



BOLSAS FUNBIO
CONSERVANDO
O FUTURO

Fundo Brasileiro para a Biodiversidade Bolsas Funbio
Conservando o Futuro Programa de Bolsas de
Mestrado e Doutorado



DECIFRANDO A ICTIOFAUNA MESOPELÁGICA DO NORDESTE DO BRASIL

Aluno: Leandro Nolé Eduardo

Bolsa solicitada: Doutorado

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3271149306128845>

Orientadora: Dra. Flávia Lucena Frédou

Vínculo: Professor Associado IV da UFRP

Lattes: CV: <http://lattes.cnpq.br/4779271407117528>

RECIFE, 2018

INTRODUÇÃO

Os montes submarinos e ilhas oceânicas brasileiras são ecossistemas particulares, apresentando elevada produtividade, alta biodiversidade e áreas consideradas prioritárias para conservação e uso sustentável (CBD, 2014; SERAFINI; FRANÇA; ANDRIGUETTO-FILHO, 2010; TCHAMABI, 2017). Localizadas em uma região oceânica oligotrófica, esses ambientes alteram a circulação oceânica local e, através do fenômeno denominado "Island mass effect", trazem nutrientes de camadas mais profundas, enriquecendo as águas superficiais, aumentando a produtividade primária e criando “verdadeiros hotspots de vida marinha no deserto oceânico” (HAZIN et al., 1998; LIRA et al., 2014; TCHAMABI et al., 2017).

O Arquipélago de Fernando de Noronha (FN, 3°50'S - 32°25'W) e Atol das Rocas (AR, 3°52'S - 33°49'W), ambos localizados no Atlântico tropical ocidental e associados a vários montes submarinos, contribuem fortemente com a produtividade da zona econômica exclusiva do Nordeste do Brasil e abrigam uma notável biodiversidade (FIEDLER et al., 2016; TCHAMABI et al., 2017). Possuem áreas de proteção marinhas (Parque Nacional Marinho Fernando de Noronha 'PANAMAR', Reserva Biológica do Atol das Rocas 'REBIO', Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha, Rocas – São Pedro e São Paulo) e configuram-se como uma região de Significante Importância Ecológica e Biológica (EBSA) (CBD, 2014). Devido aos montes submarinos entre AR e FN, elevada produção primária e isolada posição geográfica, ambas as áreas são consideradas uma única unidade biográfica, sendo esta essencial para a conservação da fauna marinha brasileira (BREU; GUGGENBICHLER; WOLLMANN, 2008). Considerando à importância desses ambientes, muitos trabalhos têm se concentrado na ictiofauna marinha dessa grande unidade biogeográfica (e.g. DOMINGUEZ et al., 2016; KIKUCHI; SCHOBENHAUS, 2002; LESSA et al., 1998; LIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2011; SOTO, 2001). No entanto, seus esforços têm sido dedicados principalmente a animais que vivem associados ao substrato ou perto da superfície (0-200m). Dessa forma, existem poucos registros que descrevam a ictiofauna da zona mesopelágica (200-1000 m de profundidade), uma das regiões menos estudadas do mundo (ST. JOHN et al., 2016).

A região mesopelágica representa aproximadamente 20% do volume global dos oceanos, desempenha papéis importantes nos ciclos biogeoquímicos, detém um enorme potencial pesqueiro e sua ictiofauna é numericamente o componente mais importante das águas oceânicas. A ictiofauna mesopelágica contém organismos chaves na cadeia alimentar, uma vez que constituem níveis tróficos intermediários e, devido à sua abundância e migração vertical diária (MVD), permitem uma rápida troca de energia e transporte de carbono entre a zona epipelágica e camadas mais profundas (DRAZEN; SUTTON, 2017). Por consequência, o conhecimento das espécies envolvidas na MVD e seus padrões migratórios particulares são questões básicas para quaisquer investigações adicionais sobre o fluxo de carbono e interações entre organismos marinhos e mudanças climáticas (MCCLAIN-COUNTS; DEMOPOULOS; ROSS, 2017; RADCHENKO, 2007).

Além da importância no transporte de carbono, estudos mostram que os peixes mesopelágicos servem como importante fonte de alimento para espécies ameaçadas e/ou de importância comercial, como atuns, tubarões, cetáceos (baleias, golfinhos) e aves marinhas (DRAZEN; SUTTON, 2017). Dessa forma, trabalhos de ecologia trófica que envolvam comunidades mesopelágicas são atualmente considerados como prioridade (DRAZEN; SUTTON, 2017; MCCLAIN-COUNTS; DEMOPOULOS; ROSS, 2017). Estudos prévios baseados em análises de conteúdo estomacal (ACE) de peixes mesopelágicos classificam as espécies em três principais guildas: zooplantívoros, micronectívoros e generalistas (GARTNER et al., 2008; PUSCH; HULLEY; KOCK, 2004). No entanto, embora abordagens utilizando ACE possam oferecer uma alta resolução taxonômica na identificação das presas, a metodologia é restrita a uma curta representação temporal e reflete apenas a dieta aparente dos animais, e não a que foi efetivamente incorporada ao tecido (HADWEN; RUSSELL; ARTHINGTON, 2007; MCCLAIN-COUNTS; DEMOPOULOS; ROSS, 2017). Portanto, por meio unicamente dessa abordagem, é difícil estabelecer com exatidão as relações tróficas e importância das fontes alimentares que envolvem comunidades marinhas. De maneira alternativa, a incorporação de análises de isótopos estáveis (AIE) em estudos de ecologia trófica tem contribuído em minimizar alguns desses problemas (POST, 2002a; VALLS et al., 2014). Através do estudo da razão entre os isótopos estáveis é possível traçar os fluxos de alguns elementos (Ex: Carbono, Nitrogênio) ao longo da cadeia alimentar até sua deposição no tecido animal, possibilitando um entendimento mais complexo sobre o fluxo energético ao longo de toda da cadeia trófica (PETERSON; FRY,

