



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

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE DIFERENTES FASES DO CICLO DE VIDA DA  
ALBACORA LAJE (*Thunnus albacares*) EXPLORADA COMERCIALMENTE NO  
ATLÂNTICO

Victor Teruo Goto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção de título de Mestre.

Prof. Dr. Humber Agreli Andrade  
Orientador

Recife,  
Agosto/2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

G684d Goto, Victor Teruo.  
Dinâmica espaço-temporal de diferentes fases do ciclo de vida da *Albacora Laje (Thunnus albacares)* explorada comercialmente no atlântico / Victor Teruo Goto.  
– Recife, 2018.  
51 f.: il.

Orientador(a): Humber Agreli Andrade.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Recife, BR-PE, 2018.  
Inclui referências.

1. *Albacora laje* 2. Peixe – Distribuição geográfica 3. MLG I. Andrade, Humber Agreli, orient. II. Título

CDD 639.3

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE DIFERENTES FASES DO CICLO DE VIDA DA  
ALBACORA LAJE (*Thunnus albacares*) EXPLORADA COMERCIALMENTE NO  
ATLÂNTICO**

Victor Teruo Goto

Dissertação julgada adequada para obtenção de título de mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em 14/08/2018 pela seguinte banca examinadora.

---

Prof. Dr. Humber Agreli Andrade  
Orientador  
Departamento de Pesca e Aquicultura/UFRPE

---

Prof. Dr. Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos  
Departamento de Pesca e Aquicultura/UFRPE

---

Prof. Dr. Francisco Marcante Santana da Silva  
Departamento de Pesca e Aquicultura/UFRPE-UAST

## DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho as pessoas, sem as quais, o caminho percorrido durante o curso seria infinitamente mais penoso. Meus pais Chouji e Amilce, pelo apoio incondicional a minha decisão de mudar a carreira profissional, apesar do pesado custo financeiro e emocional. Minha noiva, Bárbara, pelo ilimitado suporte (amor, carinho, conselhos, revisões de textos) em todos os momentos. E meu irmão, Tomio, inspiração profissional fundamental para a radical decisão de abandonar mais de 10 anos de mercado de trabalho e investir na qualificação pessoal e na ciência.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao apoio financeiro promovido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Ao qualificado corpo docente da pós-graduação em recursos pesqueiros e aquicultura da UFRPE, fica aqui registrada minha admiração e gratidão. Um agradecimento especial aos membros do departamento de pesquisa e estatística da ICCAT- *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*, Dr. Maurício Ortiz e Sr. Carlos Palma, pelo pronto envio da base de dados atualizada, tão importante para realizar essa pesquisa. Por último, anoto meu obrigado ao Dr. Humber Andrade, pela seriedade cartesiana com que encara as diversas tarefas da carreira de professor, característica extremamente inspiradora para mim.

## RESUMO

Na última década, a produção de albacora laje (*Thunnus albacares*) foi a segunda mais importante do mundo entre os atuns, com média de 1,25 milhões de toneladas por ano. No Atlântico, as três principais artes de pesca envolvidas nas capturas da espécie são a rede de cerco (66,46%), o espinhel (18,67%) e a vara e isca viva (9,05%). Neste estudo se utilizou modelos lineares generalizados (MLGs) para investigar a distribuição espaço-temporal da albacora laje do Atlântico em diferentes estágios do ciclo de vida (juvenil -  $\leq 50$  cm, pré-adulto -  $< 50$  cm e  $\geq 100$  cm e adulto -  $> 100$  cm). Foram usadas as informações das taxas de captura das pescarias comerciais dos três principais aparelhos de pesca envolvidos na captura da espécie. Em adição, foi analisada a temperatura da superfície do mar (TSM) como índice prospectivo das variáveis ambientais relevantes envolvidas na distribuição da albacora laje. Nos modelos ajustados aos dados das pescarias com rede de cerco, espinhel e vara e isca viva o fator fase de vida foi de grande relevância para explicar a variação da taxa de captura. As taxas de captura predita pelo espinhel foram mais altas a oeste do Atlântico quando comparada com o leste. Em oposição, as estimativas dos modelos do cerco e vara e isca viva foram maiores no leste do que no oeste. O fenômeno está associado a três elementos: a) profundidade da termoclina, b) a cama da coluna d'água de atuação do aparelho e c) distribuição vertical das diferentes fases de vida. O padrão espacial e sazonal dos estágios de vida foi divergente. De forma geral, os períodos de maiores estimativas da taxa de captura estão associados à atividade reprodutiva e trófica. A exceção foram os juvenis. Os resultados sugerem que a distribuição horizontal está associada a diferentes fenômenos, dependendo da região do Atlântico: a) profundidade da termoclina a oeste e b) períodos de recrutamento para pesca no leste.

**Palavras-chave: albacora laje; taxa de captura; distribuição espacial; MLG.**

## ABSTRACT

In last decade, the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) was the second most important tuna production of the world, with approximately 1.25 million tons per year. The three major fishing gears involved at yellowfin catches in the Atlantic are: purse seine (66.46 %), longline (18.67 %) and pole and line (9.05 %). This study used the generalized linear models for investigate the spatial and temporal distribution of three stages yellowfin tuna life cycle (juvenile -  $\leq 50$  cm, sub-adult -  $< 50$  cm e  $\geq 100$  cm and adult -  $> 100$  cm). We used the catch rates of the three main yellowfin tuna commercial fisheries. In addition, it was analyzed the sea surface temperature (SST) like prospective index of important environmental variables related to yellowfin distribution. In the models fitted to purse seine, longline and pole and line fisheries data, the life stage factor was important to explain the catch rates variation. The predicted catch rates by longline model were higher in Atlantic west when compared with the east side. In opposition, the estimates of purse seine and pole and line models were higher in east than west. The phenomenon is probably associated to three elements: a) thermocline depth, b) fishing gear depth and c) vertical distribution of life stages. The life stages spatial and seasonal patterns were divergent. Overall, periods of higher estimates of catch rate are associated with reproductive and trophic activity. The exception were the juveniles. For this life stage, the results suggest that the horizontal distribution is associated with distinct phenomenon for each Atlantic region: a) thermocline depth for western and b) period of fishing recruitment for eastern.

**Key words: yellowfin tuna; catch rates; spatial distribution; GLM.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição do número de registros do banco de dados decorrente da concatenação das bases de dados de captura por tamanho ( <i>catch-at-size</i> – CAS) e captura e esforço (Task-II) por fase de vida e ano e, bandeira e ano das amostras de espinhel (a - b), rede de cerco (c - d) e vara e isca viva (e - f).....	24
Figura 2. Mapa com a localização das amostras das pescarias de albacora laje ( <i>T. albacares</i> ) no Atlântico, realizadas com espinhel (a), rede de cerco (b) e vara e isca viva (c). Os tamanhos dos círculos representam o número de amostras. As informações são procedentes da concatenação dos bancos de dados de captura por tamanho (“ <i>catch-at-size</i> ” - CAS) e captura e esforço (TASK-II)...	25
Figura 3. Frequência relativa do comprimento da albacora laje ( <i>T. albacares</i> ) capturada por espinhel, vara e isca viva e cerco. Nessa última modalidade as informações foram separadas por pescarias realizadas em associação com dispositivos agregadores de peixes (DAP) e cardumes livres. As áreas em azul, branco e vermelho representam o intervalo de tamanhos para jovens, pré-adultos e adultos, respectivamente.....	26
Figura 4. Diagnósticos dos resíduos do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura de espinhel com distribuição lognormal. A linha pontilhada vermelha no painel (c) delimitaria valores de distância de Cook maiores que um, caso estivessem presentes. ....	29
Figura 5 Diagnóstico dos resíduos do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura de rede de cerco com distribuição lognormal. A linha pontilhada vermelha no painel (c) delimitaria valores de distância de Cook maiores que um, caso estivessem presentes.....	30
Figura 6. Diagnóstico dos resíduos do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura de vara e isca viva com distribuição lognormal. A linha pontilhada vermelha no painel (c) delimitaria valores de distância de Cook maiores que um. ....	30
Figura 7. Distribuição espacial da taxa de captura da albacora laje capturada por espinhel (a), rede de cerco (b) e vara e isca viva (c) escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo. As linhas de contorno representam a média da temperatura da superfície do mar (°C).....	32
Figura 8. Distribuição espacial da taxa de captura de jovens escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo no ano para cada arte de pesca: espinhel (a, b, c, d), rede de cerco (e, f, g, h) e vara e isca viva (i, j, k, l).....	33
Figura 9. Distribuição espacial da taxa de captura de pré-adultos escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo no ano para cada arte de pesca: espinhel (a, b, c, d), rede de cerco (e, f, g, h) e vara e isca viva (i, j, k, l).....	34



Figura 10. Distribuição espacial da taxa de captura de adultos escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo no ano para cada arte de pesca: espinhel (a, b, c, d), rede de cerco (e, f, g, h) e vara e isca viva (i, j, k, l).....	35
Figura 11. Taxa de captura predita (linha contínua) e nominal (linha tracejada) de jovens (a) pré-adultos (b) e adultos (c), capturados por espinhel, escalonada pela média da série. ....	36
Figura 12. Taxa de captura predita (linha contínua) e nominal (linha tracejada) de jovens (a), pré-adultos (c) e adultos (d), capturados por rede de cerco, escalonada pela média da série. ....	36
Figura 13. Taxa de captura predita e nominal de jovens (a), pré-adultos (b) e adultos (c), capturados por vara e isca viva, escalonada pela média.....	37
Figura 14. Distribuição espacial da taxa de captura da albacora laje escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo por bandeiras das pescarias com espinhel.....	38
Figura 15. Distribuição espacial da taxa de captura da albacora laje escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo por bandeiras das pescarias com rede de cerco.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critério de informação de Akaike ( <i>Akaike Information Criteria</i> ) e $R^2$ de Efron calculados para os modelos lineares generalizados ajustados às taxas de captura da albacora laje ( <i>T. albacares</i> ) do espinhel, rede de cerco, e vara e isca viva. A ausência de valores de AIC e $R^2$ indica que o modelo não convergiu. ....	27
Tabela 2. Análise de deviance do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura da albacora laje de espinhel, com distribuição lognormal. gl – graus de liberdade, Dev. Resid. – deviance residual, Prop.Dev. – redução proporcional da deviance total (modelo nulo) com a inclusão da variável.....	27
Tabela 3. Análise de deviance do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura da albacora laje de rede de cerco, com distribuição lognormal. gl – graus de liberdade, Dev.Resid – deviance residual, Prop.Dev – proporção da redução da deviance total (modelo nulo) com a inclusão da variável. ....	28
Tabela 4. Análise de deviance do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura da albacora laje de vara e isca viva, com distribuição lognormal. gl – graus de liberdade, Dev.Resid – deviance residual, Prop.Dev – proporção da redução da deviance total (modelo nulo) com a inclusão da variável.....	28

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	4
AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	12
2. DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE DIFERENTES FASES DO CICLO DE VIDA DA ALBACORA LAJE ( <i>THUNNUS ALBACARES</i> ) EXPLORADA COMERCIALMENTE NO ATLÂNTICO.....	16
2.1. INTRODUÇÃO.....	16
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
2.3. RESULTADOS.....	23
2.4. DISCUSSÃO.....	39
2.5. CONCLUSÃO.....	46
2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Um dos aspectos mais relevantes do ciclo de vida da albacora laje (*Thunnus albacares*), é a reprodução. Essa espécie é da família Scombridae da tribo dos tunídeos (Thunnini). Classificada como iterópara, gonocórica, ovípara e sem dimorfismo sexual na sua morfologia externa. O desenvolvimento das gônadas das fêmeas é considerado assincrônico, em virtude da presença de ovócitos em diferentes fases de desenvolvimento (*e.g.* ovócito primário, vitelogênese), sem predominância de uma específica (DIAHA *et al.*, 2016). Durante o prolongado período de reprodução, em área de clima tropical, a desova ocorre com frequência de 1,1 a 1,5 dias, nos quais os ovócitos maduros são liberados em lotes (ITANO 2000; SCHAEFER 1998, 2001; ZUDAIRE *et al.*, 2013). Estima-se que, em média, 2,91 milhões de ovócitos são liberados por lote durante a desova (DIAHA *et al.*, 2016). As fêmeas produzem de 55 a 74 ovócitos por grama de peso corporal (PECORARO *et al.*, 2016). A atividade reprodutiva depende da temperatura ( $\geq 24^{\circ}\text{C}$ ; SCHAEFER, 1998) e ocorre principalmente a noite (McPHERSON, 1991, SCHAEFER, 1996) ou nas primeiras horas da manhã (ITANO, 2000) entre 21:00 e 03:30 hs.

Além da temperatura e horário, a desova da albacora laje do Atlântico está associada a duas áreas em distintos períodos do ano. Na parte leste, a desova ocorre no Golfo da Guiné entre os meses de dezembro e abril (BARD e CAPISANO, 1991; DIAHA *et al.*, 2015; DIAHA *et al.*, 2016), enquanto que a oeste, o principal período reprodutivo é de maio a agosto no Golfo do México e entre julho e setembro no sudeste do Mar do Caribe (AROCHA *et al.*, 2001). Portanto, se supõe que os adultos concentram-se nessas áreas para reprodução durante os períodos citados, e conseqüentemente, haveria forte associação entre desova e distribuição espaço-temporal dos adultos, o que deve implicar em mudanças espaço-temporais das taxas de captura.

O tamanho de primeira maturação ( $L_{50}$ ) é frequentemente utilizado de maneira simplificada para classificar os peixes como potencialmente maduros ou imaturos e também, como referência em trabalhos científicos e em medidas de gestão. As estimativas de  $L_{50}$  variam de acordo com a região do Atlântico, entretanto não há grandes diferenças. O comprimento estimado, a partir dos exemplares coletados no lado oeste, foi de 97,2 cm [comprimento furcal – CF] (FRANK *et al.*, 2015), enquanto que a estimativa, baseada em amostras feitas no leste, foi de 99,2 cm- CF (DIAHA *et al.*, 2016). Estas medidas poderiam ser utilizadas para investigar a estruturação espaço-temporal das fases imaturas e maduras no Atlântico, que por sua vez deve afetar as taxas de captura das diferentes classes de comprimento.

Antes de atingir a maturidade sexual, durante o desenvolvimento ontogenético de fases mais jovens, há uma importante mudança fisiológica associada a capacidade de deslocamento da

albacora laje, que marca criticamente seu ciclo de vida. A bexiga natatória da espécie cresce alometricamente, antes do peixe atingir 2 kg (aproximadamente 50 cm – CF), não há gás no órgão, mas a partir desse comprimento, o crescimento é rápido e há gás na bexiga, alterando a densidade do indivíduo em relação ao ambiente (MAGNUSON, 1973). O desenvolvimento do órgão possibilita ao peixe mergulhos mais profundos, aumentando sua capacidade de capturar presas, e de explorar zonas com condições (*e.g.* temperatura, oxigênio dissolvido) diferentes (LEHODEY e LEROY, 1999). Um sinal da mudança de comportamento, a partir do aumento da taxa de crescimento da bexiga natatória, é a alteração da composição alimentar ao atingir aproximadamente 50 cm - CF. Há de fato fortes evidências de que a dieta da albacora laje muda de acordo com o desenvolvimento ontogenético (MÉNARD *et al.*, 2006; ZUDAIRE *et al.*, 2015). Indivíduos pequenos (< 40 cm – CF) alimentam-se principalmente de euphasiáceos e presas planctônicas, mas há uma transição e quando maiores (> 50 cm – CF) a preferência já é por peixes, crustáceos e cefalópodes (PECORARO *et al.*, 2016). A alteração da composição da dieta da albacora laje de presas planctônicas para aquelas com maior poder de natação, a partir de, aproximadamente, 50 cm é um indício de que existe um significativo aumento da capacidade de deslocamento ao atingir esse comprimento, propiciando a exploração e ocupação de zonas mais amplas do ambiente. Dessa forma, essa estimativa de comprimento seria útil para estudar a estrutura espaço-temporal de fases de vida com distintas amplitudes de deslocamento, provavelmente refletidas pelas taxas de captura.

As variáveis ambientais são tão importantes quanto os estágios do desenvolvimento ontogenético ou mesmo atividade reprodutiva para entender a dinâmica nas variações espaço-temporais da albacora laje nas suas diferentes fases de vida. Dentre as variáveis ambientais (*e.g.* abundância de presas, salinidade) associadas à distribuição espacial da albacora laje, a mais importante é a temperatura da água (SCHAEFER *et al.*, 2007). A albacora laje é uma espécie tropical que prefere temperaturas entre 22°C e 29°C (KUMARI *et al.*, 1993; LEE *et al.*, 1999; LAN *et al.*, 2011). A espécie tem uma capacidade de termorregulação que permite sua distribuição global, em águas tropicais e subtropicais (PECORARO *et al.*, 2016). Essa capacidade termorregulação é incrementada de acordo com o crescimento (BERNAL *et al.*, 2017), portanto os juvenis teriam menor amplitude de habitat do que adultos, o que seria mais um fator delineador de variações espaço-temporais nas taxas de captura das diferentes classes de tamanho e fases do ciclo de vida.

Na maior parte do tempo a albacora laje permanece na camada de mistura (REYGONDEAU *et al.*, 2012), pois não tem capacidade fisiológica de permanecer longos períodos em profundidades abaixo da termoclina (GALLI *et al.*, 2009). Em virtude da pequena variação de temperatura desde a superfície até o topo da termoclina, adotar a temperatura da superfície do mar (TSM) como medida

associada à dinâmica espacial da albacora laje, representa uma aproximação razoável da temperatura da camada da coluna d'água na qual a espécie permanece mais tempo.

Ao considerarmos todas as informações dispostas acima, verifica-se que para construir um panorama mais detalhado da dinâmica espacial e temporal da albacora laje do Atlântico e das taxas de captura da espécie, são importantes tanto a TSM quanto as fases do ciclo de vida, as quais podem ser estimadas a partir de dados de comprimento, que por sua vez permitiriam inferir aproximadamente o desenvolvimento ontogenético da espécie.

