

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Camila Sayuri Santos Obata

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS MASSAS D'ÁGUA,
MATERIAL EM SUSPENSÃO E CLOROFILA-A NA RESERVA BIOLÓGICA
MARINHA DO ARVOREDO E ENTORNO – SC, BRASIL**

Florianópolis

2016

Camila Sayuri Santos Obata

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS MASSAS D'ÁGUA,
MATERIAL EM SUSPENSÃO E CLOROFILA-A NA RESERVA BIOLÓGICA
MARINHA DO ARVOREDO E ENTORNO – SC, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel, pelo Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andrea Santarosa Freire

Coorientadora: Dr.^a Melissa Carvalho

Florianópolis

2016

Camila Sayuri Santos Obata

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS MASSAS D'ÁGUA
MATERIAL EM SUSPENSÃO E CLOROFILA-A NA RESERVA BIOLÓGICA
MARINHA DO ARVOREDO E ENTORNO – SC, BRASIL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia pela Universidade Federal de Santa Catarina e aprovado em sua forma final.

Florianópolis, 25 de novembro de 2016.

Prof.^a, Dr.^a Carla Van der Hageen Custodio Bonetti
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a, Dr.^a Andrea Santarosa Freire
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a, Dr.^a Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Jarbas Bonetti Filho
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais, Renata e Osmar,
por todo amor, pela confiança e dedicação ao longo desta caminhada

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Melissa, minha orientadora na prática, por todo aprendizado que tive ao longo deste estágio e que se fez presente e prestativa em todos os momentos apesar da distância física.

Agradeço à minha orientadora oficial, professora Andrea, por disponibilizar todo o suporte do laboratório, os comentários valiosos neste trabalho, e por tudo que aprendi nas matérias que cursei inclusive o lais de guia.

Gostaria de agradecer à todos os professores da Universidade Federal de Santa Catarina e da Humboldt State University, cada um com sua particularidade me mostraram os diferentes caminhos que um oceanógrafo pode seguir, e assim me dar confiança para continuar.

Agradeço ao projeto Monitoramento Ambiental da Reserva Marinha do Arvoredo pela bolsa de Iniciação Científica concedida, e ao Laboratório de Crustáceos e Plâncton e toda a equipe, por todo suporte e de momentos inesquecíveis à bordo das embarcações. Sem toda essa equipe competente e comprometida, este trabalho não seria viável.

Agradeço a CAPES/Petrobrás pela bolsa concedida durante o período de graduação sanduíche pelo Programa Ciências sem Fronteiras.

Agradeço aos professores que compuseram a minha banca, professores Jarbas Bonetti e Alessandra Fonseca e ao Luís Macedo, tenho certeza que suas sugestões enriqueceram e deram um ótimo fechamento para o andamento desta monografia e para a minha graduação como um todo.

Agradeço aos meus pais, Renata e Osmar, meus psicólogos, médicos, professores, personal-trainer, contadores, e assim a lista de profissões vai longe. Obrigada por tudo que representam na minha vida.

Agradeço ao meu irmão e a minha cunhada, Beto e Ana Paula, que me deram de presente ao longo desses anos uma das mais gostosas formas de amar. Lucca e Miguel me ensinam todos os dias, que a distância dói, mas que cada reencontro apaga tudo e só felicidade resta.

Agradeço aos meus avós, tios e tias, e aos meus primos pela família que formamos, a base para toda a minha existência.

Agradeço também ao Micael, que marca a minha vida a cada segundo que passa, que me acalma e faz sorrir nos momentos de “chiliques” e de dificuldades. Além de tudo isso, contribui muito para a realização deste trabalho.

Agradeço aos amigos da Universidade Federal de Santa Catarina, Dani, Rafa, Theia, Marina, João, Ju, Caio, Mari, Lu Luz, Lu Fagundes, Carol, Aline, Matheus, Jher, Baiana, Natana por todos os momentos que passamos juntos durante esses 6 anos. Aprendi e aprendo a cada dia com vocês e independente dos caminhos que a vida vai nos levar, que a lembrança deliciosa destes tempos continue sempre viva em nós.

Agradeço à amiga Ana Caroline, pela paciência e por nunca desistir de mim, essa amiga perdida dos meios sociais.

Agradeço aos amigos do Best Car, pelos momentos intensos e maravilhosos que vivemos na pequena e deliciosa Arcata. Vocês fizeram do intercâmbio algo incrível e que a saudade de casa se tornasse suave.