1987). Este método vem sendo empregado extensivamente em estudos de ecologia alimentar (DENIRO; EPSTEIN, 1978; LAYMAN et al., 2007; POST, 2002a; VALLS et al., 2014). No entanto, para comunidades mesopelágicas, abordagens utilizando AIE ainda são escassas e concentradas em apenas alguns poucos estudos ao redor do mundo (DRAZEN; SUTTON, 2017; MCCLAIN-COUNTS; DEMOPOULOS; ROSS, 2017; VALLS et al., 2014).

Apesar da sua importância, estudos sobre a comunidade mesopelágica são caros, demorados e de difícil implementação, sendo restritos ao redor do mundo (ST. JOHN et al., 2016). Embora alguns trabalhos tenham sido realizados nos últimos anos (DAVISON; LARA-LOPEZ; ANTHONY KOSLOW, 2015; MCCLAIN-COUNTS; DEMOPOULOS; ROSS, 2017; OLIVAR et al., 2012), relativamente poucos documentos foram publicados sobre a comunidade mesopelágica na região do Atlântico Sul (Ex: BRAGA et al., 2007; BRAGA; COSTA, 2014; FIGUEIREDO; SANTOS, 2008; VASKE et al., 2005), com nenhum deles descrevendo detalhadamente a sua migração, biodiversidade e ecologia trófica no nordeste do Brasil. Dessa forma, considerando a importância ecológica da ictiofauna mesopelágica, somado à necessidade de informações sobre a região, o presente estudo visa descrever a biodiversidade, distribuição e ecologia trófica da ictiofauna mesopelágica brasileira, com ênfase na região das ilhas oceânicas (FN e AR) e montes submarinos do Nordeste do Brasil. Os resultados gerados neste estudo irão contribuir para conservação dos organismos, habitats e manejo ecossistêmico da pesca, assim como para um melhor entendimento sobre os efeitos mitigadores do transporte de carbono por organismos mesopelágicos no aquecimento global.

OBJETIVOS

Geral

Caracterizar a biodiversidade, ecologia trófica, migração vertical e relação entre a distribuição das espécies e parâmetros oceanográficos da ictiofauna mesopelágica associada a ilhas oceânicas (FN e AR) e montes submarinos do Nordeste do Brasil, gerando subsídios para conservação da biodiversidade, identificação de habitats críticos e manejo ecossistêmico da pesca.

Específicos

Capítulo I - Peixes mesopelágicos do Brasil.

- Compilar e elaborar um check-list da ictiofauna mesopelágica brasileira, incluindo trabalhos publicados e destacando as novas ocorrências e extensões de áreas de ocorrência no âmbito deste trabalho.
- Comparar a composição da ictiofauna mesopelágica brasileira com a composição da ictiofauna mesopelágica descritas em outras localidades do mundo.

Capítulo II – Biodiversidade, distribuição e migração vertical da ictiofauna mesopelágica associada a ilhas oceânicas (FN e AR) e montes submarinos do Nordeste do Brasil.

- Determinar a biodiversidade, estrutura (em peso e comprimento) e abundância das principais assembleias de peixes mesopelágicos da área de estudo
- Descrever a distribuição e migração, horizontal e vertical, das principais assembleias de peixes mesopelágicos da área de estudo e sua relação com parâmetros físico-químicos.

Capítulo III- Estrutura trófica da comunidade mesopelágica do Nordeste do Brasil baseada em isótopos estáveis de carbono e nitrogênio.

- Baseada em isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, caracterizar o fluxo energético e a importância da ictiofauna mesopelágica na cadeia trófica marinha das ilhas oceânicas (FN e AR) e montes submarinos do Nordeste do Brasil.

METODOLOGIA

Coleta e processamento de dados

O estudo baseia-se em amostras coletadas durante duas campanhas oceanográficas do projeto Acoustics along the BRAzilian COaSt (ABRACOS), realizadas no Nordeste do Brasil, no período de 30/07/2015 - 20/08/2015 e 06/04/2017 - 09/05/2017, a bordo no navio R/V ANTEA. A amostragem foi conduzida em 52 estações nas proximidades das ilhas oceânicas (FN e AR) e monte submarinos do Nordeste do Brasil (Fig. 1). Arrastos foram realizados entre 50 e 1000 m de profundidade, durante 30 minutos, e através de uma rede de arrasto mesopelágico (RME, malha

do corpo: 30 mm, malha do saco: 4 mm) e uma rede de Micronéctom (RMI, malha do corpo: 40 – 80mm, malha do saco: 10 mm). A duração do arrasto foi cronometrada a partir do momento da chegada da rede na profundidade predefinida, enquanto a profundidade e abertura da rede foram monitoradas por meio de um sistema SCANMAR (<http://www.scanmar.no/en/>).

Para cada arrasto, os peixes foram separados a bordo e preservados em formalina a 4% em água do mar ou congelados até que pudessem ser processados em terra. Em laboratório, todos os indivíduos coletados estão sendo identificados ao menor nível taxonômico possível, sendo posteriormente tombados no Museu Ictiológico do NUPEM-RJ. Para cada exemplar, dados morfométricos como o comprimento total (LT), comprimento padrão (SL) e peso úmido (WT) estão sendo registrados. Para registros de dados oceanográficos (oxigênio, salinidade, temperatura e PH), foram utilizados um micro CTD fixado a rede e perfis verticais através de um CTD e roseta de dez níveis de profundidade em cada estação.

