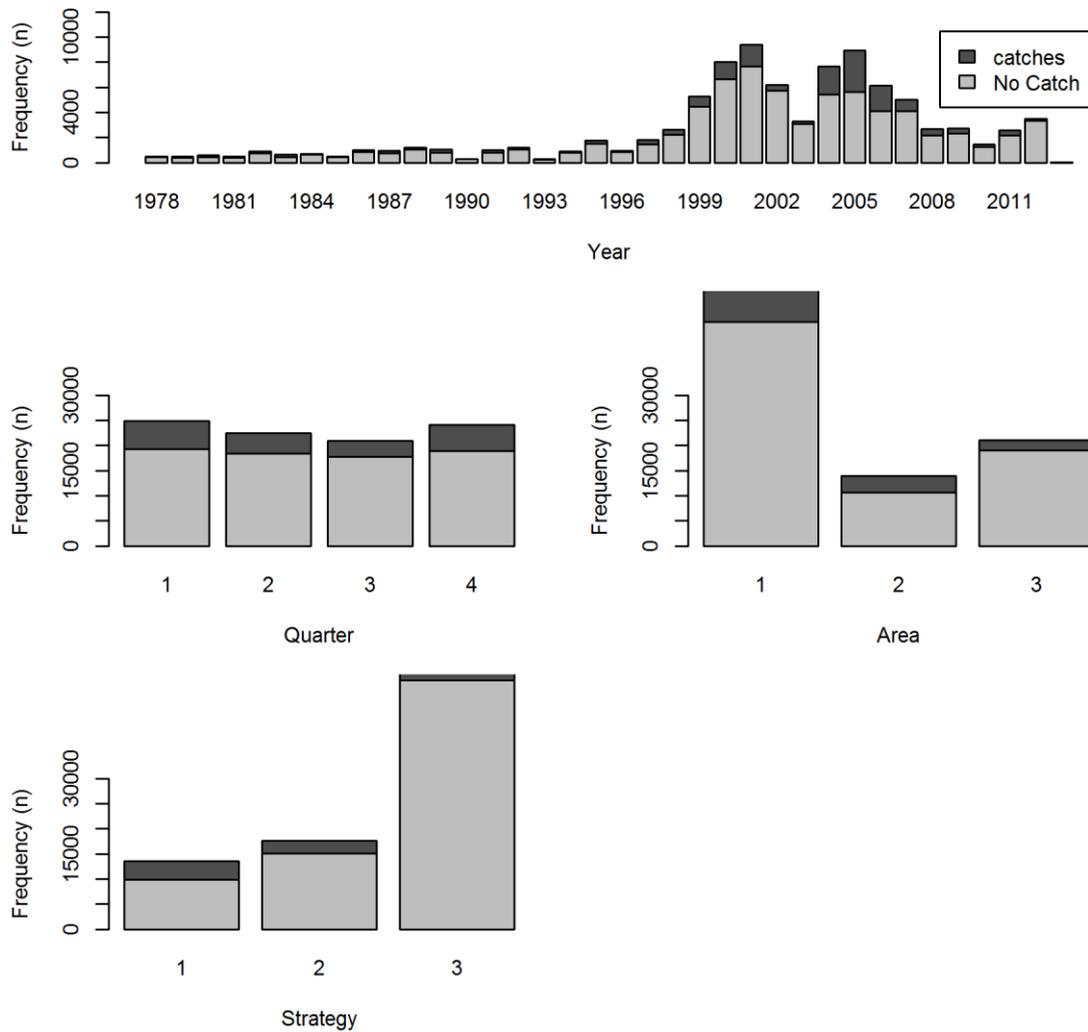
**Figure 1-** Distribution of the fishing effort done by the Brazilian tuna longline fishery in the Atlantic Ocean, from 1978 to 2012 (35 years).



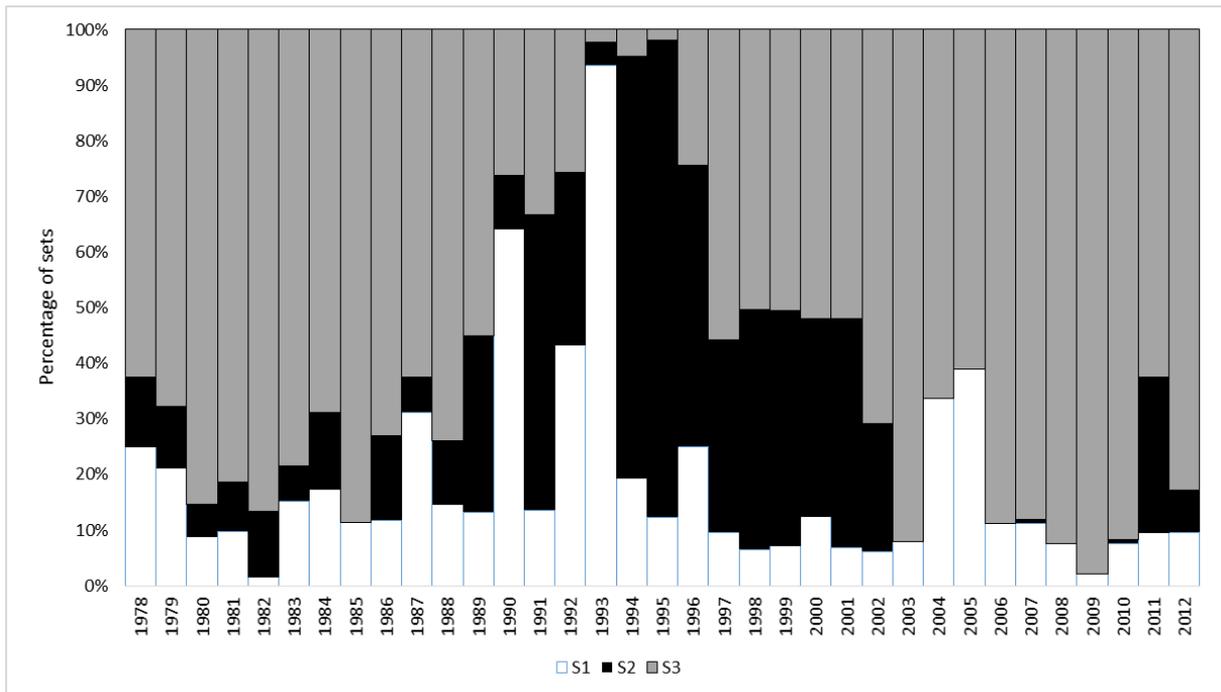
**Figure 2-** Bar plots of LMG the relative importance with confidence intervals (S: strategy, Y: year, Q: quarter, A: area) for white marlin (A) and blue marlin (B)