Agradeço ao povo brasileiro, que por meio de seus impostos fizeram essa graduação possível.

Por fim, agradeço à Deus pela força e coragem a mim confiados para enfrentar e aprender com as dificuldades desta jornada.

RESUMO

A dinâmica do material em suspensão (MS) e da clorofila-a é de extrema importância sobre a qualidade do ambiente e a produção primária responsável pela manutenção de toda a cadeia trófica local. A Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, localizada ao norte da Ilha de Santa Catarina foi criada com objetivo de conservar a biodiversidade local sujeita a alterações de origem antrópica e a variabilidade dos fenômenos climáticos e oceanográficos. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo explicar a dinâmica espacial e temporal do material em suspensão (MS) e clorofila-a, bem como as suas interações com os parâmetros físico-químicos na REBIO e seu entorno, indicando as principais forçantes responsáveis pela sua concentração e distribuição e suas implicações para o ambiente. Foram realizadas um total de 6 campanhas nos verões e invernos de 2014 a 2016, com coleta de água e realização de perfis com CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) em 22 estações, dispostas não só dentro da REBIO, mas também em seu entorno. As variáveis estudadas foram clorofila-a, MS total (MST) e inorgânico (MSI), temperatura, salinidade e a profundidade da Zona Eufótica (ZEU). O tratamento de dados foi realizado em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), com interpolação das variáveis, álgebra de mapas e uso de ferramentas de geoprocessamento, com finalidade de classificar as massas d'água atuantes na região, bem como o estado trófico e a concentração do MS e assim determinar suas inter-relações. Os resultados indicam a mudança da estrutura termohalina na região durante as diferentes épocas do ano, sendo verão representado por coluna d'água estratificada, além da aproximação da ACAS sobre a região costeira; e o inverno, apresentando coluna d'água homogênea. Na região, observou-se também uma forte influência de águas de origem costeira, como a Pluma do Rio Tijucas (PRT) durante os verões e a Pluma do Rio do Prata (APP) e do Canal Norte de Florianópolis (CN) durante os invernos. A dinâmica destas massas mostrou-se muito importante na distribuição da clorofila-a e do material em suspensão. Assim, a ACAS em 2015 e 2016, foi classificada como eutrófica e supereutrófica, respectivamente, confirmando que a mesma atingiu a ZEU, indicando um evento de ressurgência costeira que levou ao aumento da biomassa fitoplanctônica. Durante os invernos, a região apresentou classificação alta a muito alta, tanto do MSI quanto do MST, indicando a influência da APP, CN e PRT. Este material em alguns momentos foi relacionado a alto grau de trofia, principalmente nos primeiros metros da coluna d'água. Por outro lado, a alta concentração no fundo, provavelmente resultou em uma ZEU menor e decréscimo da concentração de clorofila-a. Dado o exposto, conclui-se a importância da ACAS e das plumas costeiras na distribuição da clorofila-a, do MST e MSI na região. Uma vez que a REBIO está inserida em meio a forte variabilidade das condições oceanográficas, a compreensão dos mesmos se torna muito importante para a tomada de decisões relacionadas a gestão da Unidade de Conservação. Por fim, este estudo constatou a importância da utilização de SIG para a análise, sintetização dos resultados e apresentação clara e objetiva.

PALAVRAS-CHAVE: Massas d'água, clorofila-a, material em suspensão, REBIO Marinha do Arvoredo, ACAS, Pluma do Rio Tijucas, Pluma do Rio da Prata, SIG, Estado Trófico.