Para análise de isótopos estáveis e estudo da estrutura trófica, as mesmas operações de pesca foram utilizadas para coleta de cefalópodes, crustáceos, organismos gelatinosos (filo cnidária) e macroalgas. Além disso, outros procedimentos de coleta também foram utilizados para amostragem isotópica de plâncton, zooplâncton, predadores de topo (Atuns, Barracuda, Dourado), aves marinhas e matéria orgânica particulada (Tabela 1)

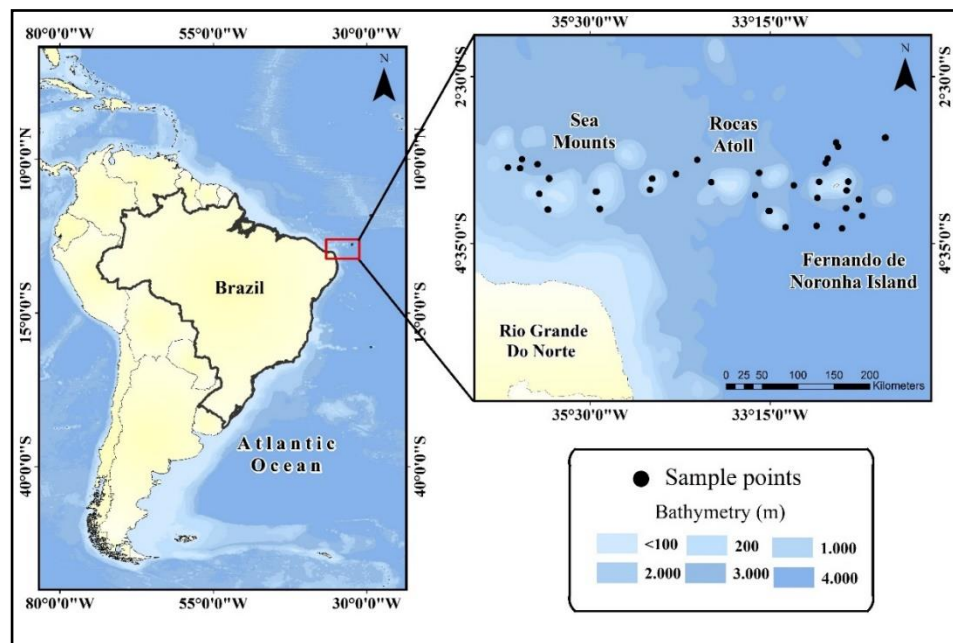


Fig.2- Área de estudo e pontos de coleta.

Tabela 1- Descrição e métodos de coleta dos compartimentos utilizados em análises isotópicas.

Compartimentos	Descrição	Método de Coleta
Peixes mesopelágicos	25 espécies de peixes mesopelágicos capturados em diferentes profundidades e em diferentes períodos do dia	Rede de arrasto mesopelágico e rede de Micronéctom
Crustáceos	15 espécies de crustáceos (camarão, copépodes, stomatopoda, krill, etc) capturados ao longo da coluna d'água em diferentes períodos do dia	
Cefalópodes	5 espécies de cefalópodes capturados ao longo da coluna d'água em diferentes períodos do dia	
Gastrópodes	2 espécies de larva de gastrópode capturados ao longo da coluna d'água em diferentes períodos do dia	
Organismos gelatinosos	3 espécies de cnidários capturadas ao longo da coluna d'água em diferentes períodos do dia	
Larva leptocephalus	3 espécies de larva leptocephalus capturadas ao longo da coluna d'água em diferentes períodos do dia.	
Macroalga	1 espécie de macroalga capturada ao longo da coluna d'água em diferentes períodos do dia	
Plâncton	Diversos organismos divididos em 4 grupos (plâncton, microplâncton, nanoplâncton e picoplâncton)	Rede de plâncton e garrafas Niskin equipadas em uma roseta
Zooplâncton	Diversos organismos pertencentes ao grupo zooplâncton	Rede bongo (64, 120, 300 e 500 μm) e rede WP2 (200 μm)
Matéria orgânica particulada (POM)	Micropartículas de matéria orgânica dissolvidas na água.	Garrafas Niskin equipadas em uma roseta
Peixes predadores de topo	Espécimes de Barracuda, atum e dourado.	Anzol e linha
Aves marinhas	3 espécies de aves marinhas capturadas em torno da Ilha de Fernando de Noronha.	Aves capturadas no ninho

Análise de dados

Capítulo I - Peixes mesopelágicos do Brasil

Será realizada uma revisão bibliográfica e compilação de dados sobre peixes mesopelágicos encontrados em águas brasileiras. A revisão bibliográfica será baseada em estudos já publicados e disponíveis em bibliotecas e bases de dados (literatura cinza). A partir das informações coletadas construiremos um banco de dados contendo todas as espécies de peixes catalogadas, acompanhadas de suas respectivas classificações taxonômicas e pontos de coleta. Quando disponíveis, informações adicionais como comprimento, peso, sexo e número de indivíduos também serão adicionadas.