Para estudar a dinâmica espacial de diferentes estágios do ciclo de vida da albacora laje do Atlântico, representados por intervalos de comprimentos, é possível usar dados de variáveis (*e.g.* taxas de captura) associadas às principais modalidades de pesca envolvidas na captura da espécie nesse oceano, pois estas penalizam parcelas diferentes da população em consequência de diversos fatores, como seletividade e estratégia de pesca. De certa forma as diversas artes e modalidades de pesca atuam como amostradores de diferentes características. No Atlântico entre 2005 e 2015, capturou-se, em média, 103.920 toneladas de albacora laje por ano, procedentes, principalmente, de operações de pesca com vara e isca viva (9,05%), espinhel pelágico (18,67%) e rede de cerco (66,46%) (ICCAT, 2017a). De forma geral, os exemplares capturados com espinhel pelágico tem comprimento superior a 100 cm (comprimento furcal - CF) (PECORARO *et al.*, 2016), enquanto que as capturas com vara e isca viva são constituídas no geral por peixes de 30 cm a 70 cm – CF (ORTIZ e PALMA, 2017). A composição de comprimentos da albacora laje capturada por rede de cerco é mais complexa, pois há diferença grande em função da realização de lances associados ou não a dispositivos agregadores de peixes (DAP). Os lances realizados em cardumes livres capturam no geral indivíduos de 80 cm a 140 cm - CF, entretanto, em pescarias associadas a DAPs os peixes medem em geral entre 40 cm e 60 cm – CF (ORTIZ e PALMA, 2017). Portanto, as parcelas da população predominantemente amostradas pelas frota de espinhel e vara e isca viva são distintas, enquanto a frota de cerco atinge diversas frações do estoque, em virtude da estrutura heterogênea das capturas. A dinâmica espaço-temporal das capturas com espinhel reflete a distribuição de uma parcela da população distinta daquela explorada pela vara e isca viva. Por outro lado, seria possível estudar a estrutura da população de forma mais ampla a partir das capturas da frota de cerco.

As três modalidades de pesca mencionadas acima atuam em diferentes porções da superfície e profundidades do Atlântico em virtude de características intrínsecas. Assim os dados provenientes do monitoramento das três modalidades de pesca contêm de forma implícita informações tanto da dimensão horizontal como na vertical para diferentes camadas da coluna d'água. De forma geral, nas operações com o cerco, a rede se estende desde a superfície até cerca de 150 m, dependendo do comprimento do petrecho, pois usualmente a profundidade corresponde a 50% do comprimento

total do petrecho (SANTANA *et al.*, 2002; DELGADO DE MOLINA *et al.*, 2004). Nas pescarias com vara e isca viva os peixes são atraídos para superfície, pela liberação de pequenos peixes pelágicos (*e.g.* sardinha), onde são capturados com caniço (ANDRADE, 2008). Finalmente, os anzóis dispostos no espinhel pelágico atingem profundidades de, aproximadamente, 50 m a 300 m, variando de acordo com o número de anzóis entre boias (BIGELOW *et al.*, 2006; CAMPBELL e YOUNG, 2012). Logo, as três modalidades de pesca atuam em distintas faixas de profundidade e, dessa forma, além da distribuição horizontal, as capturas dos três aparelhos podem trazer informações sobre as camadas da coluna d'água na qual a fração da população majoritariamente amostrada pelo artefato estava.

Baseado na ideia de que os três aparelhos capturam diferentes frações da população e atuam em distintas faixas de profundidade e áreas do Atlântico, seria possível investigar, a partir da análise dos dados de pesca dos três aparelhos, quais são as diferenças na distribuição espaço-temporal da albacora laje do Atlântico em função do estágio do ciclo de vida. Pode-se investigar ainda a associação entre a dinâmica espaço-temporal das diferentes classes de comprimentos com a temperatura (em particular a superficial do mar) e fenômenos do ciclo de vida como por exemplo a reprodução, incluindo eventuais agregações para a desova ou mesmo ocupações de áreas de alimentação e crescimento de jovens. Estes conhecimentos podem inclusive ser de grande utilidade para questões cruciais de manejo e avaliação da pescaria como por exemplo, o debate sobre a existência de um estoque unitário. Uma vez que, embora existam dois pontos de desova no Atlântico (um a leste e outro a oeste), a ICCAT considera a hipótese de estoque único da albacora laje nesse oceano, sustentada pelos dados de marcação e recaptura (ICCAT, 2017b).

A identificação, reconhecimento e compreensão das variações temporais na estrutura espacial do estoque é particularmente importante para espécies sujeitas a intensa exploração comercial (*e.g.* atuns), pois a redução local ou a variação da distribuição das diferentes frações do estoque em função de gradientes ambientais ou de fenômenos do ciclo de vida podem expor partes do estoque a diferentes níveis de mortalidade por pesca, podendo impactar a resiliência da população e consequentemente a sustentabilidade da atividade pesqueira (KERR *et al.*, 2010; CIANNELLI *et al.*, 2013). Portanto, os resultados a serem obtidos em estudos da dinâmica espacial da espécie em diferentes estágios do ciclo de vida, são de grande utilidade para gestão do recurso.

Em virtude da relevância para a gestão da albacora laje do Atlântico, o objetivo desse trabalho é identificar as variações espaço-temporais das fases do ciclo de vida, representadas por comprimentos capturados (amostrados), e avaliar a associação dessas variações com a TSM e o processo reprodutivo.

ARTIGO CIENTÍFICO

**2. DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DE DIFERENTES FASES DO CICLO DE VIDA DA ALBACORA LAJE (*THUNNUS ALBACARES*) EXPLORADA COMERCIALMENTE NO ATLÂNTICO**

**2.1. INTRODUÇÃO**

A análise de dados comerciais de captura, esforço de pesca e taxas de captura (captura por unidade de esforço - CPUE) é uma alternativa para o estudo indireto da distribuição espaço-temporal de recursos pesqueiros. Pescadores podem ser considerados predadores e, dessa forma, parte da distribuição espacial das pescarias refletem a padrão espacial dos peixes (BERTRAND *et al.*, 2005). A dinâmica espacial da frota pesqueira depende dos padrões de distribuição da população explorada (DE ANDA-MONTAÑEZ *et al.* 2004). Portanto, dados de pescarias comerciais podem ser úteis para estudar a distribuição espaço-temporal de recursos pesqueiros, e apresentam a vantagem da ampla cobertura temporal e espacial com menor custo, se comparado a cruzeiros científicos (VERDOIT *et al.*, 2003).

As pescarias comerciais direcionadas aos atuns estão entre as mais importantes do mundo (BERNAL *et al.*, 2017). Em 2013 foram capturados mais de 6,5 milhões de toneladas de atuns, dos quais, mais de 5 milhões foram das cinco principais espécies: bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*), albacora laje (*Thunnus albacares*), albacora bandolim (*T. obesus*), albacora azul (*T. thynnus*) e albacora branca (*T. alalunga*) (GUILLOTREAU *et al.*, 2017). Dentre as espécies citadas, a albacora laje é a segunda mais pescada no mundo, com uma captura média anual de 1,25 milhões de toneladas na última década (FONTENEAU e HALLIER, 2015; PECORARO *et al.*, 2016). A espécie é cosmopolita, distribuída, principalmente, nas regiões tropicais e subtropicais dos três oceanos (MAURY *et al.*, 2001). No Atlântico, entre 2005 e 2015, capturou-se, em média, 103.920 toneladas de albacora laje por ano, sendo a grande maioria dessa produção proveniente de três modalidades de pesca: rede de cerco (66,46%), espinhel pelágico (18,67%) e vara e isca viva (9,05%) (ICCAT, 2017a).

Em virtude das variações quanto à seletividade, às regiões e estratégias de pescas, há diferenças importantes nas composições de tamanho dos exemplares capturados com os três aparelhos de pesca. No lado oeste do Atlântico, as capturas com vara e isca viva, são caracterizadas geralmente por indivíduos maiores (moda em 65 cm de comprimento furcal - CF), quando comparados com aqueles capturados na região leste (moda em 48 cm - CF) com este mesmo aparelho de pesca. Nas pescarias com rede de cerco, a oeste do Atlântico, os peixes são relativamente pequenos (moda em 40 cm - CF), enquanto que a leste a estrutura de tamanhos é



heterogênea (modas em 50 cm e 150 cm - CF) (ICCAT, 2012). Parte dessa complexidade é consequência de lances de pesca realizados em cardumes livres ou associados à Dispositivos Agregadores de Peixes (DAP). As pescarias em DAPs capturam principalmente peixes menores que 60 cm (PECORARO *et al.*, 2016), enquanto os exemplares capturados em cardumes livres têm de 80 cm a 140 cm, majoritariamente (ORTIZ e PALMA, 2017). Dentre os três aparelhos, o espinhel é o de composição de tamanhos mais simples, pois não há diferenças associadas à localização ou estratégia das pescarias. Os exemplares pescados com esse petrecho são principalmente maiores que 100 cm – CF, tanto no leste quanto no oeste do Atlântico (ICCAT, 2012; PECORARO *et al.*, 2016). Portanto, de forma geral, distintas parcelas da população são penalizadas pelas três modalidades de pesca.

Além da distribuição horizontal de diferentes frações da população, as informações das três pescarias comerciais mencionadas possibilita estimar em que camadas da coluna d'água ocorrem as capturas, uma vez que as artes de pesca atingem distintas profundidades em virtude de características intrínsecas. A vara e isca viva e a rede de cerco são consideradas pescarias de superfície (EVANS *et al.*, 1981; GAERTNER *et al.*, 1999). Entretanto, existem diferenças importantes entre as faixas de profundidade em que esses aparelhos atuam. Nas pescarias de vara e isca viva os peixes são atraídos pela liberação de pequenos peixes pelágicos (*e.g.* sardinha) na superfície quando são então capturados com caniço (ANDRADE, 2008). A profundidade alcançada pela rede de cerco varia de acordo com suas dimensões. De forma geral, a rede se estende desde a superfície até cerca de 150 m, dependendo do comprimento da rede, profundidade que corresponde aproximadamente a 50% do comprimento total do petrecho (SANTANA *et al.*, 2002; DELGADO DE MOLINA *et al.*, 2004). Finalmente, nos lances com espinhel pelágicos os anzóis, de acordo com a quantidade entre boias, atingem de 50 m a 300 m (BIGELOW *et al.*, 2006; CAMPBELL e YOUNG, 2012). Assim, espera-se que os três aparelhos capturem diferentes parcelas da população em distintas camadas da coluna d'água. Dessa forma, seria possível investigar as faixas de profundidade ocupadas por dada fase do ciclo de vida.

As fases do ciclo de vida são marcadas por diversos fenômenos incluindo mudanças ontogenéticas e processos ecológicos associados à reprodução e crescimento. Estas mudanças e fenômenos estão por sua vez associados a variações da amplitude do ambiente passível de ser ocupado pela espécie. Uma das mudanças ontogenéticas importantes diz respeito ao aumento da taxa de crescimento da bexiga natatória a partir de aproximadamente 50 cm – CF (MAGNUSON, 1973). Esse incremento no desenvolvimento do órgão está associado ao aumento da capacidade de deslocamento (*e.g.* mergulhos mais profundos) (LEHODEY e LEROY, 1999). Portanto, espera-se que após atingirem cerca de 50 cm, os indivíduos passem a ocupar zonas mais amplas do ambiente e, portanto, diferentes daquelas ocupadas por peixes menores. É também de grande importância o

processo reprodutivo, em especial a maturação sexual e a desova. As estimativas do tamanho de primeira maturação variam dependendo da área do Atlântico (Golfo da Guiné ou Golfo do México/Mar do Caribe) em que foram coletadas as amostras para a realização dos estudos, porém não há grandes diferenças e em geral os valores são de aproximadamente 100 cm – CF (FRANK *et al.*, 2015; DIAHA *et al.*, 2016). Estima-se que a desova ocorre em duas áreas do Atlântico em períodos distintos. A leste, no Golfo da Guiné, de dezembro a abril (BARD e CAPISANO, 1991; DIAHA *et al.*, 2015; DIAHA *et al.*, 2016) e a oeste, no Golfo do México e sudeste do Mar do Caribe, de maio a agosto e entre julho e setembro, respectivamente (AROCHA *et al.*, 2001). Dessa forma, espera-se que exista concentração de indivíduos adultos (maiores que 100 cm) nas duas regiões nos períodos de reprodução. O exposto revela a importância de considerar as medidas associadas ao desenvolvimento da bexiga natatória e a reprodução ( $L_{50}$ ) da albacora laje para construir um panorama detalhado da distribuição espaço-temporal da espécie no Atlântico. Uma vez que as medidas estão associadas a diferenças de ocupação do ambiente durante o ciclo de vida da espécie. É verdade que as conclusões feitas a partir desse tipo de abordagem devem ser tomadas com cuidado, pois não há certeza da condição do peixe. Todavia consideramos o panorama mais detalhado quando comparado com aquele em que a distribuição espacial da espécie é apresentada de forma agregada, sem fracionar os estágios de vida.

O estudo de possíveis diferenças de cenário pode ser realizado a partir da observação de padrões na distribuição espaço-temporal da CPUE (LAN *et al.*, 2011; HSU *et al.*, 2015; KAI *et al.*, 2017). Todavia, essa medida sofre influência de fatores relativos às pescarias (*e.g.* dinâmica e eficiência da frota, seletividade do aparelho), como também de variáveis ambientais (*e.g.* profundidade da termoclina) (MAUNDER *et al.*, 2006), então é necessário incluí-las nas análises. Para a albacora laje, além de fatores ligados à operação de pesca é importante considerar a temperatura da água, pois esta é a principal variável oceanográfica envolvida na distribuição da espécie (SCHAEFER *et al.*, 2007). Dessa forma, para identificar padrões na distribuição espaço-temporal da CPUE da albacora laje diversos fatores devem ser levados em consideração, além daqueles relacionados com a localização e sazonalidade (*e.g.* latitude, longitude, mês).

Para realizar a tarefa de incorporar em um modelo os efeitos associados à variação da CPUE a fim de identificar padrões, é comum o uso dos Modelos Lineares Generalizados (MLG). Essa poderosa ferramenta foi introduzida inicialmente por NELDER e WEDDERBURN (1972) e posteriormente desenvolvida por McCULLAGH e NELDER (1989). De forma geral, para aplicar um MLG é necessário: a) escolher a variável resposta, b) selecionar uma distribuição de probabilidade da família exponencial (*e.g.* normal, poisson, gama, binomial), c) definir uma função de ligação apropriada para a distribuição e d) eleger as variáveis explicativas (MAUNDER e PUNT, 2004). A escolha da distribuição de probabilidade adequada para a variável resposta deve levar em

conta a natureza do processo que gerou os dados a serem modelados. Por exemplo, uma distribuição apropriada para dados contínuos deve ser adotada quando uma unidade de peso é a variável a ser modelada (MAUNDER e PUNT, 2004). Depois do ajuste dos modelos, é possível observar padrões e/ou tendências da variável resposta em função das variáveis explicativas e desse modo fazer inferências sobre o fenômeno de interesse.

É corriqueiro o uso de MLGs com finalidade de analisar fenômenos ecológicos. Vários já foram feitos a fim explicar a dinâmica espaço-temporal de peixes altamente migratórios, mas poucos integraram classes de tamanhos para representar as fases do ciclo de vida da espécie de interesse. A inclusão dos comprimentos na modelagem da CPUE pode resultar em melhor compreensão das variações espaço-temporais das densidades e da estrutura de tamanhos do recurso pesqueiro estudado (KAI *et al.*, 2017). No caso da albacora laje, existe forte recomendação para integrar medidas relativas à biologia (*e.g.* comprimento, idade) nos modelos, a fim de aproximá-los da realidade e com isso formular estratégias de gestão mais eficazes (PECORARO *et al.*, 2016).

Dentre outros fatores (*e.g.* incentivos inapropriados para pescadores, lentidão na tomada de decisões), informações inadequadas podem colocar uma população de peixes em risco (GRAFTON e KOMPAS, 2014). Dessa forma, com finalidade de obter um panorama mais detalhado da albacora laje no Atlântico e, portanto, dar subsídios para medidas de gestão, o objetivo desse trabalho foi usar MLGs para investigar, a partir das informações das três principais pescarias envolvidas na captura, a distribuição espaço-temporal da espécie em diferentes fases do ciclo de vida. Em adição, foi usada a TSM para representar a temperatura da água, principal variável ambiental associada à distribuição da albacora laje. A análise deve proporcionar compreensão da distribuição não apenas horizontal, mas também vertical, se considerarmos que as três modalidades de pesca atuam em distintas faixas de profundidade.

## 2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Estimativas de captura por tamanho e de esforço de pesca

As informações de captura por classe de tamanho usados nesse estudo foram retiradas do banco de dados da ICCAT denominando de “*catch-at-size*” (CAS) (ICCAT, 2016). Trata-se de uma série temporal constituída de amostras do número de albacoras laje (*T. albacares*) capturadas por classe de tamanho, na resolução de 1 cm. No total há 180.622 registros, os quais correspondem a uma operação de pesca ou o agregado da composição da captura mensal de dados por país e aparelho em dada zona geográfica (latitude e longitude). A medida morfométrica adotada foi o comprimento furcal. No CAS os valores de frequência de observações por classe de tamanho estão extrapolados para o total capturado em cada registro. No banco de dados estão disponíveis

informações desde 1960 até 2014, organizadas por bandeira, arte de pesca, data (mês e ano), localização (latitude e longitude) e tipo de cardume (livre ou associado a DAP). Os tamanhos foram categorizados como juvenis ( $\leq 50$  cm), pré-adultos ( $> 50$  cm e  $\leq 100$  cm) e adultos ( $>100$  cm). Estas categorias foram baseadas em medidas associadas a ontogenia da albacora laje: a) aumento da taxa de crescimento da bexiga natatória a partir de aproximadamente 50 cm - CF (LEHODEY e LEROY, 1999) e b) o tamanho que os indivíduos atingem a maturidade sexual, representado pelo  $L_{50}$ , estimado em aproximadamente 100 cm (CF) (FRANK *et al.*, 2015; DIAHA *et al.*, 2016).

Não há dados de esforço de pesca no CAS, impossibilitando o cálculo da CPUE. Em virtude disso, é proposto um procedimento para cálculo dessa taxa a partir da combinação das informações do CAS com informações de captura e esforço de pesca de outro banco de dados, denominado de Task-II (ICCAT, 2015). Nesse último há no total 651.712 registros de operações de pesca ou agregados da composição da captura mensal. Com base no Task-II as CPUEs foram calculadas em quilos por 1000 anzóis para o espinhel, quilos por hora de pesca para a rede de cerco, e quilos por dia de pesca para a vara e isca viva. As CPUEs ( $U$ ) foram calculadas agregadas para diferentes cenários de pesca, os quais são caracterizados como combinações particulares de bandeiras, artes de pesca, meses, anos e blocos de latitude e longitude. Para espinhel e cerco estes blocos tem resolução espacial de  $5^\circ \times 5^\circ$ , enquanto que para a vara e isca viva a resolução é de  $1^\circ \times 1^\circ$ .

