

POLLYANA CHRISTINE GOMES ROQUE

**DETERMINAÇÃO DA ORIGEM E CONECTIVIDADE DA POPULAÇÃO DA
ALBACORA LAJE, *Thunnus albacares* (BONNATERRE, 1788) NO ATLÂNTICO
EQUATORIAL**

RECIFE, 2015



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

DETERMINAÇÃO DA ORIGEM E CONECTIVIDADE DA POPULAÇÃO DA
ALBACORA LAJE, *Thunnus albacares* (BONNATERRE, 1788) NO ATLÂNTICO
EQUATORIAL

Pollyana Christine Gomes Roque

Orientador: Prof. Dr. Fábio Hissa Vieira Hazin

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisitos para a obtenção de título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura.

RECIFE, 2015

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

DETERMINAÇÃO DA ORIGEM E CONECTIVIDADE DA POPULAÇÃO DA
ALBACORA LAJE, *Thunnus albacares* (BONNATERRE, 1788) NO ATLÂNTICO
EQUATORIAL

Pollyana Christine Gomes Roque

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em 15/05/2015 pela seguinte Banca Examinadora.

Prof. Dr. Fábio Hissa Vieira Hazin (Orientador)
Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Patrícia Barros Pinheiro (Membro externo)
Departamento de Pesca
Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Paulo Eurico Travassos (Membro interno)
Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo Guilherme Vasconcelos de Oliveira (Suplente)
Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

*“Por vezes sentimos
que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar.*

*Mas o mar seria menor
se lhe faltasse uma gota.”*

(Madre Teresa de Calcutá)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que é a luz do meu caminho e está sempre ao meu lado me guiando. Ele que sempre me dá forças para seguir em frente e não temer o desconhecido.

Aos meus pais, Rosa e Edson, por toda a base familiar, por toda doação nesses mais de 27 anos de vida, por me apoiar em todas as decisões mesmo que estas sejam estar a quatro dias de barco do continente ou a um dia de avião de casa. Sem o apoio de vocês teria sido impossível chegar até aqui, obrigada pelo amor incondicional.

Ao meu irmão, Digo, e a minha família ‘Gomes’ e ‘Roque’ (avô, tios e tias, primos e primas de primeiro e segundo grau) que estiveram ao meu lado celebrando cada degrau que eu consegui superar.

Ao professor Eduardo Pimenta e a equipe do GEPesca (Yury, Lucas, Thiago e Thaís), da Universidade Veiga de Almeida (UVA) em Cabo Frio – RJ, por toda a credibilidade no projeto desde o início da jornada em 2012.

Aos professores do Departamento de Pesca e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) que me ajudaram no meu desenvolvimento pessoal e acadêmico nesses últimos dois anos.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado e a FACEPE pela concessão do Auxílio Mobilidade ao Discente que proporcionou a visita técnica ao Fisheries Ecology Lab da Texas A & M University.

Ao professor Jay R. Rooker e sua equipe, em especial Larissa Kitchens e Jessica Lee, por fornecer amostras do Atlântico Ocidental, espaço de laboratório, equipamentos e processamento dos dados na LA-ICPMS.

A família LOP / LEP / LATEP pelo auxílio na logística para coleta e triagem do material e pela contínua troca de experiências no contexto ensinar-aprender. Em particular a Fernanda

Virginia por tantas expedições ao Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) “aperriando” os pescadores para que capturassem “minhas menininhas”.

Aqueles que me aturaram; curaram minhas birras; compartilharam comigo almoços, sorrisos e lágrimas, trabalhos e carnavais; meus amigos e companheiros de laboratório que me ajudaram direta e/ou indiretamente na realização desta e de tantas outras empreitadas. Alê, Amandinha, Dea, Josi, Isa, Mari, Matheus, Nanda, Yuri!!! Obrigada por tudo.

Aos professores e amigos Paulo Oliveira, Patrícia Barros, Danielle Viana e Mariana Rêgo por me deixar “roubar” o melhor de cada um de vocês e pelos seus ensinamentos ao longo da minha vivência acadêmica.

Ao professor Paulo Travassos que muito mais do que coordenador foi também meu professor e amigo.

As minhas Inhas, Leidiane Roberta e Amanda Lacerda, por nunca me deixarem desanimar, pelo joelho no chão nas horas de maior desespero, pelo abraço apertado, pelo sorriso no rosto.

Amo vocês gordINHAS!

Gostaria de fazer uma nota especial de agradecimento ao professor Fábio Hazin que mais uma vez acreditou no meu trabalho e aceitou me orientar neste projeto inovador. Namastê!

RESUMO

A albacora laje *Thunnus albacares* (BONNATERRE, 1788) é uma espécie pelágica da família Scombridae que se distribui em águas tropicais e subtropicais dos três oceanos. Caracterizada pela coloração amarelada de suas nadadeiras e pínulas, é normalmente encontrada na camada superficial, em águas com alta produtividade e elevada temperatura. Um dos principais alvos da frota pesqueira de espinhel pelágico e de rede de cerco, a espécie apresenta um comportamento altamente migratório o que dificulta a compreensão de seus movimentos entre áreas de desova, berçário e alimentação. Um aspecto fundamental para a conservação de populações exploradas pela pesca, contudo, é a determinação da distribuição de tamanhos e a variação dos comprimentos individuais em função da idade. A utilização de elementos traço na análise de estrutura dos estoques explorados pode auxiliar na reconstrução da história de vida, origem e conectividade de diversas espécies. No presente trabalho, foram analisados os otólitos de 20 indivíduos, com comprimento zoológico (CZ) variando entre 37 cm e 57 cm, para se avaliar o grau de conectividade entre os exemplares capturados no Atlântico Equatorial Oeste e Central. Para este fim, um sistema de ablação a laser ligado a um espectrômetro de massa por indução de plasma (LA ICPMS) foi utilizado para se medir a concentração dos elementos traços: ^7Li , ^{24}Mg , ^{55}Mn , ^{88}Sr , ^{137}Ba , e ^{44}Ca , a partir de uma média de cinco pontos de ablação para o núcleo de cada otólito escolhido aleatoriamente. Uma Análise Multivariada de Variância (MANOVA) e uma Análise Discriminante da Função Quadrática (QDFA), além de testes de univariância, foram efetuadas para determinar os locais de captura, que incluíram o Arquipélago de São Pedro e São Paulo- ASPSP (10), o Golfo da Guiné (5) e Cabo Verde (5). A acurácia da classificação foi de 85% e a comparação espacial dos elementos traços sugeriu uma variação significativa entre as regiões ($p \leq 0,05$), com escores canônicos iguais a 0,172 para região do Brasil e de 0,758 para a da África. O teste Wilk's Lambda (0,386) foi significativo indicando que a concentração dos elementos difere entre as duas regiões evidenciando que os indivíduos analisados devem ter se originado de áreas quimicamente e/ ou geograficamente distintas.

Palavras-chave: atum, conectividade, LA-ICPMS (Laser-Ablation System/ Inductively Couple Plasma Mass Spectrometer- LA-ICPMS), Oceano Atlântico.

ABSTRACT

The yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788), is a pelagic species of the *Scombridae* family that is distributed throughout the tropical and subtropical waters of the three oceans. Characterized by the yellow coloration of its fins and finlets, it is usually found close to the surface, in waters with high productivity and warm temperatures, being mainly targeted by pelagic longliners and purse seiners. The yellowfin tuna displays a marked migratory behavior, which hinders the understanding of their movements between spawning, nursery and feeding areas. In order to ensure the conservation of exploited populations, it is fundamental to determine the size distribution and length at age of the individuals caught. The use of trace elements in the analysis of the stock structure can assist in reconstructing the life history, origin and connectivity of various species. In the present study, in order to assess the degree of connectivity between the specimens caught in the eastern and western sides of the West and Central Equatorial Atlantic, the otoliths of 20 specimens with fork lengths (FL) ranging between 37 cm and 57 cm were analyzed. For this purpose, an ablation laser system coupled to a mass spectrometer through plasma induction (LA ICPMS) was used to measure the concentration of various trace elements: ^7Li , ^{24}Mg , ^{55}Mn , ^{88}Sr , ^{137}Ba , ^{44}Ca - from an average of five ablation points to the core of each randomly chosen otolith. A Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) and a Quadratic Discriminant Function Analysis (QDFA), along with univariate tests, were performed with the SYSTAT 13 software. The catch sites, which included the Saint Peter and Saint Paul Archipelago- SPSPA (10), the Gulf of Guinea (5) and Cape Verde (5), were discriminated with high accuracy, with a rate of 85% being correctly classified. The spatial comparison of trace elements suggests a significant variation between regions ($p \leq 0.05$), with canonical scores equal to 0.172 in Brazil and 0.758 for Africa. The Wilk's Lambda test (0.386) was significant indicating that the concentration of the elements differed between the two regions showing that the individuals examined must have originated from chemically and/ or geographically distinct areas.

Keywords: tuna, connectivity, LA-ICPMS (Laser-Ablation System/ Inductively Couple Plasma Mass Spectrometer- LA-ICPMS), Atlantic Ocean.

LISTA DE FIGURAS

Dissertação

	Página
Figura 1. Registro de um antigo jarro de vinho grego que retrata a importância dos atuns desde a Grécia antiga. (CUTTING UP THE TUNA).	13
Figura 2. Evolução das capturas de atuns e afins no Oceano Atlântico.	14
Figura 3. Capturas de <i>Thunnus albacares</i> no Oceano Atlântico entre os anos de 1950 a 2011, por tipo de aparelho de pesca (Longline – Espinhel, Other – Outros, Pole and Line – Linha de mão, Purse seine – Cerco).	16
Figura 4. Mapa de localização das sete regiões de captura da albacora-laje (<i>T. albacares</i>) no Atlântico Tropical. 1) Golfo da Guiné; 2) Cabo Verde; 3) Brasil – 3.1 – Arquipélago de São Pedro e São Paulo, 3.2 – Cabo Frio; 4) Venezuela; 5) Antilhas; 6) Panamá/ Costa Rica; e 7) Golfo do México. O círculo indica os pontos de capturas das amostras utilizadas para o presente trabalho.	17
Figura 5. Adulto e juvenil, respectivamente, de albacora-laje (<i>Thunnus albacares</i>).	19
Figura 6. Características para identificação de juvenis do gênero <i>Thunnus</i> que ocorrem no Atlântico Tropical. A) <i>Thunnus albacares</i> ; B) <i>T. obesus</i> ; C) <i>T. alalunga</i> ; D) <i>T. atlanticus</i> .	20

LISTA DE FIGURAS

Artigo

Página

Figura1. Oceano Atlântico Equatorial. As marcas indicam os pontos de coleta: 1 – Arquipélago de São Pedro e São Paulo (29-26°W, 0-1°N); 2 – Golfo da Guiné (0-2°E, 7-8°N); 3 - Cabo Verde (17-18°W, 15-19°N). 48

Figure 2. Análise da canônica da função discriminante mostrando a clara separação entre as três áreas geograficamente distintas: Arquipélago de São Pedro e São Paulo- ASPSP, Golfo da Guiné- GOG, e Cabo Verde- CV. 49

Figura 3. Concentrações média elementares de ${}^7\text{Li}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{55}\text{Mn}$, ${}^{88}\text{Sr}$, ${}^{137}\text{Ba}$ em otólitos de albacora laje (*T. albacares*) coletados no Atlântico Central (BR) e Oriental (AF). As barras indicam o desvio padrão. 50

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Variação do comprimento zoológico (CZ) e idade (anos) dos indivíduos capturados no Atlântico Equatorial.	51
---	----

SUMÁRIO

Página

Dedicatória

Agradecimento

Resumo

Abstract

Lista de figuras

Lista de tabelas

1- Introdução.....	13
2- Revisão de literatura.....	18
3- Referência bibliográfica	25
4- Artigo científico	33
5- Considerações Finais.....	52
Normas da Revista Fisheries Reasearch.....	53

1- INTRODUÇÃO

Os atuns são peixes teleósteos da família Scombridae, caracterizados por apresentarem corpo fusiforme, viverem em ambientes pelágicos oceânicos e efetuarem migrações de longas distâncias em busca de alimento ou para reprodução. Com registros de sua pesca regular desde a Grécia antiga, tendo sido incorporados nas artes além da culinária (Fig. 1), constituem um dos grupos mais importantes do ponto de vista econômico na atividade pesqueira global (DOUMENGE, 1998).