Além da revisão bibliográfica, também serão incluídas espécies da ictiofauna mesopelágica coletadas no âmbito deste trabalho, incluindo novas ocorrências, extensões de áreas e novas espécies descritas. Até o momento já foram identificadas 150 espécies, distribuídas em mais de 4000 espécimes e 40 novas ocorrências para região Brasileira. Para essas espécies também serão calculadas Relações Morfométricas de Peso e Comprimento (RPC). Valores da RPC serão estimados através da equação: $PT = a \times CP^b$ (FROESE, 2006), onde PT é o comprimento total; CP é o comprimento padrão; a é o intercepto da curva de regressão e b o coeficiente angular. A classificação do tipo de crescimento das espécies será feita de acordo com os valores do coeficiente angular b , como se segue: (i) $b = 3$, crescimento isométrico; (ii) $b < 3$, alométrico negativo; e (iii) $b > 3$, alométrico positivo. O T-test ($p < 0,05$) será aplicado para testar se o valor do coeficiente angular significativamente diverge do valor isométrico ($H_0=3$).

Ao termino do levantamento, organização e análise de dados, todas as informações serão compiladas, disponibilizadas em formato de check-list e comparadas com a composição da ictiofauna mesopelágica de outras regiões do mundo.

Capítulo II – Biodiversidade, distribuição e migração vertical da ictiofauna mesopelágica associada a ilhas oceânicas (FN e AR) e montes submarinos do Nordeste do Brasil.

Dados de densidade e biomassa para a ictiofauna capturada serão apresentados para cada uma das redes separadamente (RME, RMI) e considerando o volume arrastado (indivíduos/m³ e gramas/m³), que será calculado através da multiplicação entre a distância de arrasto (obtida com

uso de GPS) e abertura da rede. A composição da ictiofauna será obtida através da caracterização qualitativa e quantitativa das capturas. A dominância das espécies será classificada segundo os critérios propostos por GARCIA et al., (2006), sendo as espécies classificadas como abundantes quando a sua abundância relativa for maior ou igual a média de CPUE na amostra ; e frequentes quando a sua frequência de ocorrência (FO) for maior que 50% para a área. Portanto, as espécies serão classificadas como: comum e frequentes ($\%N > CPUE \text{ media e } \%FO \geq 50\%$), comum e não frequentes ($\%N > CPUE \text{ media e } \%FO < 50\%$), raras e frequentes ($\%N > CPUE \text{ media e } \%FO < 50\%$), e raras e não frequentes ($\%N < CPUE \text{ media e } \%FO < 50\%$)

A estrutura da comunidade será investigada por meio de uma matriz de similaridade de Bray-Curtis, que será construída a partir de dados de abundância relativa e utilizada para realizar análises de agrupamento (cluster) e escalonamento multidimensional (MDS) (BORCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011). Se necessário, dados de captura serão transformados, de forma a ponderar proporcionalmente as espécies raras. Para identificar a contribuição de cada espécie para a dissimilaridade entre os grupos formados, a rotina SIMPER será aplicada. Será realizada uma análise de variância não-paramétrica (PERMANOVA) para testar diferenças na composição e associações de peixes entre os períodos do dia, parâmetros físico-químicos, estações do ano e gradientes de profundidade.

A diversidade será avaliada com base em seis índices calculados considerando gradientes de profundidade, período do dia, localidade e grupos formados nas análises de agrupamento (Tabela 2). Os índices de diversidade Hill's N1, Hill N2 e Pielou's evenness (J') serão obtidos utilizando dados de abundância relativa não transformados, enquanto a riqueza de Margalef será estimada usando dados de abundância não transformados (HILL, 1973; MARGALEF, 1978; PIELOU, 1966). Além disso, a riqueza também será estimada através de estimadores não-paramétricos (Chao2, bootstrap e Jackknife2), que serão escolhidos e avaliados de acordo com suas diferentes bases conceituais (dados de entrada, número amostral e a proporção entre espécies raras e dominantes) (MAGURRAN, 2004). A diversidade taxonômica (Δ) e a distinção taxonômica (Δ^*), que requerem informações taxonômicas para a estimativa da distância entre as espécies (Warwick e Clarke, 1995), serão calculadas usando uma hierarquia taxonômica baseada em Nelson (2016). Serão utilizados cinco níveis taxonômicos: espécies, gêneros, famílias, ordens e classes. Os pesos atribuídos a cada nível ω_{ij} serão equidistantes, sendo 20 para espécies pertencentes a diferentes gêneros, 40 para espécies de diferentes famílias e mesmo gênero, 60 para

espécies pertencentes a diferentes ordens, mas mesma família, 80 para espécies de diferentes classes e mesma ordem, e 100 para indivíduos pertencentes à mesma classe (WARWICK; CLARKE, 1995).

Tabela 2- Índices de diversidade. $x_1 (i = 1, \dots, S)$ denota o número de indivíduos da i th espécie; $N (= \sum_{i=1}^S x_i)$ é o número total de indivíduos na amostra; $p_i (= \frac{x_i}{N})$ é a proporção de todos os indivíduos pertencentes a espécie i , ω_{ij} é o comprimento do caminho taxonômico entre as espécies i and j , f_{ij} é a