No CAS as capturas estão expressas em número de peixes, enquanto que no Task-II as capturas estão em peso. Para que houvesse compatibilidade e as informações dos dois bancos pudessem ser combinadas, os tamanhos do CAS foram inicialmente convertidos para peso através da relação  $W_i = 2,1527 \cdot 10^{-5} \times L_i^{2,976}$  estimada por CAVERIVIERE (1976), na qual  $W_i$  é o peso em quilos, e  $L_i$  é o ponto médio em centímetros da  $i$ -ésima classe de comprimento. Dessa forma foi possível calcular a captura total em quilos para as distribuições de frequência do CAS em cada cenário de pesca com  $C_i^a = n_i^a \times W_i$ , em que  $C_i^a$  e  $n_i^a$  são respectivamente a captura em peso e a frequência observada para  $i$ -ésima classe de comprimento no  $a$ -ésimo cenário de pesca (combinação de bandeira, arte, mês, ano, e posição de pesca). A captura total em peso referente à distribuição de frequência de comprimento do  $a$ -ésimo cenário de pesca é  $C^a = \sum_i C_i^a$ . A partir de estimativas de captura em peso do CAS e da CPUE do Task-II, pode-se estimar por sua vez o esforço empregado para capturar o total de peixes registrados no CAS em cada  $a$ -ésimo cenário de pesca com  $f^a = C^a / U^a$ , em que  $f^a$  é o esforço,  $C^a$  é a captura em peso dos peixes registrados no CAS, e  $U^a$  é a CPUE do  $a$ -ésimo cenário de pesca calculada com a Task II. Se temos uma estimativa de esforço para cada cenário de pesca, pode-se estimar as CPUEs da  $k$ -ésima fase de vida (juvenil, pré-adulto e adulto). Para isso, primeiro é calculada a captura da  $k$ -ésima classe de fase de vida em cada um dos cenários de pesca com  $C_k^a = \sum_i C_i^a$ , com as classes de comprimento  $i$

que pertencem à fase de vida  $k$ . Posteriormente a CPUE específica para essa fase de vida em cada cenário de pesca é obtida com  $U_k^a = C_k^a / f^a$ .

#### Temperatura da superfície do mar

As informações da TSM foram obtidas do site da Administração Nacional de Oceanografia e Atmosfera (*National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA*). Uma série temporal de 1969 a 2014 das médias mensais da TSM do Atlântico foi retirada desse banco de dados (NOAA, 2016), denominada de estimativa centenária baseada em observações *in situ* da TSM (*Centennial in situ Observation-Based estimates of Sea Surface Temperature – COBE SST*). O banco de dados é composto por observações *in situ*, coletadas com sensores adaptados a boias, e por registros em boletins meteorológicos procedentes de duas fontes: o conjunto de dados atmosféricos e oceanográficos internacional (*International Comprehensive Ocean and Atmosphere Data Set – ICOADS*) e a Coleção de Kobe (*Kobe Collection*). O conjunto final dos dados de TSM resultante da junção das fontes citadas estão em resolução espacial de  $1^\circ \times 1^\circ$ .

#### Modelos lineares generalizados

Os MLGs são constituídos por uma variável resposta e variáveis explicativas relacionadas de forma linear a partir de uma função de ligação apropriada (MAUNDER e PUNT, 2004):

$$g(\mu_i) = x_i^T \beta$$

na qual,  $g$  é a função de ligação,  $\mu_i = E(Y_i)$  é a esperança do  $i$ -ésimo valor da variável resposta  $Y_i$ ,  $x_i$  é o vetor de tamanho  $m$  que especifica as variáveis explicativas para o  $i$ -ésimo valor da variável resposta, e  $\beta$  é o vetor (de tamanho  $m$ ) dos parâmetros. Nos MLGs assume-se que  $Y$  segue uma distribuição de probabilidade pertencente à família exponencial (*e.g.* gama ou normal).

#### Variáveis explicativas e resposta

Com finalidade de investigar a distribuição espaço-temporal das fases de vida em distintas camadas da coluna d'água, considerando que os três aparelhos atuam em diferentes faixas de profundidade, foi construído um modelo separado para os dados de pesca de cada petrecho. A CPUE foi adotada como variável resposta em número de peixes por unidade de esforço, a qual depende do tipo de arte empregada na pesca. A CPUEs foram calculadas com os dados de captura e esforço agregados por: a) ano, b) trimestre (janeiro a março, abril a junho, julho a setembro, outubro a dezembro), c) bandeira, d) fase de vida (jovem, pré-adulto e adulto), e) localização (latitude e longitude), e f) tipo de cardume (livre e agregado em DAPs). A última variável citada foi considerada exclusivamente na análise das informações provenientes da pesca com rede de cerco,

pois não há informação do tipo de cardume para as demais pescarias. Todas as variáveis citadas acima foram consideradas como categóricas (fatores). As exceções foram as localizações no caso dos modelos ajustados para espinhel e cerco. Nestes casos, como os dados cobrem vasta área do Atlântico, e como foram observados, em análise exploratória prévia, indícios de relação não linear entre a variável resposta e as medidas de latitude e longitude, optou-se pelo uso dessas coordenadas na forma variáveis explicativas contínuas, incluindo quadrados dessas medidas e também interações entre elas, o que possibilita contemplar o efeito não linear. No caso da vara e isca viva a variável localização é tratada como fator (qualidade). As observações de vara e isca viva, originalmente em resolução  $1^\circ \times 1^\circ$ , foram agrupadas em quadrados de  $5^\circ \times 5^\circ$ , estes são os níveis do fator localização considerado nos modelos ajustados aos dados dessa modalidade de pesca.

Outra variável explicativa considerada foi a TSM, a qual originalmente foi extraída em resolução de  $1^\circ \times 1^\circ$ . Para compatibilidade quanto à resolução dos dados de pesca, foi calculada a média da TSM para blocos de  $5^\circ \times 5^\circ$ . A medida foi considerada, em todos os modelos, como covariável. Como na análise exploratória também foram observados indícios de que as taxas de captura têm relação não linear com a TSM, foram também consideradas como variáveis o quadrado dessa medida, e interações das duas escalas, original e forma quadrática, o que permite flexibilidade na modelagem do efeito não linear.

#### Construção e seleção dos modelos

Em todos os modelos foi utilizada a função de ligação identidade. O critério usado para selecionar a ordem de entrada das variáveis explicativas nos modelos foi o valor da deviance. Foram ajustados modelos com cada uma das variáveis explicativas separadamente. A variável que resultou no menor valor da deviance, foi então selecionada como a primeira. Posteriormente se ajustou o modelo com a primeira selecionada e cada uma das demais separadamente. Foi então selecionada a segunda variável com base no menor valor da deviance. O procedimento foi repetido até que todas as variáveis principais tivessem sido incluídas no modelo. As interações foram incluídas após a escolha da ordem inicial dos efeitos principais. Posteriormente, utilizou-se um procedimento “*backward*” para descartar as variáveis de menor importância e selecionar um modelo mais parsimonioso com base no critério de informação de Akaike (*Akaike Information Criterion - AIC*) (Akaike, 1974). Menores valores de AIC indicam modelos mais parcimoniosos.

Foram avaliadas três alternativas quanto às distribuições de probabilidade para a CPUE (variável resposta), gama, normal e lognormal. A comparação dos resultados de modelos ajustados com as distribuições gama e normal foi baseada nos valores de AIC. No caso da lognormal a variável resposta é transformada (logaritmo), e os resultados não podem ser diretamente comparados com as demais abordagens com base em critérios que dependem da verossimilhança,

como é o caso do AIC. Portanto, optou-se pela comparação da lognormal com as demais (gama e normal) com base no cálculo do pseudo  $R^2$  de Efron (1978).

#### Avaliações e diagnósticos dos modelos selecionados

Depois de selecionados os modelos, diagnósticos convencionais de resíduos, como gráficos de dispersões, comparações de quantis dos resíduos com quantis de normais padrão, alavancagem e distâncias de Cook foram calculados. Em adição foram construídas tabelas convencionais para a análise de deviances para avaliar o quanto da variabilidade da resposta (CPUE) pode ser explicada pelas variáveis selecionadas, e para investigar quais das variáveis explicativas tem contribuições mais importantes para a redução da deviance.

#### Predições calculadas com os modelos selecionados

Os modelos selecionados foram utilizados para predições das esperanças (médias) de CPUE das três fases de vida (juvenil, pré-adulto e adulto) em diferentes combinações de ano, trimestre, bandeira, e localização no Atlântico. A partir das predições é possível investigar os efeitos isolados de cada uma das variáveis explicativas selecionadas. Esse procedimento foi utilizado para avaliar particularmente a distribuição espaço-temporal da albacora laje no Atlântico nas diversas fases do ciclo de vida. Os impactos dos efeitos espaciais (áreas de pesca) e sazonais (trimestres) na CPUE dos três estágios de vida foram apresentados em mapas para facilitar comparações. Todas as análises foram feitas com auxílio do programa R 3.3.2 (R *Development Core Team* 2016).

## 2.3. RESULTADOS

#### Visão geral

Na Figura 1 está exposta a distribuição do número de registros decorrente da concatenação das bases de dados TASK-II e CAS. Nas amostras do espinhel, em toda a série temporal, a parcela de indivíduos adultos capturados foi superior a de pré-adultos e jovens (Figura 1 a). Em oposição, nas pescarias com cerco há um relativo equilíbrio da fração de exemplares jovens e adultos entre 1991 e 1998, porém depois desse período a número de jovens é sempre superior ao dos demais estágios de vida (Figura 1 c). Nas amostras de vara e isca viva também houve mudança da fase de vida predominante nas capturas durante os anos. De 1972 a 1981, em geral, prevalece os indivíduos jovens, todavia nos anos seguintes o número de peixes pré-adultos é claramente superior (Figura 2 f). No que se refere ao número de registros das bandeiras dos três aparelhos, não há amostras de todas as bandeiras em todos os anos. As exceções são as pescarias das bandeiras China Taipei - TAI nas amostras de espinhel (Figura 1 b) e França – EU.FRA e Espanha – EU.ESP na série temporal da

rede de cerco (Figura 1 d). Nas informações das pescarias de vara e isca viva, com poucas exceções, em cada ano os registros são compostos por amostras de apenas uma bandeira (Figura 1 f).

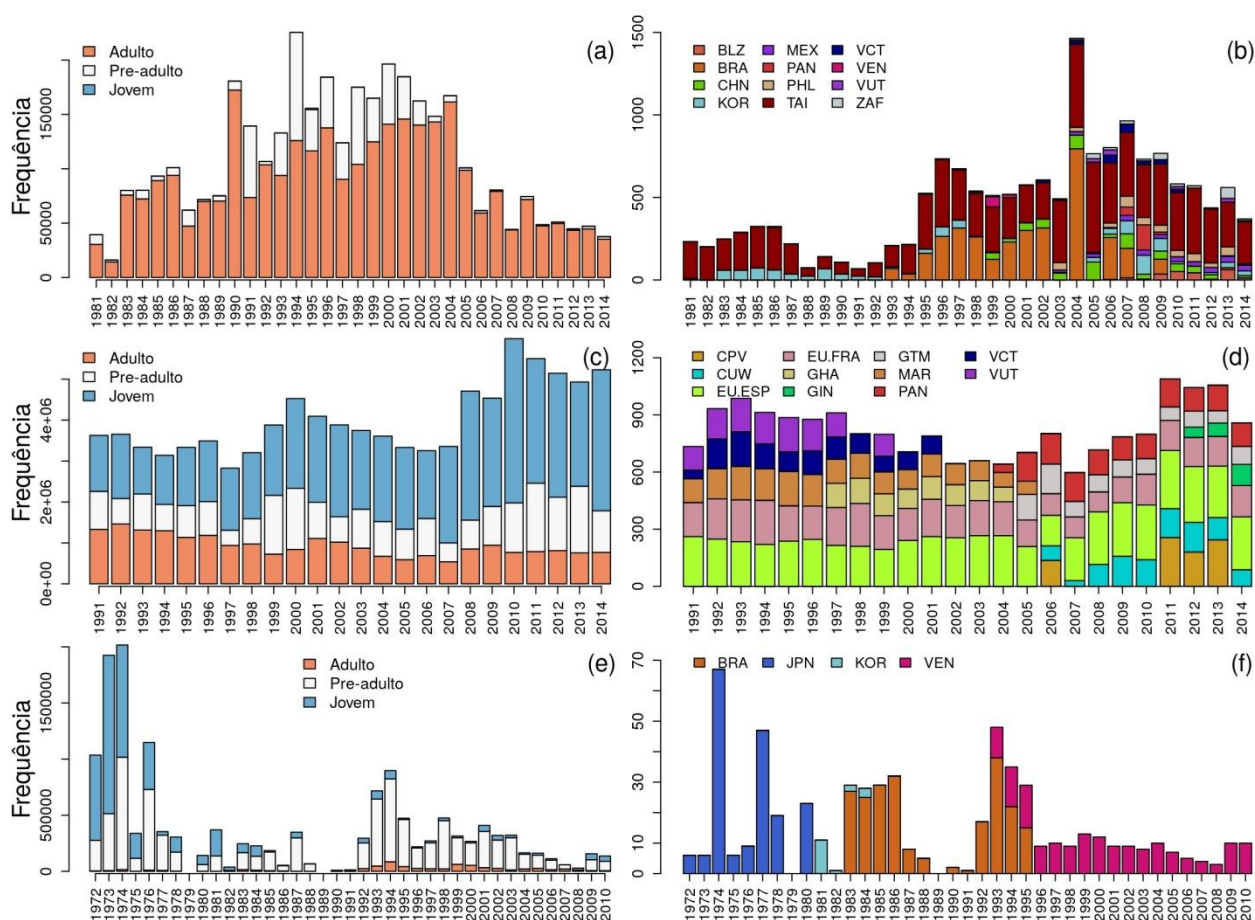


Figura 1. Distribuição do número de registros do banco de dados decorrente da concatenação das bases de dados de captura por tamanho (*catch-at-size* – CAS) e captura e esforço (Task-II) por fase de vida e ano e, bandeira e ano das amostras de espinhel (a - b), rede de cerco (c - d) e vara e isca viva (e - f).

O número e distribuição espacial das amostras concatenadas de espinhel, rede de cerco e vara e isca viva estão mostrados na Figura 2. As observações de espinhel estão amplamente distribuídas no Atlântico, dispostas de norte a sul, de 50° N a 40°S, da margem leste a oeste. No entanto, as amostras são mais numerosas na região equatorial entre 10° N e 10° S (Figura 2 a). A amplitude coberta pelas observações referentes ao cerco é mais restrita. Para essa modalidade os registros estão concentrados no leste do Atlântico, da costa africana até aproximadamente 30° W. Assim como para o espinhel, também para o cerco os registros de amostras são mais numerosos entre 10° S e 10° N (Figura 2 b). As amostras de vara e isca viva são bem menos numerosas que as das outras modalidades e estão localizadas em regiões costeiras no Golfo da Guiné, no Mar do Caribe, e no litoral sudeste e sul do Brasil (Figura 2 c).



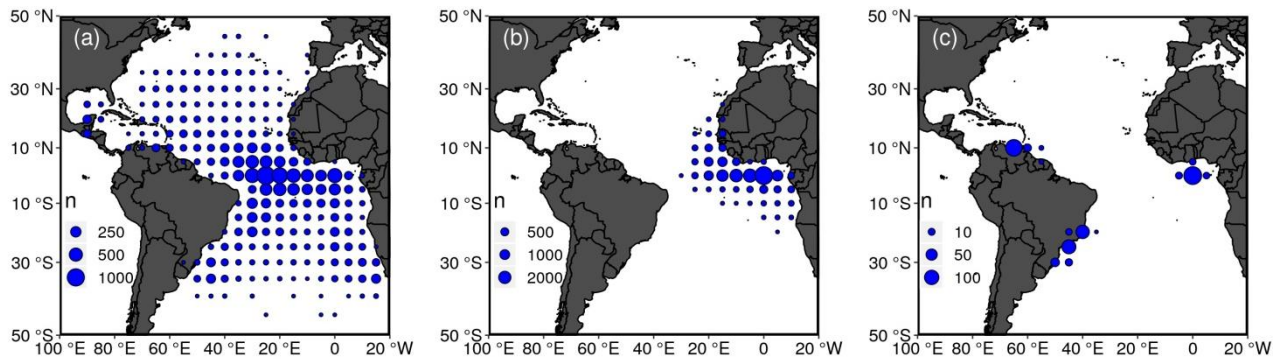


Figura 2. Mapa com a localização das amostras das pescarias de albacora laje (*T. albacares*) no Atlântico, realizadas com espinhel (a), rede de cerco (b) e vara e isca viva (c). Os tamanhos dos círculos representam o número de amostras. As informações são procedentes da concatenação dos bancos de dados de captura por tamanho (“*catch-at-size*” - CAS) e captura e esforço (TASK-II).

### Fases de vida exploradas nas diferentes modalidades de pesca

A Figura 3 apresenta a frequência relativa das classes de tamanhos capturadas com cerco (em cardumes livres e associados DAPs), espinhel, vara e isca viva. De forma geral, há diferenças importantes na composição de tamanhos na produção dos petrechos mencionados. Nas amostras de espinhel as capturas são caracterizadas pelo maior proporção de adultos. Para essa modalidade de pesca, percebe-se que as capturas são compostas, em geral, por exemplares com comprimento entre 100 cm e 130 cm. Nas amostras de vara e isca viva indivíduos jovens tem participação relevante nas capturas, pois os peixes com tamanhos entre 40 cm e 50 cm são relativamente mais frequentes. A composição da produção do cerco é mais complexa e apresenta particularidades. Quando observado as pescarias associadas à DAPs há clara predominância de exemplares jovens, entre 40 cm e 45 cm. Por outro lado, a composição das capturas realizadas em cardumes livres é caracterizada por peixes em diferentes fases de vida, uma vez que a presença de peixes com 45 cm (jovem), 55 cm (pré-adulto) e 150 cm (adulto) tem praticamente a mesma frequência relativa nesse cenário.