Figura1. Registro de um antigo jarro de vinho grego que retrata a importância dos atuns desde a Grécia antiga. (CUTTING UP THE TUNA).

Fonte: http://content.cdlib.org/view?docId=kt338n996q&&doc.view=entire_text

A pesca oceânica de larga escala de atuns e afins no oceano Atlântico se iniciou por meio de operações de embarcações japonesas arrendadas em 1956 (HAZIN e TRAVASSOS, 2007). Segundo dados da Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico (ICCAT- International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas), em 1960 a produção pesqueira de atuns e espécies afins nesse oceano ultrapassou 200 mil toneladas, alcançando seu auge próximo a 700.000 t em meados da década de 1990. Nas duas décadas

seguintes ocorreu um declínio de cerca de 30% na captura total, estabilizando-se, na última década, em torno de 500 mil toneladas (ICCAT, 2014) (Fig. 2).

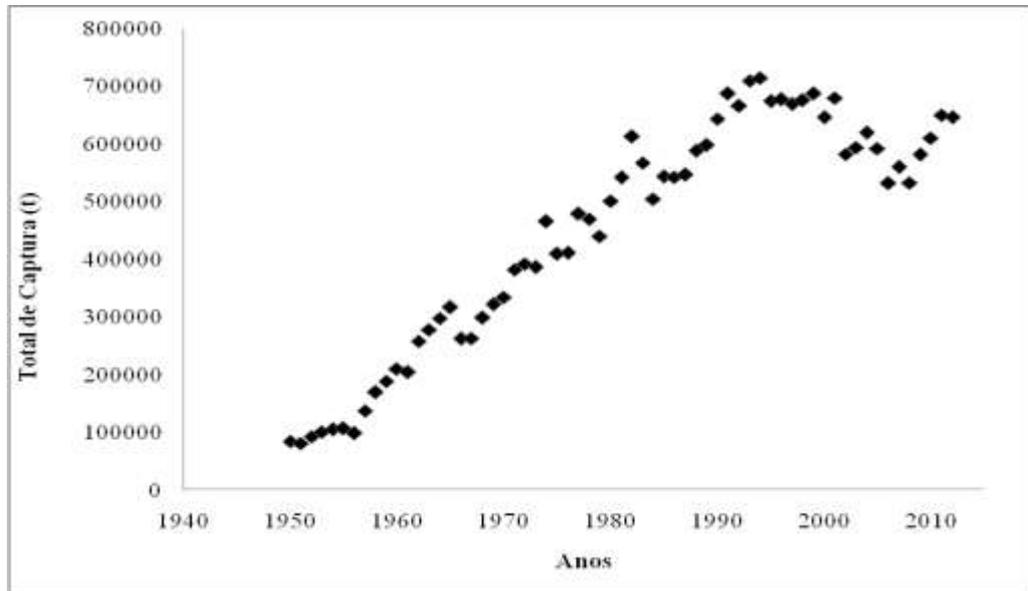


Figura 2. Evolução das capturas de atuns e afins no Oceano Atlântico.

Fonte: Baseado em dados da ICCAT, 2014.

Um aspecto fundamental para a conservação de populações exploradas pela pesca é a determinação da variação dos comprimentos individuais em função da idade, uma vez que somente através da estrutura etária é possível se avaliar as modificações dinâmicas por que passa o estoque (FONTELES FILHO, 2011).

Estudos (MILLER, 2011; ŠKELJO e FERRI, 2012; WANG et al., 2013; EVESON et al., 2015) mostram que as estruturas rígidas vêm sendo utilizadas em diversas áreas além da forma habitual, sendo estas extremamente importantes visto que a idade, a taxa de crescimento e a mortalidade são os três fatores mais influentes no controle das populações.

Várias ferramentas vêm sendo recentemente utilizadas para investigar a origem e a estrutura dos estoques de atuns em todo mundo, incluindo marcadores eletrônicos (BLOCK et al., 2005; TRAVASSOS et al., 2009; HOOLIHAN et al., 2011; WHITLOCK et al., 2012), genética molecular (FARNHAM, 2003; CARLSSON et al., 2007; ABDUL-MUNEER, 2014)

e marcadores químicos naturais em partes rígidas ou tecidos (ROOKER et al., 2001; THORROLD, 2006; ROOKER et al., 2008a, b; FRAILE et al., 2014).

Os marcadores químicos, particularmente aqueles presentes nos otólitos, têm um potencial significativo para a determinação e quantificação da origem e conectividade de populações potencialmente distintas, uma vez que apresentam o melhor padrão de crescimento dos peixes em razão da fixação de minerais em estruturas rígidas ao longo do seu desenvolvimento já que não há reabsorção óssea e a deposição é contínua (MENDOZA, 2006).

A periodicidade do crescimento se traduz na diferença da composição química de cada camada recém-acrescida, muitas vezes associada às condições físico-químicas das massas de água por onde o peixe transitou (ROOKER et al., 2001). Como resultado, o material depositado no otólito durante o primeiro ano de vida serve como um marcador natural do local de origem. Assim, os micro-constituintes e os isótopos estáveis encontrados nos otólitos podem ser usados para determinar a origem dos atuns (KENNEDY et al., 2002; HUMPHREYS et al., 2005; ROOKER et al., 2008a, b; SCHLOESSER et al., 2010; WELLS et al., 2012; FRAILE et al., 2014).

A albacora laje (*Thunnus albacares*), espécie epipelágica de distribuição circunglobal, é um dos principais alvos da pesca oceânica no Atlântico (Fig. 3), sendo capturada tanto pela pesca comercial como pela pesca recreativa, com níveis de mortalidade, em algumas regiões, que podem não ser sustentáveis no ritmo atual de exploração. A exemplo do estoque do Pacífico Oriental, que já está sobrepescado, e o do Oceano Índico que converge para a mesma condição (ISSF, 2014). No Oceano Atlântico, onde a ICCAT considera a existência de um único estoque, a biomassa de adultos e o recrutamento também têm mostrado uma tendência de queda ao longo das últimas décadas, enquanto a mortalidade por pesca tem aumentado significativamente.

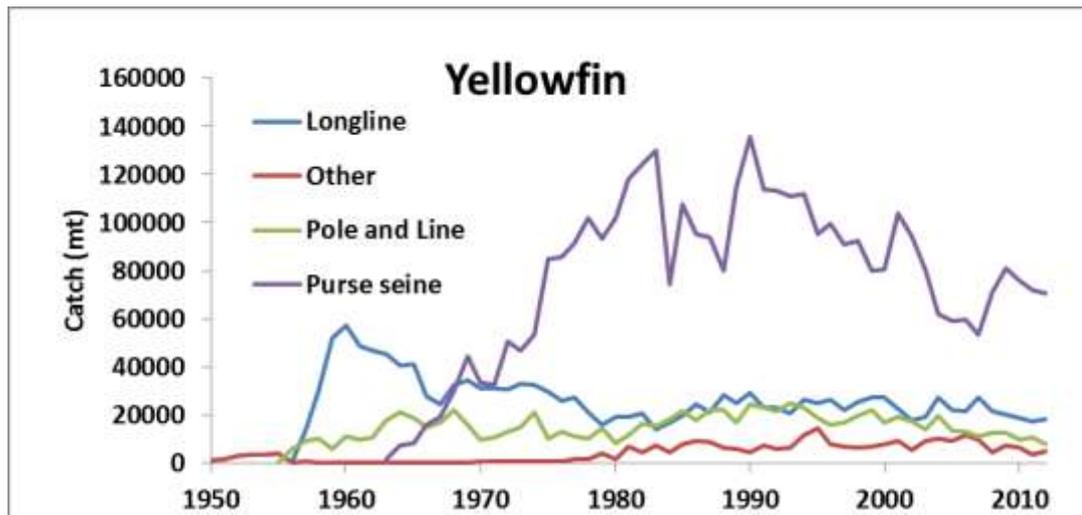


Figura 3. Capturas de *Thunnus albacares* no Oceano Atlântico entre os anos de 1950 a 2011, por tipo de aparelho de pesca (Longline – Espinhel, Other – Outros, Pole and Line – Linha de mão, Purse seine – Cerco).

Fonte: ISSF - Tuna Stock Status Update: Status of the world fisheries for tuna, 2014.

Associando a variação sazonal da temperatura da superfície do mar e das correntes oceânicas, Hazin (1993) propôs um ciclo migratório para a albacora laje no sentido leste-oeste/ oeste- leste, com área de concentração para a desova no Atlântico sudeste equatorial, Golfo da Guiné, e noroeste equatorial, norte da Venezuela. A gestão desse recurso pesqueiro, naturalmente complexa em razão do seu comportamento altamente migratório, é complicada ainda mais pela elevada carência de informações básicas a respeito de seu ciclo de vida e estrutura populacional. Em particular, a compreensão de seus movimentos entre áreas de desova, berçário e alimentação é ainda muito limitada, restringindo a eficiência e alcance da gestão pesqueira.

O presente estudo é parte do projeto intitulado “Nursery origin of yellowfin tuna in the Gulf of Mexico using ‘natural’ tags”, coordenado pela Texas A&M University, cujo objetivo é determinar a estrutura de estoque e movimentação da albacora laje no Oceano Atlântico, com ênfase na determinação da origem dos indivíduos capturados no Golfo do México. O referido projeto conta com parcerias internacionais de cientistas na União Europeia, Américas

Central e do Sul, Caribe e de instituições como a University of Southern Mississippi e a National Oceanic and Atmospheric Administration- NOAA, além da Universidade Federal Rural de Pernambuco. No âmbito do mesmo, estão sendo coletados otólitos de espécimes de várias faixas etárias que irão compor uma biblioteca com coleções de sete regiões: 1) Golfo da Guiné, 2) Cabo Verde, 3) Brasil, 4) Venezuela, 5) Antilhas, 6) Panamá/ Costa Rica, e 7) Golfo do México (Fig. 4). Além disso, serão selecionados espécimes capturados nos diversos pontos de coleta, para determinação das taxas de contribuição de possíveis recrutas do Golfo do México, principal área de desova da espécie, para as demais regiões, e vice-versa.