Índices de diversidade	Formula	Símbolo	Descrição	Referencias
Riqueza de Margalef	$d = \frac{s-1}{\ln N}$	d	Número de espécies ajustadas ao número de indivíduos	Margalef 1958
Pielou's evenness	$J' = \frac{H'}{\ln S}$	J'	Equitabilidade na distribuição de abundâncias de espécies em uma comunidade	Pielou 1966
Hill's N1	$N1 = \exp H'$	N1	Exponencial de Shannon. Representa o número de espécies que seria encontrado na comunidade se todas as espécies tivessem a mesma abundância.	Hill 1957
Hill's N2	$N2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2}$	N2	Recíproco de Simpson. Expressa a probabilidade de que dois indivíduos capturados ao acaso em uma comunidade infinita pertençam à mesma espécie.	Hill 1957
Diversidade taxonômica	$\Delta = 2 \frac{\sum \sum_{(i < j)} (\omega_{ij} x_i x_j)}{(N(N-1))}$	Δ	Distância taxonômica esperada entre dois indivíduos capturados aleatoriamente	Warwick and Clark 1995
Distinção taxonômica	$\Delta^* = \frac{\sum \sum_{(i < j)} (\omega_{ij} x_i x_j)}{\sum \sum_{(i < j)} (x_i x_j)}$	Δ^*	Distância taxonômica esperada entre dois indivíduos capturados aleatoriamente, considerando que eles pertencem a diferentes espécies	Warwick and Clark 1995

dissimilaridade funcional entre as espécies i e j .

Para estudo da migração vertical e variações da ictiofauna mesopelágica, a composição, índices ecológicos e abundância (CPUA) da comunidade será comparada em diferentes posições em relação as ilhas (montante e jusante), gradientes de profundidade (estratos de 100m), períodos do dia (dia e noite), localidade (AR, FN) e posição em relação a oxyclina (em cima ou abaixo), termoclina (em cima ou abaixo), e picnoclina (em cima ou abaixo). Para estas análises, os testes estatísticos ANOVA e PERMANOVA serão utilizados. Além disso, dados oceanográficos (temperatura, salinidade e O₂) serão utilizados para caracterizar as massas d'água, permitindo correlacionar a composição, abundância e distribuição da ictiofauna mesopelágica com as respectivas massas d'água identificadas. Análises multivariadas (Ex: PCA, RDA) também serão utilizadas a fim de melhor entender a influência dos parâmetros oceanográficos na composição e abundância da ictiofauna mesopelágica.

Capítulo III- - Estrutura trófica da comunidade mesopelágica do Nordeste do Brasil baseada em isótopos estáveis de carbono e nitrogênio.

A estrutura trófica da ictiofauna mesopelágica será avaliada através da análise de isótopos de carbono (C) e nitrogênio (N). Para realização das análises, amostras de músculo dos diferentes indivíduos coletados foram processadas segundo protocolo descrito em GARCIA et al. (2007) e serão analisadas no LEMAR UMR (IRD-França) através de um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS). O valor referência utilizado será PeeDee Belemnite (PDB) para o ^{13}C e nitrogênio atmosférico para ^{15}N . As razões isotópicas serão expressas usando a notação delta (δ) em partes por mil (‰) de acordo com a relação $\delta X = [(R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}})-1].1000$, onde $X=^{13}\text{C}$ ou ^{15}N e $R=^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (PETERSON; FRY, 1987). A posição trófica para os diferentes grupos será calculada a partir da equação proposta por (MINAGAWA; WADA, 1984), $TP = \lambda + 1(\delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor secundário}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}}) / \delta_n$, onde λ = posição trófica do organismo usado para estimar $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ (Ex.: $\lambda = 1$ para consumidor primário) e δ_n é o fator de enriquecimento de ^{15}N do nível trófico. O fator de enriquecimento trófico utilizado será de 1‰ para o ^{13}C (DENIRO; EPSTEIN, 1978) e 3,4‰ para ^{15}N (POST, 2002b).

A quantificação dos recursos assimilados pelos consumidores será feita a partir do modelo de mistura SIAR (PARNELL et al., 2010) e por meio de biplots (C, N). A amplitude trófica será baseada na área total isotópica (AT) representada pelos polígonos convexos para todos indivíduos de cada espécie (JACKSON et al., 2011). Estes correspondem a menor área total referente aos polígonos que abrangem todas as assinaturas $\delta^{13}\text{C}$ e ^{15}N (LAYMAN et al., 2007). Além disso, também serão calculadas outras 5 métricas tróficas que permitem investigar e descrever o nicho isotópico da ictiofauna (LAYMAN et al., 2007) (Tabela 3). As métricas poderão ser utilizadas para comparação entre diferentes zonas dentro da área de estudo (AR, FN, montes submarinos) e comparações com outras comunidades mesopelágicas ao redor do mundo.

Tabela 3 - Métricas tróficas baseadas em $\delta^{13}\text{C}$ e ^{15}N e utilizadas para descrição do nicho trófico da ictiofauna.

Métrica	Descrição	Objetivo
Carbono range – CR	Diferença entre as espécies com o maior e menor valor de razão $\delta^{13}\text{C}$	Medida de diversidade de recursos basais
Nitrogen range – NR	Diferença entre as espécies com o maior e menor valor de razão $\delta^{15}\text{N}$	Medida de comprimento trófico dentro de uma cadeia alimentar
Centroid distance – CD	Distância euclidiana média entre o valor de $\delta^{13}\text{C}$ e ^{15}N para cada espécie e centroide calculado para comunidade.	Medida da diversidade trófica e espaçamento das espécies
Nearest neighbour distance	Média das distâncias euclidianas entre os vizinhos mais próximo dentro do espaço do biplot.	Medida da densidade geral do agrupamento das espécies
Standard deviation of nearest neighbour distance – SDNND	Uniformidade de agrupamento das espécies no espaço do biplot.	Medida da distribuição / dispersão de indivíduos dentro de um espaço isotópico

ATIVIDADES PREVISTAS

Coleta de dados – Consistiu na coleta de diversos dados físicos, químicos e biológicos através de duas campanhas oceanográficas do projeto ABRACOS.