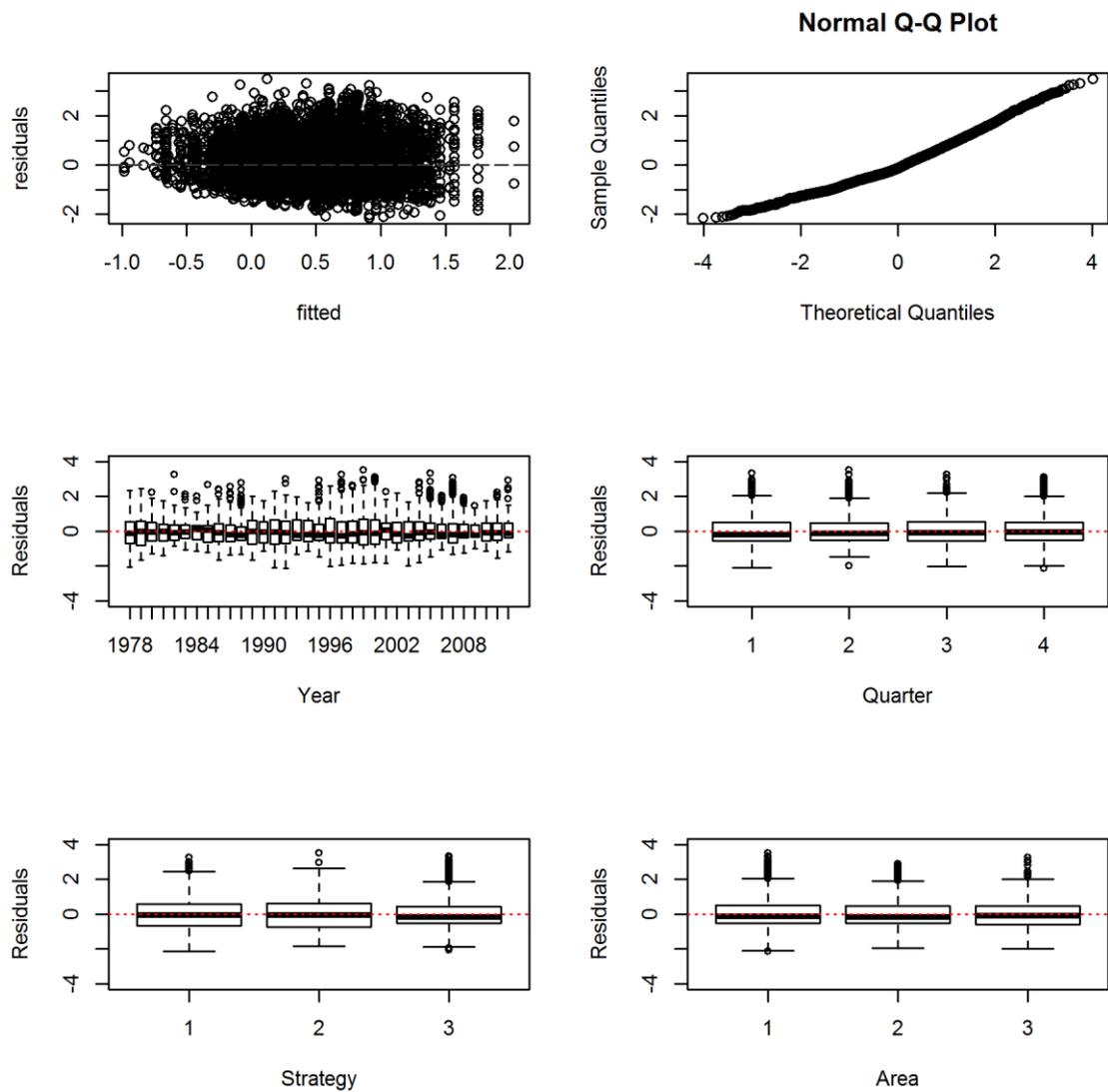
**Figure 3-** Proportion of sets with positive and zero catches of white marlin, by year, quarter, area and fishing strategy, of the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012.



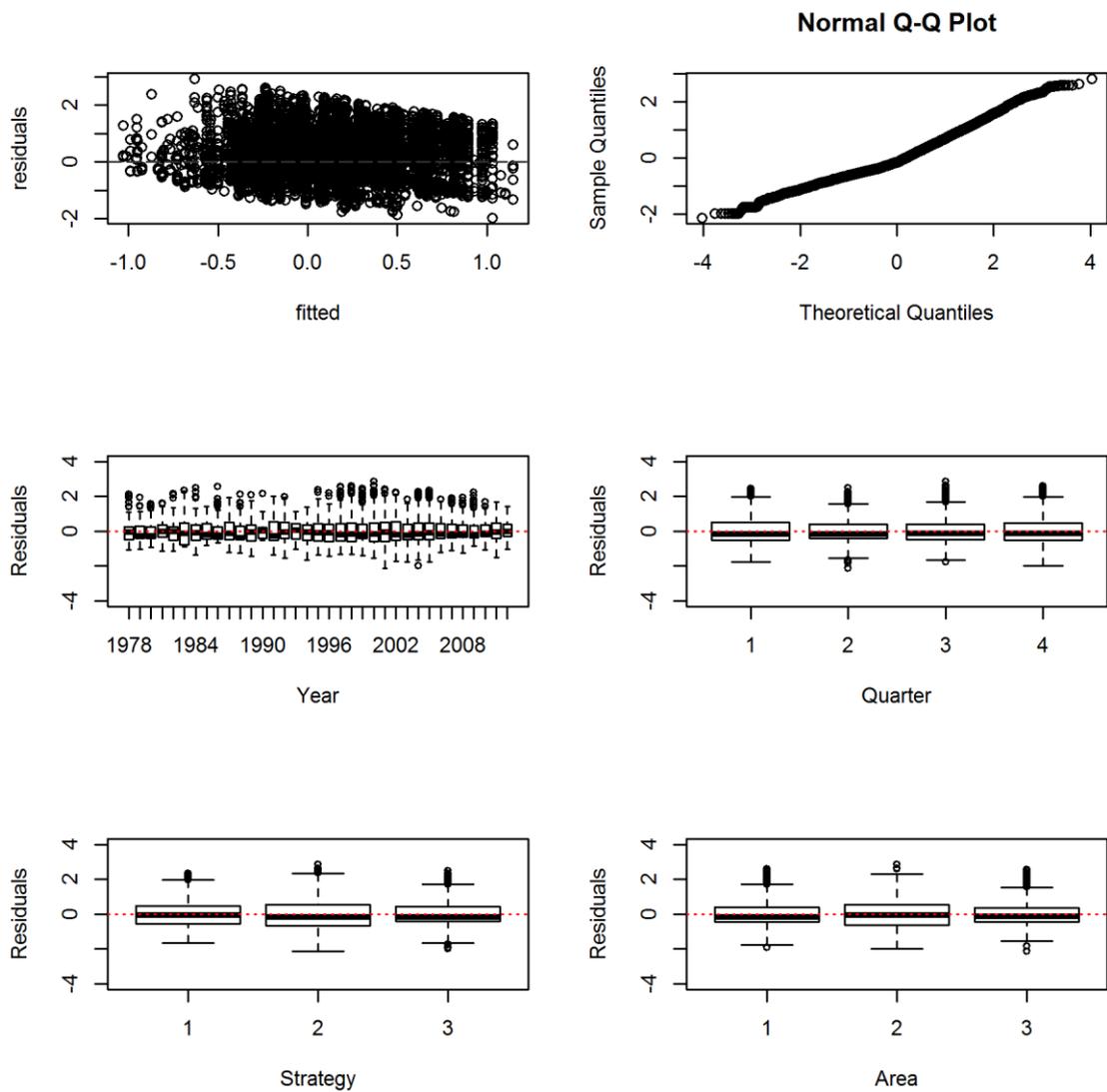
**Figure 4-** Proportion of sets with positive and zero catches of blue marlin, by year, quarter, area and fishing strategy, of the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012.



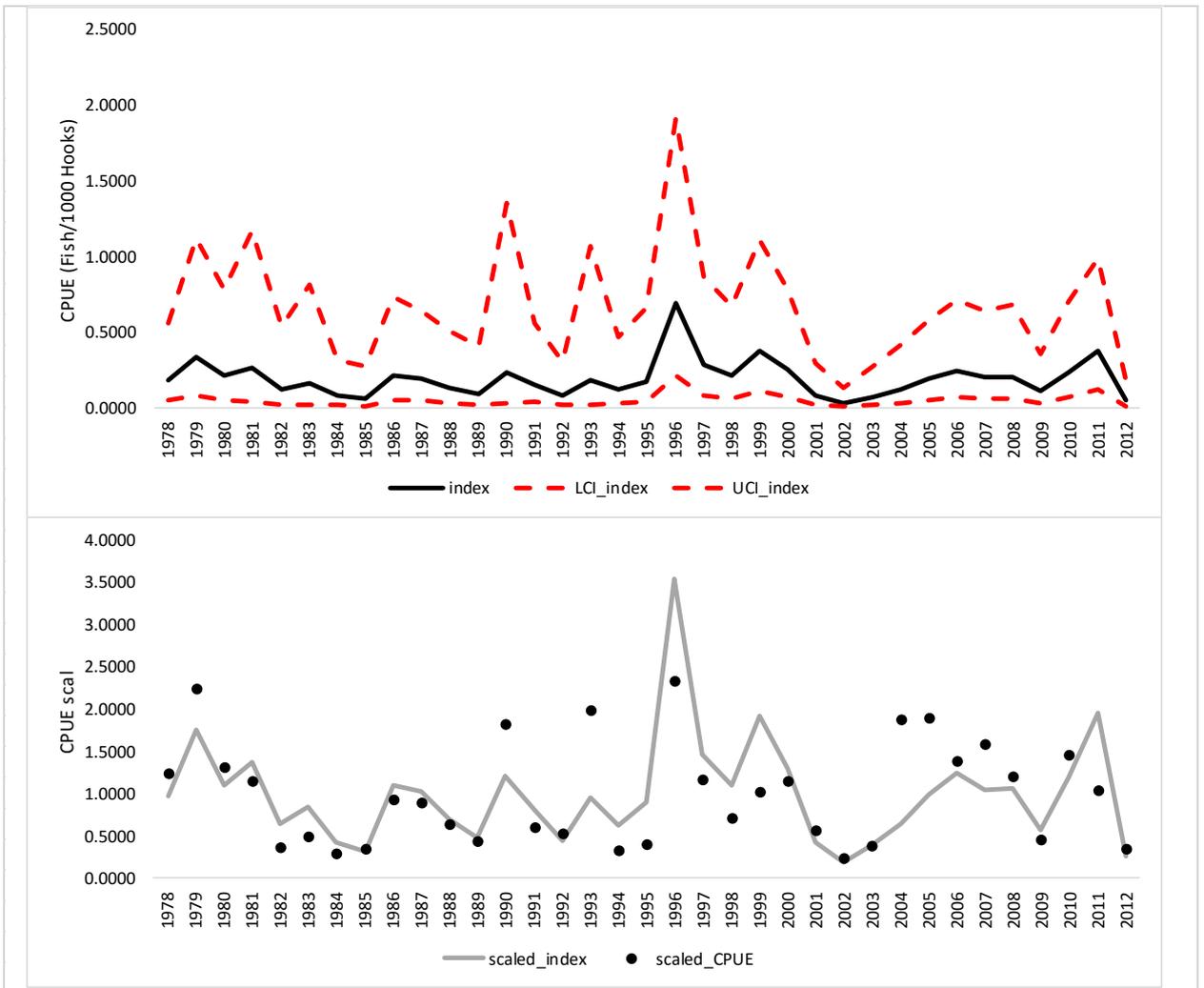
**Figure 5-** Relative frequency of Strategy 1 to 3 by year of longliners operating from Brazil, from 1978 to 2012.