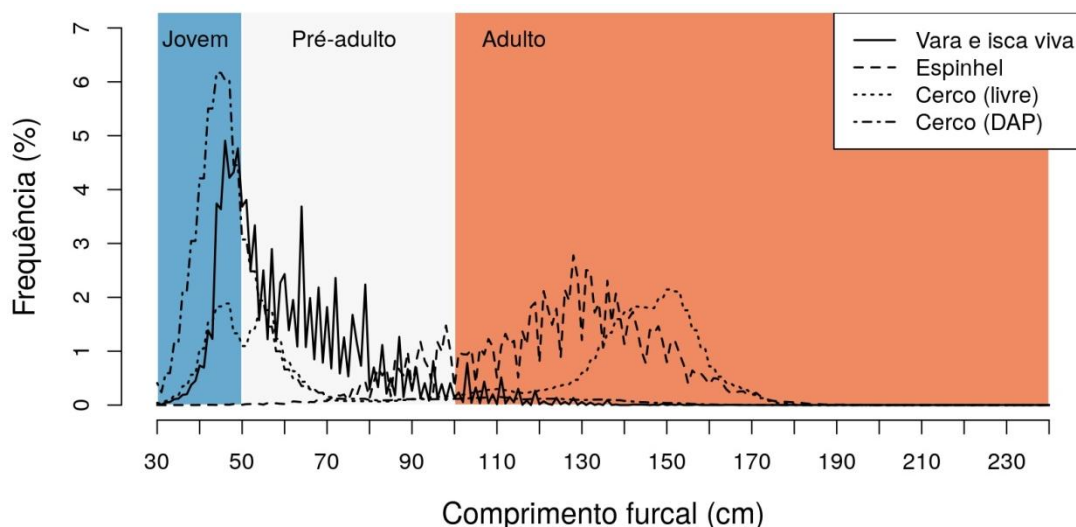


Figura 3. Frequência relativa das classes de comprimento da albacora laje (*T. albacares*) capturada por espinhel, vara e isca viva e cerco. Nessa última modalidade as informações foram separadas por pescarias realizadas em associação com dispositivos agregadores de peixes (DAP) e cardumes livres. As áreas em azul, branco e vermelho representam o intervalo de tamanhos para jovens, pré-adultos e adultos, respectivamente.

#### Ajuste, seleção e diagnóstico dos modelos

Na Tabela 1 estão o valor de AIC e  $R^2$  calculados para os modelos ajustados às CPUE da albacora laje das amostras de espinhel (indivíduo.mil anzóis<sup>-1</sup>), rede de cerco (indivíduo.hora de pesca<sup>-1</sup>) e vara e isca viva (indivíduo.dia de pesca<sup>-1</sup>). Nos modelos concorrentes ajustados às estimativas de CPUE de espinhel, em escala original, o menor valor de AIC é daquele com distribuição gama e função de ligação logaritmo e, portanto, mais parcimonioso. No entanto,  $R^2$  (0,356) do modelo em que foi considerada a variável resposta em escala logarítmica e distribuição normal (log-normal) foi o maior dentre todos dos concorrentes do espinhel. Portanto, foi adotado para as demais análises sobre a taxa de captura da albacora laje para essa modalidade de pesca.

Nos modelos ajustados com os dados da taxa de captura do cerco em escala original, o mais parcimonioso (menor valor do AIC) foi aquele com distribuição normal e função de ligação logaritmo. No entanto, o modelo log-normal apresentou melhor desempenho, pois o  $R^2$  (0,541) foi o maior entre os modelos concorrentes. Dessa forma, o adotamos para sequência dos estudos sobre cerco.

Para a vara e isca viva, apenas os modelos de distribuição normal com função de ligação identidade e o log-normal convergiram. Conseqüentemente, não é possível compará-los pelo AIC. O modelo log-normal foi o de melhor desempenho entre os concorrentes como indicado pelo  $R^2$  igual a 0,588. Portanto, este foi o escolhido para investigar a variação da CPUE da albacora laje capturado por vara e isca viva no Atlântico.

Tabela 1. Critério de informação de Akaike (*Akaike Information Criteria*) e pseudo  $R^2$  de Efron calculados para os modelos lineares generalizados ajustados às taxas de captura da albacora laje (*T. albacares*) do espinhel, rede de cerco, e vara e isca viva. A ausência de valores de AIC e  $R^2$  indica que o modelo não convergiu.

Aparelho	Variável resposta	AIC	$R^2$	Distribuição	Função de ligação
Espinhel	CPUE	38158,895	0,325	Normal	Identidade
	CPUE	38129,500	0,326	Normal	Logaritmo
	CPUE	15245,817	0,174	Gama	Logaritmo
	log(CPUE)	33374,209	0,356	Normal	Identidade
Cerco	CPUE	234986,587	0,369	Normal	Identidade
	CPUE	233575,674	0,408	Normal	Logaritmo
	CPUE	-	-	Gama	Logaritmo
	Log(CPUE)	75656,109	0,541	Normal	Identidade
Vara e isca viva	CPUE	5769,561	0,356	Normal	Identidade
	CPUE	-	-	Normal	Logaritmo
	CPUE	-	-	Gama	Logaritmo
	log(CPUE)	1670,552	0,588	Normal	Identidade

Análise de deviance do modelo lognormal selecionado para o espinhel está na Tabela 2. Todas as variáveis explicativas propiciam redução significativa da deviance. O efeito fase de vida foi a mais importante para explicar a variação da CPUE. Grande parte da deviance do modelo nulo foi eliminada pela inclusão dessa variável (19,40%). O efeito bandeira também foi relevante para variação a CPUE. A adição desta variável reduziu em 5,53% a deviance do modelo nulo. A inclusão do fator ano também resultaram em reduções consideráveis da deviance, 6,32%. Os demais efeitos principais e interações foram menos relevantes para explicar a variação da CPUE.

Tabela 2. Análise de deviance do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura da albacora laje de espinhel, com distribuição lognormal. gl – graus de liberdade, Dev. Resid. – deviance residual, Prop.Dev. – redução proporcional da deviance total (modelo nulo) com a inclusão da variável.

Efeito	gl	Deviance	Dev.Resid.	F	P	Prop.Dev (%)
Nulo	-	-	32043,8	-	-	-
Bandeira	11	1770,87	30272,93	70,39	$2,84 \times 10^{-152}$	5,53
Ano	33	2026,13	28246,80	26,85	$1,54 \times 10^{-156}$	6,32
Fase	2	6217,52	22029,28	1359,34	0,00	19,40
TSM	1	412,93	21616,35	180,56	$9,02 \times 10^{-41}$	1,29
TSM <sup>2</sup>	1	124,23	21492,12	54,32	$1,85 \times 10^{-13}$	0,39
Longitude	1	339,07	21153,06	148,26	$7,66 \times 10^{-34}$	1,06
Longitude <sup>2</sup>	1	30,17	21122,89	13,19	$2,83 \times 10^{-04}$	0,09
Trimestre	3	85,15	21037,74	12,41	$4,26 \times 10^{-08}$	0,27
Latitude	1	51,26	20986,48	22,41	$2,23 \times 10^{-06}$	0,16
Latitude <sup>2</sup>	1	212,49	20774,00	92,91	$6,97 \times 10^{-22}$	0,66
TSM: TSM <sup>2</sup>	1	88,59	20685,41	38,74	$5,06 \times 10^{-10}$	0,28
Longitude: Longitude <sup>2</sup>	1	9,90	20675,50	4,33	$3,75 \times 10^{-02}$	0,03
Fase: Trimestre	6	37,97	20637,53	2,77	$1,09 \times 10^{-02}$	0,12

Todas as variáveis incluídas no modelo ajustado à CPUE do cerco com distribuição lognormal, resultaram em reduções significativas da deviance com exceção da longitude e quadrado

da TSM, porém foram mantidas pois a interação dessas variáveis com o quadrado da longitude e a TSM em escala original, respectivamente, foram significativas (Tabela 3). Ao incluir os efeitos fase de vida e cardume houve redução da deviance do modelo nulo em 8,05% e 12,90%, respectivamente. Estas foram as variáveis explicativas principais mais importantes para explicar a variação da CPUE da albacora laje nas amostras de cerco. Cabe mencionar também que a interação as duas variáveis citadas acima foi ainda mais relevante que os efeitos isolados, com uma redução da deviance de 22,31%. Os demais efeitos principais e interações, apesar de significativos, contribuíram com reduções da deviance do modelo nulo em menos de 3%.

Tabela 3. Análise de deviance do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura da albacora laje de rede de cerco, com distribuição lognormal. gl – graus de liberdade, Dev.Resid – deviance residual, Prop.Dev – proporção da redução da deviance total (modelo nulo) com a inclusão da variável.

Variável	gl	Deviance	Dev.Resid.	F	P	Prop.Dev (%)
Nulo	-	-	85884,99	-	-	-
Fase	2	6911,62	78973,37	1923,28	0,00	8,05
Cardume	1	11078,28	67895,08	6165,46	0,00	12,90
Ano	23	1622,95	66272,13	39,27	$2,63 \times 10^{-172}$	1,89
Bandeira	10	711,31	65560,82	39,59	$3,87 \times 10^{-78}$	0,83
Latitude	1	1028,16	64532,66	572,21	$7,34 \times 10^{-125}$	1,20
Latitude <sup>2</sup>	1	354,07	64178,59	197,05	$1,43 \times 10^{-44}$	0,41
Trimestre	3	992,61	63185,98	184,14	$6,24 \times 10^{-118}$	1,16
Longitude	1	2,83	63183,15	1,57	$2,10 \times 10^{-01}$	0
Longitude <sup>2</sup>	1	1085,88	62097,26	604,33	$1,15 \times 10^{-131}$	1,26
TSM	1	12,77	62084,50	7,11	$7,69 \times 10^{-03}$	0,01
TSM <sup>2</sup>	1	0,02	62084,47	0,01	$9,09 \times 10^{-01}$	0
Latitude: Latitude <sup>2</sup>	1	97,910	61986,56	54,49	$1,62 \times 10^{-13}$	0,11
Longitude: Longitude <sup>2</sup>	1	109,10	61877,47	60,72	$6,88 \times 10^{-15}$	0,13
TSM: TSM <sup>2</sup>	1	8,25	61869,21	4,59	$3,21 \times 10^{-02}$	0,01
Fase: Cardume	2	19159,73	42709,48	5331,54	0,00	22,31
Cardume: Trimestre	3	539,32	42170,17	100,05	$2,53 \times 10^{-64}$	0,63
Fase: Trimestre	6	766,02	41404,14	71,05	$4,54 \times 10^{-88}$	0,89
Fase: ano	46	1947,58	39456,57	23,56	$8,38 \times 10^{-192}$	2,27

Os efeitos principais ano, fase de vida e localização foram significativos no modelo ajustados à CPUE da vara e isca viva com distribuição lognormal (Tabela 5). O mesmo não ocorreu com a variável trimestre que reflete ciclicidade sazonal e a variável ambiental TSM. Porém, as interações entre as medidas da TSM nas escalas original e quadrática, assim como, entre trimestre e fase de vida foram significativas. Mais da metade da deviance do modelo nulo foi reduzida pela inclusão das variáveis ano (29,96%) e fase de vida (21,14%), somadas. Portanto, estas são as mais importantes para explicar a variação da CPUE da albacora laje da vara e isca viva. A localização das amostras foi relevante, todavia em menor proporção.

Tabela 4. Análise de deviance do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura da albacora laje de vara e isca viva, com distribuição lognormal. gl – graus de liberdade, Dev.Resid – deviance residual, Prop.Dev – proporção da redução da deviance total (modelo nulo) com a inclusão da variável

Efeitos	gl	Deviance	Dev.Resid	F	P	Prop.Dev (%)
Nulo	-	-	2403,19	-	-	-
Localização	13	263,57	2139,62	9,00	$3,73 \times 10^{-16}$	10,97
Ano	36	719,92	1419,7	8,88	$3,24 \times 10^{-32}$	29,96
Fase	2	508,00	911,69	112,74	$4,17 \times 10^{-39}$	21,14
Trimestre	3	11,44	900,25	1,69	$1,68 \times 10^{-01}$	0,48
TSM	1	0,66	899,59	0,29	$5,89 \times 10^{-01}$	0,03
TSM <sup>2</sup>	1	3,26	896,33	1,45	$2,30 \times 10^{-01}$	0,14
Fase:Trimestre	6	30,37	865,96	2,25	$3,83 \times 10^{-02}$	1,26
TSM:TSM <sup>2</sup>	1	16,60	849,36	7,37	$6,95 \times 10^{-03}$	0,69

Os gráficos de diagnóstico dos resíduos do modelo lognormal do espinhel estão na Figura 4. Não há evidência de forte viés no modelo, tendo em conta que a esperança dos resíduos (observado - predito) não se desvia muito de zero, ainda que seja no geral levemente negativa entre os valores preditos de -6 e -2 (Figura 4 a). Os resíduos têm no geral distribuição aproximadamente normal, ainda que haja algumas pequenas violações nas caudas da distribuição (Figura 4 b). Repare que não houve observações com grande poder de alavancagem, ou valores altos ( $\geq 1$ ) de distância de Cook (Figura 4 c). Em virtude do exposto, o ajuste do modelo foi considerado satisfatório.

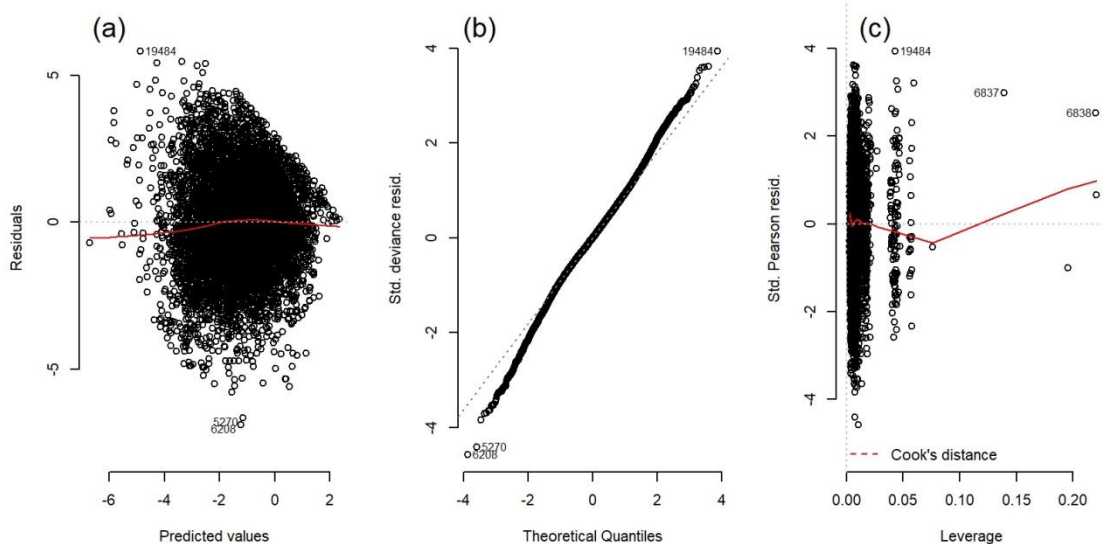


Figura 4. Diagnósticos dos resíduos do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura de espinhel com distribuição lognormal. A linha pontilhada vermelha no painel (c) delimitaria valores de distância de Cook maiores que um, caso estivessem presentes.

A figura 5 apresenta o diagnóstico da modelo ajustado à CPUE do cerco com distribuição lognormal. Como indicado na dispersão de valores preditos e residuais, o viés não é severo (Figura 5 a). De forma geral os resíduos estão próximos a uma distribuição normal, mas novamente há violações particularmente em uma das caudas (Figura 5 b). Não houveram observações com grande poder de alavancagem ou com distância de Cook superior a um (Figura 5 c). De acordo com o diagnóstico, considerou-se o modelo útil para os propósitos do trabalho, com a ressalva de que a normalidade dos resíduos não foi alcançada.

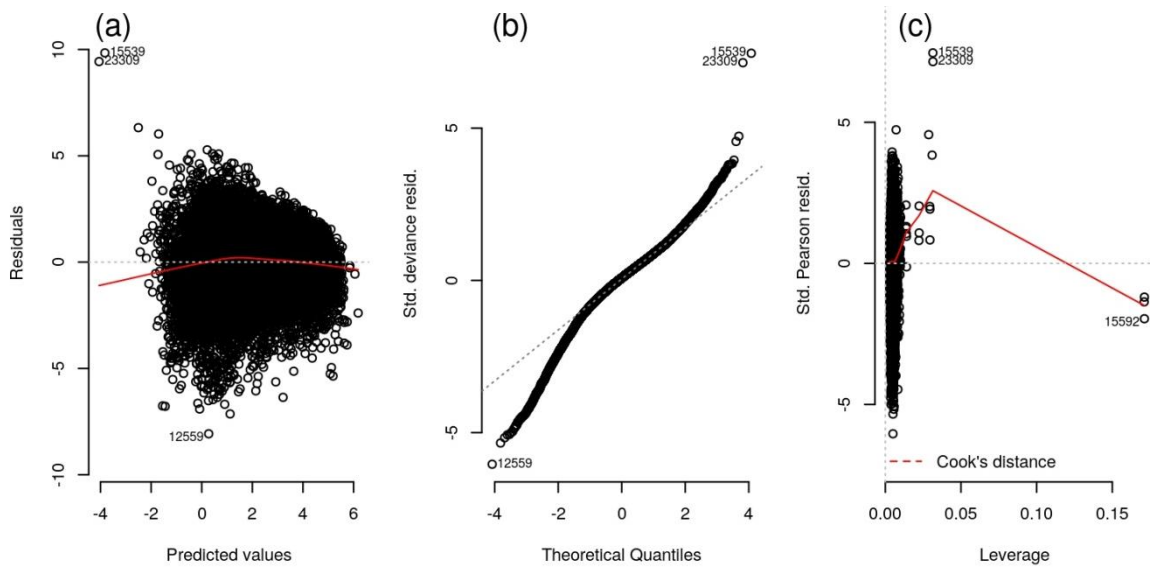


Figura 5 Diagnóstico dos resíduos do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura de rede de cerco com distribuição lognormal. A linha pontilhada vermelha no painel (c) delimitaria valores de distância de Cook maiores que um, caso estivessem presentes.

O diagnóstico do ajuste do modelo à CPUE de vara e isca viva com distribuição lognormal consta na Figura 6. Repare que há uma tendência crescente e decrescente até e a partir de valores preditos de aproximadamente a (Figura 6 a), o que indica algum viés. Os resíduos, de formal geral, seguem distribuição aproximadamente normal (Figura 6 b). Note que, assim como os outros diagnósticos apresentados não há observação com alto poder de alavancagem ou distância de Cook maior que um. De forma geral, o ajuste do modelo lognormal da vara e isca viva é razoável para o propósito desse trabalho.

