

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA

**DINÂMICA DA FROTA DE VARA E ISCA-VIVA  
EM RELAÇÃO ÀS CONDICIONANTES  
AMBIENTAIS NO OCEANO ATLÂNTICO  
SUDOESTE**

**JULIANO LAUSER COLETTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Dr. Lauro Saint Pastous Madureira

RIO GRANDE  
Julho de 2016

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Lídio e Ana Rita, pelo esforço dedicado à minha educação. Aos meus irmãos, Leonardo e Roberta, pelos exemplos de caráter e profissionalismo.

Ao Dr. Lauro Madureira pela orientação, pelas discussões, sobretudo pelo aprendizado que levarei ao longo de minha jornada.

Aos membros da equipe do Laboratório de Tecnologia Pesqueira e Hidroacústica, Pinho, Mauro, Stefan, Paloma, Ramiro e Neiva, pelos inúmeros auxílios e pelo apoio prestado durante a realização deste trabalho.

À equipe da empresa Leal Santos, principalmente Alexandre, Leonardo e os mestres das embarcações atuneiras, pela confiança e pela disponibilização dos dados, sem os quais este trabalho não existiria.

Aos membros da banca examinadora, que aceitaram revisar, e contribuíram muito para este trabalho.

Aos meus amigos que apesar das minhas ausências estiveram ao meu lado durante grande parte da vida.

A Juliana pela paciência nos dias difíceis e de mau humor, pelas conversas, pela convivência, e pelo seu amor.

Obrigado.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	I
ÍNDICE .....	II
LISTA DE TABELAS .....	IV
LISTA DE FIGURAS .....	V
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VII
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUÇÃO .....	3
2. OBJETIVOS .....	11
2.1 Objetivo Geral.....	11
2.2 Objetivos Específicos.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
3.1. Área de Estudo .....	12
3.2. Descrição do método de pesca .....	14
3.3. Monitoramento da frota.....	15
3.4. Dados de captura .....	17
3.5. Dados ambientais .....	20
3.5.1. Dados satelitais SST e SSC .....	20
3.5.2. Análise das áreas de pesca.....	20
3.5.3. CATSAT .....	22
3.6. Modelo GAM.....	23
4. RESULTADOS.....	26
4.1. Monitoramento da frota.....	26
4.2. Distribuição dos lances de pesca .....	28
4.3. Condicionantes ambientais associadas aos lances de pesca .....	28
4.3.1 Temperatura da superfície (SST) .....	29
4.3.2 Concentração de clorofila-a (SSC) .....	30
4.3.3 Altimetria.....	30
4.3.4 Profundidade da termoclina.....	32
4.3.5 Salinidade.....	33

4.4. GAM com as variáveis ambientais extraídas do Catsat.....	35
4.4.1. Validação do Modelo .....	37
4.5. Análise das áreas de pesca.....	39
4.6. CPUE nas áreas de pesca.....	45
4.7. CPUE mensal e por estação.....	46
4.8. Correlações de SST e SSC das áreas de pesca de bonito-listrado com a CPUE .....	48
5. DISCUSSÃO .....	49
5.1. Monitoramento da frota.....	49
5.2. Catsat .....	52
5.3. Condicionantes ambientais e a pesca do bonito-listrado.....	53
5.4. CPUE.....	59
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
8. APÊNDICES .....	74
Apêndice 1. Período, dia inicial, dia final, mês e número de áreas avaliadas nas safras de 2014 e 2015.....	74
Apêndice 2. Áreas consideradas na análise dos períodos de oito dias da safra 2014.....	75
Apêndice 3. Áreas consideradas na análise dos períodos de oito dias da safra 2015.....	76
Apêndice 4. Descrição do Sistema Catsat.....	78
Apêndice 5. Rotina de Atualizações ambientais no software Catsat .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Período, número de barcos e cruzeiros (viagens) das safras de 2014 e 2015 da frota de vara e isca-viva monitorada neste estudo.....	17
Tabela 2. Relação de variáveis ambientais, resolução espacial, resolução temporal e origem dos dados do Catsat. ....	23
Tabela 3. GAM's ajustados com variáveis extraídas do Catsat.. ....	36
Tabela 4. Ferramentas do Catsat.....	79
Tabela 5. Lista de variáveis extraídas através do Software Catsat na posição das embarcações.....	81
Tabela 6. Variáveis e respectivos limites utilizados no filtro Catsat. ....	83

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo ilustrativo do procedimento de validação dos dados de captura do bonito-listrado, viagem número 11, safra 2015, embarcação DELFIM.....	18
Figura 2. Boxplots do deslocamento latitudinal mensal do esforço de procura nas safras 2014 (a) e 2015 (b).....	27
Figura 3. Distribuição dos 1.030 lances efetuados pelos barcos monitorados neste estudo nas safras 2014 e 2015 de pesca de bonito-listrado com vara e isca-viva.....	28
Figura 4. Histogramas de frequência de SST extraída do Catsat (a) e SST medida nas embarcações (b) nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. ....	29
Figura 5. Variação mensal da SST extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. ....	30
Figura 6. Histograma de frequência de SSC extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. ....	31
Figura 7. Variação mensal da SSC extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. ....	31
Figura 8. Histograma de frequência de Altimetria (SSH) extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. ....	32
Figura 9. Histograma de frequência de profundidade de termoclina extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. ....	33
Figura 10. Variação mensal da profundidade da termoclina extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015.....	33
Figura 11. Histograma de frequência de salinidade nos locais de captura de bonito-listrado.....	34
Figura 12. Variação mensal da salinidade extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. ....	34
Figura 13. Histograma de frequência da variável resposta captura por lance (a) e do logaritmo da captura (b). ....	35
Figura 14. Efeito das variáveis ambientais extraídas do Catsat nos locais de captura sobre a variável resposta (Log Captura por lance). ....	38
Figura 15. Gráficos gerados pela função <i>gam.check</i> do pacote <i>mgcv</i> utilizados para validação do modelo GAM.....	39
Figura 16. Exemplo de área classificada na categoria frente térmica (a) e histograma correspondente (b). ....	42

Figura 17. Exemplo de área classificada na categoria frente de Cor (a) histograma correspondente (b).....	43
Figura 18. Exemplo de área classificada na categoria enriquecimento fitoplanctônico (a) e histograma correspondente (b).....	44
Figura 19. Boxplots dos dados de captura nos respectivos períodos da safra 2014.....	45
Figura 20. Boxplots das capturas diárias obtidas nos respectivos períodos da safra 2015.....	46
Figura 21. Boxplots das capturas diárias obtidas nos respectivos meses das safras 2014 e 2015. ....	47
Figura 22. Boxplots das capturas obtidas nas respectivas estações das safras 2014 e 2015.....	47
Figura 23. Relação entre as variáveis SST (a), Gradiente SST (b), SSC (c) e Gradiente de SSC (d) com a CPUE do bonito-listrado.....	48
Figura 24. Dinâmica sazonal da frota de vara e isca-viva sediada em Rio Grande segundo o rastreamento das embarcações nas safras 2014 e 2015..	51
Figura 25. Exemplo de cenário favorável para iscagem no setor sul do Brasil.	52
Figura 26. Médias mensais de SST e os lances de pesca realizados em janeiro (a), fevereiro (b) e março (c) de 2014. ....	62

**LISTA DE ABREVIATURAS**

ACAS Água Central do Atlântico Sul

AT Água Tropical

CAS Corrente do Atlântico Sul

CB Corrente do Brasil

CPUE Captura por Unidade de Esforço

CSE Corrente Sul Equatorial

ICCAT International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas

MODIS *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

PREPS Programa de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite

PRP Pluma do Rio da Prata

SAL Salinidade

SSC *Sea Surface Chlorophyll*

SST *Sea Surface Temperature*

TERMICPROF Profundidade da termoclina

## RESUMO

O bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*) é uma espécie pelágica gregária que possui ampla distribuição global. A espécie abastece a indústria do atum enlatado e sustenta a pescaria de vara e isca-viva na região sudeste/sul do Brasil. Neste trabalho, os dados de captura e deslocamento dos barcos de vara e isca-viva sediados em Rio Grande (RS) foram explorados para verificar as relações da pesca do bonito-listrado com as condicionantes ambientais, através de dados provenientes de sensores a bordo de satélites e de modelagem numérica. Modelos aditivos generalizados foram aplicados para verificar o efeito das variáveis ambientais sobre a captura dos lances. Uma análise das áreas de pesca foi realizada através de imagens de temperatura e clorofila-a para descrever os processos oceanográficos associados à pesca da espécie no tempo e no espaço. As variáveis ambientais, e os intervalos nos quais foram observados efeitos positivos na captura foram: profundidade da termoclina (24 m – 45 m), temperatura da superfície (SST, 22° C– 24,5° C), concentração de clorofila-a (SSC, 0,08 mg/m<sup>3</sup> - 0,16 mg/m<sup>3</sup>) e salinidade (34,9 - 35,8). As principais categorias criadas na classificação das áreas de pesca foram: frente térmica, frente de cor do oceano e enriquecimento planctônico. A CPUE foi maior em períodos próximos ao verão (7 t/dp), o que foi atribuído às características oceanográficas da região sul, cuja produtividade determina a principal área de alimentação do bonito-listrado e, conseqüentemente, sua maior abundância e disponibilidade para pescaria.

## ABSTRACT

The skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) is a gregarious pelagic species that has extensive global distribution. The species supplies the canned tuna industry and holds an important pole and line fishing in the Southeast/South of Brazil. Its distribution is conditioned by cyclical variations in oceanographic dynamics. In this work, catches and movement of the tuna baitboat fleet based in Rio Grande (RS) data in relation with environmental variables were exploited. Data from sensors aboard satellites and numerical modeling were used. Generalized additive models were applied to determine the effect of environmental variables on catch per fishing set. A systematic analysis of the fishing areas was carried out using temperature and chlorophyll-a images to describe the oceanographic processes associated with skipjack tuna fishing in time and space. Environmental variables and the ranges in which positive effects were observed in the catches were: thermocline depth (24 m – 45 m), sea surface temperature (SST, 22° C to 24.5° C), surface chlorophyll-a concentration (SSC, 0.08 to 0.16 mg/m<sup>3</sup>) and salinity (34.9 to 35.8). The categories created in the classification of fishing areas were: thermal front, ocean color front and planktonic enrichment. The Catch per Unit of Effort (CPUE) was higher in summer (7 tons per fishing day), which was attributed to the oceanographic characteristics of the southern region, whose productivity determine the main skipjack feeding area, and consequently its greater abundance and availability for fishing.

## 1. INTRODUÇÃO

Os atuns são recursos de elevada importância socioeconômica, assim como importante fonte de alimento e proteína. Este grupo de peixes é objeto de intensa comercialização, para enlatamento e *sashimi*, formas nas quais são amplamente consumidos e valorizados no mercado global (FAO, 2014; Grande, 2014).

No mês de maio de 2016 foi realizada em Bangkok, Tailândia, a Conferência Mundial do Atum. Neste evento, foram apresentadas projeções de 15% de crescimento da população mundial nos próximos dez anos, que deverá ser de 8,6 bilhões de pessoas em 2025. Neste contexto está inserida a pesca marinha, com o fornecimento de alimento à sociedade. Pode-se considerar esta projeção como uma oportunidade para os setores produtivo e acadêmico interagirem, de modo a garantir o propósito da pesca em atender o aumento da demanda de proteína para a população de maneira sustentável.

De acordo com as estatísticas da FAO (2014), as capturas de atuns e afins apresentaram recordes a nível mundial em 2012, com sete milhões de

toneladas métricas (mt) produzidas. Dentro deste grupo, sete espécies representam 90% das capturas, sendo que a principal é o bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*), cuja produção foi de 2.795.339 mt (40%) neste ano. Esta espécie apresenta-se na terceira colocação das espécies marinhas que sustentam pescarias no mundo (FAO, 2014).

O bonito-listrado é uma espécie pelágica gregária que possui ampla distribuição global, ocorrendo em áreas tropicais e subtropicais nos três oceanos (ICCAT, 2015). No Atlântico, o órgão responsável pela gestão da pesca de atuns e afins é a ICCAT (Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico).

Para fins de avaliação, a ICCAT considera que existem duas unidades de estoque para o bonito-listrado no Oceano Atlântico, uma do lado Oeste e outra no Leste, separadas pela longitude de 030° W. A pesca de vara e isca-viva é a arte de pesca dominante no lado oeste, enquanto o método principal do lado leste é o de cerco.

Esse contraste entre artes de pesca implica em diferenças significantes no padrão de exploração do recurso. O método de cerco utiliza dispositivos flutuantes para agregação de cardumes, denominados atratores. A pesca realizada por cerqueiros no estoque leste do Atlântico é caracterizada por elevada captura incidental, considerando que se trata de um método não seletivo (Lima *et al.*, 2011). Nesta pescaria, ao cercar o cardume, captura-se também a fauna acompanhante e uma grande proporção de indivíduos jovens (23,5%), para os quais a pesca não é direcionada. Por consequência, ocorre uma maior taxa de descarte (4,2%) e menor tamanho médio do peixe

capturado (2 kg). Já o método de captura com vara e isca viva é considerado seletivo e livre de captura incidental, no qual uma proporção relativamente menor do cardume é capturada. Logo, configura o oposto do cerco, resultando assim, em maior tamanho médio do peixe capturado (3 kg; ICCAT, 2015) e na maior sustentabilidade ambiental da atividade.

A pescaria de atum com vara do Brasil apresenta-se na quarta colocação a nível mundial nesta categoria (Gillet, 2015), com capturas que são da ordem de 25.000 t/ano (ICCAT, 2015). O bonito-listrado é considerado a espécie alvo da pescaria, representando mais de 90% das capturas (Andrade *et al.*, 2015). A espécie abastece a indústria do atum enlatado, cuja produção atual é da ordem de 150 milhões de latas/ano (Wilson Santos, com. pess). A frota atuneira é constituída de cerca de 40 embarcações, sediadas nos estados do RJ, SC e RS, que operam nos portos de Niterói, Itajaí/Navegantes e Rio Grande, respectivamente. Nestas localidades estão instalados os principais parques industriais de processamento e de exportação de atum.

A fisiologia e a morfologia desempenham importante papel determinando um habitat apropriado para o bonito-listrado. A ausência de bexiga natatória permite que a espécie realize deslocamentos verticais, mas também exige uma velocidade mínima para manter o equilíbrio hidrostático. O elevado metabolismo implica uma alta demanda por alimento e oxigênio, além de uma elevada produção de calor (Wild & Hampton, 1993; Grande, 2014). O oxigênio dissolvido na água é próximo da saturação em águas superficiais, mas frequentemente inferior abaixo da termoclina, o que geralmente restringe a espécie à camada superficial dos oceanos (Wild & Hampton, 1993; Mugo *et al.*,

2010). Estas características tornam os atuns recursos particularmente interessantes para estudos de distribuição a partir de dados do sensoriamento remoto. Suas distribuições são variáveis no tempo e no espaço, e somente em determinadas condições encontram-se concentradas para sustentar uma exploração economicamente viável (Evans *et al.*, 1980; Andrade, 1996; Mugo *et al.*, 2010).

A localização de áreas produtivas e de cardumes representa o principal aspecto no consumo de combustível e de tempo nas pescarias comerciais. O emprego da tecnologia satelital tem sido muito importante no direcionamento de frotas para áreas promissoras, resultando em uma maior eficiência no esforço de pesca, com retornos econômicos significativos (Klemas, 2013; Madureira *et al.*, 2016).

Em águas brasileiras, a distribuição do bonito-listrado é condicionada pelas variações cíclicas da dinâmica oceanográfica da região sudeste/sul (Castello & Habiaga, 1989; Andrade & Garcia, 1999). Por esta razão, a frota pesqueira segue um padrão de deslocamento ao longo do ano. Nas imediações do verão, o avanço da Corrente do Brasil (CB) provoca o deslocamento dos cardumes até a região sul, onde se forma uma importante área de alimentação da espécie e ocorrem as maiores pescarias e as maiores capturas por unidade de esforço (CPUE). Já nas proximidades do inverno, a CB se retrai e o avanço de águas frias provenientes do sul provoca o deslocamento dos cardumes para norte até a região sudeste, onde a frequência das pescarias e a CPUE são inferiores, relativamente ao verão

(Andrade, 1996; Andrade & Garcia, 1999; Lima *et al.*, 2000; Andrade, 2003; Madureira *et al.*, 2016).

Devido à relação entre a pescaria e a dinâmica da temperatura da superfície do mar (SST), esta variável tem sido amplamente utilizada no estudo da ocorrência e abundância da espécie (Andrade, 1996; Andrade & Garcia, 1999, Andrade 2003, Madureira *et al.*, 2016). No oceano, temperatura, salinidade e densidade não variam gradualmente no espaço. Pelo contrário, encontram-se grandes áreas com pequenas variações, delimitadas por áreas estreitas com gradientes horizontais intensos, denominadas frentes oceânicas (Mann & Lazier, 2006).

As frentes são locais caracterizados por grandes biomassas fitoplanctônicas, e em diversos casos pela elevada atividade biológica em maiores níveis tróficos, uma vez que apresentam maior disponibilidade de presas (Acha *et al.*, 2004; Mann & Lazier, 2006). A alta disponibilidade de alimento junto às frentes atrai predadores nectônicos, tais como peixes e lulas. Desta forma, ocorre agregação dos predadores, aumentando a vulnerabilidade destes recursos à pesca (Fiedler & Bernard, 1987; Andrade, 1996; Polovina *et al.*, 2001; Mann & Lazier, 2006; Madureira *et al.*, 2016). Além das frentes de temperatura, outros potenciais indicadores de agregações biológicas podem incluir as frentes de cor do oceano, áreas de ressurgência, as quais são mais frias e produtivas dos que áreas circundantes, entre outros (Klemas, 2013).

A albacora (*Thunnus alalunga*) concentra-se em condições oceanográficas específicas, que provavelmente deva-se a oportunidades de

alimentação (Zainnudin *et al.*, 2008). A concentração de clorofila-a (a partir daqui SSC) é um bom indicador do habitat da espécie, e a variabilidade de mesoescala influencia a CPUE deste recurso. A SSC e a variabilidade oceânica de mesoescala podem produzir efeitos diretos e indiretos na distribuição dos consumidores secundários, e assim dos predadores (Mugo *et al.*, 2010; Madureira *et al.*, 2016).

Polovina *et al.* (2001) verificaram a existência de relação entre a distribuição de albacora e da tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) com a zona de transição de clorofila-a no oceano Pacífico norte. Segundo os autores, trata-se de uma estrutura dinâmica que influencia fortemente recursos marinhos pelágicos.

Os atuns são oportunistas em sua dieta e tendem a ser mais abundantes nos locais onde seu alimento é concentrado (Sund *et al.*, 1981). A dieta do bonito-listrado em águas brasileiras foi estudada a partir de exemplares capturados pela pesca comercial, onde observou-se que uma proporção significativa dos estômagos esteve preenchida apenas de isca (Vilela, 1990). Nos estômagos com presas, os principais itens alimentares da espécie foram *Maurolicus stehmanni* e *Euphausia similis*, que pertencem às categorias taxonômicas de peixes e crustáceos eufausiáceos, respectivamente. Além destes itens, a presença esporádica de lulas e de outros crustáceos foi observada (Ankenbrandt, 1985; Vilela, 1990).

O habitat do bonito-listrado foi estudado no Pacífico Norte por Mugo *et al.* (2010), a partir de dados satelitais e aplicação de modelos estatísticos.

Naquela região, a seleção do habitat da espécie é influenciada por intervalos específicos de SST ( $20,5^{\circ}\text{C}$  -  $26^{\circ}\text{C}$ ), SSC ( $0,08\text{ mg/m}^3$  -  $0,37\text{ mg/m}^3$ ), anomalia da altura da superfície do oceano (0-50 cm) e baixa à moderada vorticidade (Mugo *et al.*, 2010).