ABSTRACT

The knowledge about the dynamics of suspended matter (SM) and the chlorophyll-a helps the understanding of environmental quality and the primary production responsible for the maintenance of local food chain. The Marine Protected Area of Arvoredo Island (REBIO of Arvoredo Island) is located at the north of Santa Catarina Island. The aim of its creation was the conservation of biodiversity that has been susceptible to anthropogenic changes and to the variability of weather and oceanographic phenomena. This research aims to explain the spatial and temporal dynamics of these variables, as well as their interactions with the physical and chemical data in the REBIO and its surrounding, showing the responsible for their concentrations, distributions and implications for the environment. To accomplish this goal, the research performed 6 cruises during the summer and winter of 2014 to 2016, sampling water and collecting profiles with CTD (Conductivity, Temperature, Depth) at 22 stations, located inside the REBIO and its surroundings. The data analyzed were chlorophyll-a, total SM (MST) and inorganic SM (MSI), temperature, salinity and Euphotic Zone (ZEU). The data processing used Geographic Information System (GIS), with interpolation of variables, map algebra, and geoprocessing tools, to classify the water masses, the trophic state and the concentrations of SM, and then determine their relationship. The results show a change in the Thermohaline structure during the different seasons of the year, where summer has water column stratified and SACW reaching the coastal area; in contrary to winter where the water column is homogeneous. In addition, this work observed a strong influence of continental waters, such as the Rio Tijucas Plume (PRT) during summer, and Plata Plume (PPW) and North Channel of Florianopolis (CN) during winter. The water masses dynamics was important to the distribution of chlorophyll-a and SM. Therefore, SACW in 2015 and 2016 was classified as eutrophic and hypertrophic, respectively, affirming that it reached the ZEU. This situation should indicate coastal upwelling that led to increase phytoplankton biomass. During winters, the area presented high and very high MSI and MST concentration, indicating the influence of PPW, CN and PRT. This material sometimes was related to high trophic state, mainly at the first water column meters. On the other hand, high concentration at the bottom, probably was related a smaller ZEU and concentration of chlorophyll-a. To conclude with, SACW and coastal plumes were important to the distribution of chlorophyll-a, MST and MSI in the study area. Once the REBIO is located at the middle of strong variability of oceanographic conditions, it is important to understand them to decision-making related to the Marine Protected Area maintenance. Lastly, this study checked the importance of GIS to analyze and synthesize oceanographic data clearly and objectively.

KEY WORDS: Water masses, chlorophyll-a, suspended matter, REBIO of Arvoredo Island, SACW, Rio Tijucas Plume, Plata Plume, GIS, Trophic State

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota” – Madre Teresa de Calcutá

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 5.1. Profundidade da Zona Eufótica em metros.....	26
Equação 5.2. Cálculo da concentração de clorofila-a em mg.m^{-3} , a indica as absorbâncias e seus respectivos comprimentos de ondas.	27
Equação 5.3. Cálculo do material em suspensão total em mg L^{-1}	28
Equação 5.4. Cálculo do material em suspensão inorgânico em mg L^{-1}	28
Equação 5.5. Cálculo do material em suspensão orgânico em mg L^{-1}	28
Equação 5.6. Sistema de equações para a classificação de massas d'água durante os verões	32
Equação 5.7. Sistema de equações para a classificação de massas d'água durante os invernos	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Mapa das estações do projeto MAARÉ, compreendendo a região da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (quadro hachurado) e entorno. Os pontos em vermelho representam as estações de amostragem completa (coleta de água e dados de CTD) e os pontos em azul representam as estações de amostragem apenas de CTD. As isóbatas de 10, 20 e 50 m sem cinza (produzida pelo projeto MAARÉ e gentilmente cedida para este trabalho).....	23
Figura 4.2 Temperatura da superfície do mar média no verão, outono, inverno e primavera de 2015. (Imagem do sensor Aqua/MODIS, produzida pelo projeto MAARÉ e gentilmente cedida para este trabalho).	25
Figura 5.1 Fluxograma apresentando as etapas desenvolvidas para a análise integrada dos dados adquiridos.	30
Figura 6.1 Profundidade da Zona Eufótica (ZEU) em metros para as campanhas de verão de 2014, 2015 e 2016 (à esquerda) e de inverno de 2014, 2015 e 2016 (à direita). Os valores sobre as estações indicam a profundidade da ZEU nas mesmas.	35
Figura 6.2 Diagrama TS das campanhas dos verões (à esquerda) e invernos (à direita) dos anos de 2014, 2015 e 2016 representados pelos pontos azul, verde e vermelho, respectivamente, os limites dos índices termohalinos das massas d'água indicados pelos quadros tracejados, e as isopcnais em cinza claro.	37
Figura 6.3 Distribuição espacial das massas d'água e do estado trófico na área de estudo durante as campanhas de verão e inverno de 2014.	41
Figura 6.4 Distribuição espacial das massas d'água e do estado trófico na área de estudo durante as campanhas de verão e inverno de 2015.	42
Figura 6.5 Distribuição espacial das massas d'água e do estado trófico na área de estudo durante as campanhas de verão e inverno de 2016.	43
Figura 6.6 Porcentagem do estado trófico por profundidade (superfície, intermediária e fundo), durante os verões e invernos de 2014, 2015 e 2016.	44
Figura 6.7 Porcentagem do Estado Tróficos por massas d'água durante os verões e invernos, de 2014, 2015 e 2016.	44
Figura 6.8 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MST na área de estudo no verão e inverno de 2014.	47
Figura 6.9 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MST na área de estudo no verão e inverno de 2015.	48