Com este trabalho, portanto, espera-se avaliar o grau de conectividade entre exemplares de albacora laje capturados no Atlântico Equatorial, por meio de microconstituintes (7Li, 24Mg, 44Ca, 55Mn, 88Sr, 137Ba) presentes nos otólitos, para auxiliar na reconstrução da história de vida, origem e conectividade dos estoques explorados, fornecendo assim subsídios para a conservação e uso sustentável deste importante recurso pesqueiro.

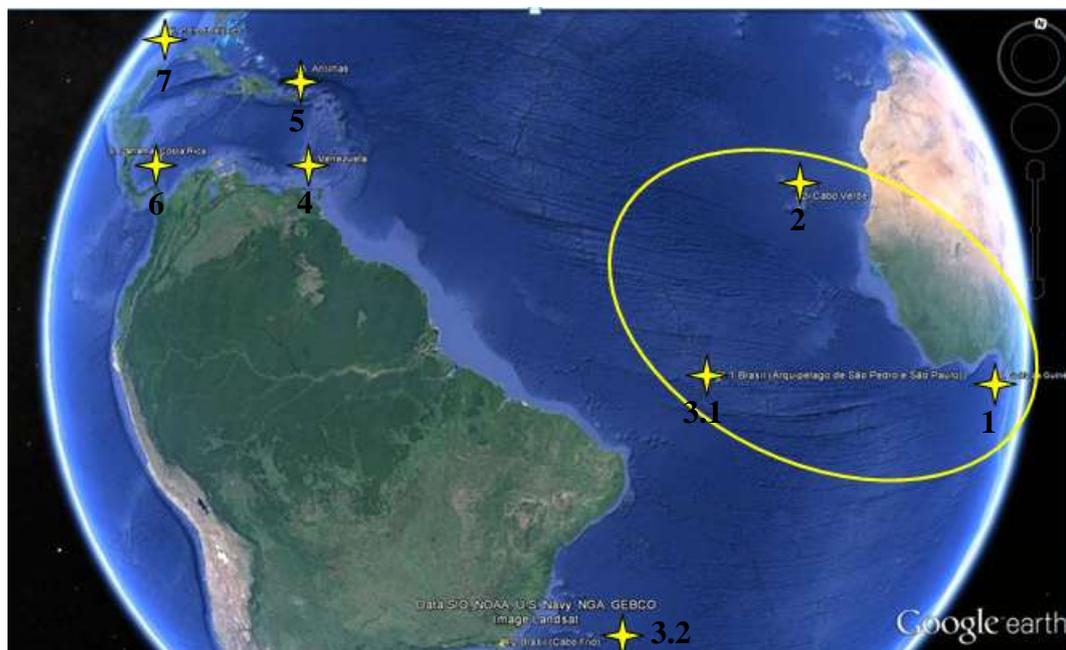


Figura 4. Mapa de localização das sete regiões de captura da albacora-laje (*T. albacares*) no Atlântico Tropical. 1) Golfo da Guiné; 2) Cabo Verde; 3) Brasil – 3.1 – Arquipélago de São Pedro e São Paulo, 3.2 – Cabo Frio; 4) Venezuela; 5) Antilhas; 6) Panamá/ Costa Rica; e 7)

Golfo do México. O círculo indica os pontos de capturas das amostras utilizadas para o presente trabalho.

Fonte: Google Earth

2- REVISÃO DE LITERATURA

A albacora-laje foi descrita pelo naturalista francês Pierre Bonnaterre em 1788 como *Scomber albacares*. Atualmente a espécie é denominada de *Thunnus albacares* e encontra-se classificada da seguinte maneira (COLLETTE e NAUEN, 1983):

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Classe: Osteichthyes

Subclasse: Actinopterygii

Ordem: Perciformes

Subordem: Scombroidei

Familia: Scombridae

Gênero: *Thunnus*

Thunnus albacares é uma espécie epipelágica amplamente distribuída em águas tropicais e subtropicais do Atlântico, Índico e Pacífico (COLLETTE e NAUEN, 1983), nos limites geográficos entre 45°N e 45°S. Em função de sua preferência por águas mais quentes, é normalmente encontrada na camada superficial dos oceanos, com temperatura entre 18° e 31°C, em profundidades inferiores a 100 m (BRILL et al., 1999), embora possa atingir 350 m de profundidade (BARD et al., 1999). Assim como os demais atuns, a albacora laje possui um conjunto de adaptações anatômicas, fisiológicas e bioquímicas que possibilitam aumentar a produção e reduzir a perda de calor. Essas propriedades permitem a elevação da temperatura corpórea acima da temperatura do meio através de um sistema de troca de calor por

contracorrente que melhora a distribuição de oxigênio nos tecidos e facilita as trocas gasosas (COLLETTE, 1978).

Internacionalmente conhecida como atum de nadadeiras amarelas (yellowfin tuna), em razão da coloração amarelada de suas nadadeiras e pínulas, a espécie é caracterizada por apresentar na fase adulta a segunda nadadeira dorsal e a nadadeira anal extremamente longas, quando comparada às das outras espécies de atum (Fig. 5).



Figura 5. Adulto e juvenil, respectivamente, de albacora-laje (*Thunnus albacares*).

Fonte: Manual da ICCAT, 2010a.

O tamanho médio de captura varia de 35 a 180 cm, com medidas máximas registradas de 239 cm de comprimento zoológico (CZ) (INTERNATIONAL GAME FISH ASSOCIATION, 2001) e 200 kg de peso total (INTERNATIONAL GAME FISH ASSOCIATION, 2012). A albacora-laje é frequentemente capturada junto com a albacora-bandolim (*Thunnus obesus*), espécie com a qual apresenta grande semelhança na fase juvenil. Nos indivíduos jovens de albacora-laje, porém, as barbatanas peitorais têm as extremidades

mais arredondadas e chegam a atingir o início da segunda barbatana dorsal, enquanto que as listras brancas presentes no flanco são normalmente curvadas em direção à parte ventral. Já na albacora bandolim essas listras permanecem retas, enquanto as suas barbatanas peitorais têm extremidades mais pontiagudas, ultrapassando a segunda barbatana dorsal. A espécie, quando jovem, também apresenta semelhanças com a albacora branca (*Thunnus alalunga*) e com a albacorinha (*Thunnus atlanticus*) (MIYAKE, 1990) (Fig. 6).

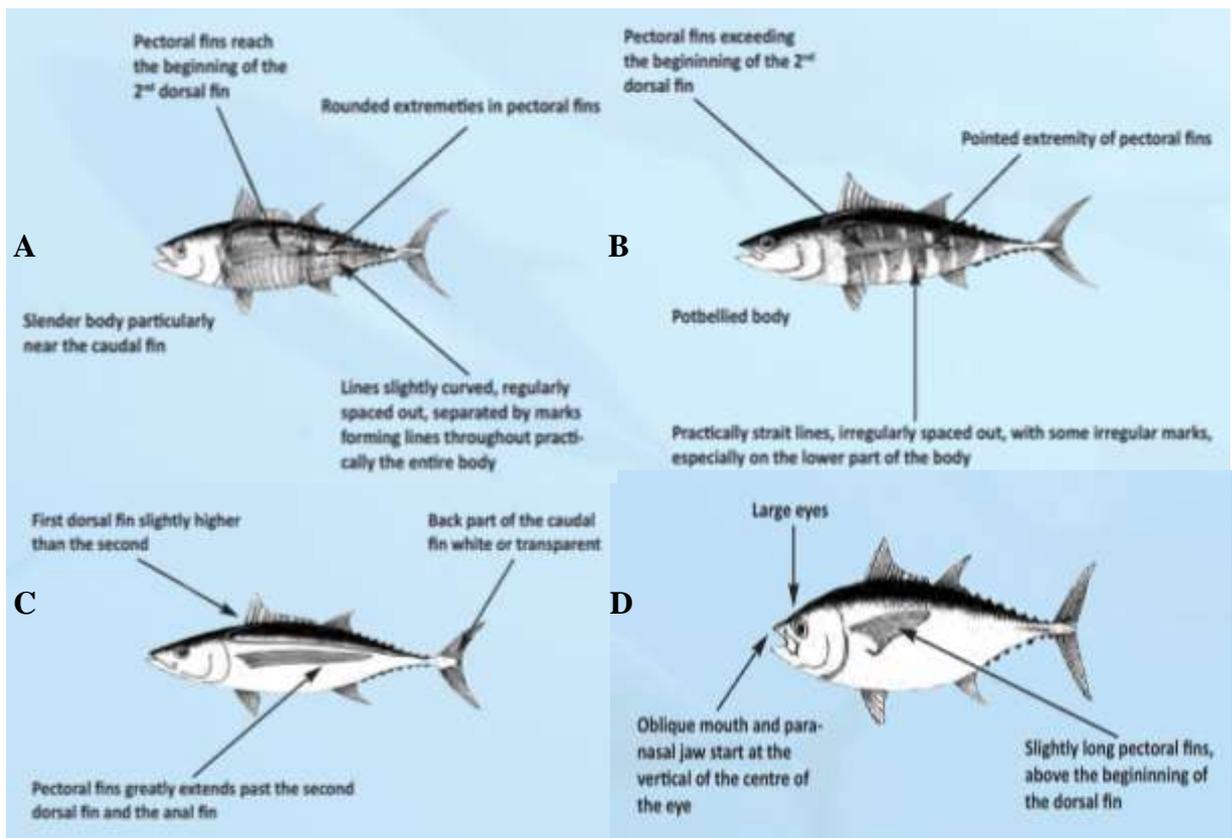


Figura 6. Características para identificação de juvenis do gênero *Thunnus* que ocorrem no Atlântico Tropical. A) *Thunnus albacares*; B) *T. obesus*; C) *T. alalunga*; D) *T. atlanticus*.

Fonte: Manual de Identificação da ICCAT, 2010b. SHEET 4: SPECIES IDENTIFICATION LARGE TUNAS – (*Thunnus*, *Orcynopsis*).

Segundo Cayré et al. (1993), a estimativa de longevidade para a espécie é de 10 a 15 anos. Estudos realizados nos três oceanos, com diferentes análises de crescimentos, levam a conclusões divergentes sobre o modelo de crescimento adequado (ROHIT et al. 2012; EVESON et al. 2015; FONTENEAU e HALLIER, 2015).

O modelo de crescimento adotado atualmente pela ICCAT é baseada na equação modificada de Von Bertalanffy (1938), tal como apresentado por Gascuel et al. (1992) Atlântico oriental, confirmando a existência de uma curva de crescimento marcado por duas fases, como já havia sido proposto por Cayré et al. (1988). De acordo com este modelo, o atum albacora tem uma fase lenta juvenil de crescimento (entre 40 e 65 cm de FL) seguido por uma fase de rápido crescimento no adulto, com um ponto de inflexão situado a 90 cm de CF entre ambas as fases. A sucessão de duas fases durante a fase de recrutamento parece estar relacionada com o caráter migratório da espécie.

Estudos de crescimento realizados no Atlântico ocidental usando leitura direta de idade em otólitos e o primeiro raio da primeira nadadeira dorsal (GAERTNER e PAGAVINO 1991, DRIGGERS et al. 1999, LESSA e DUARTE-NETO 2004) aplicam o modelo de crescimento logarítmico de von Bertalanffy. Entretanto, Shuford et al. (2007), a partir de microestrutura diária de otólitos sagittas de albacora laje capturadas no Golfo da Guiné e Carolina do Norte e com CF variando entre 5,2 e 179 cm, estimaram a idade e a curva de crescimento usando o CF correspondente e a idade estimada e os parâmetros e curva de crescimento obtidos com a função de crescimento de Von Bertalanffy que ajusta os dados e cujo resultados não suportam a teoria de duas fases usada atualmente.