Os Modelos Aditivos Generalizados (GAM) são considerados ideais para expressar relações ecológicas (Guisan *et al.*, 2002), como é o caso das variáveis deste estudo. O poder destes modelos estatísticos está em sua habilidade em lidar com relações não lineares entre uma variável resposta e uma série de variáveis explicativas (Wood, 2006). A modelagem ecológica tem como principal propósito oferecer bases matemáticas para interpretação destas relações, examinando parâmetros e apontando as contribuições de cada variável sobre a variável de interesse (Guisan *et al.*, 2002).

A distribuição do bonito-listrado e sua relação com a dinâmica da SST foram descritas em grandes escalas espaciais e temporais (milhares de km e meses, respectivamente; Andrade, 1996; Andrade & Garcia, 1999; Andrade, 2003). Neste trabalho, as escalas de análise foram reduzidas, com a finalidade de verificar a relação da distribuição da espécie com processos oceanográficos detectáveis na superfície do oceano através de dados de satélite. A expectativa é de colaborar na sustentabilidade econômica e ambiental da pesca com vara e isca-viva no Brasil, otimizando as operações de pesca e subsidiando a elaboração de medidas de manejo da espécie, de modo a garantir a sustentabilidade desta pesca em longo prazo. A possibilidade de maus resultados na pesca com vara e isca-viva no Brasil, por razões como disponibilidade de isca e custo do diesel, poderá resultar na implantação da

pesca com cerco de atuns. Esta implantação poderá acarretar em impactos negativos ao estoque e ao ecossistema marinho, conforme observado em vários locais ao redor do mundo (Lima *et al.*, 2011; ICCAT, 2015).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

- Acompanhar a dinâmica espacial e temporal da frota de vara e isca-viva sediada no Rio Grande do Sul e avaliar sua relação com as condicionantes ambientais.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Explorar a relação entre a distribuição e a CPUE do bonito-listrado com feições oceanográficas de superfície observadas a partir da SST e SSC satelital;
- Descrever a dinâmica das frentes de temperatura, das frentes de cor do oceano e dos processos de enriquecimento biológico associados à pesca de bonito-listrado no tempo e no espaço;
- Elaborar modelo para determinar os intervalos de influência das variáveis ambientais extraídas do Catsat sobre a captura por lance do bonito-listrado.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de Estudo**

A pescaria do bonito-listrado ocorre associada à quebra da plataforma continental nas regiões sudeste/sul do Brasil, entre as latitudes 18° S e 34° S (Castello & Habiaga, 1989). Esta região faz parte do giro Subtropical do Oceano Atlântico Sul, composto por quatro correntes que formam um giro anti-horário: Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB), Corrente do Atlântico Sul (CAS) e a Corrente de Benguela (Rodrigues, 2015).

A CSE flui pelo sul do Equador de leste para oeste e se bifurca ao se aproximar da América do Sul entre as latitudes 7° S e 17° S. O ramo que flui para o norte dá origem a Corrente Norte do Brasil e o ramo que toma direção sul é a CB (Castro & Miranda, 1998). A CB contorna a margem continental brasileira até aproximadamente 36° S - 38° S, onde encontra a Corrente das Malvinas, que flui para norte. A região de encontro das duas correntes é denominada Convergência Subtropical (Garcia, 1998). O encontro destas duas

correntes origina a Corrente do Atlântico Sul, que flui para leste até o continente africano, onde toma direção norte dando origem a Corrente de Benguela. Esta flui até o Equador para formar a CSE, fechando o giro de circulação do Atlântico Sul (Rodrigues, 2015).

A estrutura hidrográfica da região sudeste/sul do Brasil é caracterizada pela presença das seguintes massas d'água: (1) água subantártica de plataforma ( $S < 34$ ); (2) água subtropical de plataforma ( $S > 34,5$ ); (3) água tropical ( $T > 20^\circ \text{ C}$ ,  $S > 36,4$ ) que ocupa a superfície e; (4) Água Central do Atlântico Sul (ACAS,  $T < 20^\circ \text{ C}$ ,  $S < 36,4$ ), posicionada abaixo dos 200 m (Castro & Miranda, 1998; Campos *et al.*, 2000; Palma *et al.*, 2008).

A região sul da área de estudo recebe influência de deságue continental proveniente do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos (PRP, Piola *et al.*, 2000; Palma *et al.*, 2008; Möller *et al.*, 2008). O deságue de água doce influencia a concentração de nutrientes (Filmann, 1990; Ciotti *et al.*, 1995), o que atribui a esta região característica de elevada produtividade.

A região norte da área de estudo é caracterizada pela ocorrência de ressurgência induzida pelo vento e por Meandramento da CB nas imediações de Cabo Frio (Castro & Miranda, 1998; Acha *et al.*, 2004). Estes dois mecanismos promovem a ascensão de ACAS, relativamente fria e rica em nutrientes, fornecendo assim o aporte de águas enriquecidas para plataforma continental na região do Embaiamento de São Paulo, neste trabalho denominado setor central ( $23^\circ \text{ S} - 28^\circ \text{ S}$ ; Lima *et al.*, 1996).

### 3.2. Descrição do método de pesca

O método de pesca empregado pela frota monitorada neste estudo é o de vara e isca-viva. Este método possui uma particularidade, pois a pescaria é dividida em etapas que ocorrem em áreas distintas.

A primeira etapa do cruzeiro de pesca é a captura da isca-viva, denominada iscagem, que ocorre junto à costa. Nela as embarcações se abastecem de juvenis de pequenos peixes pelágicos. As principais espécies utilizadas são: a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) e o boqueirão (*Anchoa* spp.; Lima *et al.*, 2000). Os juvenis são capturados pela tripulação dos próprios atuneiros, com uso de botes e redes de cerco ou então com rede de arrasto de praia.

A partir de 2010, nas imediações de Rio Grande (RS), a iscagem ocorre com uso de embarcações do tipo traineira, que operam com rede de cerco, em uma pescaria caracterizada como artesanal. Nesse caso, a principal espécie utilizada como isca é a anchoita *Engraulis anchoita* (Madureira & Llopart, 2011; Coletto, 2013; Coletto *et al.*, 2014). Após a realização do cerco os juvenis são transferidos para tanques da embarcação atuneira, com o uso de baldes e/ou sarricos, onde são mantidos em sistema de circulação de água do mar (Lima *et al.*, 2000).

Finalizada a iscagem, a embarcação desloca-se até a região da quebra da plataforma continental para realizar a procura por cardumes na superfície, quando então a pescaria se caracteriza por oceânica. A procura ocorre através de binóculo, sendo realizada por tripulantes posicionados na gávea da

embarcação, localizada na posição mais elevada da mesma para permitir o maior alcance visual (Lima *et al.*, 2000).

Uma vez avistado um cardume, a embarcação inicia a aproximação, ofertando isca-viva pela proa para alimentação do cardume. Se o engodo funcionar, inicia-se o lançamento de iscas próximo da popa e/ou nos bordos da embarcação, onde os pescadores posicionam-se lado-a-lado com vara, linha e anzol. Ao mesmo tempo, ocorre também o lançamento de esguichos a partir do costado da embarcação para a superfície do mar. O esguicho tem por finalidade ocultar os pescadores. As varas são de fibra de carbono ou de bambu, e o anzol é rebatido e sem farpa, para rápida liberação do peixe fisgado facilitando o retorno à água, permitindo a captura do maior número de peixes possível durante a alimentação do cardume junto ao barco de pesca (Lima *et al.*, 2000).

A etapa de procura e pesca dura até a finalização da isca-viva nos tanques, quando ocorre o retorno para áreas costeiras para realização de uma nova iscagem ou à descarga do pescado no porto, neste caso finalizando o cruzeiro de pesca. O período de duração dos cruzeiros pode variar entre dez e 30 dias, e a capacidade média de carga é de aproximadamente 112 t (Occhialini, 2013).

### 3.3. Monitoramento da frota

O monitoramento da frota dos seis atuneiros da Leal Santos foi realizado através do Programa de Rastreamento de Embarcações Pesqueiras por Satélite (PREPS, <http://preps.onixsat.com.br/>). Trata-se de um sistema que

visa o monitoramento, gestão e controle das ações da frota pesqueira permissionada do Governo Federal. O programa consiste, basicamente, na obrigatoriedade das embarcações pesqueiras de 15 m de comprimento ou mais, possuírem um equipamento de rastreamento via satélite, que alimenta um sistema informatizado com suporte geoespacial, permitindo acompanhar toda a sua movimentação. O PREPS foi instituído pela Instrução Normativa Interministerial Seap-PR/MB/MMA No. 02/2016 e atualmente é gerido pela Secretaria da Aquicultura e Pesca do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Este sistema de rastreamento online permite a visualização da posição das embarcações em tempo real, bem como permite exportar dados na forma de planilhas digitais.

Os dados consistem na posição geográfica, latitude e longitude, com resolução de grau, minuto e segundo, além da velocidade média da embarcação a cada hora. Os dados utilizados nesta dissertação foram carregados de acordo com o período correspondente a cada cruzeiro de pesca. As entradas compreendidas entre 21 e 05 horas, que representam o período noturno, dentro do qual não há atividade de pesca e/ou procura por cardumes, foram removidas. Este procedimento reduziu em cerca de 30% o número de entradas do banco de dados.

Os dados de navegação dos barcos na área de pesca, com velocidades maiores que 3 nós, foram plotados para demonstrar o deslocamento sazonal da frota. Os períodos considerados contém as estações (ou trimestres) do ano, onde: verão, inclui os meses entre janeiro e março; outono, os meses entre abril e junho; inverno os meses entre julho e setembro;

e primavera, os meses compreendidos entre outubro e dezembro. A área de pesca foi setorizada como segue: setor norte (norte de 24° S); setor centro (24° S até 28° S); e setor sul (sul de 28° S). As divisões dos períodos e setores foram realizadas para coincidir com os trabalhos de Lima *et al.* (2000) e Andrade *et al.* (2015).

### 3.4. Dados de captura

Os períodos em que ocorreram as duas safras de pesca estudadas nesta dissertação, além do número de barcos e viagens são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1. Período, número de barcos e cruzeiros (viagens) das safras de 2014 e 2015 da frota de vara e isca-viva monitorada neste estudo.**

Safra	Início	Término	Barcos	Cruzeiros
2014	02/10/2013	10/06/2014	6	50
2015	11/09/2014	08/07/2015	6	68

As capturas foram reportadas para cada tentativa de pesca, denominada lance. As informações dos cruzeiros foram reunidas em cadernos fornecidos aos mestres das embarcações, com planilhas elaboradas para esta finalidade. Juntamente às capturas em peso, a cada lance foram fornecidas as informações de data, hora, latitude e longitude (grau, minuto e segundo), SST (° C) e profundidade local (m). Ao término de cada viagem, as planilhas foram enviadas na forma de fotografias ao Laboratório de Tecnologia Pesqueira da FURG.

Após a digitalização das informações dos cruzeiros de pesca procedeu-se à validação das posições de captura. Neste procedimento as posições de pesca foram confrontadas com os dados de deslocamento originados no PREPS no aplicativo ArcGis 9.3®. Os dados exportados do sistema PREPS foram agrupados por viagem e cruzados com as respectivas posições de pesca. Um exemplo de validação dos dados de captura de um cruzeiro de pesca é apresentado na figura 1, na qual observasse que a derrota da embarcação (indicada em preto), coincide com os locais de captura reportados pelo mestre, o que indica que as posições foram corretamente reportadas (Fig. 1). As posições em que verificaram-se erros no preenchimento dos cadernos de pesca (48, 4,2% dos lances) foram corrigidas pelo PREPS, uma vez que estavam indexadas com data e hora.

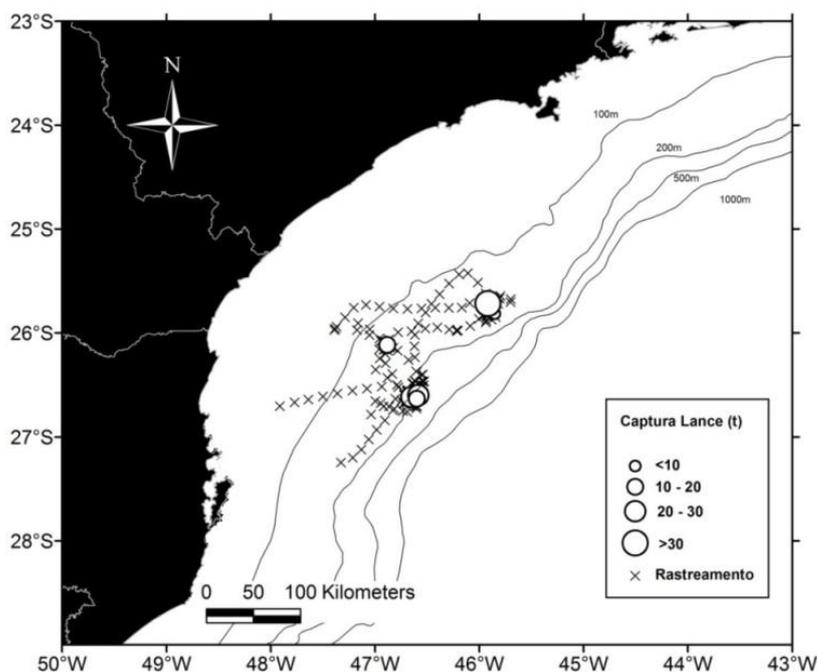


Figura 1. Exemplo ilustrativo do procedimento de validação dos dados de captura do bonito-listrado, viagem número 11, safra 2015, embarcação DELFIM.

O montante de captura informado pelos barcos a cada mês das duas safras avaliadas foi denominado produção. Os dados de captura de bonito-listrado foram analisados de diferentes maneiras:

(1) através da captura média por dia de pesca, definido como captura em t obtida por embarcação em cada dia em que realizou pelo menos uma operação de pesca (Andrade, 1996; Andrade & Garcia, 1999; Andrade, 2003). Neste cálculo os dados foram processados em etapas, nas quais o somatório de captura diária de cada barco foi utilizado para obtenção da captura média por dia, em escala de oito dias, mensal e sazonal;

(2) através da Captura Por Unidade de Esforço (CPUE), calculada segundo a fórmula:

$$CPUE = \frac{\sum c}{\sum f}$$

onde:  $c$  é a captura de bonito-listrado;

$f$  é a unidade de esforço de pesca, considerada como a soma dos dias de procura e dos dias efetivos de pesca (Lima *et al.* 2000).

Para obtenção do  $f$  os dados do PREPS foram utilizados para remoção dos dias de iscagem, de navegação e de fundeio devido ao mau tempo do esforço de pesca, o que equivale a subtrair esses dados do total de dias de viagem. Estes índices foram processados no software RStudio (R Development Core Team, 2015).

### 3.5. Dados ambientais

Neste trabalho utilizaram-se dados ambientais provenientes de satélites com origem no site *oceancolor* ([www.oceancolor.com](http://www.oceancolor.com)) da NASA, e do software Catsat.

#### 3.5.1. Dados satelitais SST e SSC

Foram utilizados dados de SST e SSC provenientes do sensor Modis (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite Aqua. Os dados foram adquiridos no formato HDF em escala global, na projeção cilíndrica equidistante e nível 3 de processamento. Os dados utilizados foram composições de oito dias, que correspondem a oito dias consecutivos de dados válidos dentro de períodos pré-definidos. A resolução espacial de ambos é de aproximadamente 4 km<sup>2</sup>. Os dados foram processados no software Matlab (V. 8.3.0). Uma descrição detalhada do sensor MODIS pode ser obtida em Minnet *et al.* (2004).

#### 3.5.2. Análise das áreas de pesca

Utilizaram-se os dados provenientes do sensor Modis de SST e SSC (oito dias) para caracterizar as áreas de pesca do bonito-listrado. Os dados de captura foram subdivididos em períodos de oito dias, ajustados à escala temporal dos dados satelitais. Para cada período definiram-se áreas de 2° de lado, centradas à latitude e longitude média dos lances no período correspondente. Nos períodos nos quais a pesca ocorreu em áreas distintas, procedeu-se a definição de duas (NORTE-SUL) ou três áreas (NORTE-

CENTRO-SUL). A ocorrência de mais de uma área foi definida quando os lances de captura abrangiam uma área maior que 2° de lado.

Para cada área definida nos respectivos períodos calculou-se a CPUE. Das composições de oito dias de SST e SSC calculou-se: média, variância, valores máximos e mínimos. Destes valores calculou-se o gradiente, de modo a incorporar parâmetros relacionados às frentes destas variáveis, possibilitando sua análise quantitativa em relação aos dados de pesca.

As áreas de pesca foram classificadas quanto à distribuição da SST e da SSC através da análise das imagens e dos histogramas correspondentes. Os histogramas de SST foram definidos em classes de 0,2° C. Os histogramas de SSC foram elaborados em classes de 0,1 log[SSC]. Foram criadas categorias associadas com os processos identificados na avaliação. As categorias criadas para as imagens SST foram: frente térmica e superfície homogênea. Para as imagens SCC as categorias foram: frente de cor do oceano, enriquecimento fitoplanctônico e superfície homogênea. Após a classificação, as categorias foram caracterizadas e suas variabilidades ao longo das estações do ano e dos setores de pesca descritas.

As análises estatísticas de SSC foram realizadas na escala padrão (mg/m<sup>3</sup>), enquanto os mapas e os histogramas foram produzidos na escala logarítmica, para permitir a melhor diferenciação desta variável na análise das áreas de pesca.

A divisão dos dados em períodos de oito dias resultou na criação de 29 áreas distribuídas ao longo de 23 períodos na safra de 2014 e 47 áreas distribuídas em 30 períodos na safra 2015. Os períodos 3, 4, 5 e 6 não tiveram

capturas reportadas na safra de 2014, que foi finalizada no período 27. Na safra 2015 obteve-se uma cobertura temporal completa, desde o período 1 até o final da safra no período 33.

As áreas cujos lances ocorreram em menos de 2 dias de pesca foram removidas com vistas a avaliar as áreas mais representativas em termos da ocorrência do bonito-listrado. As áreas que apresentaram uma proporção de *pixels* nulos maiores que 50% foram desconsideradas, a fim de evitar avaliação de áreas nas quais as variáveis não foram suficientemente amostradas para a classificação e uso de dados contaminados pela presença de nuvens (Podestá *et al.*, 1993). Nessa etapa foram removidas 30 áreas da análise, as quais representam 40% do número inicial.

A partir deste procedimento restaram 46 áreas na análise. foram gerados mapas com as capturas plotadas sobre SST e log[SSC] para cada área nos períodos avaliados. Buscou-se explorar quantitativamente a presença de relações entre a CPUE do bonito-listrado com os dados obtidos das composições (oito dias) de SST e SSC. Para tal, foram feitos gráficos de dispersão relacionando as variáveis duas a duas, nos quais foram traçadas linhas representando o modelo linear definido entre elas. Como medida de correlação foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson.

### 3.5.3. CATSAT

O Catsat ([www.catsat.com](http://www.catsat.com)) é uma ferramenta de decisão para profissionais envolvidos na pesca de peixes pelágicos. O sistema disponibiliza a bordo das embarcações pesqueiras uma série de produtos, incluindo dados satelitais e provenientes de modelagem.

Os barcos monitorados neste estudo possuem licenças do referido software, assim como o Laboratório de Tecnologia Pesqueira e Hidroacústica, Instituto de Oceanografia, IO/FURG. As licenças adquiridas para a frota monitorada e para o Lab. Tecnologia Pesqueira e Hidroacústica cobre a área compreendida de entre as latitudes 15° S e 45° S e as longitudes 020° W e 070° W.