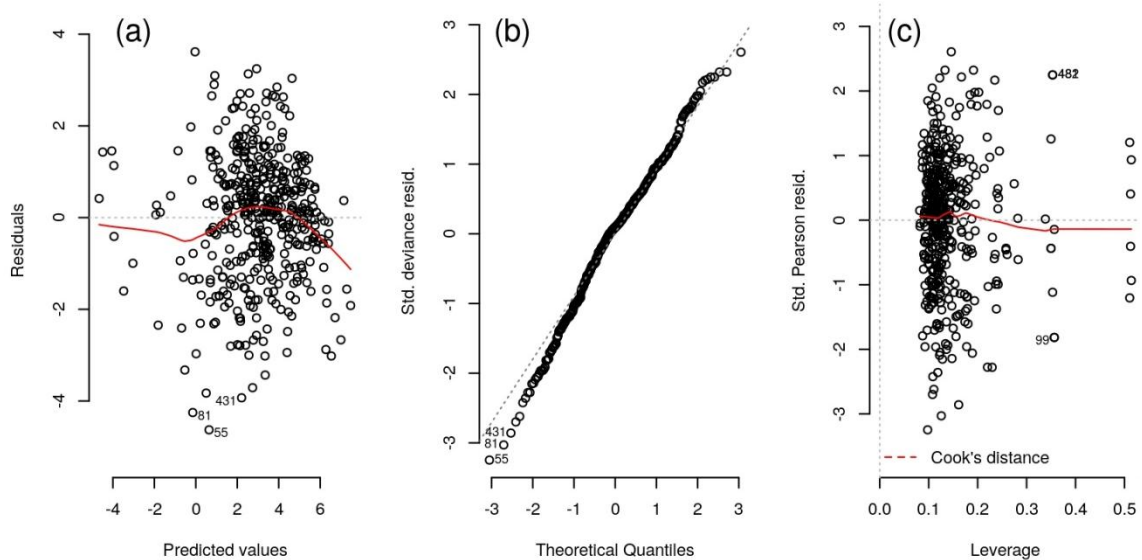


Figura 6. Diagnóstico dos resíduos do modelo linear generalizado ajustado às taxas de captura de vara e isca viva com distribuição lognormal. A linha pontilhada vermelha no painel (c) delimitaria valores de distância de Cook maiores que um.

## Distribuição espaço-temporal e temperatura da superfície do mar

As previsões obtidas com os modelos selecionados foram utilizadas para avaliar os resultados com respeito às distribuições espaço-temporais. Quando considerado o mesmo aparelho, não há segregação espacial entre as três fases de vida. No entanto, houve diferença importante na distribuição espacial das operações de pesca e dos valores de CPUE em função dos petrechos (Figura 7). A escala dos valores mostrados na figura é razão entre os valores individuais e a máxima CPUE para cada arte de pesca. A motivação para isso é que as escalas das CPUEs são muito diferentes e a comparação direta dos valores absolutos entre as artes de pesca é visualmente pouco informativa. Optou-se portanto por uma escala relativa. De forma geral, as estimativas da taxa de captura da albacora laje para o espinhel foram maiores na região equatorial, especialmente entre 0° e 20° N no oeste, nas imediações do Mar do Caribe e na margem continental norte/nordeste da América do Sul (Figura 7 a). Já no caso do cerco, a CPUE é mais expressiva na margem continental leste da África, especialmente entre 0° e 20°S (Figura 7 b). No hemisfério norte em latitudes mais boreais (~20°N) as CPUEs de cerco na margem leste do Atlântico são as mais baixas da toda área amostrada pelo aparelho. De forma geral, a taxa de captura na pesca de vara e isca viva é mais significativa na grande reentrância na costa ocidental africana próxima á linha do equador, denominada de Golfo da Guiné (Figura 7 c). Destaca-se nesta região as CPUEs particularmente mais elevadas próximo da linha do equador em região mais afastada da margem oeste do continente africano. Na margem oeste do Atlântico há também informações sobre a pesca de vara e isca especialmente nas regiões mais próximas da Venezuela e das Guianas, sobre e nas margens da plataforma continental no sudeste e sul do Brasil. No entanto, as CPUEs no oeste do Atlântico são claramente inferiores às encontradas no leste (Figura 7 c). Houve sobreposição espacial entre as observações dos três petrechos. As áreas amostradas nas pescarias de cerco e vara e isca viva foram, em sua plenitude, também amostradas nas pescarias de espinhel, todavia há grande contraste. As taxas de captura são maiores no oeste e menores no leste para o espinhel, enquanto que nas demais artes de pesca se verifica o contrário, CPUEs maiores no leste. Além disso, as mais altas taxas de captura do espinhel estão na região de maiores médias da TSM, aproximadamente 28°C. As maiores CPUEs do cerco e vara e isca viva, de forma geral, também estão em áreas onde a média da TSM está acima de 24°C.

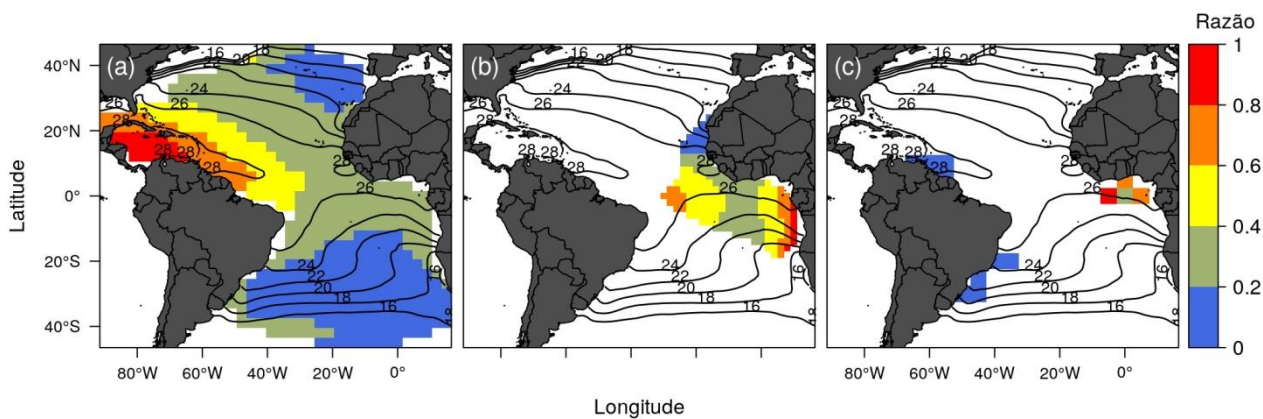


Figura 7. Distribuição espacial da taxa de captura da albacora laje capturada por espinhel (a), rede de cerco (b) e vara e isca viva (c) escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo. As linhas de contorno representam a média da temperatura da superfície do mar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### Sazonalidade

As distribuições espaciais por trimestre da CPUE de jovens capturados com espinhel, rede de cerco e vara e isca viva são mostradas na Figura 8. O período de maior estimativa da CPUE de juvenis para o espinhel foi de outubro a dezembro (Figuras 8 a, b, c, d), novamente na região do Mar do Caribe. No entanto, entre abril e junho também há taxas de captura relativamente altas na região citada. As estimativas da taxa de captura de jovens do cerco foram também maiores na última metade do ano, porém na margem leste do Atlântico (Figuras 8 e, f, g, h). Assim como para as outras fases de vida capturadas pelo cerco, durante todo o ano as maiores CPUEs estão ao longo da costa sul da África. As mais altas taxas de captura de jovens nas pescarias de vara e isca viva ocorreram de outubro a março, cobrindo o primeiro e o último trimestre do ano. Observe que em todos os trimestres a CPUE na região do Golfo da Guiné são mais relevantes (Figuras 8 i, j, k, l).



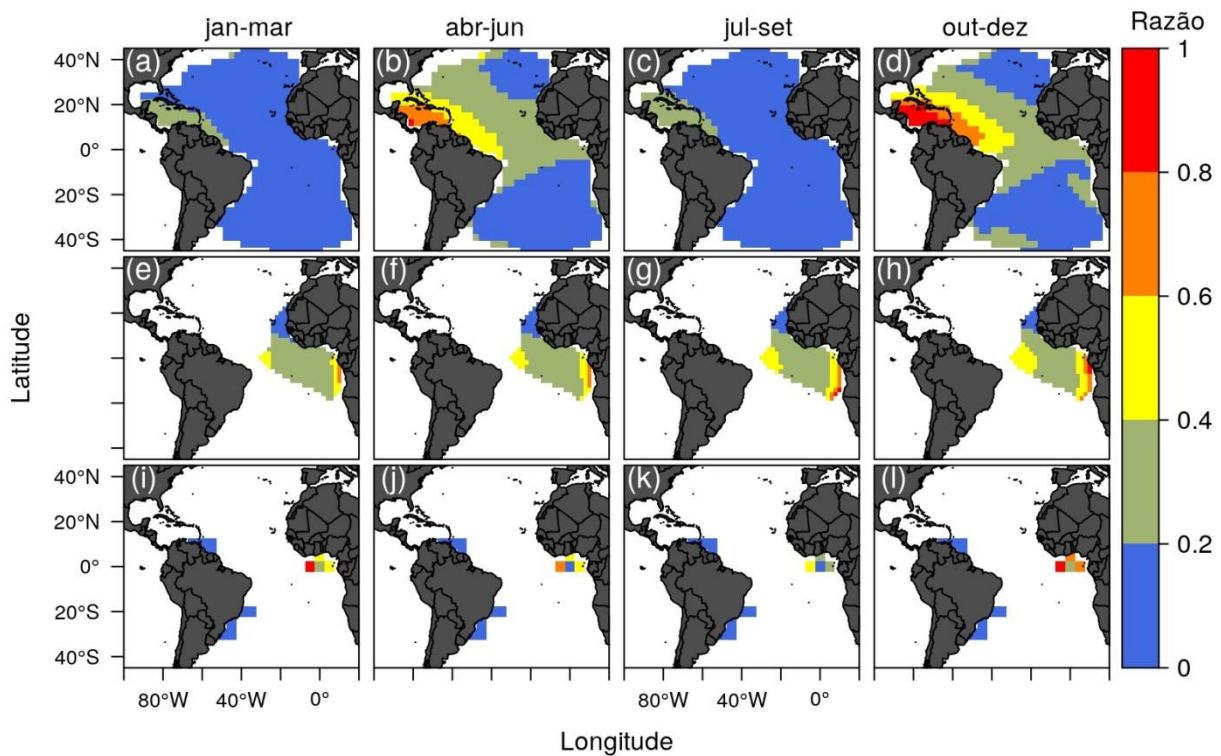


Figura 8. Distribuição espacial da taxa de captura de jovens escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo no ano para cada arte de pesca: espinhel (a, b, c, d), rede de cerco (e, f, g, h) e vara e isca viva (i, j, k, l).

A distribuição espacial da CPUE de pré-adultos nas pescarias de espinhel, cerco e vara e isca viva por trimestre, revela novamente variações sazonais importantes (Figura 9). O segundo semestre, especialmente entre julho e setembro no oeste do Atlântico, no Mar do Caribe, foi o período de maiores estimativas da CPUE de pré-adultos no espinhel. Em oposição, no primeiro semestre, há um relativo enfraquecimento da diferença entre os valores observados nas regiões leste e oeste do Atlântico (Figuras 9 a, b, c, d). Altas taxas de captura de pré-adultos no cerco ocorreram nas imediações da metade do ano, especialmente entre abril e setembro. Em todos os trimestre é sempre mais ao sul da África que ocorrem as mais altas taxas de captura (Figuras 9 e, f, g, h). O período de maiores estimativas da CPUE de pré-adultos nas pescarias de vara e isca viva foi de outubro a dezembro. Durante o ano inteiro as taxas de captura mais altas estão no Golfo da Guiné (Figuras 9 i, j, k, l).

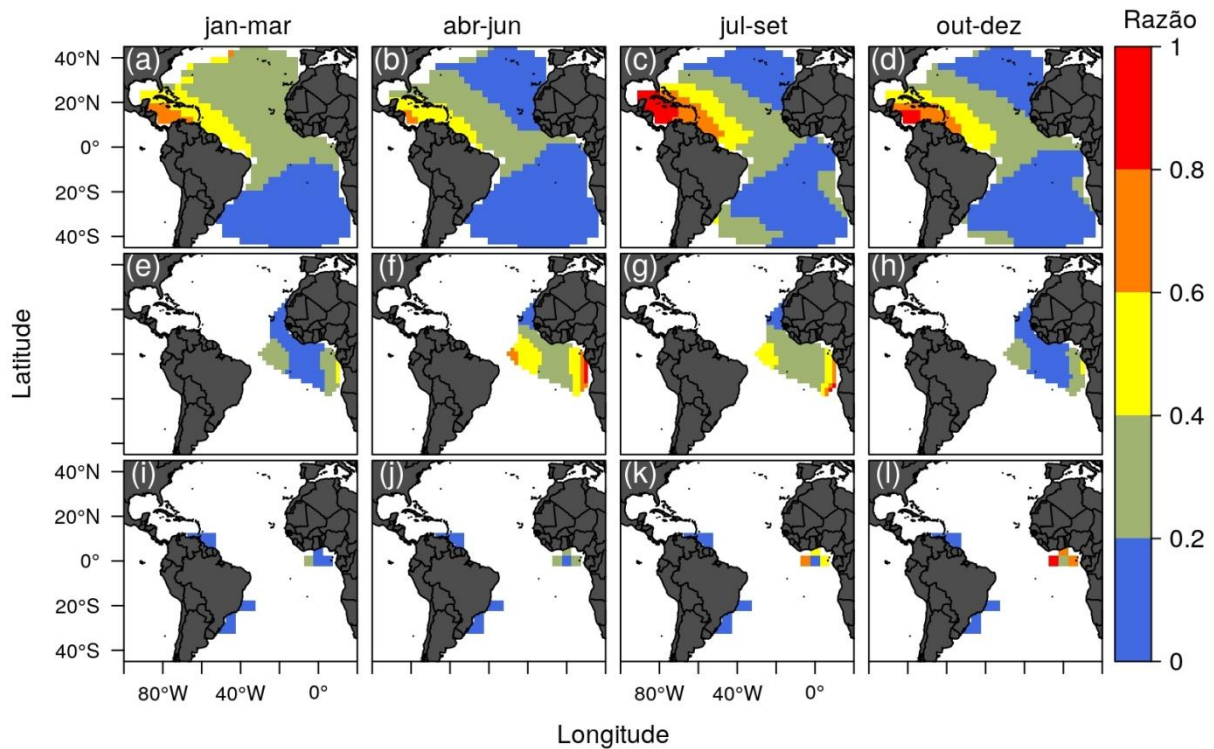


Figura 9. Distribuição espacial da taxa de captura de pré-adultos escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo no ano para cada arte de pesca: espinhel (a, b, c, d), rede de cerco (e, f, g, h) e vara e isca viva (i, j, k, l).

A distribuição espacial da CPUE de adultos capturados por trimestres nas pescarias com espinhel, cerco e vara e isca viva, indica a ocorrência de variações sazonais importantes (Figura 10). O segundo semestre é o período de maiores estimativas da CPUE de adultos do espinhel. Durante julho e dezembro a clara diferença da CPUE de adultos entre as partes leste e oeste do Atlântico, é claramente mais marcada, enquanto no período oposto, é possível perceber atenuação da diferença entre as regiões (Figuras 10 a, b, c, d). Entre abril a setembro, a taxa de captura de adultos do cerco foi superior quando comparada aos outros períodos. No entanto, quanto à distribuição espacial há certa constância no sentido de que a CPUE é maior ao longo da costa sul da África durante todo o ano (Figuras 10 e, f, g, h). O período de maiores estimativas da CPUE de adultos da vara e isca viva foi de julho a dezembro no Golfo da Guiné. No oeste do Atlântico as CPUEs foram relativamente baixas durante o ano inteiro (Figuras 10 i, j, k, l).

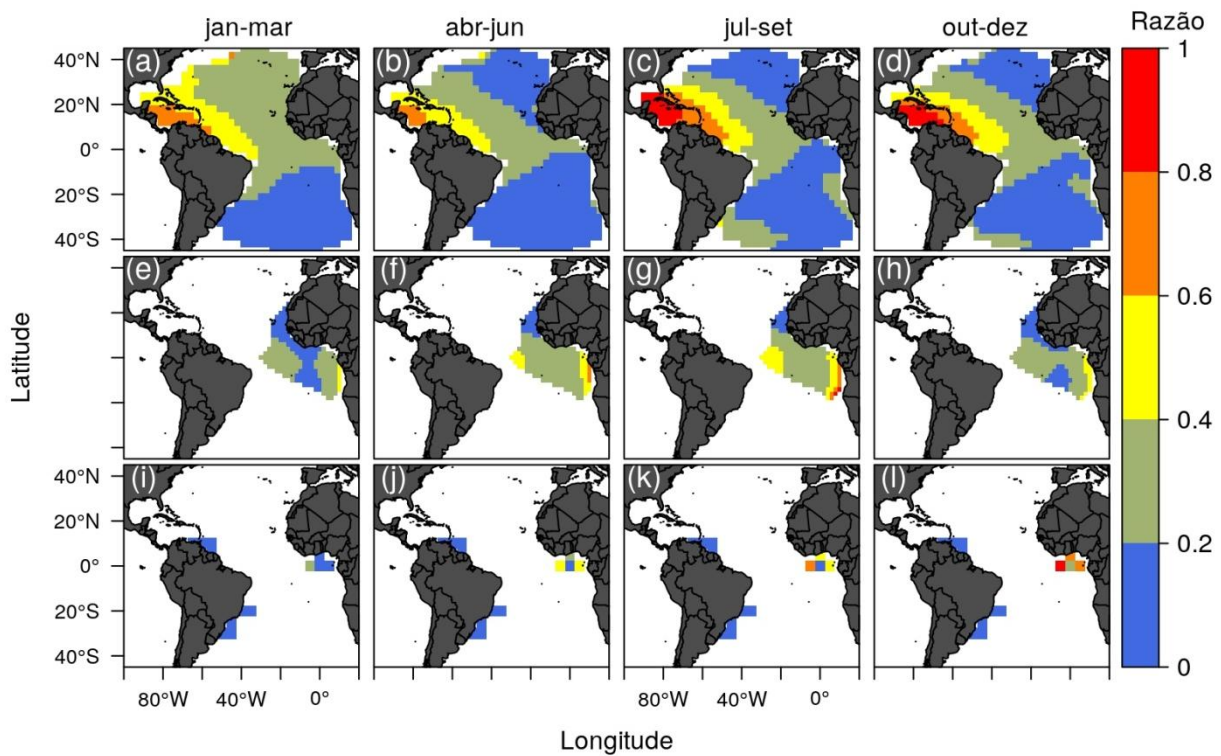


Figura 10. Distribuição espacial da taxa de captura de adultos escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo no ano para cada arte de pesca: espinhel (a, b, c, d), rede de cerco (e, f, g, h) e vara e isca viva (i, j, k, l).