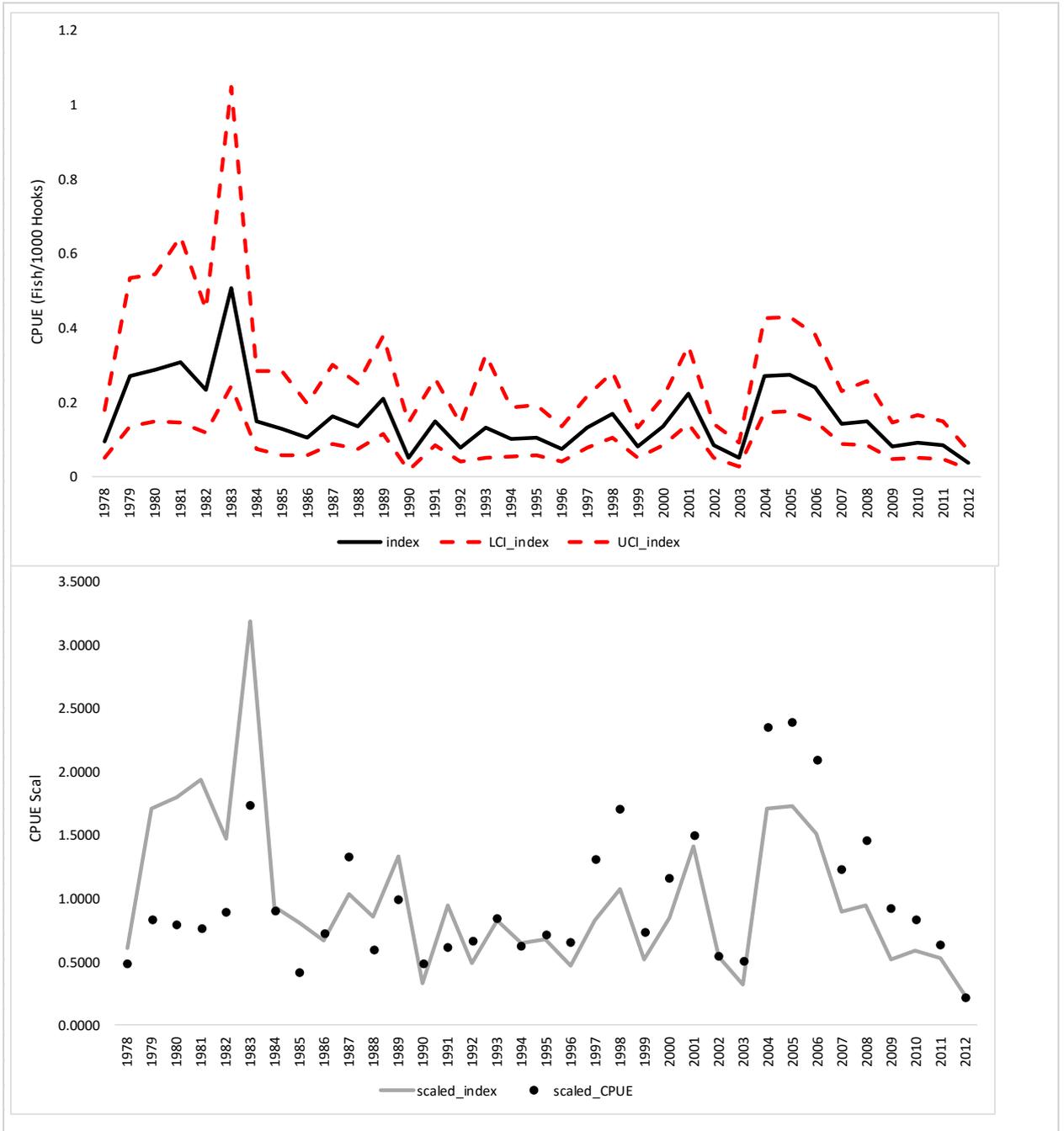
**Figure 6-** Residual analysis of the log-normal model fitting of white marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, 1978 to 2012.



**Figure 7-** Residual analysis of the log-normal model fitting of blue marlin caught by the Brazilian tuna longline fleet, from 1978 to 2012.



**Figure 8-** Nominal and standardized CPUE of white marlin for Brazilian tuna longliners, from 1978 to 2012.



**Figure 9-** Nominal and standardized CPUE of blue marlin for Brazilian tuna longliners, from 1978 to 2012.

#### 4.3– Artigo científico III

**MANEJO ESPACIAL PARA O *Kajikia albida* - POEY, 1860 CAPTURADO PELA  
FROTA ESPINHELEIRA BRASILEIRA NO OCEANO ATLÂNTICO SUL E  
EQUATORIAL**

SPACE MANAGEMENT FOR *Kajikia albida* – POEY, 1860 CAUGHT BY BRAZILIAN  
LONGLINE FLEET IN THE SOUTH AND EQUATORIAL ATLANTIC OCEAN

Artigo científico a ser encaminhado a Revista Boletim do  
Instituto de Pesca.

Todas as normas de redação e citação, deste capítulo, atendem as  
estabelecidas pela referida revista.

## RESUMO

O presente trabalho foi elaborado com o intuito de gerar novas informações relacionadas a variação espaço-temporal da captura por unidade de esforço (CPUE) da espécie *Kajikia albida* capturada pela frota espinheleira brasileira Oceano Atlântico Sul, bem como, definir e testar algumas estratégias de manejo espacial objetivando auxiliar no correto gerenciamento deste recurso. Foram utilizados os Modelos Aditivos Generalizados, incorporando dados da pescaria e variáveis ambientais, sendo estes: temperatura da superfície do mar (sst), profundidade da camada de mistura (dml), concentração de clorofila e índice de iluminação da lua. O modelo final explicou a variabilidade da CPUE, sendo as variáveis ambientais mais importantes para explicar esta variação a dml e a sst. Os maiores registros de CPUE ocorreram em águas superficiais de até 50 m de profundidade, e a faixa de temperatura que concentraram maiores representações foi de 26° a 29°C. Parece haver distinções na CPUE também durante os meses de um ano, sendo o primeiro e o quarto trimestre os que apresentaram os maiores registros. As análises de predição espacial anual demonstraram haver uma área mais representativa localizada na porção central do Atlântico Sul. No entanto esta área não permanece fixa durante todos os meses de um ano. Estes resultados serviram para compreender a distribuição espaço-temporal do agulhão negro e com isto inferir as possibilidades de fechamentos de áreas de pesca que apresentem maiores concentrações de indivíduos desta espécie.