No apêndice 4, é fornecida a descrição do sistema Catsat, suas principais funções e variáveis utilizadas no monitoramento ambiental realizado neste estudo. A tabela 2 apresenta as variáveis ambientais avaliadas neste estudo, e suas respectivas resoluções temporais e origens.

**Tabela 2. Relação de variáveis ambientais, resolução espacial, resolução temporal e origem dos dados do Catsat.**

<b>Sistema Catsat</b>			
Dados Medidos	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Origem
Altimetria e Correntes Geostróficas	25 km	Diária	Jason-2, Cryosat
SST	4 km		ModisAQUA
SSC	4 km		VIIRS
Profundidade de termoclina	25 km	3 x por semana	Modelos Mercator
Salinidade	25 km		

### 3.6. Modelo GAM

Os Modelos Aditivos Generalizados (GAM) são considerados ideais para expressar relações ecológicas (Guisan *et al.*, 2002). O poder destes modelos estatísticos está em sua habilidade para lidar com relações altamente

não lineares entre uma variável resposta e uma série de variáveis explicativas (Wood, 2006; Zuur *et al.*, 2010).

O modelo GAM possui a seguinte estrutura:

$$g(\mu_i) = \theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + f_3(x_{3i}) + \dots$$

Onde:

$\mu_i \equiv \mathbb{E}(Y_i)$  e  $Y_i \sim$  alguma distribuição da família exponencial

$Y_i$  é a variável resposta;

$X_i^*$  é uma coluna da matriz do modelo para uma dada covariável;

$\theta$  é o vetor do parâmetro correspondente e;

$f_j$  são as funções suaves das covariáveis  $x_k$ .

O modelo permite uma especificação mais flexível quanto à dependência da variável resposta em relação às covariáveis, mas à medida que especifica-se o modelo somente em termos de funções suaves ao invés de relações paramétricas detalhadas, é possível evitar uma modelagem mais complexa. Tal flexibilidade implica alguns problemas teóricos, como por exemplo, representar as funções suaves e escolher o quanto suaves elas devem ser (Wood, 2006).

Previamente à modelagem em si, realizou-se uma análise exploratória dos dados seguindo o protocolo proposto por Zuur *et al.* (2010). Esta etapa teve como objetivos: (1) verificar a presença de erros no conjunto de dados, (2) verificar a presença de *outliers*; (3) verificar a necessidade de transformação

das covariáveis e; (4) verificar a presença de colinearidade entre as variáveis explicativas. O valor limite para correlação entre variáveis adotado foi de 0,5.

GAM's foram aplicados para verificar o efeito das variáveis ambientais provenientes do Catsat na variabilidade da captura do bonito-listrado. A variável resposta foi a Captura por lance (t), expressa em escala logarítmica. A variável resposta seguiu uma distribuição normal aproximadamente contínua, e foi modelada com a família gaussiana de distribuição, utilizando como função de ligação a função identidade.

Os modelos foram elaborados utilizando a função *gam* no pacote *mgcv*, no R (R Development Core Team, 2015). Primeiramente, a variável resposta foi modelada em função de uma variável preditora. Quatro variáveis extraídas do Catsat foram significativas: profundidade da termoclina, SSC, SST e salinidade. Na etapa seguinte, os modelos foram elaborados com duas variáveis formando todas as combinações possíveis entre as quatro variáveis da primeira etapa. Posteriormente, foram elaborados modelos com 3 variáveis adotando o mesmo procedimento de combinação entre as variáveis, e, finalmente, elaborou-se o modelo com as variáveis supracitadas.

O modelo final foi selecionado em função do aumento no percentual de deviência explicada e do menor Critério de Informação Akaike (AIC em inglês; Akaike, 1974; Mugo *et al.*, 2010). Os gráficos da função suave ajustada para cada variável preditora foram interpretados como efeito individual sobre a variável resposta (Wood, 2006). O modelo final foi validado pela função *gam.check* no ambiente R (R Development Core Team, 2015).

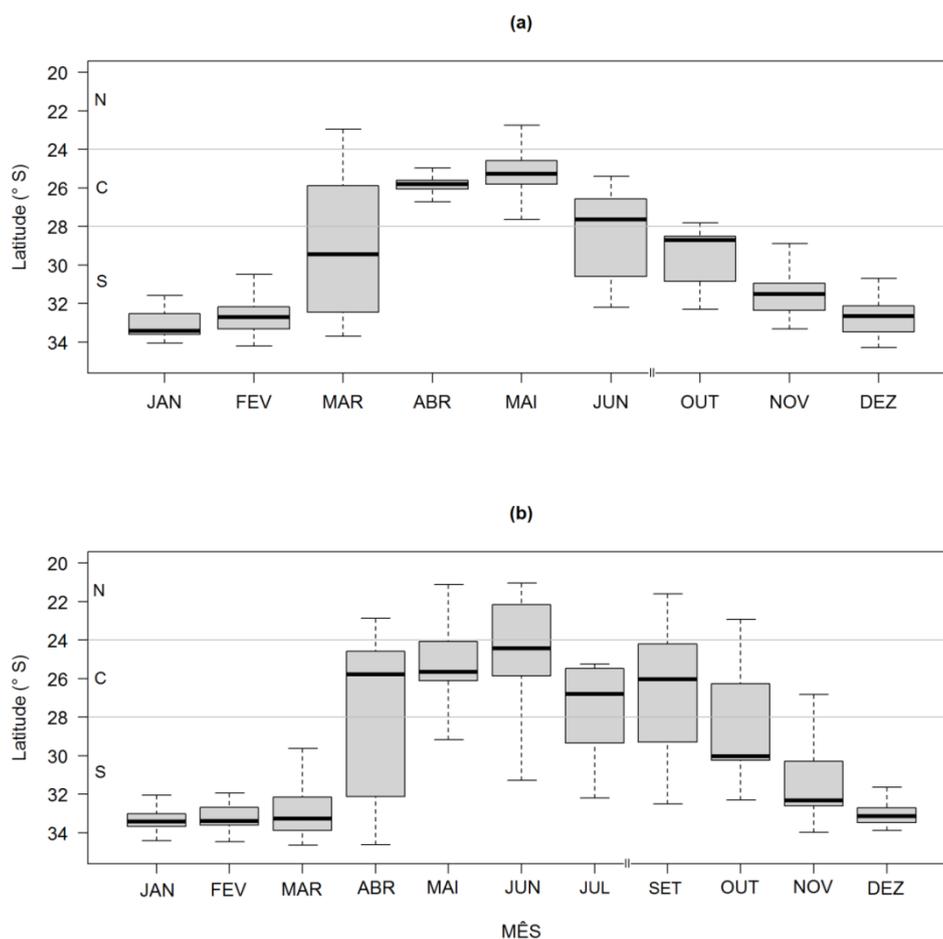
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Monitoramento da frota

Os dados do PREPS indicaram que a área de atuação da frota está situada entre as latitudes 21° S e 34° S (Fig. 2a-b). A safra de 2014 iniciou em meados de outubro de 2013, período no qual observa-se atuação dos barcos entre as latitudes 28° S e 32° S. A frota atuou entre 30° S e 34° S entre os meses de dezembro de 2013 e fevereiro de 2014. Em meados de fevereiro, as embarcações iniciaram deslocamento para áreas mais ao norte, situadas no setor central e norte da área de pesca. Os dados indicaram atuação no setor norte nos meses de abril e maio (Fig. 2a).

A safra de 2015 iniciou em meados de setembro de 2014, no qual os barcos atuaram ao largo de toda a área de pesca. Após outubro, os barcos

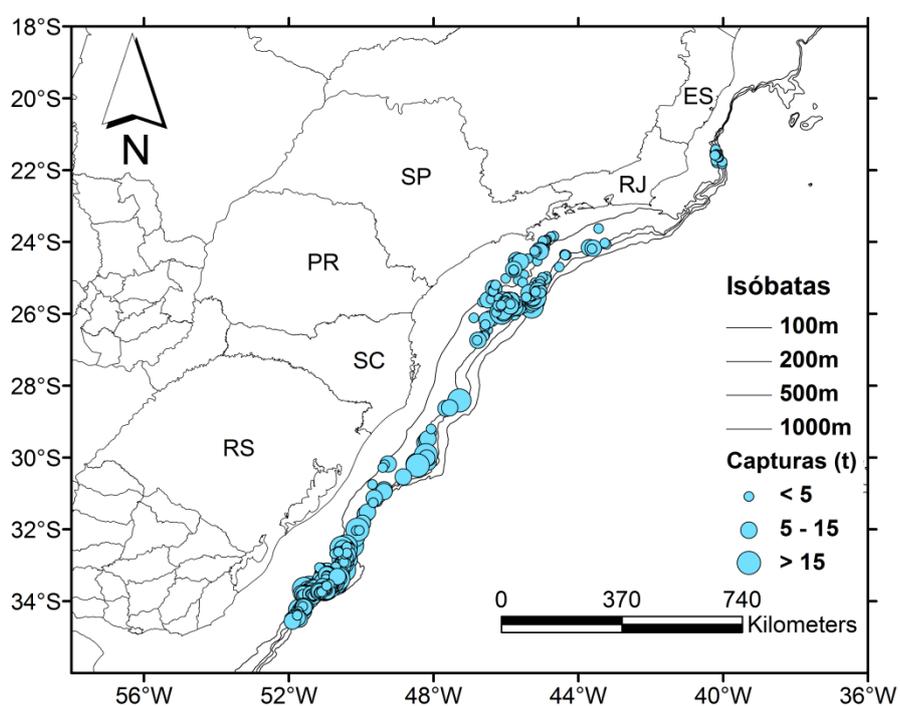
iniciaram seu deslocamento em direção ao setor sul, no qual operaram entre dezembro de 2014 e fevereiro de 2015. No mês de março, observou-se o início do deslocamento para os setores central e norte, onde permaneceram atuando predominantemente até o término da safra 2015, no mês de julho (Fig. 2b).



**Figura 2. Boxplots do deslocamento latitudinal mensal do esforço de procura nas safras 2014 (a) e 2015 (b). A cada mês, as linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, as caixas em cinza indicam os quartis superiores e inferiores (que delimitam 50% dos dados), a mediana é indicada pela linha horizontal contínua preta no interior das caixas. Foram mantidas as entradas do PREPS com velocidades superiores a 3 nós. Os setores de pesca são: N (norte), C (centro) e S (sul).**

#### 4.2. Distribuição dos lances de pesca

Os lances de pesca avaliados neste trabalho ocorreram entre profundidades de 40 e 1.000 m (Fig. 3). A profundidade média foi de 185 m. Do total de lances avaliados, 849 lances ocorreram no setor sul, 266 no setor central e 20 no setor norte.



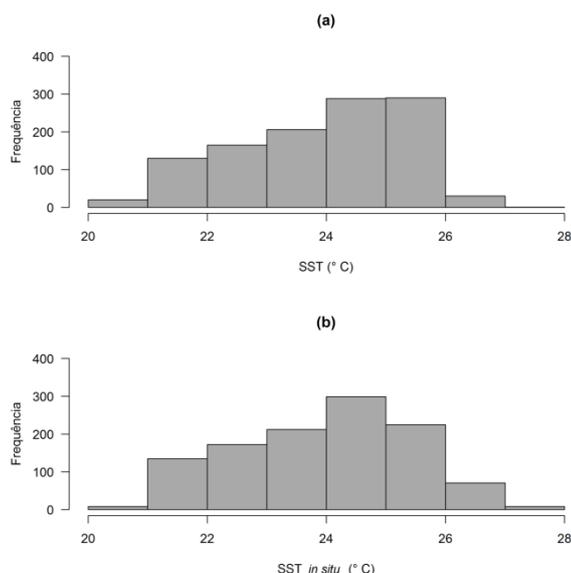
**Figura 3.** Distribuição dos 1.030 lances efetuados pelos barcos monitorados neste estudo nas safras 2014 e 2015 de pesca de bonito-listrado com vara e isca-viva. O tamanho dos círculos é proporcional à captura obtida nos lances.

#### 4.3. Condicionantes ambientais associadas aos lances de pesca

Nesta seção apresentam-se os dados ambientais extraídos do Catsat nas 1.130 posições de captura de bonito-listrado.

#### 4.3.1 Temperatura da superfície (SST)

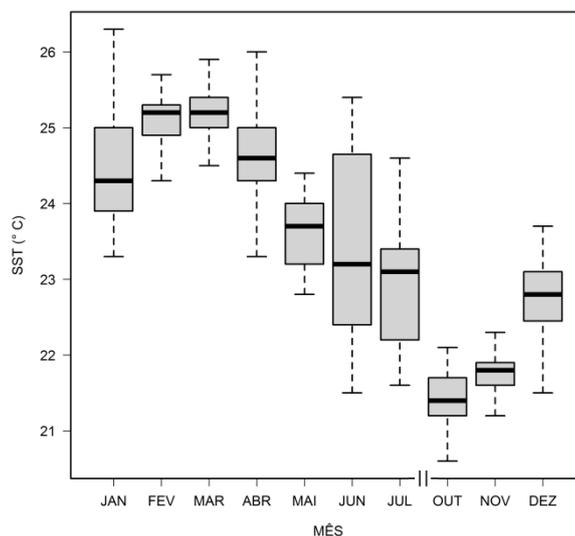
A SST nas posições de pesca variou entre 20,5° C e 27,2° C. O histograma de frequência indica que a maior parte dos lances ocorreu nas classes de 24° C e 25° C (Fig. 4a), as quais somaram 579 observações, representando 51,% do conjunto de dados. A SST média observada para todos os lances foi de 23,95° C. Os dados de SST coletados *in situ* pelos mestres das embarcações nos locais de captura variaram entre os valores máximos e mínimos de 20,8 e 27,9, respectivamente. Os dados apresentaram-se normalmente distribuídos no entorno da classe de 24° C (Fig. 4b).



**Figura 4. Histogramas de frequência de temperatura da superfície (SST) extraída do Catsat (a) e SST medida nas embarcações (b) nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015.**

Nos meses iniciais das safras de 2014 e 2015, outubro e novembro, a SST média variou entre 21,5° C e 22° C. Já nos meses entre dezembro e

março observou-se aumento para cerca de 25° C, a partir de ocorreu decréscimo gradual até a cerca de 23° C nos meses de junho e julho (Fig. 5).

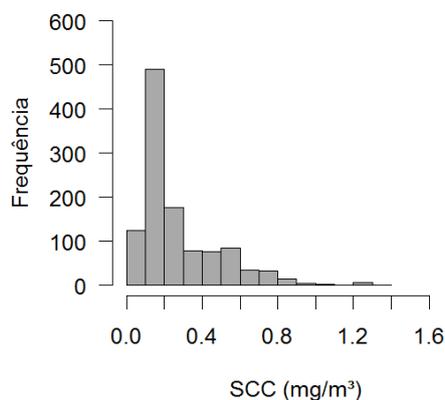


**Figura 5. Variação mensal da temperatura da superfície (SST) extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, as caixas em cinza indicam os quartis superiores e inferiores, delimitando a distribuição de 50% dos dados, a mediana é indicada pela linha horizontal contínua.**

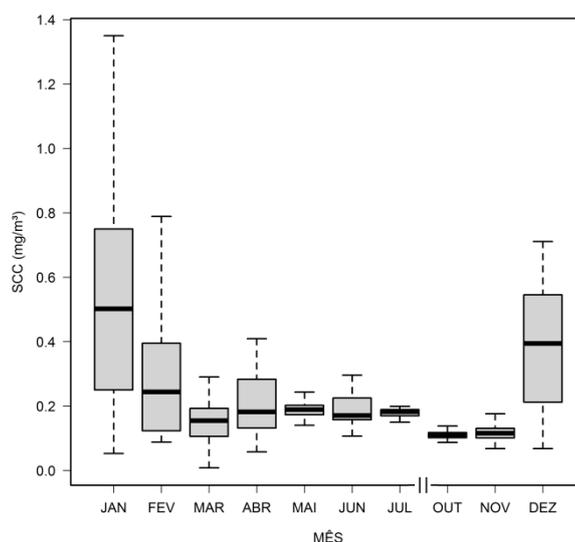
#### 4.3.2 Concentração de clorofila-a (SSC)

A SSC nos locais de pesca, variou entre 0,008 e 1,44 mg/m<sup>3</sup>, respectivamente. A classe de 0,1 mg/m<sup>3</sup> apresentou 491 observações (40% do conjunto de dados, Fig. 6). O valor médio observado foi de 0,28 mg/m<sup>3</sup>.

A SSC apresentou tendência para valores maiores entre novembro e janeiro, período em que são observados valores médios entre 0,4 e 0,5 mg/m<sup>3</sup>. Entre os meses de fevereiro e novembro observou-se uma redução para valores próximos a 0,2 mg/m<sup>3</sup> (Fig. 7).



**Figura 6. Histograma de frequência de concentração de clorofila-a (SCC) extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015.**

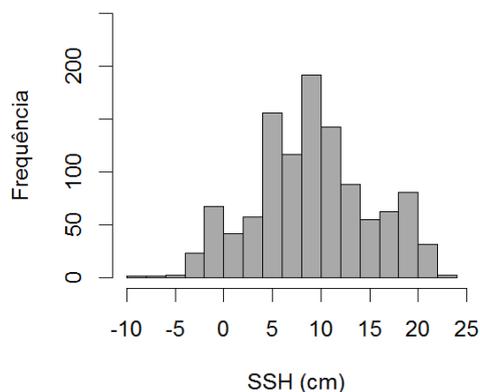


**Figura 7. Variação mensal da concentração de clorofila-a (SCC) extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, as caixas em cinza indicam os quartis superiores e inferiores, delimitando a distribuição de 50% dos dados, a mediana é indicada pela linha horizontal contínua.**

#### 4.3.3 Altimetria

A altura da superfície do mar dos lances de captura variou entre -8,4 cm e 22,9. O histograma de frequência desta variável indicou maior ocorrência de valores positivos, cujas frequências somadas representam mais de 87% do

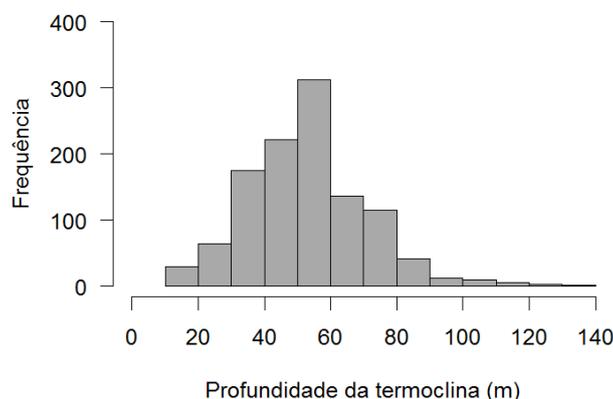
conjunto de dados. A classe modal foi de 8,0 cm. A altura média da superfície do mar para todos os lances foi 9,0 cm (Fig. 8).