Coleta de dados isotópicos complementares – Consiste na coleta de dados isotópicos de aves marinhas e grande predadores (atuns, dourados, agulhões etc) da região oceânica estudada. O material é recebido no laboratório BIOIMPACT semestralmente através de projetos paralelos. Após recebimento o material é processado para coleta de amostras isotópicas.

Identificação e processamento da ictiofauna – Todo material ictiológico coletado está sendo processado no laboratório BIOMPACT. Onde os indivíduos são identificados, medidos, pesados e conservados. Amostras isotópicas também são coletadas nesta etapa.

Validação e Tombamento no museu ictiológico -NUPEM – Após termino do processamento no laboratório BIOIMPACT, todos indivíduos serão encaminhados para o museu ictiológico do NUPEM, onde as identificações de espécimes serão validadas por um taxonomista (Dr. Michael Maia Mincarone, co-orientador deste plano de tese) e tombadas.

Análises isotópicas – As análises isotópicas serão analisadas e transportadas para o laboratório LEMAR UMR (IRD-França).

Interpretação de dados – Após o termino do processamento, análises e interpretações de dados serão realizadas no Brasil (sob supervisão da Dra. Flávia Lucena Frédou e Dr. Michael Maia Mincarone) e na França (sob supervisão e treinamento do Dr. Arnaud Bertrand e François Le Loc'h).

Elaboração de produtos – Após análises de dados os produtos desta tese serão elaborados e publicados em meios de divulgação específicos.

INFRAESTRUTURA FÍSICA E TECNOLÓGICA A SER UTILIZADA

O estudo baseia-se em amostras coletadas durante duas campanhas oceanográficas do projeto franco-brasileiro Acoustics along the BRAzilian COaSt (ABRACOS), realizadas a bordo do navio R/V ANTEA (<http://dx.doi.org/10.17600/15005600/>; <http://dx.doi.org/10.17600/17004100>). O Navio consta com diferentes redes e CTDs, nos permitindo a coleta diversos dados, físicos, químicos e biológicos.

Após a coleta de dados todo material ictiológico está sendo processado no Laboratório de Estudos de Impactos Antrópicos na Biodiversidade Marinha e Estuarina (BIOIMAPACT), localizado no Departamento de Pesca e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. O laboratório consta com toda infraestrutura física e tecnológica para o processamento inicial das amostras (identificação dos espécimes, coleta de dados morfométricos e amostras isotópicas). Após a etapa inicial, todo material processado será enviado para validação e tombamento no Museu Ictiológico do Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Socioambiental de Macaé (NUPEM), localizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ.

Para análises isotópicas, todo material destinado a esse fim será enviado para o laboratório LEMAR UMR (IRD-França), onde serão estudados através de um espectrômetro de massa de razão isotópica (IRMS).

CRONOGRAMA

Atividades	Ano/Semestre															
	2017		2018				2019				2020					
	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°		
Coleta de dados	Já realizada															
Levantamento Bibliográfico																
Organização data-base																
Defesa do Plano																
Disciplinas																
Identificação e processamento																
BIOIMPACT - UFRPE																
Tombamento museu ictiológico - NUPEM- UFRJ.																
Coleta de material isotópico																
Análises laboratoriais isotópicas - LEMAR UMR (IRD-França)																
Análise de dados																
Redação da Tese																
Elaboração de produtos																
Submissão de produtos																
Qualificação																
Defesa da Tese																

RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTOS PREVISTOS

Impactos previstos

- A biodiversidade mesopelágica, até então pouco conhecida, será descrita, compilada e divulgada em uma única fonte, possibilitando um melhor entendimento sobre a biodiversidade marinha. Esta informação é essencial dentre as demandas internacionais da CDB (Convenção da Biodiversidade).
- A caracterização da dinâmica trófica mesopelágica nos permitirá entender a importância dessa comunidade para cadeia trófica oceânica, incluindo o seu papel como fonte de alimento para espécies ameaçadas e/ou de importância comercial, como atuns, tubarões, cetáceos e aves marinhas.
- A descrição da dinâmica trófica mesopelágica, aliada aos estudos de migração vertical, permitirá entender os processos de transferência de carbono entre a zona epipelágica e camadas mais profundas na região do Atlântico sul. Esta informação é essencial para entender

a importância ecológica da comunidade mesopelágica e o seu papel mitigador nos fenômenos de mudanças climáticas.

- A descrição da atual biodiversidade e estrutura da comunidade mesopelágica, aliada ao estudo da sua relação com parâmetros físico-químicos, permitirá este e futuros trabalhos simular e entender os efeitos das mudanças climáticas nas comunidades marinhas.

Produtos

Artigo I – Length-weight relationships of mesopelagic fishes in the northeast of Brazil. A ser submetido para revista *Fisheries Research*.

Artigo II – Checklist of mesopelagic Brazilian fishes. A ser submetido para revista *Zootaxa*.

Artigo III - The biodiversity, distribution and vertical migration of mesopelagic fishes of the northeast Brazil. A ser submetido para revista *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*.

Artigo IV - Trophic structure of mesopelagic fishes in northeast Brazil based on stable isotopes of carbon and nitrogen. A ser submetido para revista *Journal of Marine Systems*.