A biologia reprodutiva da espécie ainda precisar ser mais detalhada. É sabido que a albacora laje apresenta ovários assíncronos com oócitos em vários estágios de desenvolvimento presentes simultaneamente, a fecundidade é indeterminada com a desova parcelada e em períodos noturnos (ARROCHA et al., 2000). Para Oceano Índico Centro-Leste, Guoping et al. 2008 observaram indivíduos maduros de albacora laje principalmente no de janeiro a junho, e esporadicamente, de setembro a dezembro. No entanto, é necessário destacar que não houve dados para os meses de julho e agosto, o que não permite inferir se o período de desova é contínuo nesses dois meses. O tamanho de primeira maturação estimado foi de 113,77 cm para as fêmeas e de 120,20 cm para os machos. Dois anos depois, Zudaire et

al. (2010) com estudos mais detalhados de microscópio identificou, além da descrição dos diferentes estágios de desenvolvimento dos oócitos, o tamanho da primeira maturação estimado em 77,8 cm, tendo em janeiro, fevereiro e junho como os meses em que os ovários mais desenvolvidos foram encontrados assim como, os maiores valores correspondentes ao Índice Gonodossomático (IGS).

No Atlântico Oriental, o Golfo da Guiné é a principal área de desova da albacora laje de outubro a março (BARD et al., 1991). Na região norte do Equador (Senegal-Guiné), os meses de reprodução são de abril a junho, o que é confirmado por Delgado de Molina et al. (1994a). Já Vieira (1991) estabelece o período reprodutivo nas ilhas de Cabo Verde no período quente, entre os meses de junho a outubro, embora haja certas variações de ano para ano.

No Atlântico oeste e central, informações da desova de *Thunnus albacares* foram relatadas por Arocha et al. (2001) no qual foi observado uma desova contínua a realizar-se no Golfo do México entre maio e agosto e no sudeste do Mar do Caribe entre julho e Setembro. A frequência de desova obtida neste trabalho foi consideravelmente maior do que os encontrados para a espécie no Coral Sea e no leste do Oceano Pacífico (EPO) (McPHERSON, 1991; SCHAEFER, 1996; 1998). Os autores concluíram que a desova da albacora laje no Atlântico oeste contribui para a pesca na região oeste e central deste oceano, o que retificar a hipóteses de que podem ser os adultos que fazem as migrações transatlânticas leste-oeste, além de, segundo Gaertner e Medina-Gaertner (1994), possíveis contribuições para espécimes capturados ao largo da costa brasileira.

Associando a variação sazonal da temperatura da superfície do mar e das correntes oceânicas, Hazin (1993) propôs um ciclo migratório da albacora laje no Atlântico equatorial, segundo o qual, no primeiro trimestre do ano o cardume estaria concentrado no Golfo de Guiné, seguindo numa migração transatlântica no sentido leste-oeste, ao longo da Corrente Sul Equatorial até o norte da Venezuela, no segundo trimestre, retornando no sentido oeste-

leste, ao longo da Contracorrente Norte Equatorial e Corrente Equatorial Submersa, entre setembro e dezembro.

O modelo de estoque único sugerido pela ICCAT para a albacora laje no Oceano atlântico é questionado por Gaertner e Medina-Gaertner (1994). Estes autores discutiram a hipótese de migrações transatlânticas oeste-leste, principal época de desova principal no Atlântico e a proporção de pré-adultos na liderança oeste de propor uma migração leste-oeste e concluíram que o modelo de migração presente do atum albacora no Atlântico é presunçoso. Porque as migrações oeste-leste são os únicos fatos conhecidos, não há troca entre albacora em águas norte-americanas e sul do Mar do Caribe.

A gestão desse recurso pesqueiro, naturalmente complexa em razão do seu comportamento altamente migratório, é complicada ainda mais pela elevada carência de informações básicas a respeito de seu ciclo de vida e estrutura populacional. Em particular, a compreensão de seus movimentos entre áreas de desova, berçário e alimentação é ainda muito limitada, restringindo a eficiência e alcance da gestão pesqueira.

Sua ampla distribuição explica a grande variedade dos aparelhos de pesca pelos quais são capturadas, embora a vara e isca-viva, a rede de cerco e o espinhel respondam pela grande maioria de suas capturas. A albacora laje é um dos principais alvos da pesca oceânica no Atlântico, onde a avaliação do estoque para a espécie tem sido feita considerando-se a existência de um único estoque (FONTENEAU, 1991).

No oeste do Oceano Atlântico e no Golfo do México, a espécie é capturada tanto pela pesca comercial como pela pesca recreativa, com níveis de mortalidade que podem não ser sustentáveis no ritmo atual de exploração. De fato, a biomassa de adultos e o recrutamento têm mostrado uma tendência de queda ao longo das últimas décadas, enquanto a mortalidade por pesca tem aumentado significativamente. De acordo com a última avaliação de estoque da espécie, realizada em 2011, o Rendimento Máximo Sustentável (RMS) se situava em torno de 145.000 t, enquanto a sua biomassa se encontrava cerca de 15% abaixo do nível necessário

para assegurar o RMS, indicando, portanto, que o estoque estava sobrepescado, embora não estivesse mais sofrendo sobrepesca, já que a mortalidade por pesca foi estimada em torno de 13% abaixo do nível compatível com o RMS (ICCAT, 2014).

Em 2012, a captura total da espécie no Atlântico foi de 101.400 toneladas, um decréscimo de 2% do ano anterior, o que correspondeu aproximadamente 24% da produção total de todas as espécies de atum capturadas (ISSF Status of Tuna Stocks, 2014). No Brasil, a albacora laje responde por uma porção de quase 3% das capturas, em particular na pesca de linha de mão e de espinhel, onde constitui uma das principais espécies exploradas.

Um aspecto fundamental para a conservação de populações exploradas pela pesca é a determinação da variação dos comprimentos individuais em função da idade, uma vez que somente através da estrutura etária é possível se avaliar as modificações dinâmicas por que passa o estoque (FONTELES FILHO, 2011).

Estruturas rígidas calcificadas presentes no corpo dos peixes têm sido usadas para estudos de dinâmica populacional já há várias décadas (LESSA E DUARTE-NETO, 2004; THORROLD, 2006; NOBREGA E LESSA, 2009). Os otólitos, em particular, que são três pares de concreções calcárias de formato tridimensional localizados na cavidade do ouvido interno, têm sido utilizados para esse fim, por apresentarem o melhor padrão permanente de crescimento nos peixes, já que nos mesmos não ocorre reabsorção óssea e a deposição de minerais é contínua (CAMPANA, 1999; CAMPANA e THORROLD, 2001).

A periodicidade do crescimento se traduz na diferença da composição química de cada camada recém-acrescida, muitas vezes associada às condições físico-químicas das massas de água por onde o peixe transitou (CAMPANA, 1999; ROOKER et al., 2001). Como resultado, o material depositado no otólito durante o primeiro ano de vida serve como um marcador natural do local de origem. Estudos recentes têm confirmado que os microconstituintes e os isótopos estáveis em otólitos podem ser usados para determinar a origem dos atuns de zonas

tropicais e temperadas (KENNEDY et al., 2002; HUMPHREYS et al., 2005; ROOKER et al., 2008a, b; SCHLOESSER et al., 2010; WELLS et al., 2012; FRAILE et al., 2014).

3- REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABDUL-MUNEER, 2014. Application of Microsatellite Markers in Conservation Genetics and Fisheries Management: Recent Advances in Population Structure Analysis and Conservation Strategies P. M. Hindawi Publishing Corporation Genetics Research International Volume 2014, Article ID 691759, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/691759>

AROCHA, F., LEE, D.W., MARCANO, L.A., MARCANO, J.S. 2000. Preliminary studies on the spawning of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the western Central Atlantic. Collect. Vol. Sci. Pap, ICCAT, 51(2): 538-551.

AROCHA, F., LEE, D.W., MARCANO, L.A., MARCANO, J.S. 2001. Update information on the spawning of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the western Central Atlantic. ICCAT, 51(2): 167-176.

BARD, F.X., YEN, S., STEIN, A. 1999. Habitat of deep swimming tuna (*Thunnus obesus*, *T. albacares*, *T. alalunga*) in Central South Pacific. Collect. Vol. Sci. Pap, ICCAT, 49 (3): 309-317.

BLOCK, B.A.; TE, S.L.H., WALLI A., BOUSTAN A., STOKESBURY M.J.W., FARWELL C.J., WENG K.C., DEWAR H., WILLIAMS, T.D. 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature*, 434: 1121–1127.

BRILL, R.W., BLOCK, B.A., BOGGS, C.H.; BIGELOW, K.A., FREUND, E.V., MARCINEK, D.J. 1999. Horizontal movements, depth distribution of large, adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) near the Hawaiian Islands, recorded using ultrasonic telemetry: implications for the physiological ecology of pelagic fishes. *Marine Biology*, 133: 395-408.

CAMPANA, S.E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar Ecol Prog Ser* 188: 263–297.

CAMPANA, S.E., THORROLD, S.R. 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58, 30-38.

CARLSSON, J., MCDOWELL, J.R., CARLSSON, L., GRAVES, J.E. 2007. Genetic identity of YOY bluefin tuna from the eastern and western Atlantic spawning areas. *Heredity*, 98: 23–28.

CAYRE, P., AMON KOTHIAS, B., DIOUF, T., STRETTA, J.M. 1988. Biología de los atunes, En Fonteneau A., J. Marcillé (Eds.), Recursos, pesca y biología de los túnidos tropicales de Atlántico centro-oriental. FAO Doc. Tec. Pesq., 292, 391 pp.

CAYRE, P., AMON KOTHIAS, J.B., DIOUF, T., STRETTA, J. M. 1993. Biology of tuna. In "Resources, fishing, and biology of the tropical tunas of the Eastern Central Atlantic: FAO Fish. Tech. Pap. 292" (A. Fonteneau and J. Marcille, eds.), pp. 147-244.

COLLETTE, B.B. 1978. Adaptations and systematics of mackerels and tunas. In SHARP, G. D. e DIZON, A. E. The physiological ecology of tunas. 7-40.

COLLETTE, B.B., NAUEM, C.E. 1983. FAO Species Catalogue. Vol. 2 Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tuna, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish. Synop., 125 (2): 137p. 19.

DELGADO de MOLINA, A., SANTANA, J.C., ARIZ, J., DELGADO DE MOLINA, R., PALLARÉS, P. 1994a. Estudio de algunos parámetros biológicos del rabil (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) del Atlántico este. *Collect. Vol. Sci. Pap, ICCAT*, 42 (2): 153-154.

DRIGGERS, W.B. I, GREGO, J.M., DEAN, J.M.. 1999. Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western North Atlantic Ocean. *Collect. Vol. Sci. Pap, ICCAT*, 49(3): 374-383.

DOUMENGE, F. 1998. L'histoire des peches thomieres. Col.Vol.Sci.Pap. ICCAT, 50 (2) : 753-803.