#### Variação anual

Em virtude das séries temporais das amostras dos três aparelhos serem compostas por períodos distintos e, portanto, impossível de comparar, decidimos apresentar por aparelho. Na Figura 11 são apresentadas as taxas de captura nominal e predita de jovens, pré-adultos e adultos capturados por espinhel durante a série temporal. As CPUEs de jovens não apresentam qualquer tendência durante os anos. Entretanto, em alguns merecem destaque (1981, 1995 e 2002) pois as CPUEs nominais foram as mais altas de toda série (Figura 11 a). As CPUEs preditas de pré-adultos e adultos apresentaram, em geral, comportamento semelhante a CPUE nominal (Figura 11 b, c). Entretanto, observa-se que a taxa de captura de adultos predita apresenta uma tendência de diminuição a partir de 2004 enquanto a CPUE nominal permanece relativamente estável (Figura 11 c).

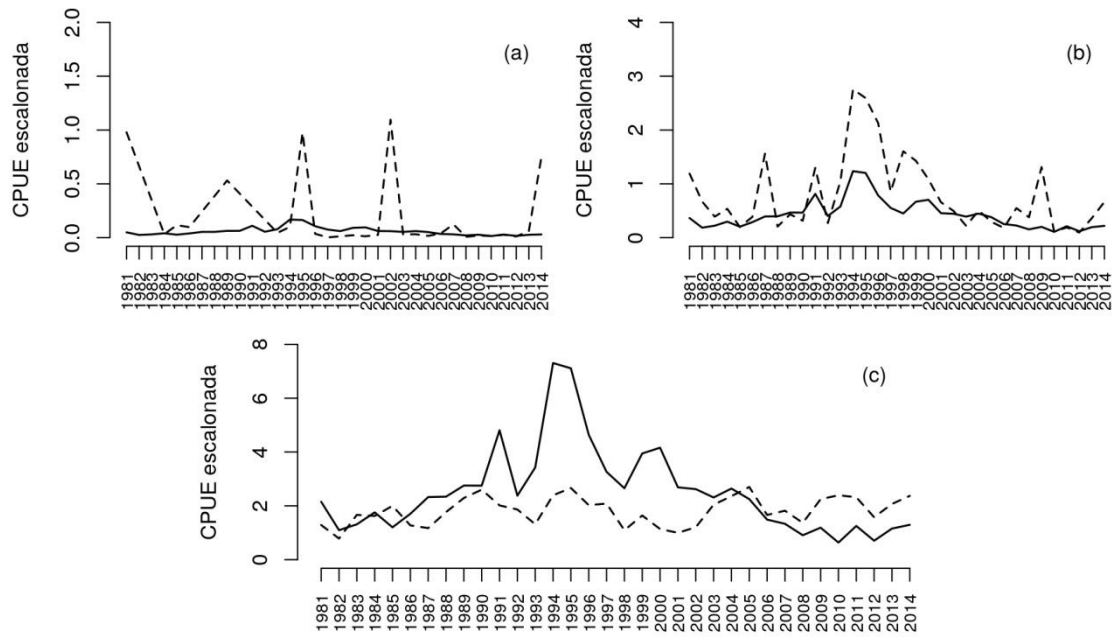


Figura 11. Taxa de captura predita (linha contínua) e nominal (linha tracejada) de jovens (a) pré-adultos (b) e adultos (c), capturados por espinhel, escalonada pela média da série.

As taxas de captura predita e nominal do cerco apresentaram comportamentos semelhantes com exceção dos jovens (Figura 12). Nesse cenário há uma tendência de incremento das duas medidas da CPUE até 1999. A partir desse ano a CPUE nominal permanece relativamente estável até o fim da série temporal, enquanto a predita permanece com tendência de aumentando até 2007, ano do valor mais alto (Figura 12 a). No caso dos pré-adultos, destaca-se o ano de 2000, quando tanto a CPUE predita quanto a nominal foram as mais altas da série. Nos anos seguintes as duas medidas exibem tendência relativamente estável (Figura 12 b). Para os adultos, entre 2008 e 2014, observa-se uma leve tendência de diminuição (Figura 12 c).

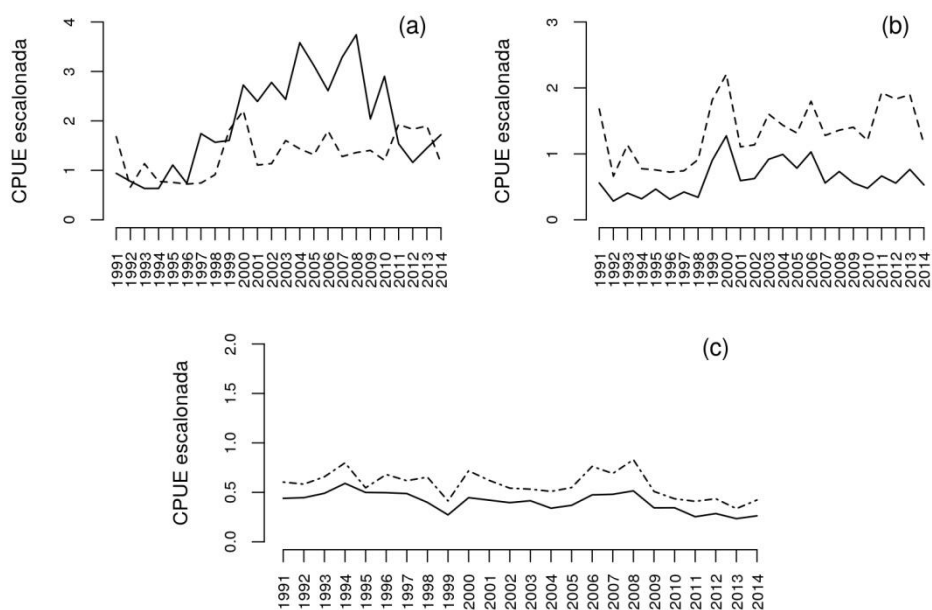


Figura 12. Taxa de captura predita (linha contínua) e nominal (linha tracejada) de jovens (a), pré-adultos (c) e adultos (d), capturados por rede de cerco, escalonada pela média da série.

Em geral, a CPUE predita e nominal da vara e isca viva apresentaram tendências em sentidos distintos, para as três fases de vida, nos primeiros anos da série, entre 1972 e 1988 (Figura 13). No cenário dos jovens não há indício de qualquer tendência de incremento ou diminuição (Figura 13 a). Por outro lado, quando observado os pré-adultos há declínio das CPUEs predita entre 1990 e 1999, depois aumento até 2004, quando há novo declínio até 2008 (Figura 13 b). Fenômeno semelhante percebe-se para os adultos, pois de 1990 e 1999 há tendência de diminuição da CPUE predita, seguindo de aumento até 2004 (Figura 13 c). Tanto para pré-adultos quanto para adultos a partir de 1999 as duas medidas da CPUE apresentam comportamentos semelhantes.

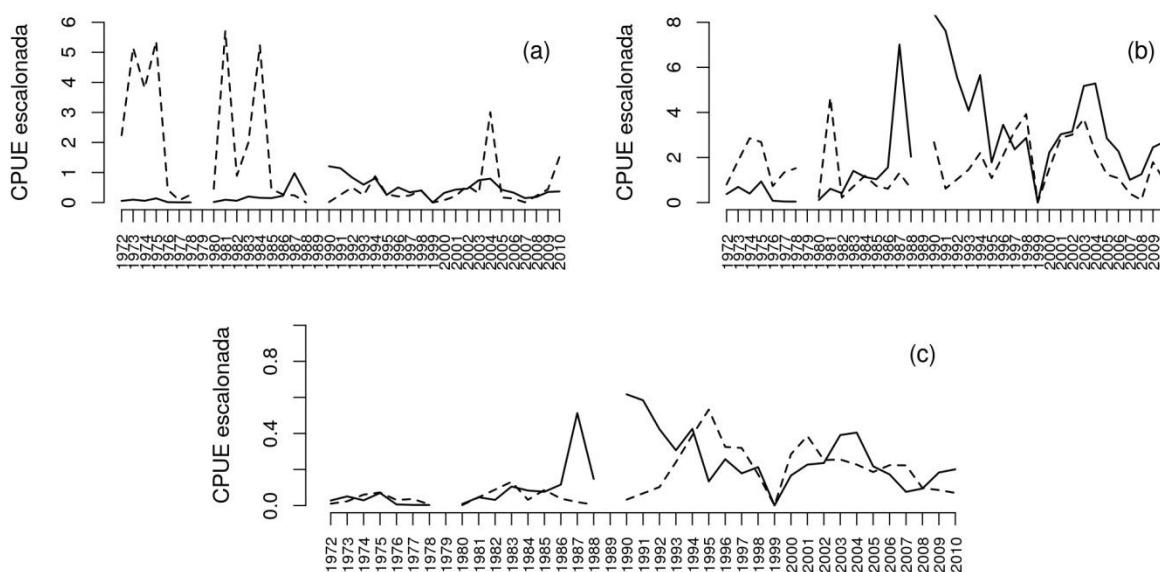


Figura 13. Taxa de captura predita e nominal de jovens (a), pré-adultos (b) e adultos (c), capturados por vara e isca viva, escalonada pela média.

#### Bandeiras

O fator “bandeira” foi significativo para explicar a variação da taxa de captura da albacora laje do Atlântico em todos os modelos, exceto o da vara e isca viva. Portanto, nessa seção não serão apresentados resultados do modelo citado. Além disso, é relevante informar que os cenários das médias das taxas de captura em função das bandeiras para cada fase de vida são similares, pois as bandeiras que configuram entre as de maiores CPUEs de jovens também compõem o quadro de máximas estimativas de pré-adultos e adultos, tanto para as pescarias com espinhel quanto para aquelas com cerco. Portanto, optou-se por exibir as informações de forma agregada. Nas pescarias com espinhel, as bandeiras em que as estimativas da CPUE foram superiores quando comparada às demais foram: África do Sul - ZAF, México - MEX e São Vicente e Granadinas - VCT (Figura 14). Para as bandeiras em que é possível perceber as áreas de maiores estimativas da CPUE, todas estão localizadas na parte oeste do Atlântico, na região que envolve o Mar do Caribe e norte/nordeste da América do Sul.

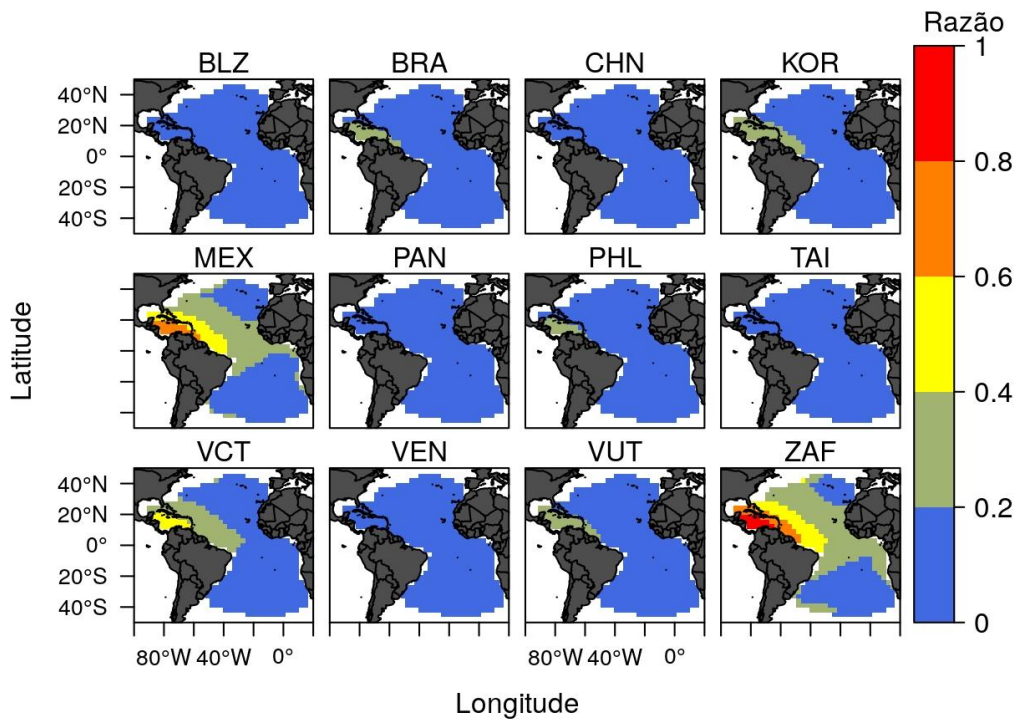


Figura 14. Distribuição espacial da taxa de captura da albacora laje escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo por bandeiras das pescarias com espinhel.

Para as pescarias com cerco, as bandeiras de maiores CPUEs da albacora laje são: Curaçao – CUW, Gana – GHA e Panamá – PAN. Nos painéis de cada bandeira há uma relativa uniformidade espacial, dado que em todos as áreas de máxima e mínima estimativas estão ao longo da costa austral africana e na zona ao norte da latitude 10° N, respectivamente.

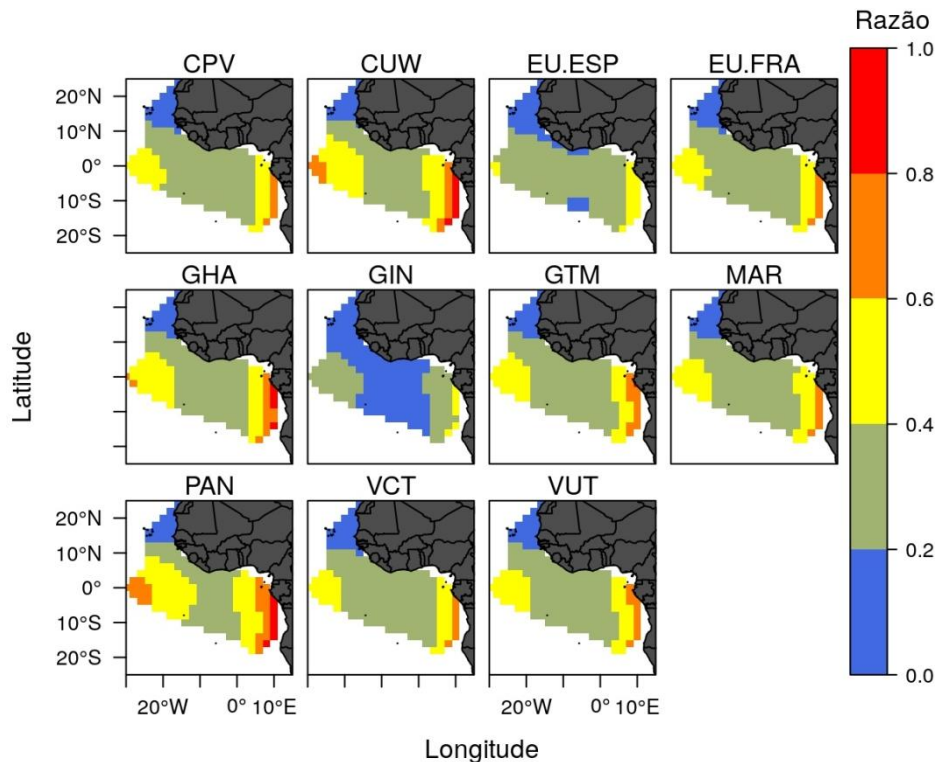


Figura 15. Distribuição espacial da taxa de captura da albacora laje escalonada como a razão entre os valores originais e o máximo por bandeiras das pescarias com rede de cerco.

#### Panorama espaço-temporal das fases do ciclo de vida

Não houve divergência quanto à distribuição espacial das zonas de elevadas taxas de captura dos três estágios de vida quando consideramos o mesmo aparelho. Por exemplo, a CPUE de adultos, pré-adultos e juvenis da vara e isca viva teve as maiores estimativas no Golfo da Guiné. No entanto, há variabilidade temporal quanto aos padrões de ocupação do espaço. Para adultos capturados com artes que operam mais na superfície (cerco e vara e isca viva), verifica-se aumento das CPUEs no segundo trimestre do ano na margem leste do Atlântico mais ao sul, enquanto que o aumento das taxas se dá na segunda metade do ano mais ao norte no Golfo da Guiné. Ainda para as artes mais superficiais se verifica maior concentração de taxas de captura altas de juvenis no primeiro e quarto trimestre a leste do Atlântico no Golfo da Guiné, enquanto que mais ao sul se verificam maiores valores na segunda metade do ano. Fenômeno semelhante também foi observado para os pré-adultos capturados por petrechos de superfície, pois as mais altas taxas de capturas no Golfo da Guiné foram de outubro a dezembro, entretanto, mais ao sul dessa área as CPUEs foram mais expressivas de abril a junho. Na arte de pesca que atua mais no fundo (espinhel) as maiores taxas de captura estão sempre na região do Mar do Caribe, mas os valores mais elevados para adultos e pré-adultos ocorrem na segunda metade do ano, enquanto que para jovens no quarto trimestre, principalmente. É importante ressaltar que há então um contraste grande de um lado para o outro do Atlântico, em especial no caso dos adultos, quando comparado o Mar do Caribe em posições mais profundas e a margem da África mais ao sul do Golfo da Guiné e porções menos profundas da coluna d'água. Pois foi observado grande agregação de adultos no final do ano mais no fundo no Mar do Caribe e pequena no começo do ano, enquanto que no outro lado, mais ao sul da África se verifica maiores densidades de adultos mais na superfície no segundo e terceiro trimestres e menores de outubro a março.

## 2.4. DISCUSSÃO

No Atlântico a albacora laje é capturada em águas tropicais e subtropicais, entre 45° N e 40° S (PECORARO *et al.*, 2016). As distribuições espaciais das operações de pesca dos diferentes aparelhos analisados nesse estudo estão dispostas em consonância com a distribuição geral, áreas e momentos de maior capturabilidade das espécies alvo, entre as quais se encontra a albacora laje. No caso do espinhel, por conta da diversidade de frotas consideradas (*e.g.* Brasil, China Taipei, Panamá), as observações analisadas abrangem praticamente a totalidade da área de distribuição de 45° N a 40° S, entre as longitudes 90° W e 15° E. A multiplicidade de frotas também foi uma opção de FONTENEAU e HALLIER (2015) ao analisar bases de dados da ICCAT quanto à recuperação

de peixes marcados, o que possibilitou a avaliação de operações de espinhel que cobriram também praticamente toda a área de distribuição da albacora no Atlântico. No entanto, em muitos casos se analisa conjuntos de dados de uma única frota (*e.g.* LAN *et al.*, 2011), o que propicia uma visão parcial localizada no tempo e no espaço, restrita às capturas de embarcações que apresentam estratégia de pesca particular. Em trabalhos em que se pretende um entendimento amplo do estoque como um todo, considerado como único no Atlântico, se recomenda a concatenação e construção de um mosaico com dados das múltiplas frotas quando possível. A visão unilateral a partir de um subconjunto menor de frotas pode levar a interpretações equivocadas.