**Palavras-chave:** distribuição espaço-temporal; agulhão branco; GAM; fechamento de áreas; áreas protegidas.

## ABSTRACT

This work was done in order to generate new information related to spatial and temporal variation of the catch per unit effort (CPUE) of *Kajikia albida* species caught by Brazilian longline fleet South Atlantic Ocean, as well as define and test some management strategies Space aiming to assist in the correct management of this resource. Generalized Additive Models were used, incorporating data from fishing and environmental variables, namely: sea surface temperature (SST), depth of the mixed layer (dml), chlorophyll concentration and moon lighting index. The final model explained the variability of CPUE, the most important environmental factors to explain this variation to dml and sst. Higher CPE records occurred in surface waters up to 50 m deep, and the temperature range that concentrated the largest representation was 26 ° to 29 ° C. There seems to be distinctions in CPUE also during the months of a year, with the first and fourth quarter, which showed the highest records. The annual spatial prediction analysis showed that there is a more representative area located in the central portion of the South Atlantic. However, this area does not remain fixed during all months of a year. These results served to understand the spatio-temporal distribution of black marlin and thereby infer the possibilities for fisheries closures that have higher concentrations of this species.

**Key words:** spatial-temporal distribution, GAM, white marlin, closures, protected areas

## INTRODUÇÃO

A pesca de atuns e afins no Brasil é realizada através de duas artes de pesca principais: vara com isca viva, tendo como alvo da pescaria o bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*); e o espinhel pelágico de superfície e profundo, tendo como alvo da pescaria as albacoras laje (*Thunnus albacares*), branca (*Thunnus alalunga*), e bandolim (*Thunnus obesus*), além do espadarte (*Xiphias gladius*). Em 2013, a frota atuneira nacional registrada era composta por 258 embarcações nacionais e três embarcações estrangeiras, que reportaram uma captura total (incluindo agulhões, tubarões, cavalas, dourados e outros) de 18.370 t, representando uma diminuição de 27 mil toneladas quando comparado ao ano anterior (ICCAT, 2014). É muito provável, porém, que esses dados estejam subestimados, em razão das fragilidades recentes no sistema nacional de acompanhamento estatístico da produção pesqueira. Apesar da diminuição aparente do total capturado, as capturas do agulhão branco não pareceu diminuir, com 152 t tendo sido capturadas em 2013, montante que representa 67% da captura total reportada para o oceano Atlântico e duas vezes a cota recomendada pela Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico (ICCAT- *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*) para o país.

Por possuírem o mesmo habito alimentar e conviverem no mesmo habitat dos atuns e espadartes, os agulhões brancos continuam participando com uma captura significativa na pesca com espinhel, sendo este um aspecto preocupante para a sua conservação, tendo em vista a grande amplitude geográfica de utilização desta arte de pesca, principalmente no lado oeste do Oceano Atlântico, área onde a espécie se concentra na maior parte do ano (Da Mata, 2012). Além disso, embora os agulhões brancos sejam principalmente capturados como fauna acompanhante na pesca de atuns com espinhel, segundo Antero-Silva et al. (1994), a espécie também é frequentemente capturada por outras artes de pesca, tanto artesanais como esportivas, ampliando assim a pressão pesqueira sobre os seus estoques.

De acordo com Restrepo et al. (2003), a estrutura da população do agulhão branco no Oceano Atlântico não se encontra bem definida. Apesar de a última avaliação considerar uma única unidade de estoque para o Atlântico ocidental, há evidências crescentes de que os estoques do Atlântico norte e sul são distintos. Segundo as últimas avaliações acerca da condição do estoque realizadas para a espécie, o mesmo se encontra sobrepescado e sofrendo sobrepesca (ICCAT 2014). Diante deste cenário, portanto, é preciso que sejam tomadas medidas visando a minimizar a mortalidade por pesca do agulhão branco, não somente aumentando a seletividade dos aparelhos de pesca, principalmente do espinhel, como diminuindo a taxa de mortalidade pós-captura, de forma a aumentar o percentual de espécimes liberados vivos.

Atualmente, a determinação de cotas de captura por país é a principal medida de gestão utilizada pela ICCAT para limitar as capturas da espécie no Atlântico, não existindo, porém, nenhuma ação voltada para o aumento da seletividade do aparelho de pesca ou outras estratégias de gestão, como a possibilidade de proibições espaço-temporais da pesca. Segundo Dunn et al. (2011), informações operacionais e espaciais relacionadas à atuação da frota pesqueira, associadas com indicações acerca da distribuição espaço-temporal das espécies capturadas, podem contribuir significativamente para o gerenciamento pesqueiro, permitindo a adoção de medidas mais direcionadas a determinadas espécies. Embora a possibilidade de proibições espaços-temporais de áreas de pesca no Atlântico voltadas para a redução das capturas do agulhão branco tenha sido discutida em reuniões recentes da ICCAT, tendo sido inclusive uma das recomendações da última avaliação de estoque desta espécie (ICCAT, 2011), a adoção de uma medida dessa natureza sempre esbarrou na aguda carência de dados acerca das variações na distribuição espaço-temporal do estoque.

Nesse contexto, o presente trabalho visa a contribuir com a geração de informações sobre a variação espaço temporal da espécie *Kajikia álvida* (Poey, 1802), pouco estudada no Oceano Atlântico Sul e equatorial, bem como testar algumas estratégias de manejo espacial, com o intuito de auxiliar na construção de medidas de gestão pesqueira necessárias para a sua conservação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

No presente estudo foram analisados 15.000 lançamentos de pesca de atuns e afins provenientes do Programa de Observador de Bordo (PROBORDO) das frotas arrendadas espinheleiras que operam no Atlântico Sul e Equatorial. Os dados referentes aos lançamentos, área de pesca, esforço e captura foram obtidos através dos mapas de bordo das embarcações sediadas no Brasil, no período de 2005 a 2011, composta em quase sua totalidade pela frota espanhola e panamenha, cujas capturas são destinadas ao espadarte e, em menor proporção, aos atuns (albacora laje e bandolim) (HAZIN et al., 2012). Os lançamentos de pesca foram distribuídos entre as latitudes de 05°N e 50°S e entre 0° de longitude e a costa da América do Sul (Figura 1). Como índice de abundância relativa foi utilizada a CPUE, em número de indivíduos, por 1000 anzóis.

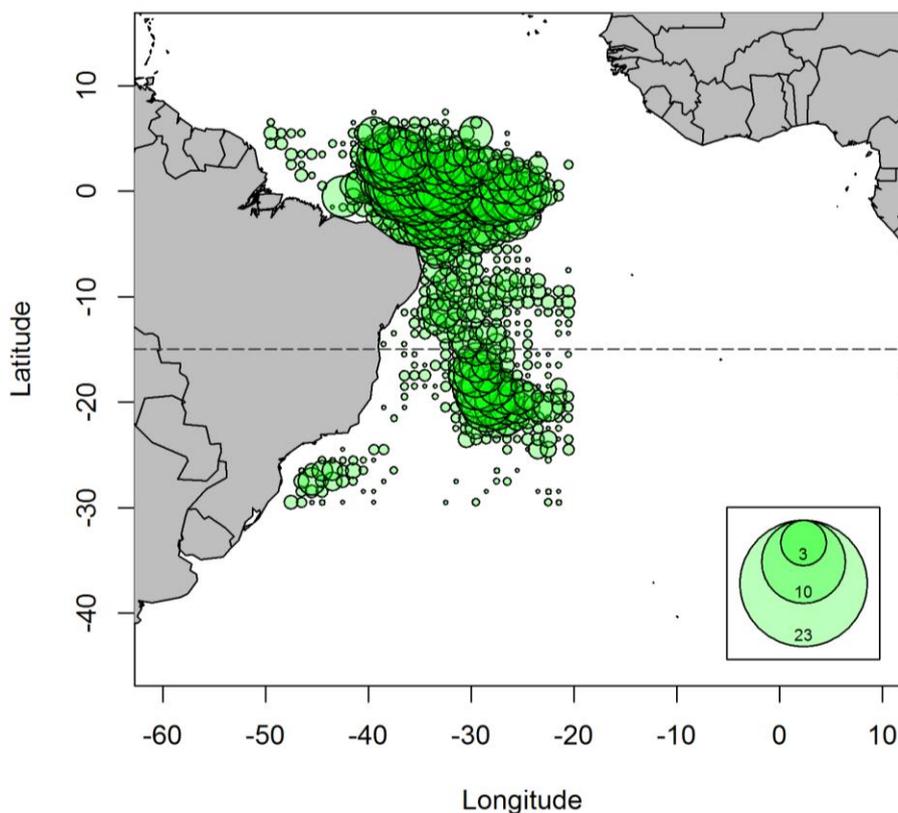


Figura 1- Distribuição espacial do esforço de pesca (lances de pesca) realizados pela frota brasileira no período de 2005 a 2011.