EVESON, J.P., MILLION, J., SARDENNE, F, CROIZIER G.L., 2015. Estimating growth of tropical tunas in the Indian Ocean using tag-recapture data and otolith-based age estimates. Fisheries Research - Vol. 163: 58–68.

FARNHAM, T.T. 2003. Genetic variation in Atlantic yellowfin tuna to assess population structure and reproductive variance. M.Sc. Thesis, Texas A&M University, 73 pp.

FONTELES FILHO, A.A. 2011. Oceanografia, biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros. Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza – CE. 179p.

FONTENEAU, A., 1991. . Seamounts and tuna in the tropical Atlantic. Aquat. Living Resour. 4:13–25.

FONTENEAU, A., 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.

FRAILE, I., ARRIZABALAGA, H., ROOKER, J.R. 2014. Origin of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Bay of Biscay. ICES Journal of Marine Science; doi:10.1093/icesjms/fsu156. [online] Disponível em <<http://icesjms.oxfordjournals.org/>> Acesso em dezembro de 2014.

GAERTNER, D., PAGAVINO, M. 1991. Observations sur la croissance de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Ouest, En Report of the Yellowfin Year Program. Collect. Vol. Sci. Pap, ICCAT, 36: 479-505.

GAERTNER, D., MEDINA-GAERTNER, M. 1994. Análisis de la estructura del stock de atún aleta amarilla por medio de las frecuencias de tallas. ICCAT, Col. Vol. Sci. Pap., 42(2):290-299.

GASCUEL, D., FONTENEAU, A., CAPISANO, C. 1992. Modélisation d'une croissance en deux stances chez l'albacore (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique est. *Aquatic Living Resources*, 5 (3): 155-172.

GENEVIEVE CORWIN. Division of fish and game of California. Fish Bulletin No. 22. A Bibliography of The Tunas. In - De Gerhard, Eduard. *Auserlesene Griechische Vasenbilder, Hauptsachlich Etruskischen Fundorts. CUTTING UP THE TUNA*. Berlin, G. Reimer, 1858, vol. 4, plate 316, fig. 1. Disponível em <http://content.cdlib.org/view?docId=kt338n996q&&doc.view=entire_text> Acesso em maio de 2015.

GUOPING, Z.; LIUXIONG, X.; YINGQI, Z., LIMING, S. 2008. Reproductive Biology of Yellowfin Tuna *T. albacares* in the West-Central Indian Ocean *J. Ocean Univ. Chin.* (Oceanic and Coastal Sea Research), Vol.7, No.3, pp.327-332 ISSN 1672-5182. <http://www.ouc.edu.cn/xbywb/>

HAZIN, F.H.V. 1993. Fisheries-oceanographical study on tunas, billfishes and sharks in the southwestern equatorial Atlantic Ocean. Tese de Doutorado. Universidade de Pesca de Tóquio, Tóquio, Japão. 286 pp.

HAZIN, F.H.V., TRAVASSOS, P.E. 2007. A pesca oceânica no Brasil no século 21. *Ver. Bras. Enga. Pesca* 2 (1). Departamento de Pesca e Aquicultura, Universidade Federal Rural de Pernambuco.

HOOLIHAN, J.P., LUO J., ABASCAL, F.J., CAMPANA, S.E., DE METRIO, G., DEWAR, H., DOMEIER, M.L., HOWEY, L.A., LUTCAVAGE, M.E., MUSYL, M.K., NEILSON, J.D., ORBESEN, E.S., PRINCE, E.D., ROOKER, J.R. 2011. Evaluating post-release behaviour modification in large pelagic fishes deployed with pop-up satellite archival tags. *ICES J Mar Sci* 68: 880-889.

HUMPHREYS, R.L.JR., CAMPANA, S.E., DEMARTINI, E.E. 2005. Otolith elemental fingerprints of juvenile Pacific swordfish *Xiphias gladius*. J. Fish Biol., 66, 1660–1670.

ICCAT, 2010a. Manual ICCAT *Thunnus albacares*. 1st Edition. Chapter 2.1.1

ICCAT, 2010b. SHEET 4: SPECIES IDENTIFICATION LARGE TUNAS – (Thunnus, Orcynopsis).

ICCAT - STATISTICAL BULLETIN. Vol 42 (1). June 2014. 26p. [online]. Disponível em <<https://www.iccat.int/sbull/SB42-1-2014/index.html>> Acesso em: julho de 2014.

INTERNACIONAL GAME FISHING ASSOSSIATION (IGFA) World Records – tuna, yellowfin (*Thunnus albacares*). 2001. Disponível em : <<http://wrec.igfa.org/WRecordsList.aspx?lc=AllTackle&cn=Tuna,%20yellowfin>> Acessado em 29/09/2013.

INTERNACIONAL GAME FISHING ASSOSSIATION (IGFA) World Records – tuna, yellowfin (*Thunnus albacares*). 2012. Disponível em : <<http://wrec.igfa.org/WRecordsList.aspx?lc=AllTackle&cn=Tuna,%20yellowfin>> Acessado em 29/09/2013.

ISSF Tuna Stock Status Update: Status of the world fisheries for tuna (2014). ISSF Technical Report 2014-09. International Seafood Sustainability Foundation, Washington, D.C., USA.[online] Disponível em <<http://iss-foundation.org/>> Acesso em novembro de 2014.

KENNEDY, B.P., KLAUE, A., BLUM, J.D., FOLT, C.L., NISLOW, K.H. 2002. Reconstructing the lives of fish using Sr isotopes in otoliths. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 59, 925–929.

LESSA, R., DUARTE-NETO, P. 2004. Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western equatorial Atlantic, using dorsal fin spines. Fisheries Research 69: 157–170.

McPHERSON, G.R. 1991. Reproductive biology of yellowfin tuna in the eastern Australian fishing zone, with special reference to the north-western Coral Sea. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 42:465-477.

MENDOZA, R.P.R. 2006. Otoliths and their applications in fishery science. *Ribarstvo*, vol.64, 2006, (3): 89—102.

MIYAKE, M. 1990. Manual de operaciones para estadísticas y muestreo de los túnidos y especies afines en el Océano Atlántico. 3ª ed. Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico. Madrid, España.

NOBREGA, M.F., LESSA, R.P. 2009. Age and growth of Spanish mackerel (*Scomberomorus brasiliensis*) off the northeastern coast of Brazil. *Neotrop. Ichthyol* [online]. 2009, vol.7, n.4, pg. 667-676. ISSN 1679-6225. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252009000400016> > Acessado em maio de 2013.

ROHIT, P.; RAO, G.S., RAMMOHAN, K. 2012. Age, growth and population structure of the yellowfin tuna *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) exploited along the east coast of India. *Indian J. Fish.*, 59(1) : 1-6.

ROOKER, J.R., SECOR, D.H., ZDANOWICZ, V.S., ITOH T. 2001. Discrimination of northern bluefin tuna from nursery areas in the Pacific Ocean using otolith chemistry. *Mar Ecol Prog Ser* 218: 275-282.

ROOKER, J.R., SECOR, D.H., DEMETRIO, G., KAUFMAN, J.A., BELMONTE RIOS, A., TICINA A. 2008a. Evidence of trans-Atlantic mixing and natal homing of bluefin tuna. *Mar Ecol Prog Ses* 368: 231-239.

ROOKER, J.R., SECOR, D.H., DEMETRIO, G., SCHLOESSER, R., BLOCK, B.A., NEILSON, J.D. 2008b. Natal homing and connectivity in Atlantic bluefin tuna populations. *Science* 322: 742-744.

SCHAEFER, K. 1996. Spawning time, frequency and batch fecundity of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from Clipperton Atoll in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Bull.*, 94:98-112.

SCHAEFER, K. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. IATTC Bulletin, 21(5):205-272.

SCHLOESSER, R.W., NEILSON, J.D., SECOR, D.H., ROOKER, J.R. 2010. Natal origin of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the Gulf of St. Lawrence based on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in otoliths. Can J Fish Aquat Sci 67: 563-569.

SHUFORD, R.L, DEAN, J.M., STÉQUERT, B., MORIZE, E. 2007b. Age and growth of yellowfin tuna in the Atlantic Ocean. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 60(1): 330-341.

ŠKELJO, F., FERRI, J. 2012. The use of otolith shape and morphometry for identification and size-estimation of five wrasse species in predator-prey studies. Journal of Applied Ichthyology Volume 28, Issue 4, pages 524–530.

THORROLD, S.R., JONES, G.P., PLANES, S., HARE, J.A. 2006. Transgenerational marking of embryonic otoliths in marine fishes using barium stable isotopes. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 63, 1193–1197.

TRAVASSOS P., PEREIRA A.A., TOLOTTI M.T. 2009. Comportamento da albacore-laje *Thunnus albacares* (Bonaterre, 1788). In: VIANA D.L. O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. Brasília, DF – SECIRM: 234 – 243.

VIEIRA, M.H. S.R. 1991. Saison de ponte et sex-ratio des albacores captures au Cap Vert. Collect. Vol. Sci. Pap, ICCAT, 36 (1): 564-586.

WANG, T., SURGE, D., WALKER, K.J. 2013. Seasonal climate change across the Roman Warm Period/Vandal Minimum transition using isotope sclerochronology in archaeological shells and otoliths, southwest Florida, USA. *Quaternary International* 308–309:230–241.

WELLS, R.J.D., ROOKER, J.R., ITANO, D. 2012. Nursery origin of yellowfin tuna in the Hawaiian Islands. Marine Ecology Progress Series, 461: 187–196.

WHITLOCK, R.E., MCALLISTER, M.K., BLOCK, B.A. 2012. Estimating fishing and natural mortality rates for Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) using electronic tagging data. Fisheries Research 119-120: 115-127.

ZUDAIRE, I., MURUA, H.; GRANDE, M.; KORTA, M.; ARRIZABALAGA, H.; ARESO, J., DELGADO-MOLINA A. 2010. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western and Central Indian Ocean. IOTC- WPTT-48.

4- ARTIGO CIENTÍFICO

4. 1- DISCRIMINAÇÃO DA ALBACORA LAJE, *Thunnus albacares* (BONNATERRE, 1788) NO ATLÂNTICO EQUATORIAL USANDO ELEMENTOS TRAÇOS DOS OTÓLITOS

Artigo científico a ser encaminhado a Revista **Fisheries**

Research.

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

Discriminação da albacora laje, *Thunnus albacares* (BONNATERRE, 1788) no Atlântico Equatorial usando elementos traços dos otólitos.

P. Roque^a, F. Hazin^a, J. Rooker^b.

^a Departamento de Pesca e Aquicultura, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 – Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: pollyana_cgr@hotmail.com

^b Department of Marine Biology, Texas A&M University at Galveston, 77554 Galveston, Texas, USA.

Title: Discrimination of yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788) in the Atlantic Equatorial using trace elements of otoliths

Keywords: tuna, connectivity, LA-ICPMS (Laser-Ablation System/ Inductively Couple Plasma Mass Spectrometer- LA-ICPMS).