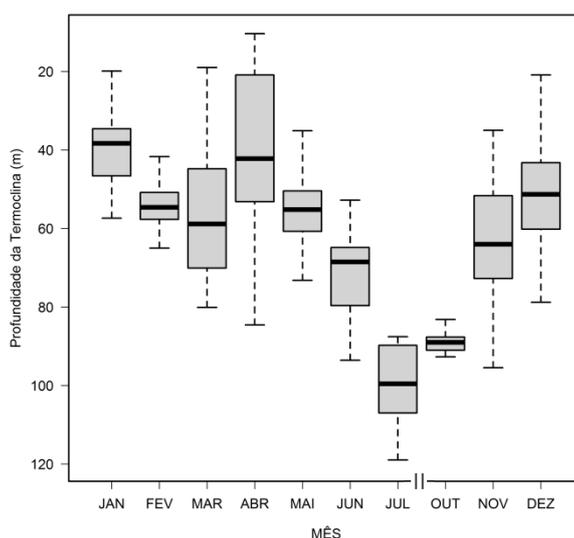
**Figura 8. Histograma de frequência de altimetria (SSH) extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015.**

#### 4.3.4 Profundidade da termoclina

A termoclina nas posições de captura variou entre 10,4 m e 138,0 m de profundidade. A distribuição de frequência desta variável indicou maior ocorrência na classe de 50 m de profundidade, que representou mais de 27,5% do conjunto de dados (Fig. 9). O valor médio de profundidade da termoclina observado foi 53,22 m. Na variação mensal observaram-se valores menores (mais rasa) nas imediações do verão, enquanto que no inverno a termoclina apresentou-se mais profunda (Fig. 10).



**Figura 9.** Histograma de frequência de profundidade de termoclina extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015.

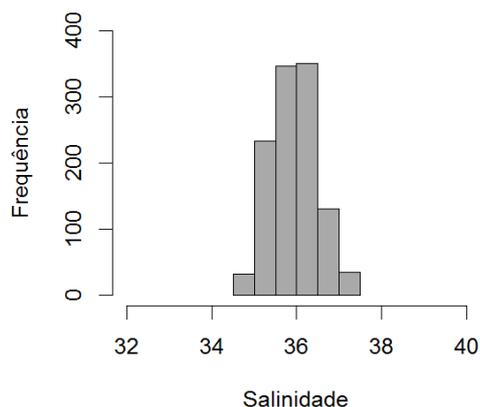


**Figura 10.** Variação mensal da profundidade da termoclina extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, as caixas em cinza indicam os quartis superiores e inferiores, delimitando a distribuição de 50% dos dados, a mediana é indicada pela linha horizontal contínua.

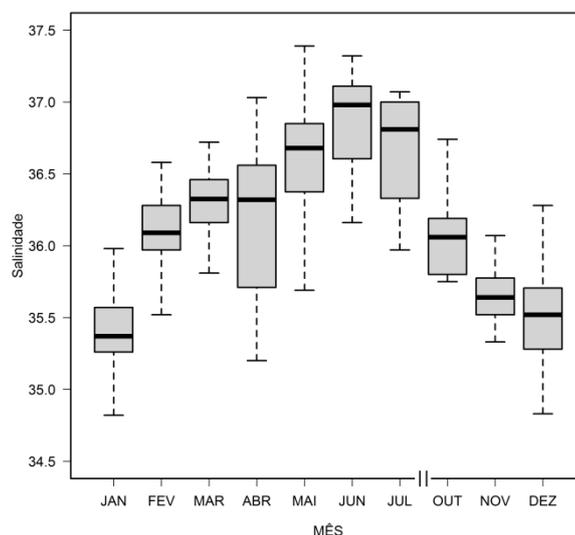
#### 4.3.5 Salinidade

A salinidade extraída do Catsat variou entre 33,64 e 37,79. O histograma de frequência indica uma distribuição normal com modas nas classes de 35,5 e 36. Estas classes somadas representaram mais de 60% do

conjunto de dados. O valor médio de salinidade nos conjunto dos lances foi de 35,95 (Fig. 11). Na variação mensal observou-se uma tendência para valores menores no período próximo ao verão, e maiores no nos meses de inverno (Fig. 12).



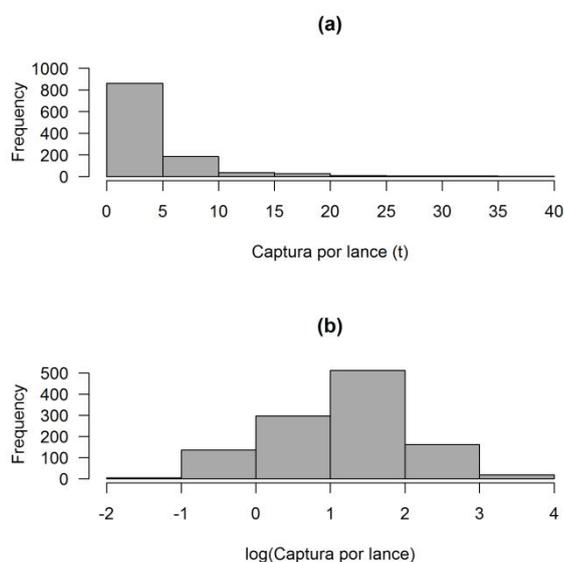
**Figura 11. Histograma de frequência de salinidade nos locais de captura de bonito-listrado.**



**Figura 12. Variação mensal da salinidade extraída do Catsat nos locais de captura de bonito-listrado nas safras 2014 e 2015. As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos, as caixas em cinza indicam os quartis superiores e inferiores, delimitando a distribuição de 50% dos dados, a mediana é indicada pela linha horizontal contínua.**

#### 4.4. GAM com as variáveis ambientais extraídas do Catsat

A distribuição de frequência dos dados de captura por lance indicou maior ocorrência de capturas entre 0 e 5 t (Fig. 13a). Esta classe apresentou 864 observações, que representam 76,12% do conjunto de dados. O valor médio observado para a captura por lance foi de 4,783 t. Devido à distribuição assimétrica dos dados de captura, realizou-se a sua transformação para escala logarítmica, visando obter uma distribuição normal dos dados para aplicação dos modelos. Com isso, a variável resposta seguiu uma distribuição aproximadamente contínua (Fig. 13b).



**Figura 13. Histograma de frequência da variável resposta captura por lance (a) e do logaritmo da captura (b).**

Os dados dos modelos GAM elaborados com as variáveis extraídas do Catsat estão reunidos na tabela 3.

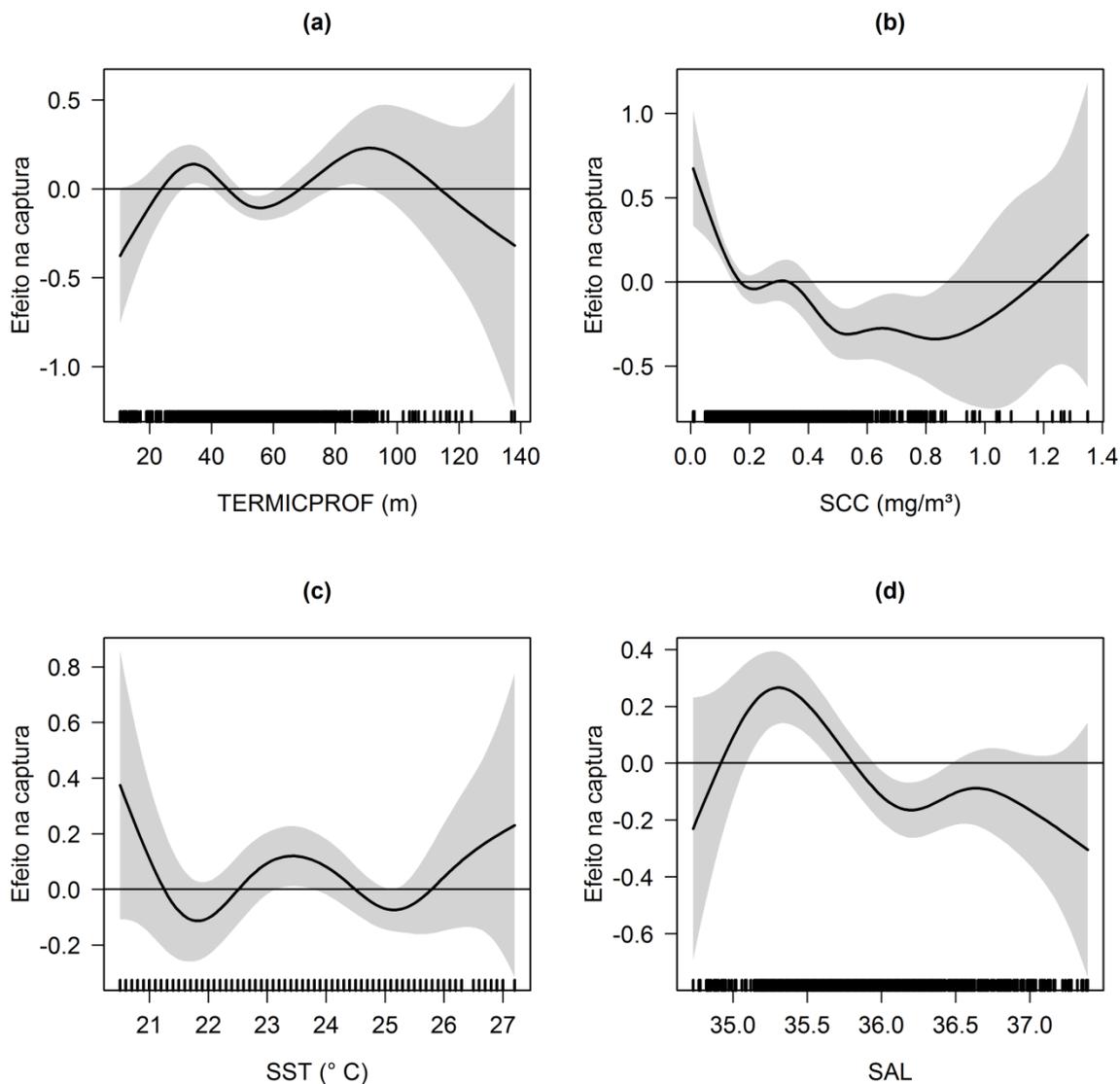
Tabela 3. GAM's ajustados com variáveis extraídas do Catsat (n=1.130). Modelo, covariável, graus de liberdade estimados (GLE), P-valor, percentual de deviança explicada (%DE) e AIC. As variáveis são: profundidade da termoclina (TERMICPROF), Concentração de Clorofila-a (SCC), Temperatura da Superfície (SST) e Salinidade (SAL). O modelo selecionado está em negrito.

MODELO	COVARIÁVEL	GLE	P-Valor	%DE	AIC
TERMICPROF	TERMICPROF	6,3	8,00E-06	3,7%	2748
SCC	SCC	5,6	0,0002	2,7%	2759
SST	SST	5,0	0,0012	2,3%	2762
SAL	SAL	4,5	0,0026	2,0%	2765
SCC + SAL	SCC	5,1	2,36E-08	6,5%	2723
	SAL	5,6	3,46E-07		
TERMICPROF + SCC	TERMICPROF	6,3	5,27E-05	5,9%	2733
	SCC	5,7	0,0013		
TERMICPROF + SST	TERMICPROF	6,0	5,47E-05	5,4%	2737
	SST	4,8	0,0065		
TERMICPROF + SAL	TERMICPROF	5,8	0,0001	5,0%	2741
	SAL	4,6	0,0268		
SCC + SST	SCC	6,2	0,0001	5,3%	2740
	SST	5,3	0,0006		
SST+ SAL	SST	4,3	0,0077	3,7%	2754
	SAL	4,6	0,0149		
TERMICPROF+SCC+SAL	TERMICPROF	5,5	0,0023	8,8%	2708
	SCC	6,1	7,4E-07		
	SAL	5,4	1,69E-05		
TERMICPROF+SCC+SST	TERMICPROF	5,8	0,0001	8,2%	2717
	SCC	6,3	0,0002		
	SST	5,5	0,0011		
SCC+SST+SAL	SCC	5,7	3,2E-07	8,0%	2717
	SST	5,1	0,0449		
	SAL	5,5	4,7E-05		
TERMICPROF+SST+SAL	TERMICPROF	5,9	0,0007	6,3%	2735
	SST	4,4	0,0396		
	SAL	4,5	0,1553		
<b>TERMICPROF+SCC+SST+SAL</b>	<b>TERMICPROF</b>	<b>5,5</b>	<b>0,0025</b>	<b>10,2%</b>	<b>2701</b>
	<b>SCC</b>	<b>6,5</b>	<b>1,5E-06</b>		
	<b>SST</b>	<b>5,3</b>	<b>0,0453</b>		
	<b>SAL</b>	<b>5,0</b>	<b>0,0013</b>		

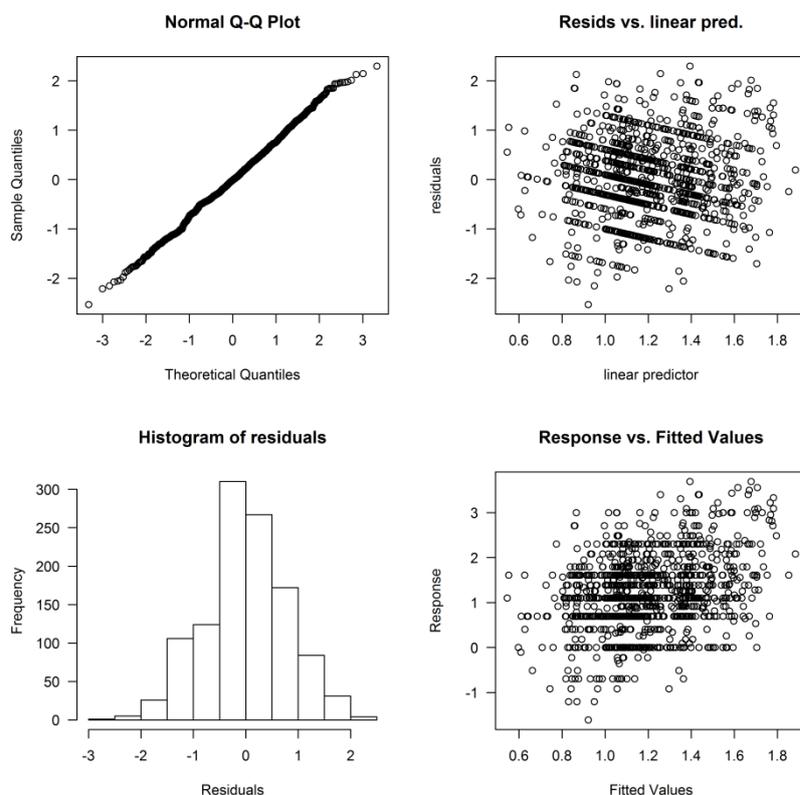
O modelo de quatro variáveis explicativas apresentou uma deviance explicada de 10,2% e um AIC inferior a todos os modelos previamente elaborados. Para a variável TERMICPROF verificaram-se efeitos positivos na captura entre 24,2 m - 45,2 m de profundidade (Fig. 14a). A variável SCC apresentou efeitos positivos sobre as capturas entre o valor mínimo observado, de 0,008 mg/m<sup>3</sup>, até 0,16 mg/m<sup>3</sup> (Fig. 14b). A covariável SST apresentou efeitos positivos sobre a variável resposta entre 22,5° C e 24,5° C (Fig. 14c), e os efeitos positivos de SAL sobre a captura entre 34,9 – 35,8 (Fig. 14d).

#### 4.4.1. Validação do Modelo

O Normal Q-Q plot, ajustado aos dados versus quantis teóricos mostra uma relação próximo de 1:1, indicando que a distribuição Gaussiana assumida para variável resposta foi adequada (Fig. 15a). Os gráficos dos resíduos versus valores ajustados, e da variável resposta versus valores ajustados, apresentaram-se devidamente dispersos, sem indicativo de tendências ou relações (Fig. 15b, Fig. 15d). A análise do histograma dos resíduos sugere distribuição normal (Fig. 15c), corroborada pelo teste de Shapiro-Wilk com os resíduos ( $p=0,217$ ).



**Figura 14.** Efeito das variáveis ambientais extraídas do Catsat nos locais de captura sobre a variável resposta (Log Captura por lance): Profundidade da Termoclina (PROFTERMOC, a), Concentração superficial de Clorofila-a (SCC, b), Temperatura da Superfície do Mar (SST, c) e Salinidade superficial (SAL, d). A área cinza indica o intervalo de 95% de confiança, as curvas contínuas indicam a função do modelo que descreve o efeito da variável ambiental sobre a variável resposta. A densidade de pontos observados é indicada no eixo x.



**Figura 15.** Gráficos gerados pela função *gam.check* do pacote *mgcv* utilizados para validação do modelo. Normal Q-Q plot para verificação da distribuição assumida para a variável resposta (a); Resíduos versus predictor linear para verificação da relação entre variância e média (b). Histograma de resíduos para verificação da distribuição dos resíduos (c); Variável resposta versus valores ajustados pelo modelo (d).

#### 4.5. Análise das áreas de pesca

Na avaliação das áreas de pesca através das imagens de SST foram identificadas duas categorias: (1) frente térmica; e (2) superfície homogênea. A categoria que ocorreu com maior frequência foi frente térmica, com 24 ocorrências (52,2%).

As áreas classificadas na categoria frente térmica são caracterizadas por uma nítida distinção no campo de SST entre as águas que ocupam a plataforma continental e a porção oceânica, com temperaturas menores e

maiores, respectivamente (Fig. 16a). O histograma de frequência da SST destas áreas indicou uma distribuição bimodal (Fig. 16b).

A categoria superfície homogênea foi caracterizada por uma distribuição relativamente homogênea do campo de temperatura na superfície. Tal configuração não possibilitou identificação de processos através da SST.

Na avaliação das áreas de pesca através das imagens de SSC foram identificadas três categorias: (1) frente de cor do oceano; (2) enriquecimento e (3) superfície homogênea. A categoria frente foi a de maior frequência nas áreas avaliadas, com 29 ocorrências (63%). A categoria enriquecimento e superfície homogênea ocorreram em 21,7% e 15,2% das áreas avaliadas, respectivamente.

A categoria frente de cor foi caracterizada pela nítida distinção na distribuição de SSC entre as massas d'água que ocupam a plataforma continental e o talude. As maiores concentrações ocorreram sobre a plataforma, enquanto que as águas posicionadas sobre o talude e oceano aberto eram relativamente menos ricas em clorofila-a (Fig. 17a). Em diversas áreas classificadas nesta categoria, os lances de pesca ocorreram sobre a área de transição entre altas e baixas concentrações, sobre a quebra da plataforma continental. O exemplo do histograma representativo desta categoria é apresentado na figura 17b.

A categoria enriquecimento foi caracterizada por uma distribuição de SSC relativamente homogênea e em baixas concentrações, com presença de uma área relativamente mais produtiva associada aos lances de pesca. O

exemplo representativo desta categoria e seu respectivo histograma são apresentados nas figuras 18a e 18b. A categoria superfície homogênea foi caracterizada por uma distribuição homogênea de SSC na superfície.

Dividindo os dados da avaliação das áreas através da SST ao longo das estações do ano, verificou-se que durante o verão 75% das áreas avaliadas tiveram superfície homogênea. No outono a categoria frente foi mais importante, com 13 áreas de ocorrência, representando 72,2% das áreas avaliadas. Durante a primavera, das oito áreas avaliadas 6 foram classificadas na categoria frente, representando 75%. Por setores de pesca, verificou-se que o setor sul (28 áreas avaliadas) e o setor central (16 áreas avaliadas) apresentaram 50% das áreas classificadas nas categorias frente e superfície homogênea. As duas áreas avaliadas no setor norte foram classificadas na categoria frente térmica.

Durante o verão a categoria frente de cor foi a mais importante na avaliação das imagens de SCC, com 14 ocorrências, representando 70% das áreas avaliadas nesta estação. No outono a categoria enriquecimento ocorreu em 44,4% das áreas avaliadas. No período de primavera as oito avaliadas áreas foram classificadas na categoria frente. No setor sul a categoria predominante foi frente de cor, que ocorreu em 25 (89%) áreas avaliadas. No setor central a categoria mais importante foi enriquecimento, com 10 ocorrências, representando 62,5% das áreas avaliadas neste setor, enquanto superfície homogênea e frente representaram 25% e 12,5% das áreas, respectivamente. As duas áreas avaliadas no setor norte foram classificadas na categoria frente de cor.