No caso do cerco de grande porte, a área de pesca no Atlântico é bem menos abrangente que a do espinhel, cobrindo principalmente a região delimitada entre as latitudes de 20° N a 20° S, e as longitudes de 30° W a 15° E (FONTENEAU e HALLIER, 2015). A pescaria com vara e isca viva tem também cobertura limitada, e a área de atuação é fragmentada, com três focos principais no sudoeste, noroeste do Atlântico e no Golfo da Guiné, na margem leste. Portanto, tanto para o cerco quanto para a vara e isca viva, que são artes de pesca que atuam em camadas menos profundas que o espinhel, há limitação espacial para a interpretação das taxas de captura.

Ainda que no caso do cerco e da vara e isca viva não se cubra a área total de distribuição da albacora laje no Atlântico, os dados avaliados ao todo, incluindo os provenientes do espinhel, propiciam informações importantes sobre as diferentes fases do ciclo de vida. Na composição de comprimento das capturas do espinhel, verifica-se grande dominância de indivíduos adultos. Este resultado geral reflete o que já se conhecia sobre as capturas de espinhéis, com frequências relativas elevadas de peixes maiores que 100 cm - CF (PECORARO *et al.*, 2016), e participação percentual de exemplares menores que 100 cm inferior a 5% nas capturas da frota chinesa de 2002 a 2006 (ZHU *et al.*, 2008) e coreana em 2013 (PARK *et al.*, 2014).

Os resultados obtidos indicam que o padrão de dominância de adultos nas capturas de espinhel é decorrente de uma combinação de seletividade da arte de pesca, com variações da capturabilidade, decorrente da sobreposição espaço-temporal das maiores agregações de adultos e da disposição dos anzóis na coluna d'água. O Mar do Caribe, no oeste do Atlântico, é uma região com grande presença de adultos na porção da coluna d'água em que são depositados os anzóis, os quais são seletivos para a esta fase do ciclo de vida. Todavia, não há concentração relativa grande de adultos na faixa de coluna d'água em que atuam os espinhéis no leste do Atlântico. Isto indica usos diferenciados das camadas da região pelágica por parte de adultos nas diversas áreas e porções do Atlântico. Como o petrecho atua em uma parte relativamente mais profunda, há indícios, portanto, que no oeste, no Mar do Caribe, os adultos se posicionem em camadas relativamente mais profundas que no leste do Atlântico.



O panorama dos tamanhos nas capturas com cerco é mais complexo. Quando observamos a distribuição de frequência das classes de comprimento das pescarias associadas a DAPs há clara predominância de jovens (moda em 40 cm), entretanto, no cenário de cardumes livres há modas em 45 cm, 55 cm e 150 cm. Esse padrão reflete características das capturas de cerco já registradas, as quais são dicotômicas no que se refere ao tamanho dos exemplares capturados. Quando o cardume não está associado à objetos flutuantes ou dispositivos agregadores de peixes (DAP), as capturas de albacora laje com rede cerco são em geral bimodais no Atlântico marcadas por frequências altas em torno de 50 cm e 150 cm (PECORARO *et al.*, 2016). Porém, as capturas realizadas sobre cardumes associados a DAPs, são caracterizadas por frequências elevadas somente de peixes com comprimentos que variam em geral de 40 cm a 60 cm (PECORARO *et al.*, 2016; ORTIZ e PALMA, 2017). Fica evidente que a dicotomia do processo de pesca (cardumes livres ou associados) tem grande influência na interpretação das participações relativas das diferentes fases do ciclo de vida nas capturas na pesca de cerco, o que justifica fortemente a inclusão de uma variável representando o tipo de cardume (livre ou associado) em modelos que tem a CPUE como variável resposta.

Nas pescarias com vara e isca viva as classes de comprimento que compõem os estágios jovem e pré-adulto são claramente mais frequentes. A participação relativamente equilibrada de jovens (< 50 cm) e pré-adultos (entre 50 cm e 100 cm) reflete a característica modal das distribuições de comprimento que inclui frequentemente peixes na transição entre as duas fases do ciclo de vida, como pode ser verificado no relato de ORTIZ e PALMA (2017) que indica contribuição grande de exemplares com tamanhos entre 30 cm e 70 cm. De uma forma ou de outra, nota-se que os juvenis, apresentam vulnerabilidade relativamente elevada, não somente ao cerco, mas também à pesca de vara e isca viva.

Diferentes efeitos principais e interações incluídas nos modelos contribuíram para explicar as variações das CPUEs da albacora laje capturadas no Atlântico com cada uma das três artes de pesca analisadas. No modelo ajustado para os dados de pescarias com espinhel, os fatores fase do ciclo de vida, bandeira da embarcação e ano, foram os que mais contribuíram para explicar a variação da taxa de captura. A influência do efeito da fase de vida reflete, como já mencionado mais acima, a combinação da seletividade da arte de pesca com a variação da capturabilidade de adultos especialmente. O espinhel pode atingir profundidades entre 50 m e 300 m (BIGELOW *et al.*, 2006; CAMPBELL e YOUNG, 2012) e BERNAL *et al.* (2017) sugere que a albacora laje adquira capacidade de fazer mergulhos mais profundos de acordo com o crescimento, atribuído ao aumento da tolerância a níveis mais baixos de temperatura e oxigênio. Os autores citados relatam ainda que indivíduos pequenos (< 4 kg ~ 60 cm) permanecem na camada de mistura, enquanto peixes maiores fazem pequenas incursões abaixo da termoclina. Portanto, considerando que o

espinhel pode atingir profundidades relativamente maiores que as demais artes de pesca, incluindo eventualmente áreas abaixo da termoclina, peixes de maior porte estariam mais aptos a ocorrer em maior agregação nas camadas da coluna d'água em que atua o aparelho.

O poder de explicação da CPUE associado à variável bandeira no caso do espinhel está provavelmente ligado às distintas configurações dos espinhéis e estratégias de pesca adotadas pelas frotas pesqueiras. Em especial, para as bandeiras África do Sul, México e São Vicente de Granadinas que tiveram as maiores estimativas da CPUE. Dentre os vários fatores ligados ao método de pesca adotado pelas diferentes frotas de espinhel (*e.g.* tipo de isca e horário de lançamento e recolhimento) o número de anzóis entre boias é um dos principais, pois está relacionado à camada da coluna d'água que o petrecho atinge. WARD e HINDMARSH (2007) ressaltam que o intervalo de profundidade dos anzóis dispostos no espinhel determina a parcela da comunidade pelágica explorada e conseqüentemente as taxas de captura, e as composições específicas e de comprimentos das capturas. Portanto, as bandeiras representam diferentes táticas de pesca que levam inclusive a atuações distintas no que diz respeito às amplitudes de profundidade exploradas. Se a albacora laje de maior porte pode alcançar níveis mais profundos da coluna d'água, as frotas que adotam a estratégia que inclui mais anzóis por samburá e que tecnicamente atingiriam camadas também mais profundas, tenderiam a capturar percentualmente maior parcela de adultos.

Identificar indícios que reforcem a hipótese exposta acima depende da informação do número de anzóis por samburá que não está disponível nas bases de dados usadas nesse trabalho. A falta dessa relevante informação, associada à estratégia de pesca, pode esclarecer, pelo menos em parte, o relativamente baixo poder de explicação do modelo do espinhel.

Neste trabalho o objetivo principal não foi a realização de uma padronização da CPUE com fins de obter uma estimativa relativa da abundância. Ainda assim cabe mencionar que o efeito da variável temporal ano na taxa de captura está pelo menos em parte associado às variações interanuais da biomassa da albacora laje do Atlântico. As variações da biomassa refletem fenômenos de recrutamento, crescimento e mortalidade, os quais são afetados pela própria biomassa do estoque e também por variáveis ambientais. Há registros de variações da abundância e distribuição de populações de várias espécies, associadas a mudanças climáticas que interferem em diversos processos ecológicos (LAN *et al.*, 2015), usualmente em escalas de períodos mais curtos como sazonalidades intra-aneais. Porém há também registros de variações na abundância de populações de espécies de atuns fortemente associadas a fenômenos climáticos de larga escala como o El Niño (DE ANDA-MONTAÑEZ *et al.*, 2004; TORRES-OROZCO *et al.*, 2006; LAN *et al.*, 2018) e a Oscilação do Atlântico Norte (SANTIAGO, 1998), que tem escalas de períodos superiores a um ou mais “anos”, que afetam portanto as estimativas quanto este fator é incluído nos modelos, como foi o caso aqui para o espinhel.

Todas as variáveis explicativas incluídas no modelo ajustado aos dados do cerco foram importantes para explicar as variações da CPUE da albacora laje, exceto a longitude e o quadrado da TSM. Os efeitos fase de vida (juvenil, pré-adulto e adulto), cardume (livre ou associado), e em especial a interação entre elas, foram as mais relevantes. Como os tamanhos dos exemplares capturados em cardumes associados à DAPs são em geral menores que os capturados em cardumes livres (ORTIZ e PALMA, 2017), as taxas de captura e as participações relativas das diferentes fases do ciclo de vida nas capturas de cercos, estão fortemente associadas à estratégia de pesca quanto ao uso ou não de agregadores flutuantes. Há de fato algumas evidências de alterações no padrão de alimentação, migração e agregação que indicam que os DAPs funcionam como uma “armadilha ecológica” para espécies de atuns tropicais (HALLIER e GAERTNER, 2008), o resulta em concentrações maiores de formas jovens nas suas imediações, e consequente maior capturabilidade dessa fase do ciclo de vida. Embora o fator “bandeira” não tenha sido tão relevante para explicar a variação da CPUE do cerco quanto do espinhel há diferença importante, pois nas pescarias das bandeiras Curaçao, Panamá e Gana as estimativas foram relativamente mais altas. De forma semelhante ao caso do espinhel, na base de dados explorada nesse trabalho não há outras informações associadas à estratégia de pesca do cerco, além do emprego ou não de DAPs, que podem influenciar as taxas de captura, como por exemplos aparelhos auxiliares a pesca (*e.g.* ecossonda) e experiência do capitão da embarcação.

Os fatores mais importantes na variação da CPUE da albacora laje da vara e isca viva foram, ano e fase de vida. Como no caso do espinhel, também para vara e isca viva, o fator ano está pelo menos em parte ligado à variação temporal da biomassa da espécie no Atlântico, como resultado de processos de recrutamento, crescimento e mortalidade, que por sua vez estão vinculados a diversos fatores além da pressão pesqueira, incluindo fenômenos climáticos de grande escala (*e.g.* Oscilação do Atlântico Norte). RUBIO *et al.* (2016) sugere que há evidências da relação entre a taxa de captura da albacora laje capturada com vara e isca viva e a Oscilação do Atlântico Norte, propondo que esse fenômeno oceanográfico possa afetar a abundância da espécie no Atlântico. Quanto ao efeito das diferentes fases do ciclo de vida, este parece estar vinculado à característica do apetrecho que atua na camada mais superficial da coluna d’água (ANDRADE, 2008). Para essa parte da coluna d’água nossos resultados indicam a ocorrência conjunta das diferentes fases do ciclo de vida, mas com particular destaque para juvenis e pré-adultos, em consonância com o relato de ORTIZ e PALMA (2017). A menor participação de adultos está em parte associada à seletividade, mas também reflete a menor sobreposição espacial na coluna d’água dos adensamentos dessa fase do ciclo de vida e da atuação do petrecho de pesca.

A TSM foi importante para explicar as variações das CPUEs em todos os modelos ajustados aos dados das diferentes faixas etárias da albacora laje capturada no Atlântico. Resultado

similar foi encontrado em MAURY *et al.* (2001), o que fortalece a hipótese de que a temperatura superficial do mar, é um índice prospectivo importante para entendimento e previsão da distribuição horizontal da albacora laje (SCHAEFER *et al.*, 2007). Em geral, as mais altas taxas de captura preditas pelos modelos estiveram concentradas em áreas em que a TSM atingiu níveis superiores a 24°C. O resultado coincide ao encontrado em LAN *et al.* (2011), no qual as CPUEs da albacora laje do Atlântico foram mais expressivas em zonas com TSM acima de 24°C. Esse fenômeno está ligado com a fisiologia da espécie. Baixas temperaturas do ambiente tem profundos efeitos em todos os parâmetros cardíacos da albacora laje, especialmente no volume de sangue bombeado por minuto que diminui significativamente e, portanto, seria responsável pela limitação termal da espécie (BLANK *et al.*, 2002).

De forma geral, as macroregiões de altas taxas de captura foram diferentes entre os petrechos. As maiores estimativas da taxa de captura, para as três fases de vida, nas pescarias de vida da vara e isca viva estiveram a leste do Atlântico. Em oposição, as taxas de capturas de todos os estágios de vida para o espinhel, foram superiores no oeste. As operações de cerco cobrem somente o leste do Atlântico, onde se observa para essa arte de pesca CPUEs relativamente mais altas, o que é padrão oposto ao encontrado no espinhel. Na parte oeste do Atlântico, em especial no Golfo do México e Mar do Caribe, a termoclina é mais profunda quando comparada ao lado oposto, na costa africana (KARA *et al.*, 2003; DE BOYER MONTEGUT *et al.*, 2004). Em virtude da albacora laje permanecer a maior parte do tempo acima da termoclina (REYGONDEAU *et al.*, 2012), os peixes ficariam, em geral, mais perto da superfície na parte leste do Atlântico quando comparado ao oeste e, dessa forma, mais sujeitos às pescarias de petrechos que atuam em camadas menos profundas (*e.g.* vara e isca viva e rede de cerco). Em oposição, no oeste do Atlântico, onde a termoclina é geralmente mais profunda, os peixes teriam uma faixa de profundidade mais ampla para ocupar. Dessa forma, mesmo os indivíduos de menor porte poderiam atingir as profundidades alcançadas pelo espinhel. Essa colocação está alinhada com o trabalho MAURY *et al.* (2001) que verificou que a CPUE da albacora laje capturada com cerco foi, em média, maior quando a termoclina esteve inferior a 50 m profundidade, e que a profundidade da termoclina tem relação monótona e positiva com a CPUE de espinhel.

As CPUEs de jovens do cerco e vara e isca viva foram relativamente mais altas no último trimestre do ano. O fenômeno pode estar associado ao recrutamento dos peixes para a pesca. Entre outubro e dezembro os indivíduos nascidos no ciclo reprodutivo anterior (dezembro à abril) teriam pouco menos de um ano e cerca de 50 cm. As classes de comprimentos entre 40 cm e 50 cm são as mais frequentemente capturadas tanto para o cerco como da vara e isca viva, o que indica maior seletividade dos petrechos para esse grupo. Portanto, ao atingir tamanhos próximos a 50 cm os indivíduos estariam mais sujeitos a serem capturados pelas modalidades de superfície. Nas

pescarias com espinhel a sazonalidade dos peixes jovens pode estar associada à fenômenos oceanográficos. O último trimestre do ano, período das mais altas taxas de captura de jovens do espinhel, é caracterizado pelo gradativo aumento da profundidade da termoclina na região do Mar do Caribe (DE BOYER MONTEGUT *et al.*, 2004). Dessa forma, mesmo os exemplares jovens teriam maior facilidade em acessar camadas mais profundas da coluna d'água onde estão dispostos os anzóis.

As variações sazonais e espaciais das CPUEs de exemplares adultos capturados com espinhel apresentaram padrão parcialmente em consonância com os períodos de uma das áreas de reprodução da albacora laje do Atlântico. No lado oeste, no Golfo do México e Mar do Caribe, a principal época de desova é entre maio e setembro, porém há registro de fêmeas maduras de março a novembro (AROCHA *et al.*, 2001). Esse fenômeno explicaria as maiores densidades de peixes adultos no segundo semestre, pois, haveria agregação desse grupo em virtude da desova.

A sazonalidade das CPUEs de adultos capturados com vara e isca viva está provavelmente associada a períodos de alimentação, diferente do que ocorre com espinhel e cerco. Durante o segundo semestre, no Golfo da Guiné, as estimativas das taxas de captura de adultos com vara e isca viva foram relativamente superiores quando comparadas a outras áreas e períodos. É ao longo da segunda metade do ano que há intensificação da ressurgência no Golfo da Guiné, com pico em agosto (HARDMAN-MOUNTFORD e McGLADE, 2003). O aumento da intensidade da ressurgência está associado ao incremento de produtividade primária. O fenômeno promove, portanto, condições para o desenvolvimento das espécies que estão em níveis mais baixos da cadeia trófica e são alimento dos predadores de topo (*e.g.* atuns). Consequentemente, haveria maior disponibilidade de alimento na região do Golfo da Guiné durante o segundo semestre e, portanto, maior concentração de peixes.

A sazonalidade da CPUE de pré-adultos e adultos das pescarias com cerco é marcada por altas estimativas de abril a setembro. Esse padrão pode estar associado à dinâmica sazonal de dois fenômenos oceanográficos na costa angolana, a) profundidade da termoclina e b) intensidade da ressurgência. Nessa região, de dezembro a março, as águas são caracterizadas por maior intensidade da penetração de águas superficiais em camadas mais profundas (*downwelling*), forte estratificação e termoclina mais profunda; esse fenômeno gradativamente perde intensidade nos meses seguintes, passando para a estação de águas relativamente mais frias, com pico de julho a agosto, marcado pelo aumento de intensidade da ressurgência, menor estratificação e termoclina mais rasa (OSTROWSKI *et al.*, 2009). Se a albacora laje tem preferência pela camada de mistura (REYGONDEAU *et al.*, 2012), acima da termoclina, durante o período que esta é mais rasa os peixes teriam uma porção menor da coluna d'água para ocupar e consequentemente estariam mais susceptíveis a captura de artes de pesca de superfície como o cerco. Essa hipótese está de acordo

com os resultados encontrados por MAURY *et al.* (2001), nos quais as taxas de captura da albacora laje capturada com cerco foram mais relevantes quando a termoclina atingiu profundidades menores que 50 m. Além disso, os períodos de maiores densidades podem também estar associados à atividade trófica, uma vez que haveria mais disponibilidade de presas na época de intensificação da ressurgência, pois o fenômeno promove aumento da produtividade primária e, portanto, condições favoráveis a grandes densidades de espécies de pequenos peixes pelágicos, alimento de tunídeos.