Abstract:

The yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788), is a pelagic species of the *Scombridae* family that is distributed throughout the tropical and subtropical waters of the three oceans. Characterized by the yellow coloration of its fins and finlets, it is usually found close to the surface, in waters with high productivity and warm temperatures, being mainly targeted by pelagic longliners and purse seiners. The yellowfin tuna displays a marked migratory behavior, which hinders the understanding of their movements between spawning, nursery and feeding areas. In order to ensure the conservation of exploited populations, it is fundamental to determine the size distribution and length at age of the individuals caught. The use of trace elements in the analysis of the stock structure can assist in reconstructing the life history, origin and connectivity of various species. In the present study, in order to assess the degree of connectivity between the specimens caught in the eastern and western sides of the West and Central Equatorial Atlantic, the otoliths of 20 specimens with fork lengths (FL) ranging between 37 cm and 57 cm were analyzed. For this purpose, an ablation laser system coupled to a mass spectrometer through plasma induction (LA ICPMS) was used to measure the concentration of various trace elements: ⁷Li, ²⁴Mg, ⁵⁵Mn, ⁸⁸Sr, ¹³⁷Ba, ⁴⁴Ca- from an average of five ablation points to the core of each randomly chosen otolith. A Multivariate

Analysis of Variance (MANOVA) and a Quadratic Discriminant Function Analysis (QDFA), along with univariate tests, were performed with the SYSTAT 13 software. The catch sites, which included the Saint Peter and Saint Paul Archipelago- SPSPA (10), the Gulf of Guinea (5) and Cape Verde (5), were discriminated with high accuracy, with a rate of 85% being correctly classified. The spatial comparison of trace elements suggests a significant variation between regions ($p \leq 0.05$), with canonical scores equal to 0.172 in Brazil and 0.758 for Africa. The Wilk's Lambda test (0.386) was significant indicating that the concentration of the elements differed between the two regions showing that the individuals examined must have originated from chemically and/ or geographically distinct areas.

Resumo:

A albacora laje *Thunnus albacares* (BONNATERRE, 1788) é uma espécie pelágica da família Scombridae que se distribui em águas tropicais e subtropicais dos três oceanos. Caracterizada pela coloração amarelada de suas nadadeiras e pínulas, é normalmente encontrada na camada superficial, em águas com alta produtividade e elevada temperatura. Um dos principais alvos da frota pesqueira de espinhel pelágico e de rede de cerco, a espécie apresenta um comportamento altamente migratório o que dificulta a compreensão de seus movimentos entre áreas de desova, berçário e alimentação. Um aspecto fundamental para a conservação de populações exploradas pela pesca, contudo, é a determinação da distribuição de tamanhos e a variação dos comprimentos individuais em função da idade. A utilização de elementos traço na análise de estrutura dos estoques explorados pode auxiliar na reconstrução da história de vida, origem e conectividade de diversas espécies. No presente trabalho, foram analisados os otólitos de 20 indivíduos, com comprimento zoológico (CZ) variando entre 37 cm e 57 cm, para se avaliar o grau de conectividade entre os exemplares capturados no Atlântico Equatorial Oeste e Central. Para este fim, um sistema de ablação a laser ligado a um espectrômetro de massa por indução de plasma (LA ICPMS) foi utilizado para se medir a concentração dos elementos traços: ^7Li , ^{24}Mg , ^{55}Mn , ^{88}Sr , ^{137}Ba , e ^{44}Ca , a partir de uma média de cinco pontos de ablação para o núcleo de cada otólito escolhido aleatoriamente. Uma Análise Multivariada de Variância (MANOVA) e uma Análise Discriminante da Função Quadrática (QDFA), além de testes de univariância, foram efetuadas para determinar os locais de captura, que incluíram o Arquipélago de São Pedro e São Paulo- ASPSP (10), o Golfo da Guiné (5) e Cabo Verde (5). A acurácia da classificação foi de 85% e a comparação espacial dos elementos traços sugeriu uma variação significante entre as regiões ($p \leq 0,05$), com escores canônicos iguais a 0,172 para região do Brasil e de 0,758 para a da África. O teste

Wilk's Lambda (0,386) foi significativo indicando que a concentração dos elementos difere entre as duas regiões evidenciando que os indivíduos analisados devem ter se originado de áreas quimicamente e/ ou geograficamente distintas.

Palavras-chave: atum, conectividade, LA-ICPMS.

1. INTRODUÇÃO

Um aspecto fundamental para a conservação de populações exploradas pela pesca é a determinação da variação dos comprimentos individuais em função da idade, uma vez que somente através da estrutura etária é possível se avaliar as modificações dinâmicas por que passa o estoque (Fonteles Filho, 2011).

Estudos (Eveson et al., 2015; Miller, 2011; Škeljo e Ferri, 2012; Wang et al., 2013) mostram que as estruturas rígidas vêm sendo utilizadas em diversas áreas além da forma habitual, sendo estas extremamente importantes visto que a idade, a taxa de crescimento e a mortalidade são os três fatores mais influentes no controle das populações.

Várias ferramentas vêm sendo recentemente utilizadas para investigar a origem e a estrutura dos estoques de atuns em todo mundo, incluindo marcadores eletrônicos (Block et al., 2005; Hoolihan et al., 2011; Travassos et al., 2009; Whitlock et al., 2012), genética molecular (Abdul-Muneer, 2014; Carlsson et al., 2007; Farnham, 2003) e marcadores químicos naturais em partes rígidas ou tecidos (Fraile et al., 2014; Rooker et al., 2001; Rooker et al., 2008a, b; Thorrold, 2006).

Os marcadores químicos, particularmente aqueles presentes nos otólitos, têm um potencial significativo para a determinação e quantificação da origem e conectividade de populações potencialmente distintas, uma vez que apresentam o melhor padrão de crescimento dos peixes em razão da fixação de minerais em estruturas rígidas ao longo do seu desenvolvimento já que não há reabsorção óssea e a deposição é contínua (Mendoza, 2006).

A periodicidade do crescimento se traduz na diferença da composição química de cada camada recém-acrescida, muitas vezes associada às condições físico-químicas das massas de água por onde o peixe transitou (Rooker et al., 2001). Como resultado, o material depositado no otólito durante o primeiro ano de vida serve como um marcador natural do local de origem.

Estudos recentes demonstraram que os microconstituintes e os isótopos estáveis em otólitos podem ser usados, assim, para determinar a origem dos atuns de zonas tropicais e temperadas (Fraile et al., 2014, Humphreys et al., 2005; Kennedy et al., 2002; Rooker et al., 2008a, b; Schloesser et al., 2010; Wells et al., 2012).

A albacora laje, espécie epipelágica de distribuição circunglobal, é um dos principais alvos da pesca oceânica no Atlântico, sendo capturada tanto pela pesca comercial como pela pesca recreativa, com níveis de mortalidade que podem não ser sustentáveis no ritmo atual de exploração.

Associando a variação sazonal da temperatura da superfície do mar e das correntes oceânicas, Hazin (1993) propôs um ciclo migratório para a albacora laje no sentido leste-oeste/ oeste- leste, com área de concentração para a desova no Atlântico sudeste equatorial, Golfo da Guiné, e noroeste equatorial, norte da Venezuela. A gestão desse recurso pesqueiro, naturalmente complexa em razão do seu comportamento altamente migratório, é complicada ainda mais pela elevada carência de informações básicas a respeito de seu ciclo de vida e estrutura populacional. Em particular, a compreensão de seus movimentos entre áreas de desova, berçário e alimentação é ainda muito limitada, restringindo a eficiência e alcance da gestão pesqueira.

Assim, para auxiliar na reconstrução da história de vida, origem e conectividade dos estoques explorados, o presente trabalho avaliou o grau de conectividade entre exemplares de albacora laje capturados no Atlântico Equatorial, por meio dos microconstituintes presentes nos otólitos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção e preparação dos otólitos

Foram analisados 20 indivíduos de albacora laje com idade inferior a 01 ano e Comprimento Zoológico (CZ) variando entre 37 cm e 57 cm (tab.1), capturados em 2013 no Atlântico Equatorial. A idade dos espécimes foi estimada usando a equação de Von Bertalanffy para a albacora laje no Atlântico.

Os indivíduos capturados no lado oeste (n= 10) foram provenientes da frota atuneira que atua na circunvizinhança do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) compostas por barcos pesqueiros sediados na costa do nordeste brasileiro (Hazin et al., 2009), numa área que se estende desde os 50 m até cerca de 10 milhas náuticas de distância do mesmo. Os exemplares da costa leste foram capturados em Cabo Verde (n= 5) e Golfo da Guiné (n= 5) (Fig.1). Em toda a amostragem foi feito um esforço para que faixa de comprimento zoológico (CZ) dos indivíduos capturados fossem menores que 60 cm com o objetivo de minimizar a distância dos movimentos e para prevenir a ocorrência de movimentos em grande escala.

Em laboratório os espécimes foram mensurados sendo aferido o CZ (cm) e o peso total (PT) (g). Posteriormente, a cápsula auditiva foi rompida no sentido horizontal, logo acima da cavidade ocular, para retirada dos otólitos, os quais foram removidos com pinça, lavados em água destilada (dH₂O) e armazenados a seco em eppendorf, identificando-se o local e época de coleta.

Um único otólito *sagittae*, o maior dos três otólitos encontrados na cápsula auditiva, escolhido aleatoriamente foi incluído em resina epóxi Stuers e seccionado, utilizando-se uma Serra Metalográfica ISOMET, para a obtenção de secções transversais de 1,5 mm de espessura a partir do núcleo (Rooker et al. 2008b).

2.2 *Análise do elemento traço*

Em parceria com a Texas A & M University (Galveston- TX, USA) foi utilizado um sistema de ablação a laser ligado a um espectrômetro de massa por indução de plasma (Laser-Ablation System/ Inductively Couple Plasma Mass Spectrometer- LA-ICPMS) para quantificar a concentração dos elementos traços: ${}^7\text{Li}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{55}\text{Mn}$, ${}^{88}\text{Sr}$, ${}^{137}\text{Ba}$, e ${}^{44}\text{Ca}$, a partir de uma média de cinco pontos de ablação para o núcleo de cada otólito escolhido aleatoriamente (Schloesser et al., 2010). As concentrações dos elementos traços foram expressas como razões molares para Ca (ex: Li: Ca, Mg: Ca) através da equação:

Elemento: Ca = (PPB do elemento * 0,001) / Massa atômica do elemento) / (0,38/Massa atômica de Ca). No qual, PPB – partes por bilhão; e 0,38 corresponde o cálcio fixado em 38%, ou seja, 0,38g/g.

2.3 *Análise estatística*

A Análise Multivariada de Variância (MANOVA) foi usada para testar as diferenças regionais em assinaturas elementares em que a área de captura dos indivíduos foi usada como fator fixo para se avaliar o grau de conectividade entre os exemplares capturados na costa leste e oeste do Atlântico Equatorial. Testes univariados para cada elemento foram calculados usando-se o modelo MANOVA (p-Value = 0,012). Pillai trace foi selecionada como a estatística de teste, pois é a mais robusta para desvios de homogeneidade de covariâncias (Rooker et al., 2001). A Análise Discriminante da Função Quadrática (QDFA) foi utilizada para avaliar a precisão da classificação de indivíduos em t_0 comparando-se as regiões analisadas com amostras-base. Os testes foram efetuados utilizando o software SYSTAT 13, o que proporcionou a fiabilidade de estimativas não paramétricas das contribuições para as diferentes regiões.