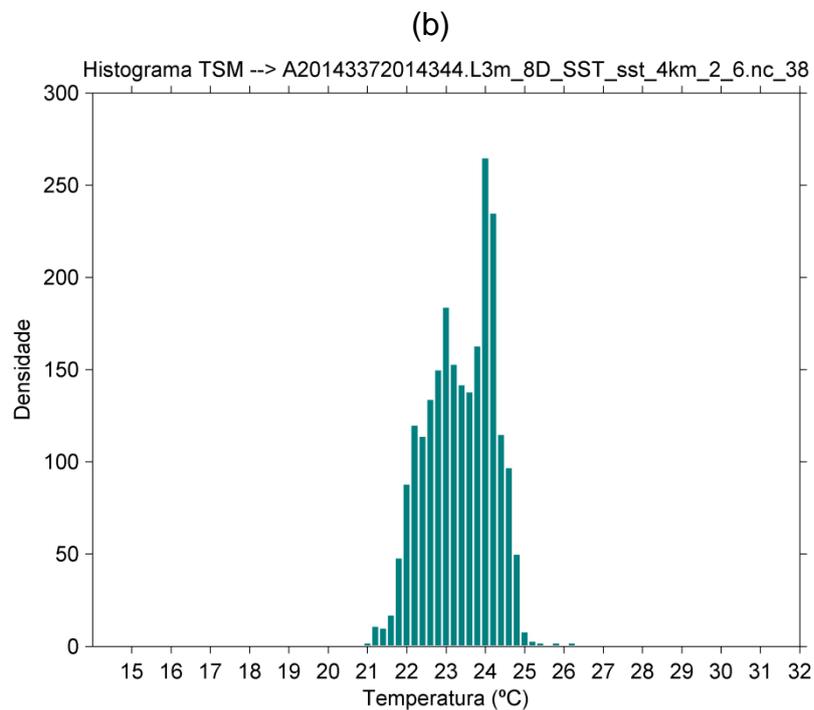
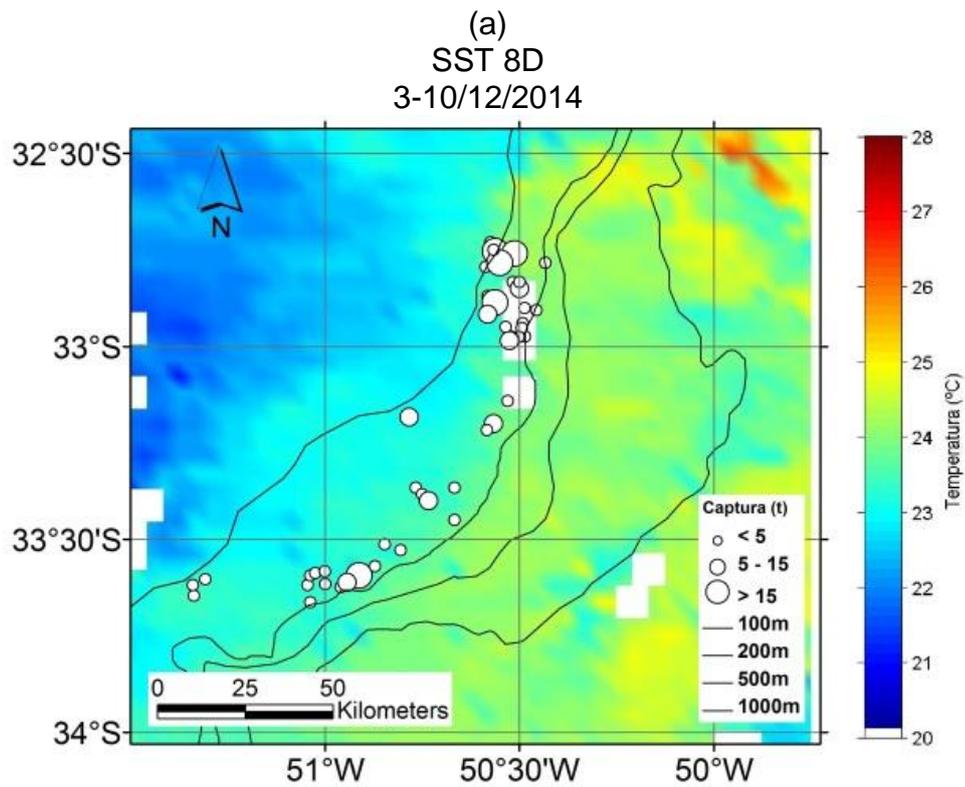


Figura 16. Exemplo de área classificada na categoria frente térmica. Composição de oito dias do período 6 (SUL) da safra 2015 proveniente do sensor MODIS, Satélite Aqua (a) e histograma com classes de 0,2° C correspondente (b).

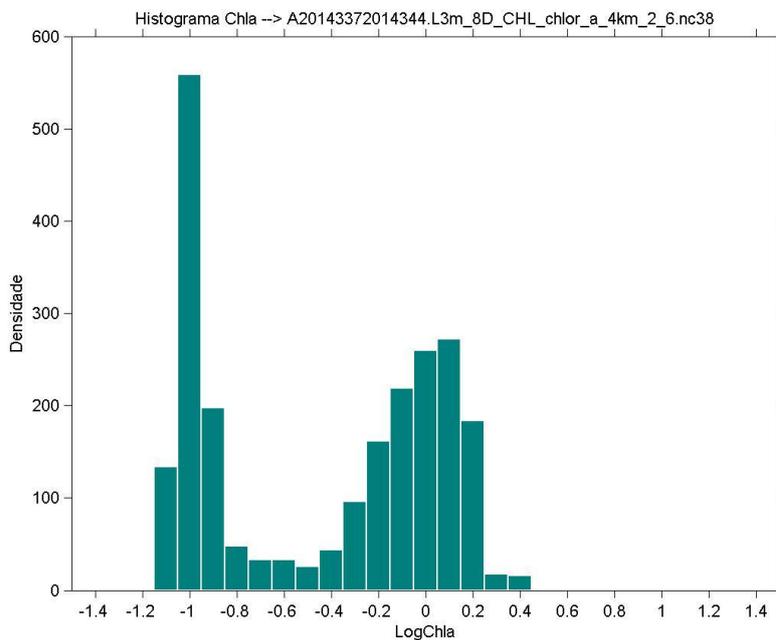
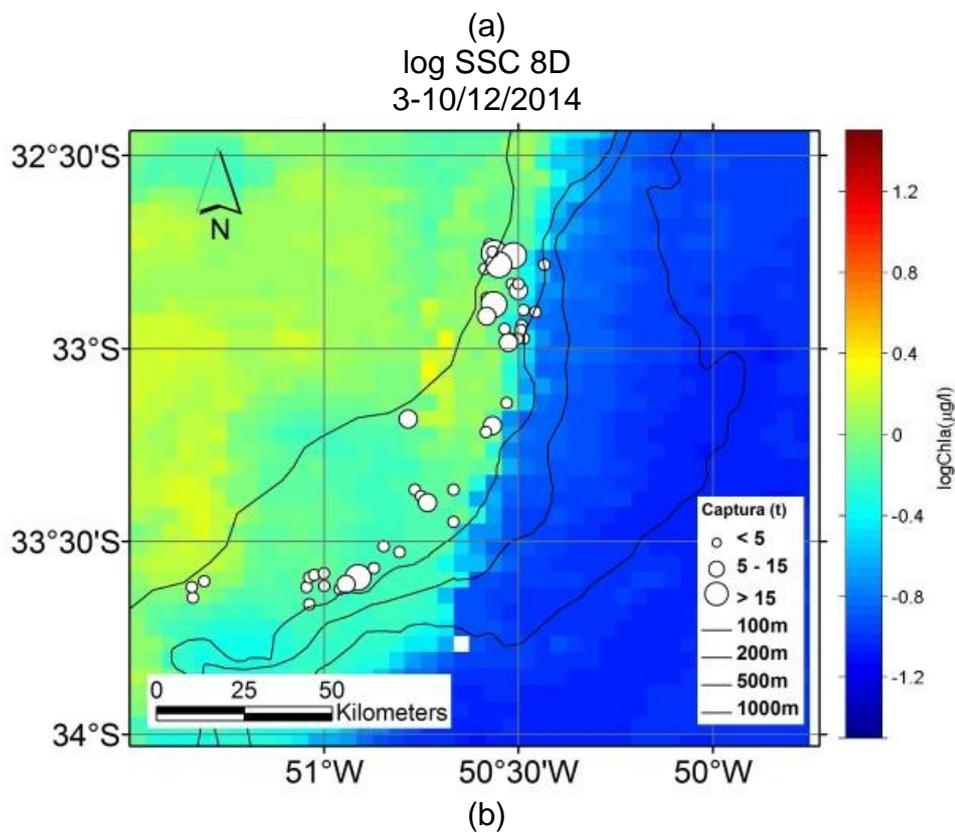


Figura 17. Exemplo de área classificada na categoria frente de cor. Composição de oito dias do período 6 (SUL) da safra 2015 proveniente do sensor Modis, satélite AQUA (a) e histograma correspondente (b).

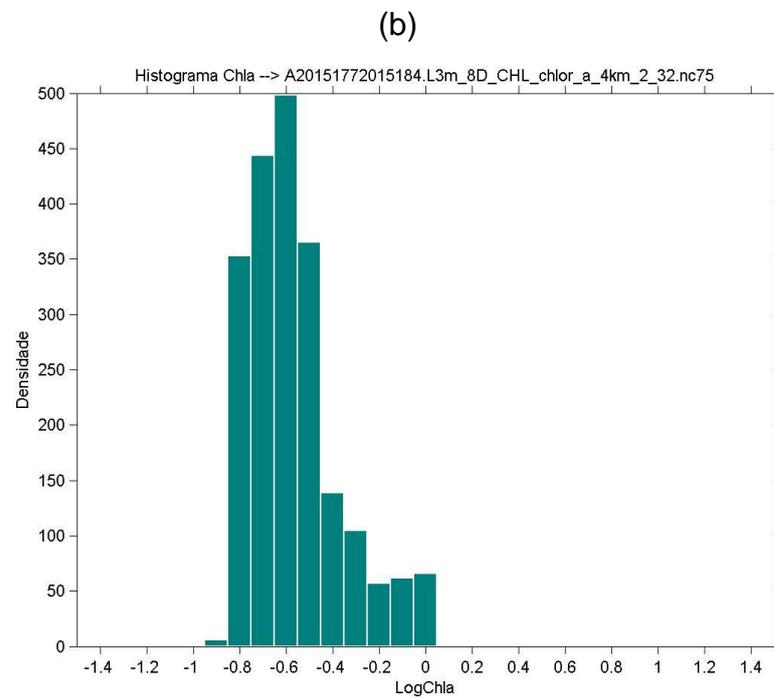
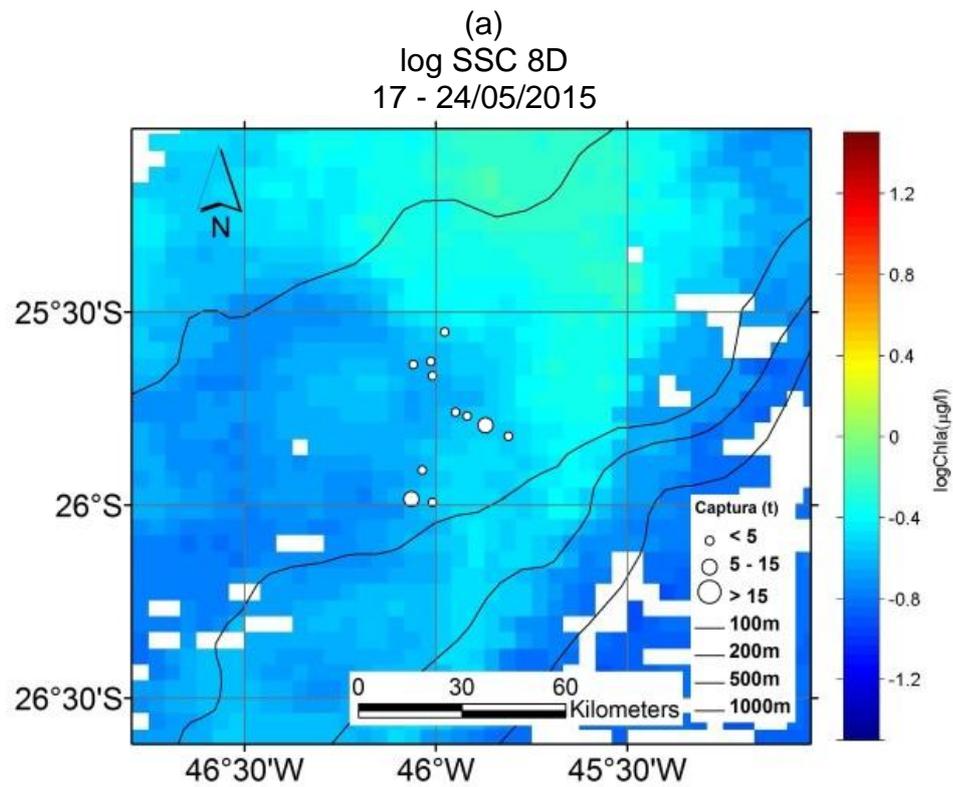
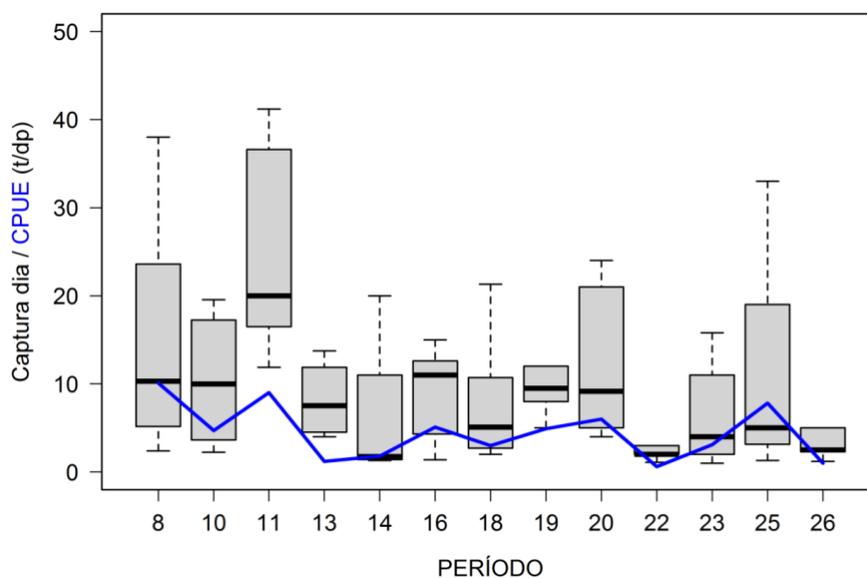


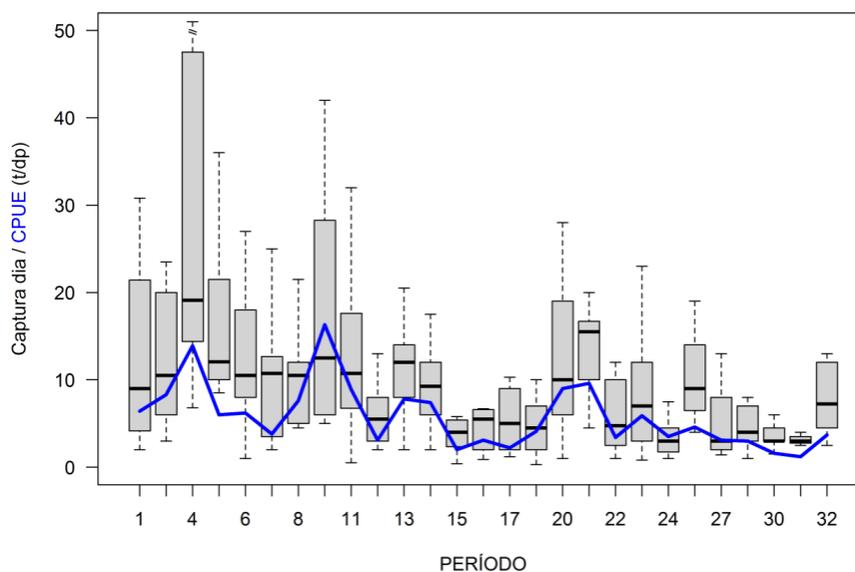
Figura 18. Exemplo de área classificada na categoria enriquecimento. Composição de oito dias do período 32 (SUL) da safra 2015 proveniente do sensor Modis, satélite AQUA (a) e histograma correspondente (b).

#### 4.6. CPUE nas áreas de pesca

A CPUE das áreas avaliadas na safra 2014 variou entre 10,6 e 0,6 t/dia. Nos períodos 8 e 11 os valores estiveram acima de 9 t/dia, entre os períodos 14 e 18 observasse uma redução na CPUE, que foi cerca de 5 t/dia. As áreas avaliadas nos períodos 19 e 20 apresentaram aumento na CPUE, que foi da ordem de 6 t/dia. Após observa-se uma queda, quando a CPUE atinge o valor mínimo observado neste ano (Fig. 19). Durante a safra 2015, a CPUE variou entre valores máximos e mínimos de 16,3 e 1,2 t/dia. Neste ano ocorreram alguns picos de CPUE que se destacam do restante dos períodos avaliados (Fig. 20).



**Figura 19. Boxplots dos dados de captura nos respectivos períodos da safra 2014. As linhas tracejadas indicam os valores máximos e mínimos de captura por dia das embarcações, as caixas em cinza indicam os quartis superiores e inferiores, delimitando a distribuição de 50% dos dados, a mediana é indicada pela linha horizontal contínua. A Captura por Unidade de Esforço (CPUE) é indicada pela linha azul.**

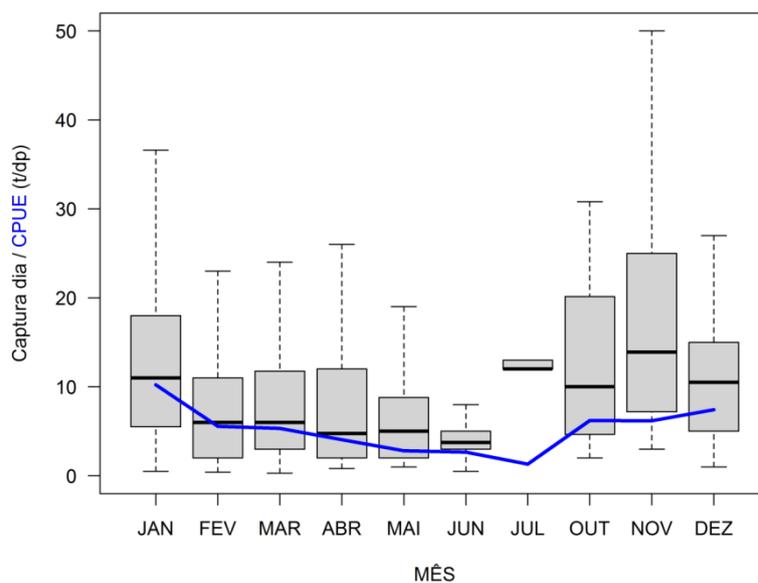


**Figura 20. Boxplots das capturas diárias obtidas nos respectivos períodos da safra 2015. A CPUE é indicada pela linha sólida. Os meses correspondentes estão indicados no eixo horizontal superior.**

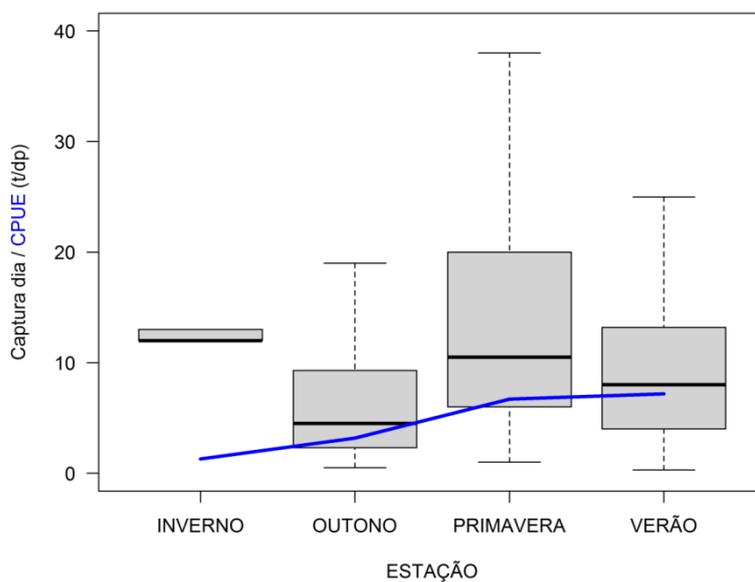
#### 4.7. CPUE mensal e por estação

A CPUE mensal observada nas safras 2014 e 2015 apresentaram os maiores valores entre dezembro e janeiro, com valores de 7,4 e 10,2 t/dia, respectivamente. Após o mês de janeiro observa-se uma diminuição na CPUE, que atinge os menores valores no mês de julho (Fig. 21). O valor médio observado no conjunto de dados foi de 5,3 t/dia.