Devido a quantidade moderada de zeros na amostra (58%) e considerando o fato da pesca comercial atuar em locais pré-definidos pelos recursos que se deseja capturar, foram utilizados os Modelos Aditivos Generalizados Mistos (GAMMs), com a distribuição Tweedie, para analisar a relação entre os fatores ambientais sobre a performance pesqueira (CPUE) do agulhão branco.

Os GAMMs são extensões do GLM e GAM que combinam os efeitos aleatórios e modelos lineares generalizados (BOLKER et al., 2008). Como efeito aleatório foi utilizada a bandeira da embarcação, uma vez que conceitualmente a variabilidade nas taxas de captura de agulhão branco entre os barcos pode depender das características intrínsecas de cada frota de pesca, capitão e tripulação, enquanto as outras variáveis explicativas foram consideradas como efeitos fixos. Para a escolha das covariáveis utilizadas no modelo final foi utilizado o método de *Stepwise* cuja inclusão ou exclusão são baseadas nos menores valores de AIC (Akaike Information Criterion; Akaike, 1974) e pelo F-test com 95% de confiança ( $p < 0.05$ )

A formulação final do GAMM utilizado pode ser expressa da seguinte forma:  $\mu_{\text{captura}} = f_1(\text{Latitude}, \text{Longitude}) + f_2(\text{Mês}) + \text{Ano}_{(i)} + v_{k(i)} + f_3(\text{TSM}) + f_4(\text{PCM}) + f_5(\text{LUA}) + f_6(\text{HIL}) + \text{offset}(\log(\text{esforço}))$ , onde,  $\mu_i = \bar{E}(y_i)$  e  $y_i$  é parte de uma distribuição de Tweedie (DUNN e SMYTH, 2005; TWEEDIE, 1984) com variância  $\sigma_{\mu_i}^p$ . A distribuição Tweedie foi escolhida devido a sua capacidade de lidar com dados contínuos contendo quantidades moderadas de zeros (58,0%) (TWEEDIE, 1984). A variável Ano representa o fator ano em  $i^{\text{th}}$ ,  $f_1$  a  $f_6$  são funções suavizadoras das covariáveis: Latitude, Longitude, Mês, Temperatura da Superfície da Água do Mar, Profundidade da Camada de Mistura, Lua e Hora inicial de Lançamento.  $v_{k(i)}$  é o efeito da variável aleatória Frota. O valor do parâmetro  $p$ , que exhibe a maximização da verossimilhança, analisado nesta distribuição, foi estimado em 1,35, que demonstra uma composição entre as distribuições de Poisson e Gamma. Nenhuma colinearidade entre as covariáveis do modelo final foi observada.

A acuracidade do modelo foi avaliada utilizando-se *n-fold* validação cruzada onde: (1) todos os dados foram divididos em sub conjuntos aleatoriamente; e (2) os valores previstos foram calculados ocultando-se os observados de cada sub-conjunto. Em seguida foi utilizado o coeficiente de correlação entre os valores observados e os correspondentes valores previstos para a validação cruzada do modelo candidato.

A permanência anual, mensal e/ou trimestral das áreas de maior probabilidade de captura também foi verificada. Em seguida, foram analisadas possíveis simulações de fechamentos temporários e permanentes das áreas de pesca selecionadas, com o objetivo de avaliar a influência desta na CPUE do agulhão branco e, conseqüentemente, os possíveis efeitos na espécie alvo, espadarte, usando a função *predict* entre o modelo final e o banco de dados novo (*data test*). A redistribuição do esforço de pesca para áreas adjacentes não foi considerada no presente trabalho. O *data test* contém 5,000 quadrantes, retirados aleatoriamente do banco de dados *full data*, com todas as informações das variáveis explicativas e sem captura. Os *odds ratios* foram utilizados para interpretar os resultados dos parâmetros estimados pelo modelo.

## RESULTADOS

### Modelo

Todas as variáveis do modelo foram significativas (teste F,  $p < 0,05$ ). Por ordem de importância e explicação na variação da CPUE, a interação entre “longitude e latitude” explicou 30% do total da variância do modelo final, a variável hora inicial de lançamento 20%, a variável temperatura da superfície do mar explicou 15%, a profundidade da camada de mistura 10%, a variável ano 15%, a variável “mês” explicou 6% e a variável índice de iluminação da lua 4%.

As análises dos resíduos do modelo tweedie demonstram que os valores se distribuem homoscedasticamente e sua maior parte em torno de zero, indicando que o modelo ajustado não apresenta viés. Contudo, observa-se pequenas discrepâncias entre os quantis residuais e o quantis residuais normalizados, com valores extremos, porém, aparecendo somente na extremidade positiva (Figura 2), indicando que os pressupostos assumidos para a distribuição da variável resposta (erro) e a função de ligação foram aceitáveis.

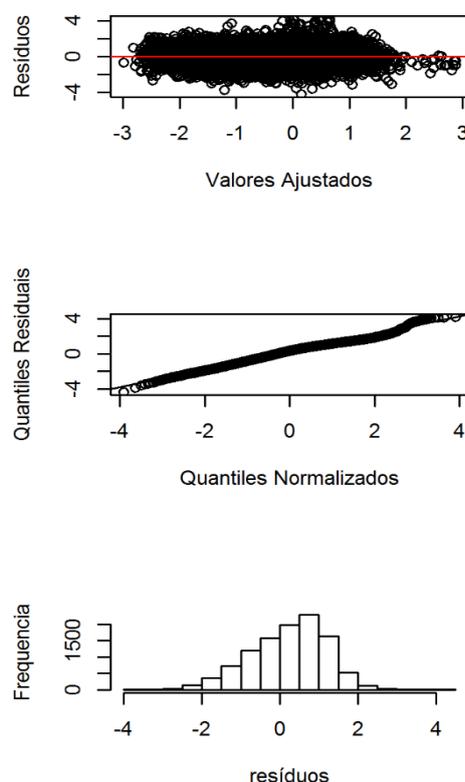


Figura 2- Distribuição dos resíduos e QQ plot do modelo final ajustado aos dados de CPUE do agulhão branco, capturado por espinheiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial utilizando a distribuição Tweedie.

### Efeito das variáveis ambientais e temporais

O efeito da temperatura da superfície da água do mar na CPUE do agulhão branco apresentou uma tendência significativamente positiva a partir de 24°C, com os valores mais elevados tendo sido registrados entre 25° e 26°C, decrescendo a partir desta temperatura (Figura 3). Já o efeito da profundidade da camada de mistura na CPUE do agulhão branco mostrou maiores capturas quando a mesma se situava entre 40 e 80 m (Figura 3). Em relação às fases da lua, índice de iluminação maiores que 0,6 (60%) claramente influenciaram positivamente a CPUE.

Com relação aos fatores operacionais a CPUE do agulhão branco apresentou efeitos positivos quando o lançamento do espinhel se iniciou por volta das 20h, ou de manhã cedo, atingindo o pico máximo às 4h da manhã.