3. RESULTADOS

3.1 *Discriminação dos locais de capturas*

Os locais de captura, que incluíram o Arquipélago de São Pedro e São Paulo- ASPSP (10), o Golfo da Guiné (5) e Cabo Verde (5), foram discriminados com alta acurácia, com um total de 85% (80% para o Atlântico Ocidental e 90% para o Atlântico Oriental) dos indivíduos capturados sendo corretamente classificados (Fig. 2). O teste Pillai's Trace (0,614) foi significativo ($p < 0.05$) indicando que as concentrações elementares são significativamente diferentes nas regiões testadas.

As concentrações do elemento:Ca de Mg, Mn, Sr e Ba da região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo tiveram uma média mais elevada em comparação com as da região da África. No entanto, para o Li:Ca, a diferença da concentração média das regiões foi de aproximadamente 8% maior para esta região (Fig. 3).

A comparação espacial dos elementos traços sugere variação significativa entre as regiões ($p \leq 0,05$), com escores canônicos iguais a 0,172 para o Atlântico Ocidental e de 0,758 para o Atlântico Oriental. O teste Wilk's Lambda (0,386) foi significativo indicando que a concentração dos elementos difere entre as duas regiões, evidenciando que os indivíduos analisados devem ter se originado de áreas quimicamente e/ ou geograficamente distintas.

4. DISCUSSÃO

Diversas ferramentas vêm sendo utilizadas para investigar a origem e a estrutura dos estoques de atuns em todo mundo, entre as quais os marcadores químicos naturais em partes rígidas ou tecidos têm demonstrado um potencial significativo para a determinação e quantificação da origem e conectividade de populações potencialmente distintas.

Madigan et al. (2014) utilizou traçadores químicos em tecido para compreender e reconstruir padrões migratórios, distinguindo os indivíduos de atum azul do Pacífico (*Thunnus orientalis*; PBFT) que migraram recentemente dos residentes, e melhorando, assim, as práticas de gestão pesqueira.

Rooker et al. (2001); Rooker et al. (2008a,b), Schloesser et al. (2010) e Fraile et al. (2014), em estudos com os atuns azuis do Pacífico (*T. orientalis*) e do Atlântico (*Thunnus thynnus*), utilizaram microquímica e isótopos estáveis de carbono e oxigênio ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$) em otólitos para discriminar áreas de berçário e evidenciar migrações transoceânicas e a conectividade das populações.

Por todo o Atlântico onde albacora laje (*Thunnus albacares*) se alimenta, as populações ocidental e oriental se misturam, aparentemente só se distinguindo pelos respectivos territórios de desova, no Golfo do México/Caribe e Golfo da Guiné. A existência desta mistura foi comprovada por cientistas com programas de identificação e através de programas de marcação e análise de DNA há mais de uma década.

Os elementos, 7Li , 24Mg , 55Mn , 88Sr , 137Ba , 44Ca , analisados nos otólitos de *T. albacares* mostraram concentrações consistentes e, portanto, possíveis de serem utilizadas como referência no presente estudo, que encontrou diferenças significativas nas concentrações médias elementais e, assim, uma clara separação dos grupos da região oriental, claramente originária do Golfo da Guiné, e ocidental, tendo a principal área de desova no Golfo do México.

O presente estudo corrobora com Shuford et al. (2007) que analisaram a microquímica de otólitos de albacora laje juvenis em áreas de desova/ berçário no Golfo da Guiné, sudeste do Mar do Caribe e Oceano Pacífico para estabelecer a utilidade da utilização dessa metodologia para delinear origem natal. No referido trabalho, seis elementos apareceram em concentrações consistentemente confiáveis para análise: Mg, Rb, Sr, Ba, K e Na. A análise regional e temporal do estudo mostrou uma clara separação entre as áreas, enquanto a

amostragem espacial mostrou uma separação moderada. A precisão da classificação entre as duas áreas de berçário do Atlântico foi de 89,2% (92,5% para o Golfo da Guiné amostras e 84% para o Mar do Caribe), muito próxima do valor encontrado no presente estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado e a FACEPE pela concessão do Auxílio Mobilidade ao Discente que proporcionou a visita técnica ao Fisheries Ecology Lab da Texas A & M University. Ao professor Jay R. Rooker e sua equipe, em especial Larissa Kitchens e Jessica Lee, por fornecer amostras do Atlântico Ocidental, espaço de laboratório, equipamentos e processamento dos dados na LA-ICPMS. A toda equipe do laboratório que ajudaram nas coletas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo e especialmente ao professor Eduardo Pimenta e sua equipe por toda a credibilidade desde o começo do projeto.

LITERATURA CITADA

Abdul-Muneer, 2014. Application of Microsatellite Markers in Conservation Genetics and Fisheries Management: Recent Advances in Population Structure Analysis and Conservation Strategies P. M. Hindawi Publishing Corporation Genetics Research International Volume 2014, Article ID 691759, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/691759>

Block B.A., Te S.L.H., Walli A., Boustan A., Stokesbury M.J.W., Farwell C.J., Weng K.C., Dewar H., Williams T.D. 2005. Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature*, 434: 1121–1127.

Carlsson J., McDowell J.R., Carlsson L., Graves J.E. 2007. Genetic identity of YOY bluefin tuna from the eastern and western Atlantic spawning areas. *Heredity*, 98: 23–28.

Eveson, J. P., Million, J., Sardenne, F, Croizier G.L., 2015. Estimating growth of tropical tunas in the Indian Ocean using tag-recapture data and otolith-based age estimates. *Fisheries Research* - Vol. 163: 58–68

Farnham T.T. 2003. Genetic variation in Atlantic yellowfin tuna to assess population structure and reproductive variance. M.Sc. Thesis, Texas A&M University, 73 pp.

Fonteles Filho, A.A. 2011. Oceanografia, biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros. Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza – CE. 179p.

Fraile I., Arrizabalaga H., Rooker J.R. 2014. Origin of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*; doi:10.1093/icesjms/fsu156. [online] Disponível em <<http://icesjms.oxfordjournals.org/>> Acesso em dezembro de 2014.

Hazin, F.H.V. 1993. Fisheries-oceanographical study on tunas, billfishes and sharks in the southwestern equatorial Atlantic Ocean. Tese de Doutorado. Universidade de Pesca de Tóquio, Tóquio, Japão. 286 pp

Hoolihan J.P., Luo J., Abascal F.J., Campana S.E., De Metrio G., Dewar H., Domeier M.L., Howey L.A., Lutcavage M.E., Musyl M.K., Neilson J.D., Orbesen E.S., Prince E.D., Rooker

J.R. 2011. Evaluating post-release behaviour modification in large pelagic fishes deployed with pop-up satellite archival tags. *ICES J Mar Sci* 68: 880-889.

Humphreys R.L.Jr., Campana, S.E., Demartini, E.E. 2005. Otolith elemental fingerprints of juvenile Pacific swordfish *Xiphias gladius*. *J. Fish Biol.*, 66, 1660–1670.

Kennedy, B. P., Klaue, A., Blum, J. D., Folt, C. L., Nislow, K. H. 2002. Reconstructing the lives of fish using Sr isotopes in otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59, 925–929.

Madigan, D. J., Baumann, Z., Carlisle, A. B., Hoen, D. K., Popp, B. N., Dewar, H., Snodgrass, O. E., Block, B. A. And Fisher, N. S. 2014. Ecological Society of America Reconstructing transoceanic migration patterns of Pacific bluefin tuna using a chemical tracer toolbox. *Ecology*, 95(6), pp. 1674–1683

Mendoza, R. P. R. 2006. Otoliths and their applications in fishery science. *Ribarstvo*, vol.64, 2006, (3): 89—102.

Miller J.A. 2011 Effects of water temperature and barium concentration on otolith composition along a salinity gradient: implications for migratory history. *J Exp Mar Biol Ecol* 405: 42–52.

Rooker J.R., Secor D.H., Zdanowicz V.S., Itoh T. 2001. Discrimination of northern bluefin tuna from nursery areas in the Pacific Ocean using otolith chemistry. *Mar Ecol Prog Ser* 218: 275-282.

Rooker J.R., Secor D.H., Demetrio G., Kaufman J.A., Belmonte Rios A., Ticina A. 2008a. Evidence of trans-Atlantic mixing and natal homing of bluefin tuna. *Mar Ecol Prog Ser* 368: 231-239.

Rooker J.R., Secor D.H., Demetrio G., Schloesser R., Block B.A., Neilson J.D. 2008b. Natal homing and connectivity in Atlantic bluefin tuna populations. *Science* 322: 742-744.

Schloesser R.W., Neilson J.D., Secor D.H., Rooker J.R. 2010. Natal origin of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from the Gulf of St. Lawrence based on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in otoliths. *Can J Fish Aquat Sci* 67: 563-569.

Shuford, R. L., Dean, J. M., Stéguert, B. And Labonne, M. 2007. Elemental fingerprints in otoliths of juvenile yellowfin tuna from spawning grounds in the Atlantic Ocean. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 60(1): 314-329.

Škeljo, F. E Ferri, J. 2012. The use of otolith shape and morphometry for identification and size-estimation of five wrasse species in predator-prey studies. *Journal of Applied Ichthyology* Volume 28, Issue 4, pages 524–530.

Thorrold, S.R., Jones, G.P., Planes, S., Hare, J.A. 2006. Transgenerational marking of embryonic otoliths in marine fishes using barium stable isotopes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 63, 1193–1197.

Travassos P., Pereira A.A., Tolotti M.T. 2009. Comportamento da albacore-laje *Thunnus albacares* (Bonaterre, 1788). In: VIANA D.L. O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. Brasília, DF – SECIRM: 234 – 243.

Wang, T., Surge, D., Walker, K.J. 2013. Seasonal climate change across the Roman Warm Period/Vandal Minimum transition using isotope sclerochronology in archaeological shells and otoliths, southwest Florida, USA. *Quaternary International* 308–309:230–241.

Web of Science®,

WELLS, R. J.D.,ROOKER, J. R., ITANO,D. 2012. Nursery origin of yellowfin tuna in the Hawaiian Islands. *Marine Ecology Progress Series*, 461: 187–196.

Whitlock, R.E., Mcallister, M.K., Block, B.A. 2012. Estimating fishing and natural mortality rates for Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) using electronic tagging data. *Fisheries Research* 119-120: 115-127.