A CPUE do bonito-listrado apresentou os maiores valores nos períodos de verão e primavera, quando foram capturadas em média 7,2 e 6,7 t/dia, respectivamente. O outono apresentou valores intermediários (3,2 t/dia), e as menores CPUE's ocorreram no inverno, quando foram capturadas cerca de 1,2 t/dia (Fig. 22).



**Figura 21.** Boxplots das capturas diárias obtidas nos respectivos meses das safras 2014 e 2015. A CPUE é indicada pela linha sólida. Os meses estão indicados por números no eixo horizontal inferior e foram ordenados sequencialmente, de janeiro (1) até dezembro (12).



**Figura 22.** Boxplots das capturas obtidas nas respectivas estações das safras 2014 e 2015. A CPUE é indicada pela linha sólida.

#### 4.8. Correlações de SST e SSC das áreas de pesca de bonito-listrado com a CPUE

Na análise da relação entre a SST média e o gradiente de SST nas áreas de pesca e a CPUE obtida pelas embarcações, verificaram-se relações negativas (retas vermelhas, Fig. 23a-b). Os coeficientes de Pearson entre as duas variáveis indicaram fraca correlação, e foram 0,14 e 0,04, respectivamente, ambos com sinal negativo.

Na análise da relação entre a CPUE com a concentração de SSC e o gradiente da SSC nas áreas de pesca verificaram-se relações positivas (retas azuis, Fig. 24c, Fig. 24d). Os coeficientes de Pearson foram 0,28 e 0,31, respectivamente.

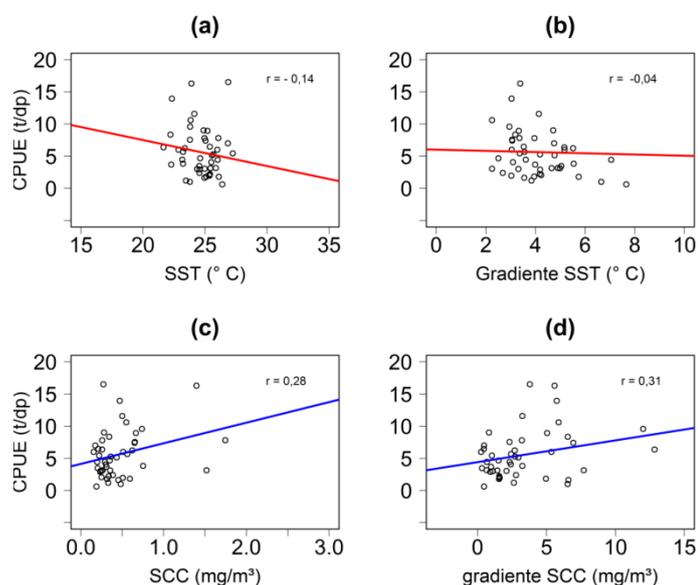


Figura 23. Relação entre as variáveis SST (a), Gradiente SST (b), SSC (c) e Gradiente de SSC (d) com a CPUE do bonito-listrado.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Monitoramento da frota

Os pescadores deslocam-se para locais pré-determinados na busca de condições específicas, as quais acreditam ser adequadas para ocorrência do bonito-listrado, o que indica que as pescarias não se distribuem aleatoriamente. Desta forma, as áreas em que o bonito-listrado é mais vulnerável à pesca estão representadas nos dados da frota (Andrade, 2003).

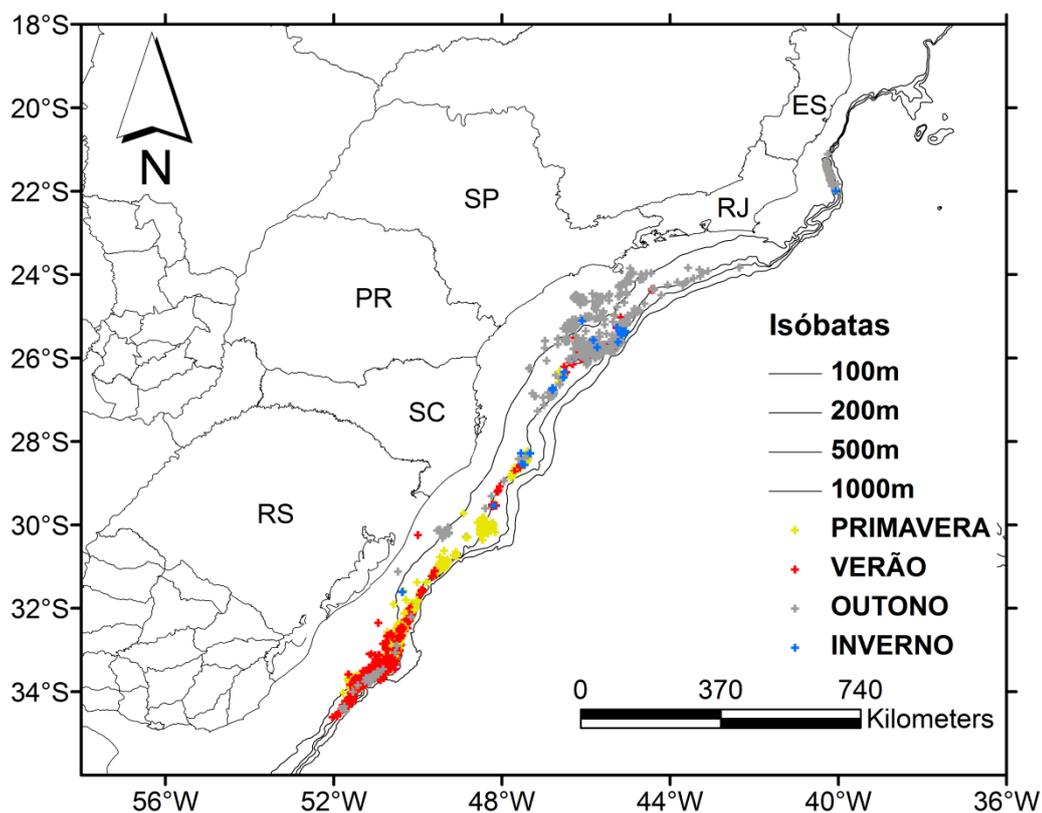
Os sistemas de monitoramento de embarcações (*Vessel Monitoring Systems – VMS*) possuem alguns componentes essenciais de funcionamento, que são: rastreamento de posições de embarcações, identificação das possíveis atividades e prover meios de comunicação (FAO, 1998). Neste sentido, o monitoramento da frota através do PREPS utilizado neste trabalho permitiu o acompanhamento contínuo das embarcações, identificando suas áreas de atuação ao longo de duas safras. Este aspecto permitiu a interação com a empresa de pesca através das avaliações ambientais direcionadas a estas áreas no Catsat, agregando importância às informações produzidas na

análise ambiental e permitindo sua aplicação na estratégia operacional dos barcos, que ficou a cargo do diretor da empresa e dos mestres de pesca.

O padrão cíclico observado a partir do PREPS corrobora a dinâmica sazonal da pescaria previamente descrita (Castello & Habiaga, 1989; Andrade, 1996; Andrade & Garcia, 1999; Andrade, 2003). Observando as posições cujas velocidades caracterizariam atividade de pesca no PREPS, verifica-se a sazonalidade associada à distribuição do esforço de pesca. Além disto, pode-se observar que esta atividade parece estar mais fortemente associada à quebra da plataforma continental (isóbata de 200 m) nos setores sul e norte, enquanto no setor central estes dados indicam que a pesca ocorre associada com a plataforma interna e intermediária de maneira mais intensa (Fig. 24).

A sazonalidade no deslocamento desta frota indica que no período entre primavera e verão a disponibilidade de isca alternativa no sul do Brasil representa uma vantagem na estratégia operacional dos barcos que operam no porto de Rio Grande. Neste período as operações de pesca são realizadas no setor sul, e a iscagem com anchoita representa uma redução significativa no tempo de mar, já que a área de iscagem encontra-se a distâncias inferiores a 150 km dos locais de pesca no período (Fig. 25). Tal cenário promove economia no principal insumo desta pescaria, óleo diesel, já que previamente à utilização de anchoita como isca a frota deslocava-se até SC e RJ para etapa de iscagem e retornava até o sul do Brasil para a pesca. Este cenário que fecha todo o ciclo de etapas da pescaria no setor sul gera benefícios econômicos e ambientais importantes para atividade, uma vez que a emissão

de gases do efeito estufa pode ser reduzida em até 40% nesta atividade (Madureira *et al.*, 2016).



**Figura 24.** Dinâmica sazonal da frota de vara e isca-viva sediada em Rio Grande segundo o rastreamento das embarcações nas safras 2014 e 2015. Foram mantidos os dados cujas velocidades foram inferiores a 3 nós nas áreas de pesca.

Outro aspecto relevante da utilização do PREPS no presente estudo é a possibilidade de validação dos dados de captura, considerando que a ocorrência de informações incoerentes das posições de pesca nos mapas de bordo é frequente (Andrade, 1996; Oliveira, 2006). Deste modo pode-se diminuir a incerteza relacionada ao local da captura.

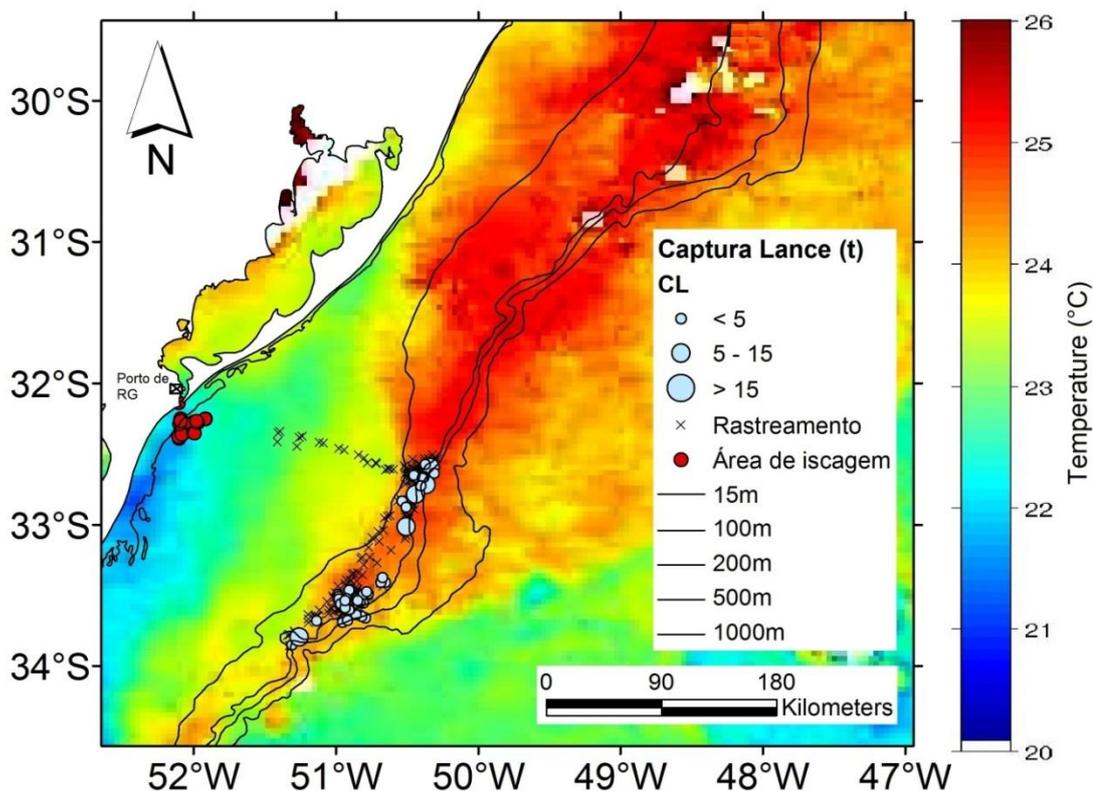


Figura 25. Exemplo de cenário favorável para iscagem no setor sul do Brasil. Imagem de SST do período oito da safra 2015 (19 – 26/12/2014), a distância entre local de iscagem com anchoita e posições de captura foi de 150 km. Dados sobrepostos à composição de oito dias do sensor MODIS/AQUA para o período.

## 5.2. Catsat

As vantagens do emprego de dados satelitais na atividade pesqueira foram resumidas em três aspectos principais por Santos (2000): (1) economia de combustível durante a procura por cardumes; (2) economia nos custos com tripulação como consequência da redução no tempo de mar e; (3) menor custo de manutenção dos barcos com aumento da segurança das atividades.

Entende-se que o presente trabalho contribuiu para o aumento na eficiência das operações da frota monitorada, conforme sustentado a seguir. Foram realizadas reuniões com os mestres de pesca no intuito de receber as informações trazidas do mar, discutir, avaliar e transmitir as interpretações

formuladas nas análises no aplicativo Catsat. Além das atualizações ambientais regularmente enviadas à empresa, foram oferecidas análises e apresentações dos dados de captura e um curso básico sobre o funcionamento do sistema Catsat de visualização dos dados, considerando que a qualificação do profissional da pesca é fundamental para o adequado uso desta tecnologia.

### 5.3. Condicionantes ambientais e a pesca do bonito-listrado

Os dados analisados neste trabalho indicaram ocorrência dos lances de pesca em águas com SST entre 20° C – 27° C. Andrade & Garcia (1999) relatam ocorrência de pescarias entre 17° C e 30° C avaliando dados da pescaria entre as décadas de 1980 e 1990. O intervalo mais estreito de temperaturas verificado neste trabalho sugere que atualmente a frota possui maior capacidade de direcionamento do esforço de pesca para locais cujas características são consideradas adequadas à obtenção dos melhores rendimentos. Esta capacidade estaria relacionada com a visualização de mapas de SST a bordo destas embarcações.

A maior parte das operações de pesca ocorre entre 22° C e 26° C, no entanto, esta relação não deve ser interpretada como uma evidencia da causalidade entre a temperatura e a presença e abundancia do bonito-listrado (Andrade, 2003). O modelo GAM elaborado com as capturas indicou efeitos positivos mais significativos da SST no intervalo entre 22,5° C e 24,5° C, o que indica que dentro do intervalo térmico adequado da espécie (17° C – 30° C; Sund *et al.*, 1981; Grande, 2014), existem condições nas quais a estrutura do

ambiente induz maiores agregações da espécie, supostamente através da distribuição de suas presas (Sund *et al.*, 1981; Andrade, 2003).

Neste estudo realizou-se uma avaliação sistemática das áreas de pesca através de dados de SST, que indicaram que a estrutura térmica da superfície no verão esteve homogênea em 75% das áreas avaliadas. De fato, no verão o campo da temperatura superficial é mais homogêneo ao largo da costa do Brasil do que durante as outras estações do ano (Andrade, 2003). Já durante o outono e a primavera as áreas de pesca apresentaram frentes em 72% e 75% das avaliações, respectivamente, o que indica a maior incidência de frentes térmicas associadas com as agregações de bonito-listrado na quebra da plataforma durante primavera e outono (Andrade, 1996; Andrade & Garcia, 1999; Andrade, 2003).

Uma feição de mesoescala de destacada importância na região sudeste/sul do Brasil é o gradiente térmico. Este gradiente, mais pronunciado e frequente do outono a meados de primavera, é formado nas proximidades da quebra da plataforma continental, delimitando as águas tropicais mais quentes da CB e as águas mais frias da plataforma continental (Andrade, 1996).

No que se refere ao parâmetro SSC, os dados coletados neste trabalho indicaram que uma parcela significativa dos lances de pesca (~60%) ocorreram na faixa situada entre 0,1 e 0,3 mg/m<sup>3</sup>. A avaliação das áreas de pesca a partir de imagens de SSC indicou que as capturas estiveram associadas a frentes de cor do oceano em 70% das áreas avaliadas no verão, 100% na primavera e 44% no outono.

A biomassa fitoplanctônica é uma importante variável para avaliação de recursos marinhos, pois representa a base da cadeia alimentar (Zainnudin *et al.*, 2004). Logo, a concentração de SSC é frequentemente considerada como índice da produtividade dos oceanos. A maior parte dos oceanos apresenta baixa produtividade e aparece azul em imagens da cor do oceano por satélite. Em regiões costeiras, de ressurgência e em áreas influenciadas por aporte continental, as águas possuem uma aparência esverdeada, pela entrada de nutrientes e pelo material em suspensão, que causa maiores concentrações de fitoplâncton e maior produtividade primária (Klemas, 2013).

Polovina *et al.* (2001) verificaram que a zona de transição de SSC apresenta influência nas migrações de organismos pelágicos, a qual está situada no valor aproximado de 0,2 mg/m<sup>3</sup> de SSC. No presente trabalho a faixa de transição de SSC foi denominada de “frente de cor do oceano”. Os dados da avaliação das áreas de pesca através das imagens SCC indicaram que o bonito-listrado frequenta a zona de transição entre as águas oceânicas oligotróficas e costeiras mais produtivas na região sudeste-sul do Brasil. Destaca-se que não se trata do valor específico de SSC, mas que este valor pode ser utilizado como *proxy*, indicando a posição de um fluxo convergente associado à frente, onde organismos pelágicos encontram acúmulo de forragem. Devido a isto, os organismos provavelmente exploram a zona de transição como rota migratória e como habitat de alimentação (Polovina *et al.*, 2001).

A relação da pesca do bonito-listrado com a frente de cor do oceano foi mais evidente nos ecossistemas dos setores sul e norte. No primeiro tem-se o

aporte continental da Pluma do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos (Piola *et al.*, 2000; Palma *et al.*, 2008), as quais são responsáveis pelo aspecto turvo da água do mar sobre a plataforma. O setor norte da área de captura do bonito-listrado possui características oceanográficas distintas da região sul. A região de Cabo Frio é caracterizada por uma ressurgência costeira induzida pelo vento e outra de quebra de plataforma induzida pelo meandramento da CB (Castro & Miranda, 1998; Acha *et al.*, 2004), atingindo áreas ao norte de Cabo Frio. Ambos os processos promovem ascensão de ACAS, trazendo águas frias e ricas em nitrato para superfície (Campos *et al.*, 2000). Estas características da oceanografia local justificam a ocorrência predominante de frentes de SST e SSC associadas às áreas de pesca no setor norte.