PLANILHA DE ORÇAMENTO COM ESTIMATIVA DOS GASTOS PREVISTOS

Orçamento da Pesquisa						
Categoria de despesa	Descrição dos itens	Material será cedido para Instituição (Sim ou Não)	Quantidade	Unidade (un; litro; metro; dia; km)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Material de consumo	Toner	Não	5	um	R\$ 200.00	1,000.00
	Material de escritório (Papel, caneta, lapis, borracha)	Não	1		R\$ 1,000.00	1,000.00
Serviço de terceiros Pessoa Jurídica	Análise de isótopos estáveis	Não	300	um	R\$ 30.00	9,000.00
Equipamento e materiais didáticos	Nootbook	Sim	1	um	R\$ 4,500.00	4,500.00
	Material Didático: Livro Deep-Sea Fishes: Biology, Diversity, Ecology and Fisheries	Sim	1	um	R\$ 500.00	500.00

	Material Didático: Livro Fishes of the World	Sim	1	um	R\$ 650.00	650.00
	Material Didático: Livro The Fishes of New Zealand	Sim	1	um	R\$ 700.00	700.00
	Material Didático: Livro Biological Diversity: Frontiers in Measurement and Assessment	sim	1	um	R\$ 300.00	300.00
	Material Didático: The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology	sim	1	um	R\$ 450.00	450.00
	Material Didático: Livro Numerical Ecology with R	sim	1	um	R\$ 350.00	350.00
	Material Didático: Livro Oceanic Anglerfishes: Extraordinary Diversity in the Deep Sea	Sim	1	um	R\$ 550.00	550.00
TOTAL						19,000.00

REFERÊNCIAS

- BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. 1. ed. Québec: Springer New York Dordrecht London Heidelberg, 2011.
- BRAGA, A. DA C. et al. Padrões de distribuição de teleósteos epi- e mesopelágicos na costa central (11-22° S) brasileira. **Biodiversidade da fauna marinha profunda na costa central brasileira. Série Livros 24**, v. 86, p. 63–86, 2007.
- BRAGA, A. DA C.; COSTA, P. Lanternfish (Myctophidae) from eastern Brazil, southwest Atlantic Ocean. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 42, n. 1, p. 245–257, 2014.
- BREU, F.; GUGGENBICHLER, S.; WOLLMANN, J. Plano de Manejo APA - FEN. **Vasa**, 2008.
- CBD. **Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSAs). Special places in the world's oceans**. 2. ed. Recife: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014.
- DAVISON, P.; LARA-LOPEZ, A.; ANTHONY KOSLOW, J. Mesopelagic fish biomass in the southern California current ecosystem. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 112, p. 129–142, 2015.
- DENIRO, M. J.; EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. **Geochim. Cosmochim. Acta ; Vol/Issue: 42:5**, v. 42, p. Pages: 495-506, 1978.
- DOMINGUEZ, P. S. et al. A pesca artesanal no arquipélago de Fernando de Noronha (PE). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 42, n. 1, p. 241–251, 2016.
- DRAZEN, J. C.; SUTTON, T. T. Dining in the Deep : The Feeding Ecology of Deep-Sea Fishes. **Annual Review of Marine Science**, v. 9, n. October, p. 1–26, 2017.
- FIEDLER, F. N. et al. Hyperiid amphipods around the seamounts and islands off northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 4, p. 339–351, 2016.
- FIGUEIREDO, J. L.; SANTOS, A. P. DOS. **Guia de identificação dos peixes da família Myctophidae do Brasil**. 1. ed. São Paulo: EDUSP, 2008.
- FONSECA, G.A.B., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C. G. **Conservation of island biodiversity – importance, challenges and opportunities**. Washington, DC, USA: Center for Applied Biodiversity Sciences, Conservation International, 2006.
- FROESE, R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 22, n. 4, p. 241–253, ago. 2006.
- GARCIA, A. M. et al. Comparison of 1982-1983 and 1997 . 1998 E Nino Effects on the. **Estuaries**, v. 27, n. 6, p. 0–6, 2004.
- GARCIA, A. M. et al. Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 73, n. 3–4, p. 399–408, 2007.

- GARTNER, J. V. et al. Persistent near-bottom aggregations of mesopelagic animals along the North Carolina and Virginia continental slopes. **Marine Biology**, v. 153, n. 5, p. 825–841, 2008.
- GIBBS JR, R. .; KRUEGER, W. . **Biology of Midwater Fishes of the Bermuda Ocean Acre**. [s.l.] Smithson. Contrib. Zool., 1987.
- HADWEN, W. L.; RUSSELL, G. L.; ARTHINGTON, A. H. Gut content- and stable isotope-derived diets of four commercially and recreationally important fish species in two intermittently open estuaries. **Marine and Freshwater Research**, v. 58, n. 4, p. 363–375, 2007.
- HAZIN, F. H. V et al. Review of a small-scale pelagic longline fishery off northeastern Brazil. **Marine Fisheries Review**, v. 60, p. 1–8, 1998.
- HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, v. 54, n. 2, p. 427–432, 1973.
- HULLEY, P. A. Upper-slope distributions of oceanic lanternfishes (family: Myctophidae). **Marine Biology**, v. 114, n. 3, p. 365–383, 1992.
- JACKSON, A. L. et al. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. **Journal of Animal Ecology**, v. 80, n. 3, p. 595–602, 2011.
- JONES, E. C. Evidence of an Island Effect upon the Standing Crop of Zooplankton near the Marquesas Islands, Central Pacific. **ICES Journal of Marine Science**, v. 27, n. 3, p. 223–231, 1 nov. 1962.
- KIKUCHI, R. K. P.; SCHOBENHAUS, C. Atol das Rocas, Litoral do Nordeste do Brasil-Único atol do Atlântico Sul Equatorial Ocidental. **Sítios Geológicos e ...**, p. 379–393, 2002.
- LAYMAN, C. A. et al. Can Stable Isotope Ratios Provide for Community-Wide Measures of Trophic Structure? **Ecology**, v. 88, n. 1, p. 42–48, 2007.
- LESSA, R. et al. **Análise dos desembarques da pesca de Fernando de Noronha (Brasil)Arq. Cien. Mar**, 1998.
- LIRA, S. M. DE A. et al. Spatial and nycthemeral distribution of the zooneuston off fernando de noronha, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 1, p. 35–45, 2014.
- MAGURRAN, A. E. **Measuring biological diversity**. Malden: Blackwell Pub, 2004.
- MARGALEF, R. D. **Information Theory In EcologyGen. Syst**, 1978.
- MCCLAIN-COUNTS, J. P.; DEMOPOULOS, A. W. J.; ROSS, S. W. Trophic structure of mesopelagic fishes in the Gulf of Mexico revealed by gut content and stable isotope analyses. **Marine Ecology**, v. 38, n. 4, p. 1–23, 2017.
- MÉMERY, L. et al. The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 47, n. 1, p. 69–98, 2000.
- MINAGAWA, M.; WADA, E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence

and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, n. 5, p. 1135–1140, 1984.

MMA. **Programa REVIZEE. Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

NOLÉ, L. **Diversidade, distribuição e abundância da ictiofauna demersal do Nordeste do Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

OLIVAR, M. P. et al. Vertical distribution, diversity and assemblages of mesopelagic fishes in the western Mediterranean. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 62, p. 53–69, 2012.

OLIVEIRA, P. G. V. et al. Population Structure and Growth of Young Lemon Shark, *Negaprion brevirostris* (Poey, 1868), at the Atol das Rocas Biological Reserve, Brazil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 4, p. 389–395, 2011.

OLSON, D. . Transition zones and faunal boundaries in relationship to physical properties of the ocean. **UNESCO Tech. Pap. Mar. Sc.**, p. 219–225, 1986.

PARNELL, A. C. et al. Source partitioning using stable isotopes: Coping with too much variation. **PLoS ONE**, v. 5, n. 3, p. 1–5, 2010.

PETERSON, B.; FRY, B. Stable Isotopes in Ecosystem Studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, n. 1, p. 293–320, 1987.

PIELOU, E. C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. **Journal of Theoretical Biology**, v. 10, n. 2, p. 370–383, 1966.

POST, D. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. **Ecology**, v. 83, n. 3, p. 703–718, 2002a.

POST, D. M. Using Stable Isotopes To Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. **Ecology** 83, 703–718. doi:10.1890/0012-9658(2002)083[0703:USITET]2.0.CO;2; Using Stable Isotopes To Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. **Ecology**, v. 83, n. 3, p. 703–718, 2002b.

PROUD, R.; COX, M. J.; BRIERLEY, A. S. Biogeography of the Global Ocean’s Mesopelagic Zone. **Current Biology**, p. 1–7, 2016.

PUSCH, C.; HULLEY, P. A.; KOCK, K. H. Community structure and feeding ecology of mesopelagic fishes in the slope waters of King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 51, n. 11, p. 1685–1708, 2004.

RADCHENKO, V. I. Mesopelagic fish community supplies “Biological Pump”. **Raffles Bulletin of Zoology**, v. 2014, n. January, p. 265–271, 2007.

RANDALL, D.J., FARRELL, A. P. Systematics of Deep-Sea Fishes. In: **Deep-Sea Fishes**. London: Academic Press, 1997. p. 43–74.

SANTANA, R. DE; SILVA, H. DA; OLIVEIRA, R. DE. a Importância Das Unidades De Conservação Do Arquipélago De Fernando De Noronha. **Holos**, v. 7, p. 15–31, 2016.

SERAFINI, T. Z.; FRANÇA, G. B. DE; ANDRIGUETTO-FILHO, J. M. Ilhas oceânicas brasileiras: biodiversidade conhecida e sua relação com o histórico de uso e ocupação humana. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 3, p. 281–301, 2010.

SOTO, J. M. R. Peixes Do Arquipélago Fernando De Noronha. **Mare Magnum**, v. 1, n. 2, p. 147–169, 2001.

ST. JOHN, M. A. et al. A Dark Hole in Our Understanding of Marine Ecosystems and Their Services: Perspectives from the Mesopelagic Community. **Frontiers in Marine Science**, v. 3, n. March, p. 1–6, 2016.

TCHAMABI, C. C. **Modelagem matemática e conectividade físico-biogeoquímica dos sistemas insulares Rocas-Noronha no Atlântico tropical**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

TCHAMABI, C. C. et al. A study of the Brazilian Fernando de Noronha Island and Rocas Atoll wakes in the tropical Atlantic. **Ocean Modelling**, v. 111, n. February, p. 9–18, 2017.

TRAVASSOS, P.; HAZIN, F. V.; ZAGAGLIA, J. R. Thermohaline structure around seamounts and islands off north- eastern Brazil. **Archives of fishery and marine research**, v. 47 (2-3), p. 211–222, 1999.

VALLS, M. et al. Trophic structure of mesopelagic fishes in the western Mediterranean based on stable isotopes of carbon and nitrogen. **Journal of Marine Systems**, v. 138, n. October, p. 160–170, 2014.

VASKE, T. et al. A checklist of fishes from Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 21, n. 1, p. 75–79, 2005.

WARWICK, R. M.; CLARKE, K. R. New “biodiversity” measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress”. **Marine Ecology Progress Series**, v. 129, n. 1–3, p. 301–305, 1995.

ZAGAGLIA, R. Z. **Caracterização da estrutura termohalina da Zona Econômica Exclusiva do nordeste brasileiro**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 1988.