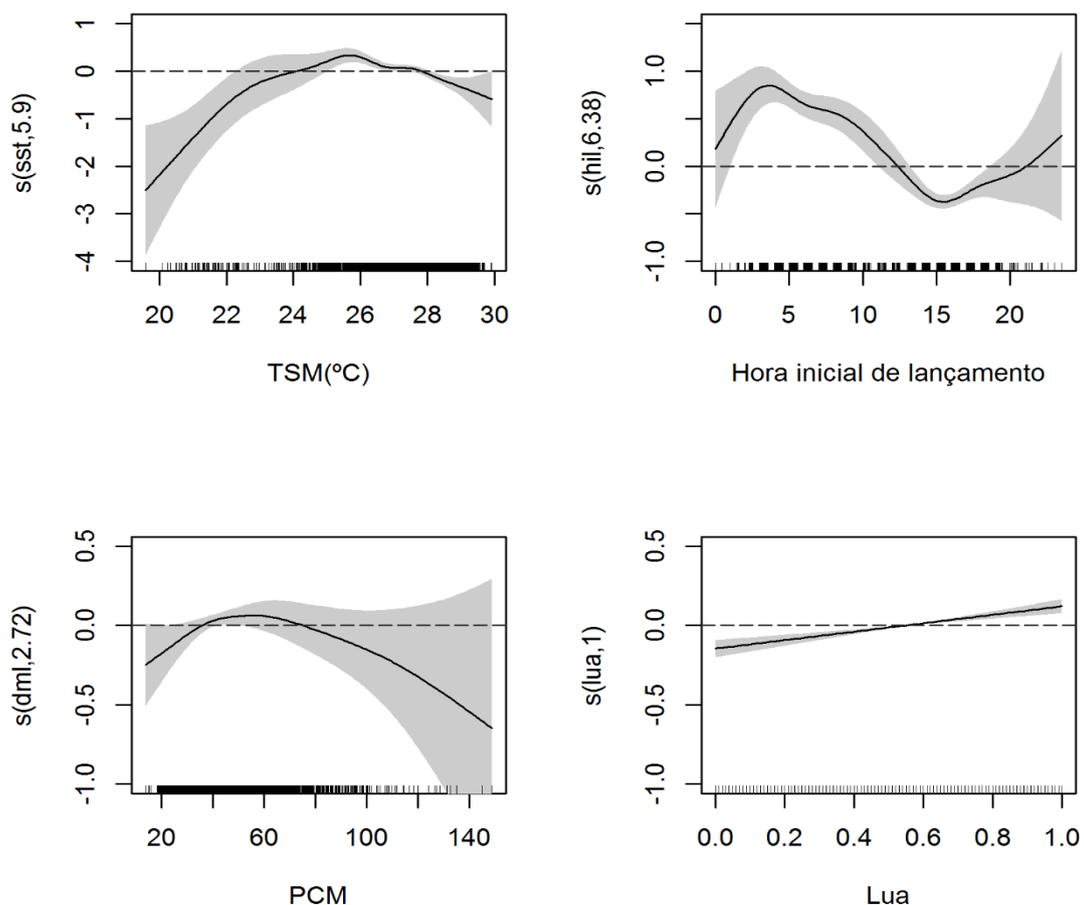


Figura 3- Efeitos das variáveis temporais na CPUE do agulhão branco, capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial no período de 2005 a 2011. TSM= Temperatura Superficial da Água do Mar; PCM= Profundidade da Camada de Mistura.

Em relação à variação anual de abundância relativa, a CPUE do agulhão branco no Atlântico Sul e equatorial apresentou uma tendência crescente de 2005 a 2007, registrando neste último o maior valor na série analisada, decresceu, fortemente, a partir de então, até 2009, recuperando-se em 2010, e voltando a declinar em 2011, quando o efeito ano ficou próximo a zero (Figura 4).

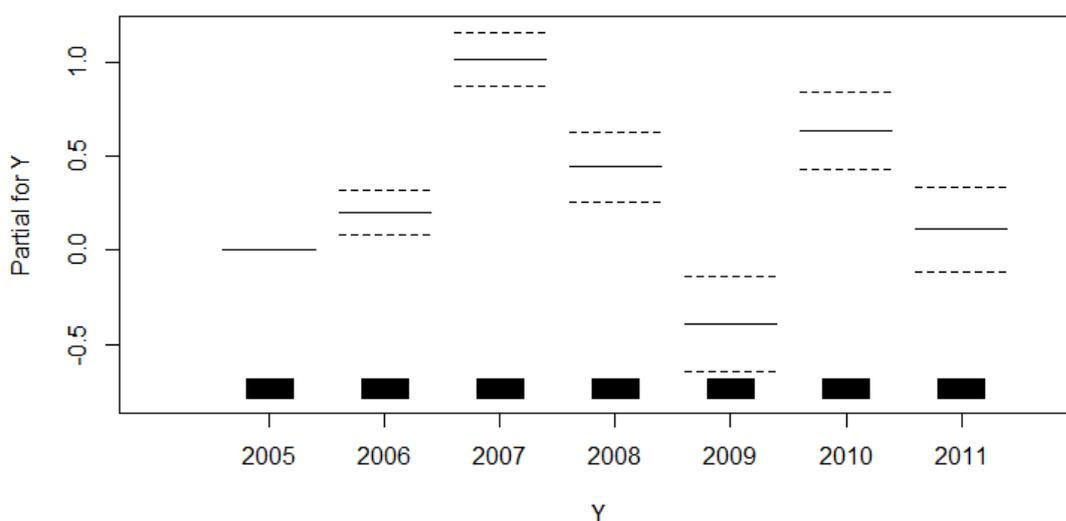


Figura 4- Efeito do ano (Y) na CPUE do agulhão branco, capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial no período de 2005 a 2011.

### Persistência espaço-temporal e áreas de fechamento

A verificação da persistência anual não foi possível devido a não convergência dos dados. Os efeitos da interação entre a latitude, longitude e mês na CPUE do agulhão branco demonstraram uma área oceânica do Atlântico Sul com maior densidade entre 5-15°S/30-38°W, com um pico observado entre 10-13°S/30-35°W, nos meses 8 e 9 (Figura 5). Baseado nestes resultados, dois cenários de fechamento de área foram avaliados para o quadrante 10-13°S/30-35°W (850 lançamentos de pesca): a) Cenário 1- Fechamento da área durante todo o ano; e b) Cenário 2- Fechamento da área durante os meses de agosto e setembro apenas. No cenário 1 os percentuais de redução de captura seriam iguais a 10%, para o agulhão branco, 18% para o espadarte, 19% para a albacora bandolim e 20% para a albacora branca. No cenário 2 a redução seria de 14% para o agulhão branco e 18%, 28% e 1% para o espadarte, albacora bandolim e albacora branca, respectivamente (Figura 6).

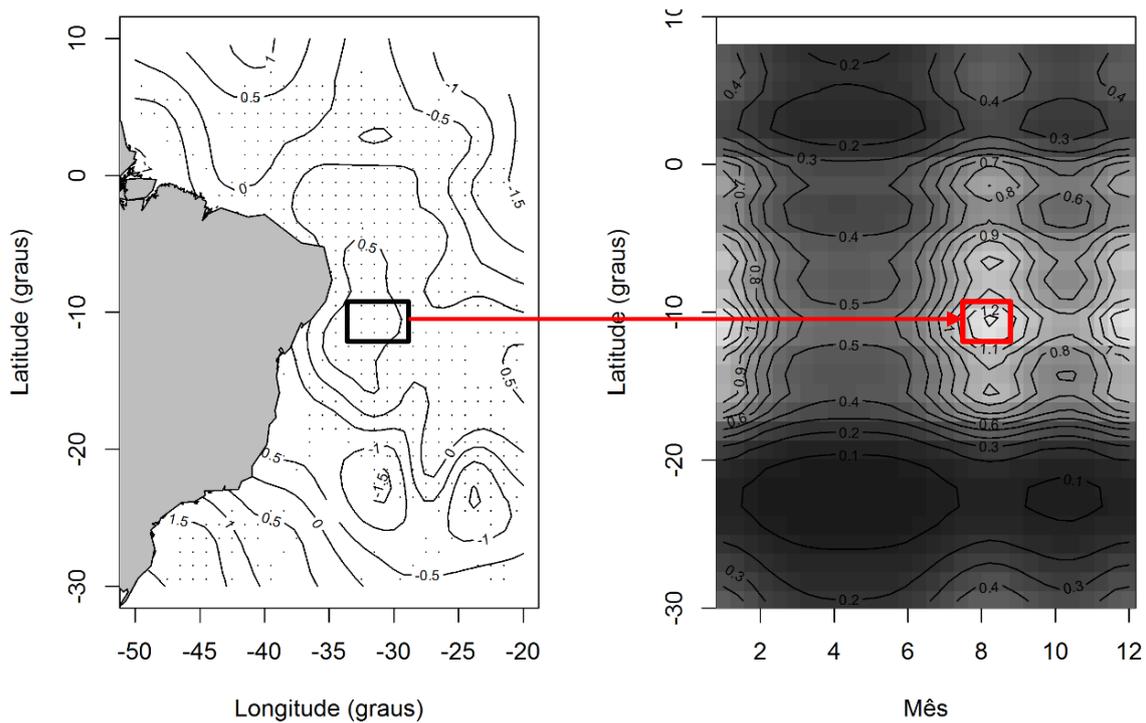


Figura 5- Predição Espacial da CPUE do agulhão branco, capturado pela frota espinheleira brasileira no Atlântico Sul e Equatorial, nos anos de 2005 a 2011. O quadrado indica a área com os maiores valores de CPUE.