O modelo GAM indicou que a partir da concentração de  $0,34 \text{ mg/m}^3$  esta variável ambiental influenciou negativamente a captura do bonito-listrado, o que pode ser explicado pela maior turbidez da água associada com águas mais ricas em clorofila-a. O bonito-listrado e os atuns de modo geral, são predadores visuais, devendo evitar águas turvas como estratégia para aumentar sua eficiência de caça. Por outro lado, as águas transparentes do ambiente no oceano aberto são sabidamente oligotróficas, de modo que não sustentam recursos pesqueiros (Sund *et al.*, 1981; Grande, 2014). Desta forma, supõe-se que na região sul do Brasil o bonito-listrado se mantém associado às áreas de transição na cor do oceano como estratégia para localização do alimento, o qual pode estar mais concentrado nesta interface ambiental (Fiedler & Bernard, 1987; Andrade & Garcia, 1999; Acha *et al.*, 2004; Mann & Lazier, 2006).

Os processos de enriquecimento identificados no setor central das áreas de pesca podem ser causados pelo meandramento da CB. Segundo Campos (1995), na bacia de Santos ocorre a formação de pares vorticiais ciclônicos e anti-ciclônicos, em lados opostos ao eixo da CB na plataforma continental da região sudeste do Brasil. Estes processos podem causar bombeamento de água da plataforma continental na direção da quebra da plataforma, o que contribui para o aumento da produção primária local.

No que se refere à termoclina, observamos que a maior parte dos lances ocorreu quando esta fronteira entre massas d'água termicamente distintas esteve posicionada entre 30 e 70 m de profundidade. O modelo elaborado (GAM) com os dados ambientais indicou que esta foi a variável mais importante determinando a variabilidade das capturas, e seus efeitos positivos mais significativos estiveram entre 24 – 45 m de profundidade.

A termoclina limita verticalmente o habitat do bonito-listrado em função da concentração de oxigênio da água. O bonito-listrado, por se tratar de uma espécie de elevado metabolismo, necessita de uma concentração mínima de oxigênio na água do mar, o que pode restringir a ocupação da espécie às camadas mais superficiais dos oceanos (Wild & Hampton, 1993; Mugo *et al.*, 2010). A termoclina parece ter influência na vulnerabilidade dos cardumes à pesca de vara e isca-viva, uma vez que, para ocorrer à captura, os cardumes necessitam ser avistados próximo da superfície e os peixes concentrarem-se para comer as iscas (Andrade, 2003).

A respeito da salinidade da água do mar, os dados obtidos neste trabalho indicaram que a maior parte das operações de pesca ocorreu entre

35,5 e 36,5. O modelo GAM indicou que a salinidade apresentou efeitos positivos sobre a captura até o valor de 35,7, a partir do qual os efeitos tornam-se negativos. Aparentemente a salinidade elevada influencia negativamente as capturas devido à predominância de AT, de característica oligotróficas (Lima *et al.*, 2000; Acha *et al.*, 2004), a qual não sustentaria agregações alimentares da espécie. Os efeitos positivos de valores menores de salinidade podem ser justificados pela maior produtividade biológica associada com as águas que ocupam a plataforma do sul do Brasil. Esta região é influenciada pelo aporte de água doce da pluma do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, onde se forma o habitat de alimentação do bonito-listrado (*“feeding ground”*; Matsuura & Andrade, 2000). De acordo com Möller *et al.*(2008), as águas do Rio da Prata formam uma língua de baixa salinidade que influencia a circulação, a estratificação e a distribuição de nutrientes sobre uma área considerável da plataforma continental adjacente na região sul do Brasil.

Ao que se refere à variável altimetria, verificou-se que a maior parte dos lances de pesca esteve situada em anomalias positivas, o que indica associação com águas relativamente mais aquecidas em comparação com o ambiente circundante. A altimetria não foi significativa na modelagem das capturas. Outros estudos constataram que a variável foi menos significativa na modelagem dos índices de captura de atuns, em comparação com SST e SSC, atribuindo a ausência de relação desta variável aos variados efeitos que esta pode apresentar na agregação de organismos no oceano (Zagaglia, 2004; Mugo *et al.*, 2010).

#### 5.4. CPUE

Grande parte dos trabalhos sobre a pesca do bonito-listrado na região sudeste-sul do Brasil utilizaram os dados dos mapas de bordo da frota pesqueira (Andrade & Garcia, 1999; Lima *et al.*, 2000; Andrade, 2003). Nestes relatórios, geralmente apenas a atividade diária das embarcações é reportada. Atividades como: navegação, tempo de procura, dias de condições meteorológicas adversas (sem procura) e dias de captura de iscas, são praticamente ausentes. Devido a esta limitação nas informações disponíveis, comumente o dia em que algum lance ocorre é considerado como unidade de esforço de pesca no cálculo da CPUE. Estes autores salientam que, a CPUE calculada desta forma não deve ser considerada como índice da densidade relativa do recurso, e, preferivelmente, deveria ser considerada como um índice da disponibilidade do bonito-listrado ao método de pesca de vara e isca-viva (Andrade & Garcia, 1999; Andrade, 2003). Desta forma, os dados utilizados neste trabalho apresentam maior detalhamento em relação aos trabalhos disponíveis até o presente. Tanto pelas informações de captura, reportadas para cada lance de pesca, como pelo uso do PREPS, que possibilitou o cálculo do esforço considerando também a procura sem êxito, ou seja, sem captura.

Neste trabalho, os dados de captura por dia efetivo de pesca foram representados através de gráficos do tipo boxplot, indicando a variabilidade dos valores observados nas respectivas escalas temporais (oito dias, mensal e sazonal). A CPUE, por outro lado, permite inferir sobre as variações nos índices de abundância do bonito-listrado ao longo do tempo, através de valores pontuais. A CPUE, isoladamente, não representa a variabilidade dentro das

escalas analisadas e não permite comparações (estatísticas) diretas entre períodos, uma vez que não possui média e variância. Considerando o exposto acima, as duas maneiras de representar a abundância relativa do recurso foram utilizadas em conjunto: os boxplots representam as capturas efetivas e a CPUE (representada por linhas contínuas azuis) a captura obtida por unidade de esforço empregado (veja Figs. 19, 20, 21 e 22).

As tendências verificadas nas diferentes representações foram semelhantes, apesar da diferença na escala de valores, que é atribuída ao fato de a CPUE deste estudo ter incorporado o tempo dedicado à procura sem pesca no esforço, o que a captura média por dia efetivo não considera.

Analisando-se as capturas por dia efetivo em escala mensal (Fig. 21) observa-se que entre outubro e janeiro ocorreram os maiores valores. Da mesma forma, em escala sazonal (Fig. 22), o período de inverno foi caracterizado por valores elevados, compatíveis com os da primavera. No entanto, a CPUE representa mais adequadamente a abundância ou a disponibilidade do bonito-listrado ao longo do tempo, ao contabilizar o esforço de procura sem pesca. Logo, supõe-se que as capturas por dia efetivo sejam representativas de poucos lances e dias de pesca com elevados rendimentos, que ocorreram ao longo de muitos dias de procura.

A tendência geral observada na CPUE corrobora ocorrência de maiores valores nas proximidades do verão com valores menores próximo ao inverno (Fig. 22, Andrade & Garcia, 1999; Lima *et al.*, 2000; Andrade, 2003; Andrade *et al.*, 2015).

A CPUE calculada para os meses de verão apresentou valores inferiores aos valores verificados nos trabalhos de Andrade & Garcia (1999) e Lima *et al.* (2000), e esta diferença foi atribuída aos baixos índices observados em fevereiro e março. Nestes meses, a SST esteve situada acima da faixa climatológica na região sul do Brasil, sobretudo no verão de 2014. Estas anomalias refletiram-se nos dados de SSC, os quais indicam um “empobrecimento” generalizado em nível de produção primária na região no referido período. Este aquecimento foi maior em janeiro e fevereiro de 2014, quando foi observada a ocupação de água tropical na plataforma sul-brasileira (Figs. 26a-c) e explica a tendência decrescente da CPUE com aumento da SST (Fig. 23a), assim como a diminuição da CPUE com a diminuição da SSC (Fig. 23c), verificada nas correlações da avaliação das áreas de pesca em períodos de oito dias.

A temperatura da superfície pode explicar o padrão sazonal da CPUE da pesca no Brasil, mas não no verão, quando possivelmente a variação sazonal de outros parâmetros oceanográficos pode influenciar os índices de captura (Andrade, 2003). Os dados analisados neste trabalho indicam que no verão a CPUE poderia estar associada com a maior produtividade observada na área de alimentação da região sul, a qual promove a formação das frentes na cor do oceano, com as quais se verificou que a pesca da espécie está associada. Outro aspecto verificado no presente estudo, é a sazonalidade associada com a profundidade da termoclina nos locais de captura, que encontra-se mais próxima à superfície neste período onde os barcos atuam (Andrade, 2003). Já no período de outono, o ambiente ocupado pelo bonito-

listrado apresenta-se mais empobrecido em termos de produção primária, o que causaria agregações menos densas da espécie que, estaria associada com processos de enriquecimento no setor central, forçados pela circulação da CB (Campos, 1995).

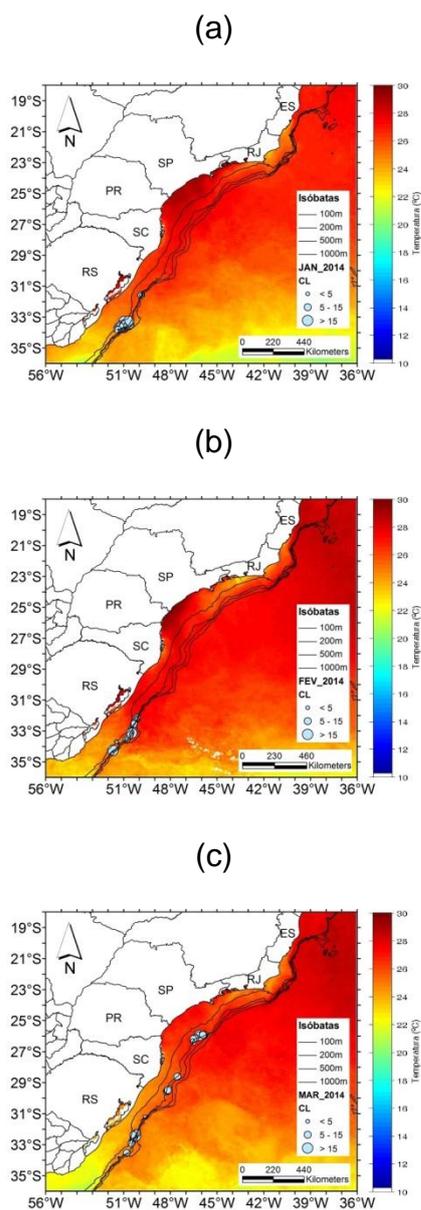


Figura 26. Médias mensais de SST e os lances de pesca realizados em janeiro (a), fevereiro (b) e março (c) de 2014.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Podem-se integrar as informações produzidas no presente estudo e sugerir que os fatores abordados a seguir podem contribuir para as agregações do bonito-listrado na região sul:

(1) No período em que a superfície é homogênea no campo de temperatura, o bonito-listrado pode estar mais fortemente associado com a frente de cor do oceano, verificada através de imagens da SSC;

(2) A termoclina é a variável que pode explicar melhor as maiores capturas e CPUE's nos períodos de primavera e verão, e;

(3) A maior produtividade primária da região sul refletida nos dados de SSC é um aspecto importante para o estabelecimento da área que apresenta agregações alimentares da espécie nesta região.

O habitat do bonito-listrado foi, de certa forma, delimitado neste estudo, como composto por variáveis que podem ser medidas via satélite e por modelagem numérica, que permitem inferir sobre as condições de sub-superfície.

De acordo com os dados de pesca, o bonito-listrado na margem sudoeste do Atlântico Sul, distribui-se entre o Rio de Janeiro e o Chuí. É improvável que existam grandes concentrações mais ao sul, em águas uruguaias, uma vez que a Zona de Convergência Subtropical, com temperaturas abaixo de 19° C, não se configura como adequada para sua ocorrência. Assumindo esta informação, não haveria habitat a ser explorado para ao sul de 34° S.

No sentido oposto, ou seja, para norte, os lances de pesca ocorreram até o norte do Rio de Janeiro. Seria difícil supor que existam concentrações importantes de bonito-listrado além deste setor, sem que a frota houvesse localizado em 38 anos de pesca. A região norte é oligotrófica ao norte da área de influência da ressurgência de Cabo Frio e, conseqüentemente, incapaz de sustentar biomassas elevadas de cardumes de peixes pelágicos do porte do bonito-listrado. Isto talvez explique a dificuldade da frota em localizar o bonito-listrado naquela área, pois este necessariamente deve estar menos concentrado, devido à baixa produtividade da região.

Considerando o exposto, para os sentidos sul e norte da costa sudeste e sul do Brasil, há indicativo de que grande parte do ciclo de vida do bonito-listrado ocorra entre a Zona de Convergência Subtropical e a presença maciça de águas quentes oligotróficas da CB. Por outro lado, existe muito pouca informação sobre o período no qual o bonito-listrado deixa de ser pescado no setor norte (julho) e reaparece, já em movimento para o setor sul (outubro). Sugere-se que estudos sejam incentivados para completar esta importante

lacuna de forma a estabelecer um conhecimento mais completo no ciclo de vida do bonito-listrado na costa sudeste e sul do Brasil.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHA, EM, HW MIANZAN, RA GUERRERO, M FAVERO & J BAVA. 2004. Marine fronts at the continental shelves of austral South America Physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, 44: 83-105.

AKAIKE, H. 1974. A new look at the Statistical Model Identification. *IEEE Trans. Autom. Co.*, 19(6):31-60.

ANDRADE, HA. 1996. Distribuição, Abundância Relativa e Migração do *Katsuwonus pelamis* (SCOMBRIDAE) em relação à temperatura superficial do mar e à dinâmica oceanográfica na costa sudeste-sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Brasil 148p.

ANDRADE, HA, CAE GARCIA. 1999. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the Southern Brazilian coast. *Fish. Oceanogr.*, 8:4, 245-254.

ANDRADE, HA. 2003. The relationship between the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) fishery and seasonal temperature variability in the southwestern Atlantic. *Fish., Oceanogr.*, 12(1): 10-18.

ANDRADE, HA, MD PEREIRA & FP MAYER. 2007. Alternative methods for calculating Catch-per-unit-effort for skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) caught in the southwestern Atlantic Ocean. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 11(2): 63-66.

ANDRADE, HA, AA GUIMARÃES-SILVA, & CHO BATISTA. 2015. Catch composition of the baitboat fishery in the southwestern Atlantic. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 71(1): 317-324.

ANKENBRANDT, L. 1985. Food habits of bait-caught skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the southwestern Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*, 83(3): 379-393.

CAMPOS, EDJ, JE GONÇALVES & Y IKEDA. 1995. Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. *J. Geophys. Res.*, 100(6): 18537-18550.

CAMPOS, EJD, D VELHOTE & ICA SILVEIRA. 2000. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. *Geophysical Research Letters*, 27(6): 751-754.

CASTELLO, JP & RP HABIAGA. 1989. The skipjack tuna fishery in Southern Brazil. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 30(1): 6 – 19.

CASTRO, BM & LB MIRANDA. 1998. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S, in:

ROBINSON, AR & KH BRINK. The sea. John Wiley, New York. Chap. 8: 209-251.

CIOTTI, AM, C ODEBRECHT, G FILLMANN, & OO MÖLLER 1995. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 15: 1737–1756.

COLETTTO, JL. 2013. Eficiência da anchoita (*Engraulis anchoita*) como isca-viva na pesca de bonito-Listrado (*Katsuwonus pelamis*). Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande, RS. 37p.

COLETTTO, J, L MADUREIRA, S WEIGERT, D TAKITO & A LLOPART. 2014. Distribuição, disponibilidade e rendimento de juvenis de *Engraulis anchoita* na pesca de bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*): Uma alternativa à iscagem de atuneiros no sul do Brasil. Resumo nos Anais do Congresso Brasileiro de Oceanografia 2014 - Itajaí. 1960-1961.

EVANS, RH, DR MACLAIN & RA BAUER. 1980. Atlantic skipjack tuna: influences of the environment on their vulnerability to surface gear. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT.*, 9(1): 264-274.

FAO. 1998. Fishing Technology Service. Fishing operations. 1. Vessel monitoring systems. *FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries*. No. 1, Suppl. 1. Rome. 58p.

FAO. 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome. 223p.

FIEDLER, PC, HJ BERNARD. 1987. Tuna aggregation and feeding near fronts observed in satellite imagery. *Cont. Shelf Res.*, 7 (8): 871-881.

FILLMANN, G., 1990. Caracterização química das massas de água da plataforma continental do sul do Brasil. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Brasil, 134p.

GARCIA, CAE. 1998. Oceanografia Física. In: SEELIGER, U, C ODEBRECHT & JP CASTELLO (Eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Editora Ecoscientia. Rio Grande, Cap. 6.2: 104-106.

GILLET, R. 2015. Pole-and-line Tuna Fishing in the World: Status and Trends. IPNLF Technical Report No.6. International Pole & Line Foundation, London. 17p.

GRANDE, M. 2014. The reproductive biology, condition and feeding ecology os skipjack, *Katsuwonus pelamis*, in the Western Indian Ocean. PhD Thesis. Universidad del País Vasco. 234p.

GUISAN, A, CEJ THOMAS & T HASTIE. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecol. Model.*, 157: 89-100.

ICCAT. 2015. Report of the Standing Committee on Research and Statistics (SCRS). 2014-15 report states: International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Madrid, Spain.

KLEMAS, V. 2013. Fisheries applications of remote sensing: An overview. *Fish. Oceanogr.*, 148: 124-136.

LIMA, ID, CAE GARCIA, & OO MÖLLER. 1996. Ocean surface processes on the Southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. *Cont. Shelf Res.*, 16(10): 1307-1317.

LIMA, JHM, CF LIN & AAS MENEZES. 2000. A description of the baitboat fishery off the South and southeast Brazil. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51(1): 416 – 462.

LIMA, JHM, CF LIN, J DIAS NETO & AAS MENEZES. 2011. Sobre o uso da rede de cerco na pesca de atuns no Brasil. *Bol. Téc. Cient. Cepnor.*, 11(1): 81 – 115.

MADUREIRA, LSP & AP LLOPART. 2011. Uma nova perspectiva para o atum. *Revista Sindipi Março/Abril*: 46-49.

MADUREIRA, L, J COLETTI, M PINHO, S WEIGERT, & A LLOPART. 2016. Pole and line fishing and live baiting in Brazil. *INFOFISH International* 2016(3): 14-17.

MANN KH & JRN LAZIER. 2006. *Dynamics of Marine Ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans (3rd edition)*. Blackwell publishing, 496pp.

MATSUURA, Y & HA ANDRADE. 2000. Synopsis on biology of skipjack tuna population and related environmental conditions in brazilian waters. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 51(1): 395 – 400.

MINNET, PJ, OB BROWN, RH EVANS, EL KEY, EJ KEARNS, K KILPATRICK, A KUMAR, KA MAILLET & G SZCZODRAK. 2004. Sea-Surface

temperature measurements from the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on Aqua and Terra. *IEEE International*, 7: 4576-4579.

MÖLLER, OO, AR PIOLA, AC FREITAS & EJD CAMPOS. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Cont. Shelf Res.*, 28: 1607-1624.

MUGO, R, S SAITOH, A NIHIRA & T KUROYAMA. 2010. Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing perspective. *Fish. Oceanogr.*, 19(5): 382-396.

OCCHIALINI, DS. 2013. Diagnóstico da pesca de isca-viva empregada pela frota atuneira no sudeste e sul do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 171p.