ANEXOS

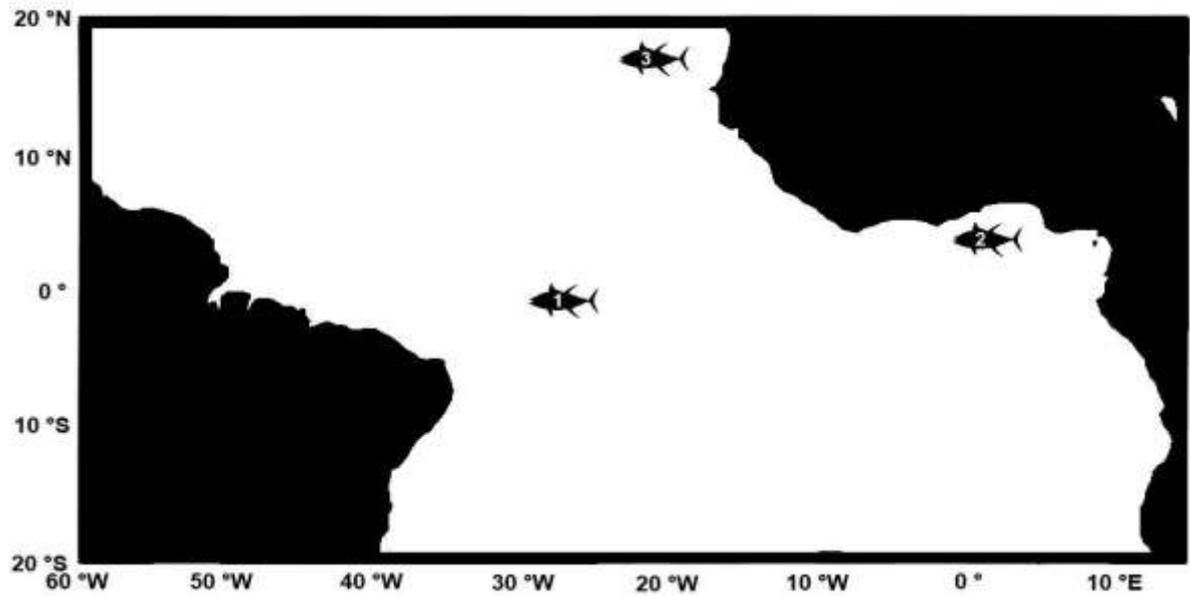


Figura 1. Oceano Atlântico Equatorial. As marcas indicam os pontos de coleta: 1 – Arquipélago de São Pedro e São Paulo (29-26°W, 0-1°N); 2 – Golfo da Guiné (0-2°E, 7-8°N); 3 - Cabo Verde (17-18°W, 15-19°N).

Fonte: Isa Coutinho.

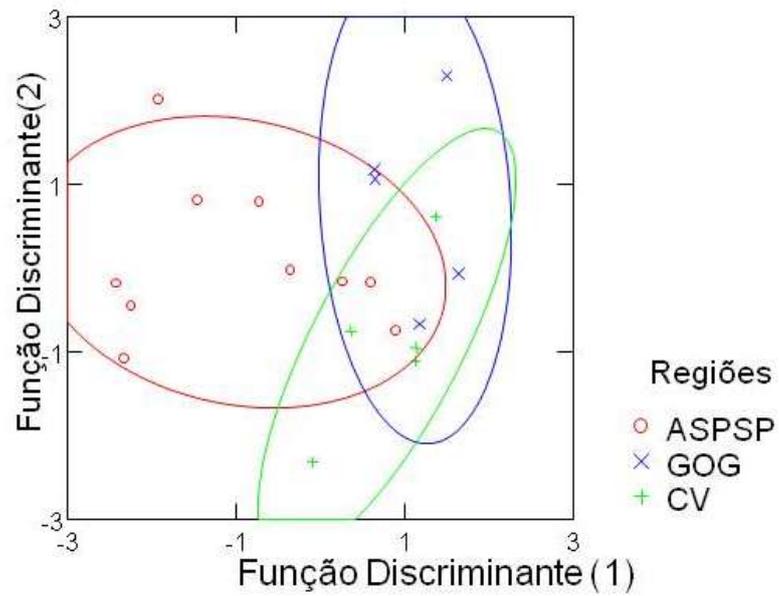


Figure 2. Análise da canônica da função discriminante mostrando a clara separação entre as três áreas geograficamente distintas: Arquipélago de São Pedro e São Paulo- ASPSP, Golfo da Guiné- GOG, e Cabo Verde- CV.

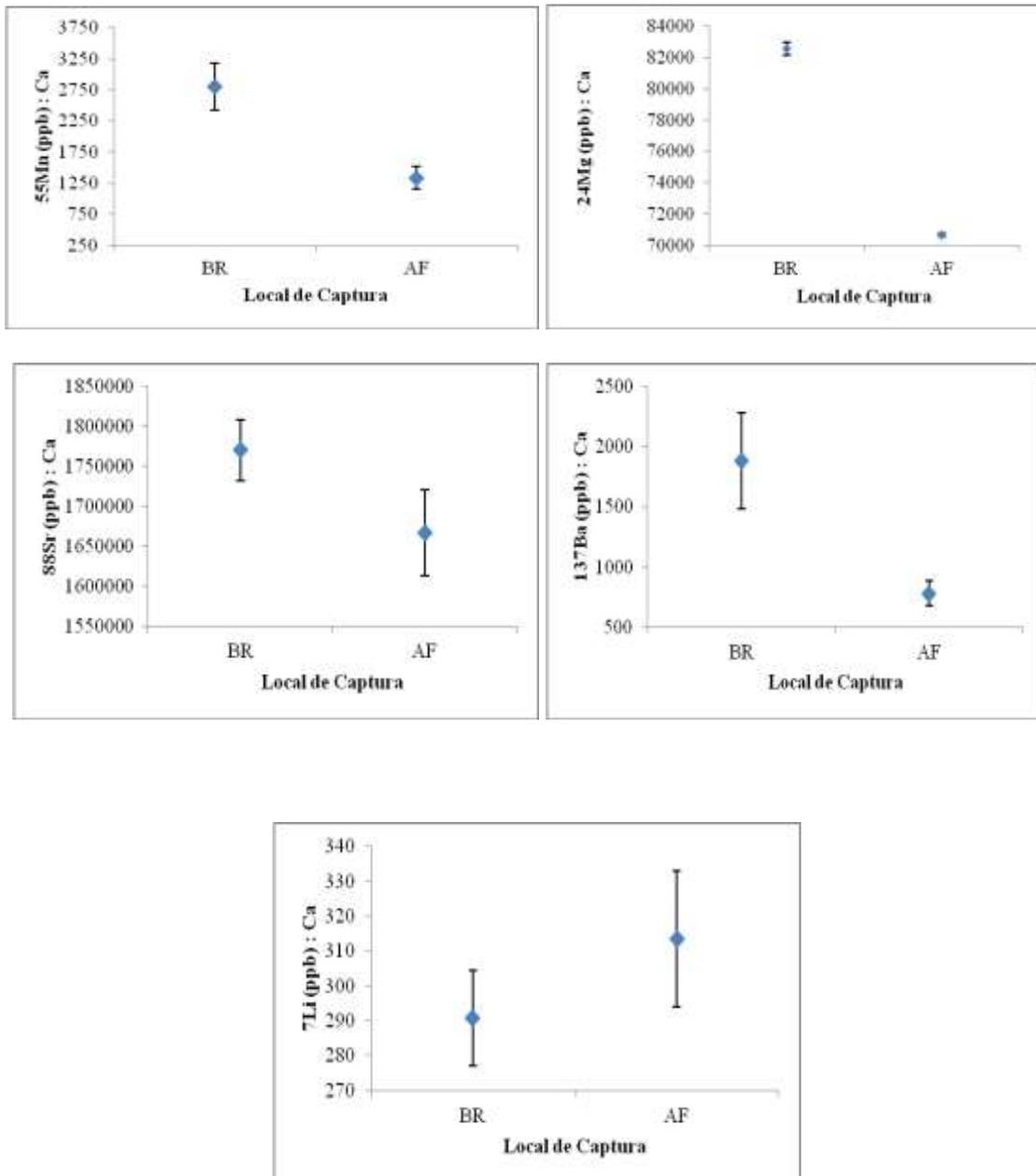


Figura 3. Concentrações média elementares de ${}^7\text{Li}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{55}\text{Mn}$, ${}^{88}\text{Sr}$, ${}^{137}\text{Ba}$ em otólitos de albacora laje (*T. albacares*) coletados no Atlântico Central (BR) e Oriental (AF). As barras indicam o desvio padrão.

Tabela 1. Variação do comprimento zoológico (CZ) e idade (anos) dos indivíduos capturados no Atlântico Equatorial.

LOCAL DE CAPTURA	N	CF (cm)	IDADE (anos)
Arquipélago de São Pedro e São Paulo- ASPSP	10	42.5 – 57.0	0.72 – 0.98
Cabo Verde- CV	5	38.5 - 44.0	0.65 – 0.75
Golfo da Guiné- GOG	5	37.0 – 45.0	0.62 – 0.76

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que as impressões digitais elementares em otólitos de juvenis podem ser delineadores úteis do local de origem para albacora laje no Atlântico, permitindo que indivíduos geograficamente distintos sejam discriminados com um alto nível de precisão. A identificação de impressões digitais elementares sugere que o método tem potencial de uso na determinação da estrutura e dinâmica da população e fornece suporte para avançar com o desenvolvimento do projeto “Nursery origin of yellowfin tuna in the Gulf of Mexico using ‘natural’ tags”, cujo objetivo é determinar a estrutura de estoque e movimentação da albacora laje (*Thunnus albacares*) no Oceano Atlântico, com ênfase na determinação da origem dos indivíduos no Golfo do México. Além de selecionar espécimes capturados em diversos pontos de coleta, para determinar a taxa de contribuição de possíveis recrutas do Golfo, principal área de desova da espécie, para as demais regiões, e vice-versa.

INSTRUÇÕES AOS AUTORES – FISHERIES RESEARCH

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

Subdivision - numbered section

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

•**Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

•**Author names and affiliations.** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

•**Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that phone numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.**

•**Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also,

non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531×1328 pixels (h \times w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5×13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: [Illustration Service](#).

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 5 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, "and", "of"). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords are important because they will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Authors and Editors are also, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*, the *International Code of Nomenclature of Bacteria*, and the *International Code of Zoological Nomenclature*. All biota (crops, plants, insects,

birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals.

All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Active ingredients of all formulations should be likewise identified.

Database linking

Elsevier encourages authors to connect articles with external databases, giving their readers one-click access to relevant databases that help to build a better understanding of the described research. Please refer to relevant database identifiers using the following format in your article: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN). See <http://www.elsevier.com/databaselinking> for more information and a full list of supported databases.

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the printed version.

- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format. Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications that can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Text graphics

Text graphics may be embedded in the text at the appropriate position. If you are working with LaTeX and have such features embedded in the text, these can be left. See further under Electronic artwork.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

In the case of publications in any language other than English, the original title is to be retained. However, the titles of publications in non-Latin alphabets should be transliterated, and a notation such as "(in Russian)" or "(in Greek, with English abstract)" should be added.

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. References concerning unpublished data and "personal communications" should not be cited in the reference list but may be mentioned in the text. MSc or BSc dissertations are not allowed as bibliographic references, however, theses from higher degrees (e.g. PhD) are allowed. Citation of a reference as "in press" implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately

(e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

This journal has standard templates available in key reference management packages EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to wordprocessing packages, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style which is described below.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations: <http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Data at PANGAEA

Electronic archiving of supplementary data enables readers to replicate, verify and build upon the conclusions published in your paper. We recommend that data should be deposited in the data library PANGAEA (<http://www.pangaea.de>). Data are quality controlled and archived by an editor in standard machine-readable formats and are available via Open Access. After processing, the author receives an identifier (DOI) linking to the supplements for checking. As your data sets will be citable you might want to refer to them in your article. In any case, data supplements and the article will be automatically linked as in the following example: [doi:10.1016/0016-7037\(95\)00105-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00105-9). Please use PANGAEA's web interface to submit your data (<http://www.pangaea.de/submit/>).

Interactive plots

This journal encourages you to include data and quantitative results as interactive plots with your publication. To make use of this feature, please include your data as a CSV (comma-separated values) file when you submit your manuscript. Please refer to <http://www.elsevier.com/interactiveplots> for further details and formatting instructions.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Phone numbers

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

<http://www.elsevier.com/journals/fisheries-research/0165-7836/guide-for-authors>