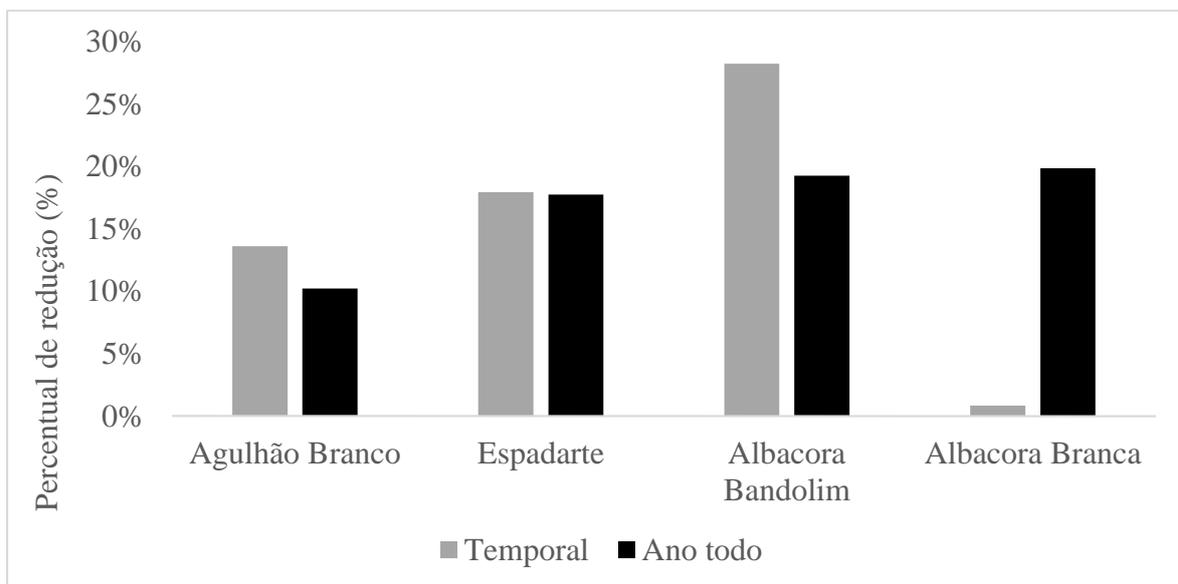


Figura 6- Percentual projetado de redução nas capturas do agulhão branco, espadarte, albacora bandolim e albacora branca capturados pela frota espinheleira brasileira no Atlântico Sul e Equatorial.

## DISCUSSÃO

A distribuição do agulhão branco é controlada, principalmente, por necessidades de alimentação e desova, comportamentos que, por sua vez, são regulados pelas condições ambientais (MATHER et al., 1975). Dessa forma, o conhecimento dos fatores que influenciam a distribuição dos peixes, particularmente no ambiente pelágico é de suma importância, não apenas para se conhecer melhor a sua biologia e comportamento, mas para melhorar a eficiência e assegurar a sustentabilidade da atividade pesqueira, já que a preferência por determinados ambientes pode afetar sua distribuição e vulnerabilidade aos aparelhos de pesca (BOYCE *et al.*, 2008; Oliveira et. al., *in press*). Ao se utilizar variáveis espaciais, temporais e ambientais, em conjunto com variáveis relacionadas às operações de pesca nas modelagens matemáticas, torna-se possível compreender um pouco mais sobre as tendências espaço-temporais das capturas, como no presente caso, em relação ao agulhão branco no Atlântico Sul e equatorial. Dessa forma, pode-se identificar as preferências ambientais e as áreas com maior probabilidade de ocorrência dos indivíduos de uma determinada espécie.(GONZÁLEZ-ANIA et al., 2001; Oliveira et. al *in press*).

A temperatura da superfície da água do mar tem sido descrita, por vários autores ao longo dos anos, como a principal variável ambiental que influencia diretamente a distribuição dos animais aquáticos (FONTENEAU, 1998). Prince et al. (2005) e Horodysky et al. (2005), em experimentos utilizando marcas PSATs, sugeriram que a distribuição do agulhão branco estaria associada, principalmente, à zona epipelágica com temperaturas variando entre 24 e 29°C, corroborando com os valores observados no presente trabalho, já que os efeitos positivos na CPUE do agulhão branco foram observados entre 24°C e 28°C. NAKAMURA (1985), por sua vez, reportou que o agulhão branco é encontrado principalmente acima da termoclina, em locais com profundidades maiores que 100m. O comportamento fortemente epipelágico da espécie, associado à sua preferência por águas entre 24°C e 28°C, pode explicar também a influência positiva da profundidade da camada de mistura, entre 40 e 80 m, já que profundidades mais rasas estariam provavelmente associadas a temperaturas maiores e uma camada de mistura mais profunda a temperaturas mais baixas.

Os resultados do presente trabalho também corroboram com os observados por HAZIN (1993), que, com base na variação sazonal da CPUE do agulhão branco ao longo da costa brasileira, concluiu que a espécie provavelmente realiza uma migração no sentido norte-sul, do terceiro para o primeiro trimestre do ano, acompanhando aproximadamente o deslocamento

sazonal da isoterma de 25°C da temperatura da superfície do mar, a qual localiza-se em torno de 15°S, durante o terceiro trimestre do ano, e de 35°S, durante o primeiro trimestre.

ROBERTS *et al.* (2005) indicam que as áreas consideradas ideais para a implantação de estratégias de manejo baseadas no conceito de áreas marinhas protegidas (AMPs) devem ser também aquelas onde os indivíduos estejam mais vulneráveis, como áreas destinadas à reprodução, alimentação ou rotas migratórias. No presente trabalho foi possível identificar a presença de 1 área (10-13°S/30-35°W) com maiores agregações de indivíduos, com variação sazonal bem definida (meses de agosto e setembro).

As simulações para o fechamento temporário e/ou permanente da área de pesca selecionada, no presente estudo, apontaram a possibilidade de uma redução significativa das capturas de agulhão branco nos dois cenários, com valores semelhantes aos observados por Oliveira et al. (in press). GOODYEAR (1999) também constatou, através de simulações de fechamentos de áreas de pesca, uma redução mais expressiva nas capturas dos agulhões capturados como fauna acompanhante na pescaria de espinhel dos Estados Unidos que nas capturas das espécies alvo.

Um aspecto, porém, não abordado no presente estudo foi o possível redirecionamento do esforço removido durante as simulações de fechamento de áreas para outros locais e a sua possível repercussão nas capturas da espécie. Para isto também seria necessário inserir informações econômicas e sobre a dinâmica da pescaria (GOODYEAR, 1999) para identificar propriamente como ocorreria essa exportação do esforço e para quais áreas, questões que são ainda de difícil determinação, mas que poderão ser levadas em consideração em análises futuras.

Entretanto, em qualquer estratégia implantada com o objetivo de reduzir as capturas de espécies de fauna acompanhante envolvendo restrições temporais das áreas de pesca, a viabilidade econômica da medida deve ser levada em consideração (MURAWSKI, 1992), uma vez que a implantação desta regulamentação causará também efeitos nas capturas de muitas espécies alvo devido à redução das áreas oceânicas destinadas a pesca (DUNN et al, 2011; GRANTHAM et al., 2008; HILBORN et al., 2004). Naturalmente, quanto mais extenso for o período de fechamento, mais negativas serão as consequências econômicas para a atividade pesqueira. Neste sentido, a identificação de uma área relativamente reduzida geograficamente com uma abundância elevada da espécie por um período de apenas dois meses, torna um

possível fechamento espaço-temporal mais fácil, devido ao menor impacto econômico gerado pela medida, conforme observado por GRANTHAM et al. (2008).