OLIVEIRA, FSC. 2006. Estimativa de captura do Bonito-Listrado (*Katsuwonus pelamis*) na costa sudeste do Brasil usando um modelo estatístico e dados de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto).- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE-13595-TDI/1034. 117p.

PALMA, ED, RP MATANO & AR PIOLA. 2008. A numerical study os Southwestern Atlantic Shelf Circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing. *J. Geophys. Res.*, 113: 1-22.

PIOLA, AR, EJD CAMPOS, OO MÖLLER, M CHARO & C MARTINEZ. 2000. Subtropical Shelf Front off eastern South America. *J. Geophys. Res.*, 105:6565-6578.

PODESTÁ, GP, JA BROWDER & JJ HOEY. 1993. Exploring the Association between Swordfish catch rates and thermal fronts on U.S longline grounds in the western North Atlantic. *Cont. Shelf Res.*, 13(2/3): 253-277.

POLOVINA , JJ, E HOWELL, DR KOBAYASHI & MP SEKI. 2001. The transition zon chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Prog. in Oceanography*, 49: 469-483.

R Development Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RODRIGUES, R. 2015. Circulação atmosférica e oceânica. In: CASTELLO, JP & LC KRUG. Introdução às ciências do mar. Editora Textos, Pelotas. Cap. 7: 172-195

SANTOS, AMP. 2000. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review. *Fish. Res.*, 49:1-20.

SUND, PN, M BLACKBURN & F WILLIAMS. 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19:443-512.

VILELA, MJA. 1990. Idade, crescimento, alimentação e avaliação do estoque de Bonito Listado *Katsuwonus pelamis* (Scombridae: Thunnini)

explorado na Região Sudeste-Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, Brasil. 81p.

WILD, A & J HAMPTON. 1993. A review of biology and fisheries for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean. FAO Fisheries Tech. Paper, 336 Rome: 1-51.

WOOD, SN. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton. 384p.

ZAGAGLIA, CR. 2004. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à pesca de atuns no Atlântico oeste equatorial. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE-9862-TDI/869. 180p.

ZAINUDDIN, M, K SAITOH & SI SAITOH. 2008. Albacore (*Thunnus alalunga*) fishing ground in relation to oceanographic conditions in the western North Pacific Ocean using remotely sensed satellite data. *Fish. Oceanogr.*, 17(2) 61-73.

ZUUR, AF, EM IENO & CS ELPHIC. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*. 1: 3-14.

## 8. APÊNDICES

Apêndice 1. Período, dia inicial, dia final, mês e número de áreas avaliadas nas safras de 2014 e 2015.

PERÍODO	DIA INICIAL	DIA FINAL	MÊS	SAFRA 2014	SAFRA 2015
				Nº ÁREAS	Nº ÁREAS
1	24	31	OUT	2	1
2	1	8	NOV	1	1
3	9	16		0	3
4	17	24		0	1
5	25	2		0	1
6	3	10	DEZ	0	2
7	11	18		1	1
8	19	26		1	1
9	27	31		1	1
10	1	8	JAN	1	1
11	9	16		1	1
12	17	24		1	1
13	25	1		2	1
14	2	9	FEV	1	1
15	10	17		1	1
16	18	25		1	1
17	26	5	MAR	2	1
18	6	13		2	0
19	14	21		3	3
20	22	29		1	2
21	30	6	ABR	1	2
22	7	14		1	3
23	15	22		1	3
24	23	30		1	2
25	1	8	MAI	1	1
26	9	16		1	1
27	17	24		1	2
28	25	1		0	1
29	2	9	JUN	0	1
30	10	17		0	2
31	18	25		0	2
32	26	3		0	1
33	4	11	JUL	0	1
TOTAL				29	47
GERAL				76	

Apêndice 2. Áreas consideradas na análise dos períodos de oito dias da safra 2014. Período, somatório de captura, somatório de esforço (dias de pesca + dias de procura) e CPUE. Estação do ano e setor da área de pesca. Dados extraídos das composições oito dias do sensor Modis, Satélite Aqua: SST e SSC: gradientes, médias, percentual de pixels nulos (NaN) e categoria classificada. Os períodos nos quais a frota operou em mais de uma área foram denominadas Norte (N), Centro (C) e Sul (S) e indicadas entre parênteses. As categorias identificadas na classificação das imagens foram: Superfície Homogênea (HOMOG.) e Frente Térmica (FRENTE) nas imagens de SST e Superfície Homogênea (HOMOG.), Frente de Cor (FRENTE) e Enriquecimento (ENRIQ.) nas imagens SCC.

SAFRA 2014													
PERÍODO	$\Sigma$ captura (t)	$\Sigma$ esforço	CPUE ( $\Sigma c/\Sigma f$ )	ESTAÇÃO	SETOR	SST (° C)				SSC (mg/m <sup>3</sup> )			
						GRAD	MÉDIA	% NaN	IMAGEM	GRAD	MÉDIA	% NaN	IMAGEM
8	202	20	10.1	PRI	SUL	2.2	23.8	0.0	HOMOG.	5.9	0.5	10.0	FRENTE
10	42	9	4.7	VER	SUL	2.5	24.6	0.0	HOMOG.	1.5	0.3	0.6	FRENTE
11	126	14	9.0	VER	SUL	4.7	24.9	3.4	HOMOG.	0.8	0.3	18.1	HOMOG.
13	33	27	1.2	VER	SUL	9.2	26.9	3.9	HOMOG.	3.8	0.3	49.5	HOMOG.
14	25	14	1.8	VER	SUL	5.7	26.1	34.9	FRENTE	1.6	0.3	49.9	FRENTE
16	108	21	5.1	VER	SUL	4.8	25.6	2.1	FRENTE	3.0	0.4	42.3	FRENTE
18	70	23	3.0	VER	SUL	2.2	25.0	1.0	FRENTE	2.1	0.2	4.7	FRENTE
19 (N)	38	7	5.4	VER	CENTRO	3.4	27.2	0.0	HOMOG.	1.0	0.2	0.0	ENRIQ.
19 (C)	31	7	4.4	VER	SUL	7.0	26.0	5.4	HOMOG.	2.3	0.2	25.7	HOMOG.
20	72	12	6.0	VER	CENTRO	3.0	26.0	0.1	HOMOG.	0.3	0.2	3.7	HOMOG.
22	11	18	0.6	OUT	CENTRO	7.7	26.4	9.4	HOMOG.	0.5	0.2	12.1	ENRIQ.
23	85	27	3.1	OUT	CENTRO	4.9	25.9	8.7	FRENTE	0.7	0.3	30.2	ENRIQ.
25	39	5	7.8	OUT	CENTRO	4.0	25.0	0.0	FRENTE	3.2	0.3	1.0	ENRIQ.
26	25	25	1.0	OUT	CENTRO	6.6	23.8	1.9	HOMOG.	6.5	0.5	2.5	HOMOG.

Apêndice 3. Áreas consideradas na análise dos períodos de oito dias da safra 2015. Período, somatório de captura, somatório de esforço (dias de pesca + dias de procura) e CPUE. Estação do ano e setor da área de pesca. Dados extraídos das composições oito dias do sensor Modis, Satélite Aqua: SST e SSC: gradientes, médias, percentual de pixels nulos (NaN) e categoria classificada. Os períodos nos quais a frota operou em mais de uma área foram denominadas Norte (N), Centro (C) e Sul (S) e indicadas entre parênteses. As categorias identificadas na classificação das imagens foram: Superfície Homogênea (HOMOG.) e Frente Térmica (FRENTE) nas imagens de SST e Superfície Homogênea (HOMOG.), Frente de Cor (FRENTE) e Enriquecimento (ENRIQ.) nas imagens SSC.

SAFRA 2015													
PERÍODO	$\Sigma$ captura (t)	$\Sigma$ esforço	CPUE ( $\Sigma c/\Sigma f$ )	ESTAÇÃO	SETOR	SST (° C)				SSC (mg/m <sup>3</sup> )			
						GRAD	MÉDIA	% NaN	IMAGEM	GRAD	MÉDIA	% NaN	IMAGEM
1	140	22	6.4	PRI	SUL	5.2	21.6	0.0	FRENTE	12.8	0.3	3.0	FRENTE
3	192	23	8.3	PRI	SUL	3.2	22.2	0.5	HOMOG.	6.5	0.3	0.7	FRENTE
4	237	17	13.9	PRI	SUL	3.0	22.3	0.3	FRENTE	5.7	0.5	13.2	FRENTE
5	132	22	6.0	PRI	SUL	5.2	22.9	0.7	FRENTE	5.4	0.5	34.8	FRENTE
6	187	30	6.2	PRI	SUL	5.5	23.4	2.1	FRENTE	2.7	0.6	0.1	FRENTE
7	111	29	3.8	PRI	SUL	5.5	23.2	3.0	FRENTE	3.2	0.8	28.0	FRENTE
8	151	20	7.6	PRI	SUL	3.1	23.8	0.0	FRENTE	2.3	0.7	0.0	FRENTE
10	228	14	16.3	VER	SUL	3.4	23.9	5.8	FRENTE	5.6	1.4	34.7	FRENTE
11	286	32	8.9	VER	SUL	3.3	25.2	14.8	HOMOG.	5.0	0.7	34.4	FRENTE
12	47	15	3.1	VER	SUL	4.6	25.4	2.4	HOMOG.	7.7	1.5	34.4	FRENTE
13	164	21	7.8	VER	SUL	3.4	26.1	0.1	HOMOG.	16.2	1.7	3.6	FRENTE
14	74	10	7.4	VER	SUL	3.1	25.0	2.4	HOMOG.	6.9	0.6	38.3	FRENTE
15	53	27	2.0	VER	SUL	3.0	25.4	2.3	HOMOG.	1.6	0.5	13.0	FRENTE
16	78	25	3.1	VER	SUL	5.0	25.4	0.3	HOMOG.	1.4	0.4	11.5	FRENTE
17	49	22	2.2	VER	SUL	4.2	25.4	5.1	HOMOG.	1.6	0.3	22.5	FRENTE
19	73	18	4.1	VER	SUL	3.1	25.5	0.0	HOMOG.	2.4	0.3	3.5	FRENTE
20 (N)	35	5	7.0	VER	CENTRO	4.7	26.8	12.6	HOMOG.	0.5	0.2	23.0	ENRIQ.
20 (S)	243	21	11.6	VER	SUL	4.1	24.1	10.5	FRENTE	3.2	0.5	15.7	FRENTE

Continua													
21	67	7	9.6	OUT	SUL	2.9	23.8	1.1	FRENTE	12.0	0.7	7.5	FRENTE
22 (N)	33	16	2.1	OUT	CENTRO	4.2	25.3	0.3	FRENTE	1.6	0.2	3.0	ENRIQ.
22 (C)	12	5	2.4	OUT	SUL	2.7	24.5	9.4	FRENTE	2.8	0.4	11.8	FRENTE
22 (S)	51	9	5.7	OUT	SUL	3.6	23.2	0.1	FRENTE	2.4	0.6	0.2	FRENTE
23 (N)	79	15	5.3	OUT	CENTRO	4.2	25.7	21.6	HOMOG.	2.7	0.4	26.2	FRENTE
23 (C)	71	11	6.5	OUT	CENTRO	3.5	25.4	8.6	FRENTE	0.5	0.2	29.3	ENRIQ.
24	45	13	3.5	OUT	CENTRO	5.0	24.5	6.6	HOMOG.	0.3	0.2	20.1	HOMOG.
25	32	7	4.6	OUT	CENTRO	4.2	24.6	18.8	HOMOG.	0.9	0.2	34.5	HOMOG.
27 (N)	22	12	1.8	OUT	NORTE	3.9	25.1	17.7	FRENTE	5.0	0.6	36.2	FRENTE
27 (S)	40	9	4.4	OUT	CENTRO	3.6	23.2	1.9	FRENTE	0.7	0.3	11.6	ENRIQ.
29	27	9	3.0	OUT	CENTRO	3.3	24.4	0.0	FRENTE	1.1	0.2	0.0	ENRIQ.
30	26	16	1.6	OUT	NORTE	3.5	25.0	8.2	FRENTE	6.6	0.5	11.6	FRENTE
31	12	10	1.2	OUT	CENTRO	3.8	23.5	0.6	FRENTE	2.6	0.3	4.2	FRENTE
32	81	22	3.7	OUT	CENTRO	4.0	22.3	2.0	FRENTE	1.0	0.3	9.1	ENRIQ.

#### Apêndice 4. Descrição do Sistema Catsat

Os dados são carregados a partir do FTP. Primeiramente deve-se selecionar o período inicial e final de interesse. Após, é disponibilizada uma lista com as variáveis disponíveis, ficando a cargo do usuário sua seleção.

Os dados são disponibilizados em três camadas: (1) imagem, (2) isolinhas e (3) vetores. A camada imagem consiste nos mapas propriamente ditos, onde está apresentada a distribuição da variável selecionada dentro da área correspondente à licença adquirida. Esta camada é visualizada mediante uma escala de cores que indica a que intervalo de valores cada cor representa na imagem.

A segunda camada são as isolinhas, que interligam locais de mesmo valor para a variável selecionada. A terceira é a camada de vetores, a qual está relacionada com variáveis vetoriais, caracterizadas por módulo, direção e sentido, tais como corrente e vento. As três camadas de informação podem ser visualizadas simultaneamente no programa, bem como combinadas entre si.

As principais ferramentas do Catsat utilizadas neste estudo, bem como a descrição das suas utilidades são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Ferramentas do Catsat utilizadas no projeto e as respectivas utilidades.

Ferramenta	Utilidade
Auto-ajuste	Considera os valores máximos e mínimos da variável visualizada na imagem para ajuste da escala de cores
Centrar em um lugar	Insere uma posição desejada como centro do mapa de visualização
Filtro	Permite inserir intervalos máximos e mínimos para as variáveis ambientais, fornecendo como resultado a área que atende aos intervalos
Gradiente	Fornece a variação de uma variável no tempo
Informação cursor	Exibe os valores de uma lista de variáveis ambientais na posição do cursor
Perfil	Visualização da distribuição vertical de temperatura, salinidade e profundidade da termoclina
Vista 2	Divide a tela em duas para visualização de diferentes variáveis na mesma data, ou comparação de determinada variável em datas distintas

#### Apêndice 5. Rotina de Atualizações ambientais no software Catsat

Durante a realização deste projeto desenvolveu-se uma rotina de interação com a empresa de pesca Indústria Alimentícia Leal Santos LTDA., sediada na cidade de Rio Grande (RS). Esta empresa é proprietária e responsável pela armação dos atuneiros que forneceram os dados de pesca para este trabalho, através de um convênio de pesquisa com o IO/FURG.

Nesta interação, foram elaborados e enviados relatórios e interpretações de dados ambientais provenientes do software Catsat. Os itens relacionados a seguir eram inseridos em apresentações que foram disponibilizadas à empresa duas vezes por semana.

A primeira seção da atualização ambiental era composta por mapas de vento provenientes do site Passage Weather (<http://passageweather.com/>). Os mapas de previsão para as 06, 12 e 18 horas eram copiados do site e colados como figuras na apresentação, para os três dias que sucediam a atualização. A velocidade de 15 nós foi considerada como o limite máximo para realização de operações de iscagem (próximo de Rio Grande), de procura e pesca nas avaliações.

As informações de previsão do vento do site <http://www.windguru.cz/pt/>, eram utilizadas para a localidade de Rio Grande (RS), com foco na atividade de iscagem que ocorre nesta região. A direção e velocidade do vento em tempo real no site da praticagem de Rio Grande (<http://www.rgpilots.com.br>), também eram consideradas.

Na seção seguinte, consultava-se a imagem diária do satélite GOES disponibilizada pelo CPTEC (<http://tempo.cptec.inpe.br/>), a fim de verificar a cobertura de nuvens na região de atuação da frota. A análise sinótica, e o seu respectivo relatório descritivo, eram consultados a fim de verificar as condições atmosféricas e a possibilidade para mudanças no tempo.

Logo a seguir, era elaborado um *slide* com a distribuição dos barcos obtida do PREPS, destacando a atividade na qual estavam engajados em

função da velocidade: cais, iscagem, navegação ou pesqueiro. Nesta etapa extraía-se a posição dos barcos que estavam no pesqueiro para análise no Catsat.

Na primeira seção dos dados ambientais, utilizou-se a função do software denominada *Informação no cursor* para extrair o valor de uma lista de variáveis ambientais na posição dos barcos (Tab. 5).

**Tabela 5. Lista de variáveis extraídas através do Software Catsat na posição das embarcações nas atualizações ambientais, e as respectivas unidades.**

Variável	Unidade
SST	° C
Plâncton	mg/m <sup>3</sup>
Termoclina (profundidade)	m
Termoclina (gradiente)	° C/10m
Salinidade	‰
Corrente global	nós
Altimetria	cm
Sub temperatura (50 m)	° C
Sub temperatura (100 m)	° C
Vento	nós
Temperatura climatologia	° C
Corrente geostrófica	nós

Após a avaliação dos valores das variáveis eram realizados os comentários pertinentes e copiados os mapas de cada variável (captura de tela), na sequência que segue:

1. SST: visualizada com função de auto-ajuste, para realçar os gradientes térmicos nas imagens, onde sobrepostas as isolinhas de SST. Após inserir e interpretar o mapa, utilizava-se a ferramenta gradiente para avaliar a evolução da SST nos últimos três e sete dias.

2. “Plâncton”: que é a SSC, assim denominada pela finalidade primária do software Catsat, que é a aplicação na pesca. O plâncton foi explorado com os mapas e os gradientes temporais de 3 e 7 dias.

3. Altimetria: representa anomalias na altura da superfície do mar em relação ao nível médio. As interpretações consideravam que a variável é influenciada principalmente pela densidade da água (temperatura e salinidade) e pelo vento atuando na superfície livre do oceano. Era visualizada juntamente com os vetores da corrente geostrófica, para identificar giros ciclônicos e anti-ciclônicos, a frente da CB e depressões na superfície do oceano, que podem estar associadas à dinâmica de sub-superfície. Também se utilizava a função gradiente para verificação da dinâmica ambiental, permitindo detectar, por exemplo, locais onde a superfície do oceano estava sofrendo alterações dentro do período avaliado.

4. Profundidade da termoclina: produto oriundo de modelagem, utilizado na identificação das regiões onde os cardumes podem estar mais vulneráveis a métodos de pesca de superfície.

5. Salinidade: também proveniente de modelagem numérica, permitiu acompanhamento da dinâmica ambiental, principalmente no que se refere à dinâmica da Pluma do Rio da Prata, importante na área de pesca e no ecossistema do sul do Brasil.

Após a sequência de mapas das variáveis supracitadas, utilizava-se a ferramenta “filtro” do Catsat (Tab. 4). Os limites máximo e mínimos de cada variável foram definidos em função do banco de dados de captura da frota monitorada neste estudo, o qual foi elaborado pela extração dos valores das variáveis com uso da ferramenta *Informação no cursor* (Tab. 4). As variáveis e os respectivos limites e unidades são apresentados na tabela 6.

**Tabela 6. Variáveis e respectivos limites utilizados no filtro Catsat.**

Variável	Limite inferior	Limite superior	Unidade
Altimetria	-0,01	0,5	m
SST	22	26	° C
Salinidade	35	37	-
Plâncton (SCC)	0,07	0,3	mg/m <sup>3</sup>
Termoclina (prof)	20	50	m
Vento	0	15	nós

Desta forma, a cada atualização avaliava-se a “saída” do filtro, que indicava se os barcos estavam dentro da área que o banco de dados indicava ser adequada para captura. A última seção da atualização ambiental contemplava um resumo com todas as observações importantes detectadas na preparação da atualização ambiental.