As maiores estimativas da taxa de captura de pré-adultos nas pescarias de espinhel no oeste do Atlântico ocorreram no segundo semestre, especialmente de julho a setembro. Parte dos indivíduos com comprimento entre 50 cm e 100 cm (pré-adultos) já alcançaram a maturidade sexual e podem, portanto, participar de atividade reprodutiva. Assim uma fração desses pré-adultos contribuiria com a desova e depois poderia deixar o oeste já no último trimestre do ano. Estes resultados não entram em conflito com a proposta de HAZIN (1993), na qual de julho a setembro, haveria agregação no Mar do Caribe e Golfo do México para alimentação e reprodução, e que entre outubro e dezembro, os peixes migrariam para o Golfo da Guiné a fim de iniciar novo ciclo reprodutivo. Portanto, a concentração de indivíduos no terceiro trimestre estaria associado às atividades reprodutiva e trófica e perderia intensidade no trimestre seguinte, em virtude da saída dos peixes que passariam a participar de migrações transoceânicas. Nossos resultados indicam que essa migração para o Golfo da Guiné no final do ano seria uma volta para os de idade mais avançada, mas seria a primeira jornada para os pré-adultos. Essa percepção não destoia da sugestão de PECORARO *et al.* (2016) de que os recrutas das desovas no Golfo da Guiné deixam a região ao atingir de 60 cm a 80 cm. Portanto, o mesmo pode ocorrer no oeste quando os exemplares migrariam ao atingir também tamanhos similares. O último trimestre foi aquele com as mais altas taxas de captura de pré-adultos da vara e isca viva. O período poderia corresponder à chegada no Golfo da Guiné dos peixes procedentes do oeste, com finalidade de iniciar novo ciclo reprodutivo (HAZIN, 1993).

## 2.5. CONCLUSÃO

Na análise das taxas de captura da albacora laje do Atlântico foi possível identificar diferenças importantes na distribuição espacial da espécie em função da arte de pesca. As CPUEs dos petrechos de superfície (*e.g.* rede de cerco) são mais significativas a leste do Atlântico, em oposição as estimativas da modalidade de profundidade (espinhel), que são maiores na parte oeste. Decompor a CPUE por fase de vida contribuiu para formular a hipótese de que não há forte segregação espacial horizontal em função do tamanho. Há indícios de que as capturas de indivíduos em distintos estágios de vida estariam mais fortemente associadas a outros fatores como: a) à

camada da coluna d'água em que atua o aparelho, b) a profundidade da termoclina, e c) a seletividade da arte de pesca. A TSM tem associação forte com as CPUEs de todas as artes de pesca e fases do ciclo de vida analisados, confirmando que ela é um índice prospectivo das variáveis ambientais envolvidas na distribuição da albacora laje. No entanto, cabe ressaltar que a profundidade da termoclina pode ser tão importante quanto a TSM, para entendimento da distribuição dos diferentes estágios de vida. Portanto, recomenda-se incorporar ambas as variáveis ambientais nas análises espaciais da albacora laje. Os resultados encontrados são relevantes no entendimento da distribuição espaço-temporal da albacora laje do Atlântico e, portanto, para gestão do recurso.

## 2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAIKE, H. 1974. Information theory and extension of the maximum likelihood principle. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Information Theory. Akademiai Kiado, Budapeste, 268 - 281.
- ANDRADE, H. 2008. Taxa de captura para o bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*) do sudeste do oceano Atlântico sul. Boletim do Instituto de Pesca, 34(3): 391-402.
- AROCHA, F., LEE, D., MARCANO, L., MARCANO, J. 2001. Update information on the spawning of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the western central Atlantic. ICCAT, 52:167-176.
- BARD, F. e CAPISANO, C. 1991. Actualisation de connaissances sur la reproduction de l'albacore (*Thunnus albacares*) em ocean Atlantique. ICCAT, 36:158-181.
- BERNAL, D., BRILL, R. W., DICKSON, K. A., SHIELS, H. A. 2017. Sharing the water column: physiological mechanisms underlying species-specific habitat use in tunas. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 27: 843-880.
- BERTRAND, S. BURGOS, J. M., GERLOTTO, F. ATIQUIPA, J. 2005. Lévy trajectories of Peruvian purse-seiners as an indicator of the spatial distribution of anchovy (*Engraulis ringens*). ICES Journal of Marine Science. 62: 477-482.
- BIGELOW, K., MUSYL, M., POISSON, F., KLEIBER, P. 2006. Pelagic longline gear depth and shoaling. Fisheries Research, 77: 173-183.
- BLANK, J. M., MORRISSETE, J. M., DAVIE, P. S., BLOCK, B. A. 2002. Effects of temperature, epinephrine and Ca<sup>2+</sup> on the hearts of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). The Journal of Experimental Biology, 205: 1881-1888.
- CAMPBELL, R. A., YOUNG, J. W. 2012. Monitoring the behaviour of longline gears and the depth and time of fish capture in the Australian Eastern Tuna and Billfish Fishery. Fisheries Research, 119-120: 48-65.

- CAVERIVIÈRE, A. 1976. Longueur prédorsale, longueur a la fourche et poids des albacores (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique. Cah. ORSTOM, ser. Océanogr., 14(3): 201-208.
- CIANNELLI, L., FISHER, J.A.D., SKERN-MAURITZEN, M., HUNSICKER, M.E., HIDALGO, M., FRANK, K.T., BAILEY, K.M. 2013. Theory, consequences, and evidence of eroding population spatial structure in harvested marine fishes: a review. Mar. Ecol. Prog. Ser. 480: 227–243.
- DE ANDA-MONTAÑEZ, J. A., AMADOR-BUENROSTRO, A., MARTÍNEZ-AGUILAR, S., MUHLIAN-ALMAZÁN, A. 2004. Spatial analysis of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catch rate and its relation to El Niño and La Niña events in the eastern tropical Pacific. Deep-Sea Research II, 51: 575-586.
- DE BOYER MONTÉGUT, C., MADEC, G., FISCHER, A. S., LAZAR, A., IUDICONE, D. 2004. Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. Journal of Geophysical Research, 109(C1230): 1-20.
- DELGADO DE MOLINA, A., SANTANA, J. C., ARIZ, J., PALLARÉS, P. 2004. Profundidad del arte de cerco en la pesquería atunera tropical. ICCAT, 56(2): 780-783.
- DIAHA, N. C., ZUDAIRE, I., CHASSOT, E., BARRIGAH, B. D., IRIÉ, Y. D., GBEAZERE, D. D., KOUADIO, D., PECORARO, C., ROMEO, M. U., MURUA, H., AMANDÉ, M. J., DEWALS, P., BODIN, N. 2016. Annual monitoring of reproductive traits of female yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Atlantic ocean. ICCAT, 72(2): 534-548.
- DIAHA, N. C., ZUDAIRE, I., CHASSOT, E., PECORARO, C., BODIN, N., AMANDÉ, M. J., DEWALS, P., ROMEO, M. U., IRIÉ, Y. D., BARRYGA, B. D., GBEAZERE, D. A., KOUADIO, D. 2015. Presente and future of reproductive studies of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Atlantic ocean. ICCAT, 71(1): 489-509.
- EFRON, B. 1978. Regression and ANOVA with zero one data: Measures of residual variation. Journal of the American Statistical Association, 73, 113-121.
- EVANS, R. H., McLAIN, D. R., BAUER, R. A. 1981. Atlantic skipjack tuna: Influences of mean environmental conditions on their vulnerability to surface fishing gear. Marine Fisheries Review, 43(6): 1-11.
- FONTENEAU, A e HALLIER, J. 2015. Fifty years of dart tag recoveries for tropical tuna: A global comparison of results for the western Pacific, eastern Pacific, Atlantic and Indian Oceans. Fisheries Research, 163: 7-22.
- FRANK, S. J., SAILLANT, E. A., BROWN-PETERSON, N. 2015. Studies of reproductive biology, feeding ecology and conservation genetics of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the northern Gulf of Mexico. Final Report, Louisiana Department of wildlife and fisheries.



- GAERTNER, D., PAGAVINO, M., MARCANO, J. 1999. Influence of fisher's behaviour on the catchability of surface tuna schools in the Venezuelan purse-seiner fishery in the Caribbean Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56: 394-406.
- GALLI, G. L., SHIELS, H. A., BRILL, R. W. 2009. Temperature sensitivity of cardiac function in pelagic fishes with different vertical mobilities: yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), bigeye tuna (*Thunnus obesus*), mahimahi (*Coryphaena hippurus*), and swordfish (*Xiphias gladius*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 82(3): 280-290.
- GRAFTON, R. Q. e KOMPAS, T. 2014. Three pillars of fisheries policy. *Asia & the Pacific Policy Studies*, 1(3): 609-614.
- GUILLOTREAU, P., SQUIRES, D., SUN, J., COMPEÁN, G. A. 2017. Local, regional and global markets: what drives the tuna fisheries? *Review in Fish Biology and Fisheries*, 27(4): 909-929.
- HALLIER, J. e GAERTNER, D. 2008. Drifting fish aggregation devices could act as ecological trap for tropical tuna species. *Marine Ecology Progress Series*, 353: 255-264.
- HARDMAN-MOUNTFORD, N. J., McGLADE, J. M. 2003. Seasonal and interannual variability of oceanographic processes in the Gulf of Guinea: An investigation using AVHRR sea surface temperature data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(16): 3247-3268.
- HAZIN, F. H. V. 1993. Fisheries-oceanographical study on tunas, billfishes and sharks in the Southwestern Equatorial Atlantic Ocean. Tese de doutorado, 286 pp., Tokyo University of Fisheries.
- HSU, A. C., BOUSTANY, A. M., ROBERTS, J. J., CHANG, J., HALPIN, P. 2015. Tuna and swordfish catch in the U.S. northwest Atlantic longline fishery in relation to mesoscale eddies. *Fisheries Oceanography*. 24: 508-520.
- ICCAT. 2012. Report of the 2011 ICCAT yellowfin tuna stock assessment session. ICCAT, 68(3): 655-817.
- ICCAT. 2015. Sample fishing statistic and fish size - Task II catch/effort. Disponível em: <<https://www.iccat.int/en/accesingdb.htm>>. Data de acesso: 10/08/2016.
- ICCAT. 2016. Simple fishing statistic and fish size – Task II CAS. Disponível em: <<https://www.iccat.int/en/accesingdb.htm>>. Data de acesso: 10/02/2017.
- ICCAT. 2017a. Report for biennial period, 2016-17 PART I. ICCAT, vol.2.
- ICCAT. 2017b. Report of the 2016 ICCAT yellowfin tuna data preparatory meeting. ICCAT, 73(1): 1-75.
- ITANO, D. N. 2000. The reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in Hawaiian waters and the western tropical Pacific Ocean: project summary. University of Hawaii, Joint Institute for Marine and Atmospheric Research Hawaii.

- KARA, A. B., ROCHFORD, P. A., HURLBURT, H. E. 2003. Mixed layer depth variability over the global ocean. *Journal of Geophysical Research*, 108(C3): 1-15.
- KAY, M., THORSON, J. T., PINER, K. R., MAUNDER, M. N. 2017. Spatiotemporal variation in size-structured populations using fishery data: an application to shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the Pacific Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 74: 1765-1780.
- KERR, L.A., CADRIN, S.X., AND SECOR, D.H. 2010. The role of spatial dynamics in the stability, resilience, and productivity of an estuarine fish population. *Ecol. Appl.* 20: 497–507.
- KUMARI, B., RAMAN, M., NARAIN, A., AND SIVAPRAKASAM, T. E. 1993. Location of tuna resources in Indian waters using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 3305–3309.
- LAN, K. W., LEE, M. A., CHOU, C. P., VAYGHAN, A. H. 2018. Association between the interannual variation in the oceanic environment and catch rates of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Atlantic Ocean. *Fisheries Oceanography*, 1-18.
- LAN, K. W., LEE, M. A., WANG, S. P., CHEN, Z. Y. 2015. Environmental variations on swordfish (*Xiphias gladius*) catch rates in the Indian Ocean. *Fisheries Research*, 166, 67–69.
- LAN, K., LEE, M., LU, H., SHIEH, W., LIN, W., KAO, S. 2011. Ocean variations associated with fishing conditions for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science*. 68:1063–1071.
- LEE, P. F., CHEN, I. C., AND TSENG, W. N. 1999. Distribution patterns of three dominant tuna species in the Indian Ocean. In 19th International ERSI Users Conference, San Diego, CA.
- LEHODEY, P., LEROY, B. 1999. Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the western and central Pacific Ocean as indicated by daily growth increments and tagging data. Working Paper YFT-2 Standing Committee on Tuna and Billfish 12, 1-21.
- MAGNUSON, J. J. 1973. Comparative study of adaptation for continuous swimming and hydrostatic equilibrium of scombroid and xiphoid fishes. *Fishery Bulletin*, 7(2): 337-356.
- MAUNDER, M. N., e PUNT, A. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research*, 70: 141-159.
- MAUNDER, M. N., SIBERT, J. R., FONTEANEUA, A., HAMPTON, J., KLEIBER, P., HARLEY, S. J. 2006. Interpreting catch per unit effort data to assess the status of individual stocks and communities. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1373-1385.
- MAURY, O., GASCUEL, D., MARSAC, F., FONTENEAU, A., DE ROSA, A. 2001. Hierarchical interpretation of nonlinear relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 58: 458-469.

- McCULLAGH, P. e NELDER, J. A. 1989. Generalized Linear Models, 2 nd. ed. Chapman and Hall, London. 558 p.
- McPHERSON, G. R. 1991. Reproductive biology of yellowfin tuna in the eastern Australian fishing zone, with special reference to the north-western Coral sea. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 42(5): 465-477.
- MÉNARD, F., LABRUNE, C., SHIN, Y-J., ASINE, A-S., BARD, F-X. 2006. Opportunistic predation in tuna: a size-based approach. Marine Ecology Progress Series, 323: 223-231.
- NELDER, J. A., e WEDDERBURN, R. W. M., 1972. Generalized linear models. Journal of the Royal Statistical Society, 135: 370-384.
- NOOA. 2016. Monthly mean sea surface temperature. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>>. Data de acesso: 05/09/2016.
- ORTIZ, M e PALMA, C. 2017. Review and preliminary analyses of size frequency samples of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). ICCAT, 73(2): 499-509.
- OSTROWSKI, M., DA SILVA, J. C. B., BAZIK-SANGOLAY, B. The response of sound scatterers to El Niño- and La Niña-like oceanographic regimes in the southeastern Atlantic. ICES Journal of Marine Science, 66: 1063 –1072.
- PARK, H., YOON, S., KIM, Z., LEE, S., JEONG, Y., LEE, D. 2014. Catch characteristics of Korean tuna longline fishery in the Atlantic Ocean. Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, 50(4): 556-566.
- PECORARO, C., ZUDAIRE, I., BODIN, N., MURUA, H., TACONET, P., DÍAZ-JAIMES, P., CARIANI, A., TINTI, F., CHASSOT, E. 2016. Putting all the pieces together: integrating current knowledge of biology, ecology, fisheries status, stock structure and management of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). Reviews in Fish Biology and Fisheries. 27 (4): 811-841.
- R CORE TEAM 2016 R: a Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available from: <https://www.R-project.org/>. Access on: 10 jan. 2016.
- REYGONDEAU, G., MAURY, O., BEAUGRAND, G., FROMENTIN, J. M., FONTENEAU, A., CURY, P. 2012. Biogeography of tuna and billfish communities. Journal of Biogeography, 39: 114-129.
- RUBIO, C. J., MACÍAS, D., CAMIÑAS, J. A., FERNÁNDEZ, I. L., BÁEZ, J. C. 2016. Effects of the North Atlantic Oscillation on Spanish catches of albacore, *Thunnus alalunga*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the North-east Atlantic Ocean. Animal Biodiversity and Conservation, 39 (2)-195:198.

- SANTANA, J.C., DELGADO de MOLINA, A., ARIZ, J., PALLARÉS, P., GAERTNER, D. 2002. Algunos datos sobre la profundidad que alcanza el arte de cerco en la pesquería atunera tropical. ICCAT, 54 (1):157-171.
- SANTIAGO, J. 1998. The north Atlantic Oscillation and recruitment of temperate tunas. ICCAT, 48 (3):240-249.
- SCHAEFER, K. M. 1996. Spawning time, frequency, and batch fecundity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, near Clipperton Atoll in the eastern Pacific Ocean. Fishery Bulletin, 94: 98-112.
- SCHAEFER, K. M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission, 21(5): 205-221.
- SCHAEFER, K. M., FULLER, D. W., BLOCK, B. A. 2007. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the northeastern Pacific Ocean, ascertained through archival tag data. Mar Biol. 152: 503–525.
- TORRES-OROZCO, E., MUHLIA-MELO, A., TRANSVIÑA, A., ORTEGA-GARCÍA, S. 2006. Variation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catches related to El Niño-Southern Oscillation events at the entrance to the Gulf of California. Fishery Bulletin, 104: 197-203.
- VERDOIT, M., PELLETIER, D., BELLAIL, R. 2003. Are commercial logbook and scientific CPUE data useful for characterizing the spatial and seasonal distribution of exploited populations? The case of the Celtic Sea whiting. Aquatic Living Resources. 16: 467-485.
- WARD, P e HINDMARSH, S. 2007. An overview of historical changes in the fishing gear and practices of pelagic longliners, with particular reference to Japan's Pacific fleet. Review in Fish Biology and Fisheries, 17:156-516.
- ZHU, G., LIUXIONG, X., ZHOU, Y., DAÍ, X. 2008. Length-frequency compositions and weight-length relations for big-eye tuna, yellowfin tuna and albacore (Perciformes: Scombrinae) in the Atlantic, Indian and eastern Pacific Ocean. Acta Ichthyologica et Piscatoria, 38(2): 157-161.
- ZUDAIRE, I., MURUA, H., GRANDE, M., GOÑI, N., POTIER, M., MÉNARD, F., CHASSOT, E., BODIN, N. 2015. Variations in the diet and stable isotope ratios during the ovarian development of female yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western Indian Ocean. Marine Biology, 162: 2363-2377.
- ZUDAIRE, I., MURUA, H., GRANDE, M., KORTA, M., ARRIZABALAGA, H., ARESO, J. J., DELGADO-MOLINA, A. 2013. Fecundity regulation strategy of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western Indian Ocean. Fisheries Research, 138: 80-88.