As abordagens atualmente mais utilizadas para o manejo e gerenciamento da pesca vêm se limitando à determinação de cotas de captura ou adequação do aparelho de pesca, não levando em consideração as informações espaciais de ocorrência da atividade (GAME et al., 2009). A Aplicação de medidas como determinação de cotas pode limitar o total das capturas, mas não age diretamente sobre a seletividade da pesca (DUNN et al., 2011). Além disso, pode não fornecer resultados tão satisfatórios em pescarias multiespecíficas (e.g., espinhel direcionado a atuns e afins), pois na maioria das vezes não incluem todas as espécies (HILBORN et al., 2004). Já medidas de manejo operacionais e espaciais relacionadas à atuação da pesca, como áreas de ocorrência e a distribuição do esforço de pesca podem ser mais eficientes, particularmente no caso de espécies pertencentes à fauna acompanhante (DUNN et al., 2011). A variabilidade interanual das condições oceanográficas e o consequente deslocamento espaço-temporal das áreas e meses de maior concentração da espécie, contudo, em especial sob um contexto de mudanças climáticas, são dificuldades adicionais para uma possível adoção de fechamento espaço-temporal da pesca em áreas oceânica como medida de manejo pesqueiro.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ANTERO-SILVA, J.N., A.F. AMORIM, R.P.T. LESSA, F.H.V. HAZIN AND C.A. ARFELLI. 1994. White marlin (*Tetrapturus albidus*) fisheries off Brazilian coast from national and leased longliners fleet. *Inter. Comm. Conser. Atl. Tunas, Coll. Vol. Sci. Pap.*, 41:189 - 198, June.
- BOLKER, B. M., M. E. BROOKS, C. J. CLARK, S. W. GEANGE, J. R. POULSEN, M. H. H. STEVENS, AND J. S. WHITE. 2008. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends Ecol. Evol.* 24:127-135.
- BOYCE, D. G., TITTENSOR, D. P., AND WORM, B. 2008 Effects of temperature on global patterns of tuna and billfish richness. *Marine Ecology Progress Series*, 355: 267–276.
- DUNN, D. C.; BOUSTANY, A. M.; HALPIN, P. N. 2011 Spatio-temporal management of fisheries to reduce by-catch and increase fishing selectivity. *Fish and Fisheries*, 12:110–119.
- DUNN, P.K. AND G.K. SMITH (2005) Series evaluation of Tweedie exponential dispersion model densities. *Statistics and Computing* 15:267-280.
- DA MATA, 2012 – Tese UFPE: Distribuição e abundância relativa do agulhão branco (*Tetrapturus albidus* Poey, 1860) capturado no oceano Atlântico Recife: xiv, 105 folhas, il., gráfs., tabs.
- FONTENEAU, A., 1998 - Introduction aux problèmes des relations thons-environnement dans l'Atlantique. In : BECKETT, J. (ed.) -Proceeding of the ICCAT Tuna Symposium, Part 1, Punta Delgada, p. 275-317.
- GAME, E. T.; GRANTHAM, H. S.; HOBDAI, A. J.; PRESSEY, R. L.; LOMBARD, A. T.; BECKLEY, L. E.; GJERDE, K.; BUSTAMANTE, R.; POSSINGHAM, H. P.; RICHARDSON, A. J. 2009 Pelagic protected areas: the missing dimension in ocean conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 24:360-369.

GONZÁLEZ-ANIA, L.V., BROWN, C.A., CORTÉS, E. 2001, Standardized catch rates for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the 1992-1999 Gulf of Mexico longline fishery based upon observer programs from Mexico and the United States. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 52(1): 222-237.

GOODYEAR, C. P. 1999 An analysis of the possible utility of time–area closures to minimize billfish bycatch by U.S. pelagic longlines. *Fish. Bull.*, 97:243–255.

GRANTHAM, H. S.; PETERSEN, S. L.; POSSINGHAM, H. P. 2008 Reducing bycatch in the South African pelagic longline fishery: the utility of different approaches to fisheries closures. *Endang Species Research*, 5: 291-299.

HAZIN, H.G.; MOURATO, B.; HAZIN, F.H.V.; CARVALHO, F.; FRÉDOU, T.; TRAVASSOS, P.; PACHECO, J.C. 2012 Standardized CPUE series of blue marlin and white marlin caught by Brazilian tuna longline fisheries in the Southwestern Atlantic Ocean (1980-2010). *Collective Volume of Scientific Papers, ICCAT*, 68(4):1531-1542.

HAZIN, F. H. V. 1993 Fisheries oceanographical study on tunas, billfishes and sharks in the southwestern equatorial Atlantic Ocean. Tokyo. 286p. Doctoral Thesis. Tokyo Univ. Fisheries.

HORODYSKY, A.Z., D. KERSTETTER, R.J. LATOUR AND J.E. GRAVES. 2005. Habitat utilization and vertical movements of white marlin (*Tetrapturus albidus*) released from commercial and recreational fishing gears in the western North Atlantic Ocean: inferences from short-duration pop-up satellite tags (PSATs). *ICCAT, SCRS/2005/034*.

ICCAT, 2011. International Commission for the Conservation of Atlantic tunas. Informe de la sesión de evaluación del stock de aguja azul y reunión de preparación de datos de aguja blanca de 2011, 21p.

ICCAT, 2014. International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas. REPORT OF THE STANDING COMMITTEE ON RESEARCH AND STATISTICS (SCRS) (Madrid, Spain, 29 September to 3 October 2014).

MATHER, F. J. III, D. C. TABB, J. M. MASON, JR., AND H. L. CLARK. 1975. Migrations of white marlin and blue marlin in the western North Atlantic Ocean—tagging results since May, 1970. Pages 211–225.

MURAWSKI, S.A. 1992. The challenges of finding solutions in multispecies fisheries. In: Proceedings of the National Industry Bycatch Workshop, February 4–6, 1992, Newport, Oregon. Schoning, R.W., R.W. Jacobson, D.L. Alverson, T.G. Gentle, and Jan Auyong, eds. Natural Resources Consultants, Inc., Seattle, Washington. pp. 35–45.

NAKAMURA, I. 1985 FAO species catalogue: Billfishes of the World. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. n.125. v.5. Roma: FAO Fishery Synopsis. 65p.

PRINCE, E. D.; COWEN, R. K.; ORBESEN, E. S.; LUTHY, S. A.; LLOPIZ, J. K.; RICHARDSON, D. E.; SERAFY, J. E. 2005 Movements and spawning of white marlin (*Tetrapturus albidus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*) off Punta Cana, Dominican Republic. *Fish. Bull.*, 103:659–669.

RESTREPO V, PRINCE ED, SCOTT GP, UOZUMI Y. 2003. ICCAT stock assessment of Atlantic billfish. *Mar Freshwat Res.* 54:361–367. <http://dx.doi.org/10.1071/MF02057>

ROBERTS, C. M.; HAWKINS, J.P.; GELL, F.R. 2005 The role of marine reserves in achieving sustainable fisheries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360:123-132.

TWEEDIE, M.C.K. 1984 - An index which distinguishes between some important exponential families. In: GHOSH, J.K. e ROY, J. *Statistics: Applications and New Directions*. Proceedings of the Indian Statistical Institute Golden Jubilee International Conference. Indian Statistical Institute, Calcutta. p.579–604.

## **5 - Considerações finais**

Os resultados obtidos nesta tese demonstram que o agulhão negro realiza migrações verticais que se superpõem à profundidade de atuação dos anzóis da pesca com espinhel de superfície, o que facilita o encontro do mesmo com a referida arte, causando assim a sua captura. É necessário, contudo, ampliar o esforço de monitoramentos desses agulhões, bem como realizar marcações nos agulhões brancos, para que se possa afirmar com maior propriedade as informações obtidas neste experimento.

Em relação ao estado dos estoques, as tendências observadas para a CPUE padronizada demonstram que tanto o agulhão branco quanto ao agulhão negro sofreram, provavelmente, uma diminuição importante dos seus estoques em anos recentes, aspecto que ressalta a urgência de que sejam tomadas providências no sentido de mitigar os impactos da pesca sobre essas espécies.

Com base nos registros de CPUE pode ser observado que os agulhões brancos se concentram parte do ano na porção central do Atlântico Sul, apresentando assim uma variação espacial e temporal, o que impossibilita um fechamento permanente de uma única área. Sendo Mis indicado neste caso uma interrupção temporária da pesca na referida área podendo ser uma alternativa na mitigação da captura dos agulhões brancos, contribuindo assim com o manejo do estoque, devido a diminuição da pressão de pesca que o mesmo sofre.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que uma melhor compreensão do comportamento da espécie estudada pode contribuir significativamente para uma avaliação mais robusta da situação dos estoques explorados, bem como identificando áreas e períodos que o agulhão branco se concentra o tornando mais vulnerável a pesca.