Figura 6.10 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MST na área de estudo no verão e inverno de 2016.....	49
Figura 6.11 Porcentagem das classes de concentração de MST por profundidade (superfície, intermediária e fundo), durante os invernos e verões de 2014, 2015 e 2016.	50
Figura 6.12 Porcentagem das classes de concentrações de MST por massas d'água durante os verões e invernos, de 2014, 2015 e 2016.....	50
Figura 6.13 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MSI na área de estudo no verão e inverno de 2014.....	53
Figura 6.14 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MSI na área de estudo no verão e inverno de 2015.....	54
Figura 6.15 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MSI na área de estudo no verão e inverno de 2016.....	55
Figura 6.16 Porcentagem das classes de concentração de MSI por profundidade (superfície, intermediária e fundo), durante os invernos e verões de 2014, 2015 e 2016.	56
Figura 6.17 Porcentagem das classes de concentrações de MSI por massas d'água durante os verões e invernos, de 2014, 2015 e 2016.....	56
Figura A - 1 Distribuição horizontal da temperatura (°C) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno. Isotherma de 18,5°C em cinza.....	67
Figura A - 2 Distribuição horizontal da temperatura (°C) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno. Isotherma de 18,5°C em cinza.....	68
Figura A - 3 Distribuição horizontal da temperatura (°C) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno. Isotherma de 18,5°C em cinza.....	69
Figura A - 4 Distribuição horizontal da salinidade na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno. Isohalina de 33.5 em cinza.....	70
Figura A - 5 Distribuição horizontal da salinidade na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno. Isohalina de 33.5 em cinza.....	71
Figura A - 6 Distribuição horizontal da salinidade na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno. Isohalina de 33.5 em cinza.....	72
Figura A - 7 Distribuição horizontal da clorofila-a (mg.m ⁻³) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.	73

Figura A - 8 Distribuição horizontal da clorofila-a (mg.m^{-3}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.	74
Figura A - 9 Distribuição horizontal da clorofila-a (mg.m^{-3}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.	75
Figura A - 10 Distribuição horizontal do material em suspensão total – MST (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.....	76
Figura A - 11 Distribuição horizontal do material em suspensão total – MST(mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.....	77
Figura A - 12 Distribuição horizontal do material em suspensão total - MST(mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno.....	78
Figura A - 13 Distribuição horizontal do material em suspensão inorgânico – MSI (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.....	79
Figura A - 14 Distribuição horizontal do material em suspensão inorgânico – MSI (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.....	80
Figura A - 15 Distribuição horizontal do material em suspensão inorgânico – MSI (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno.....	81
Figura A - 16 Distribuição horizontal do material em suspensão orgânico – MSO (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.....	82
Figura A - 17 Distribuição horizontal do material em suspensão orgânico – MSO (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.....	83
Figura A - 18 Distribuição horizontal do material em suspensão orgânico – MSO (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Intervalo termohalino (TH) das principais massas d'água presentes na plataforma continental sul e sudeste do Brasil. (Moller Jr. et al., 2008 adaptado), sendo T, temperatura; S, salinidade; APP, Pluma do Prata; AT, Água Tropical; ASA, Água Subantártica de Plataforma; ASTP, Água Subtropical de Plataforma; ACAS, Água Central do Atlântico Sul.....	24
Tabela 5.1 Notas definidas para a reclassificação dos valores de salinidade e temperatura, conforme os índices termohalinos propostos por Moller et al. (2008).....	31
Tabela 5.2 Notas e classes das concentrações de clorofila-a ([CI]), conforme o grau trófico do ambiente marinho.	33
Tabela 5.3 Notas e classes das concentrações de material em suspensão total [MST] e material em suspensão inorgânico [MSI], conforme a divisão de classes propostas.	33
Tabela 6.1 Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão das variáveis analisadas: clorofila-a em mg.m^{-3} ; material em suspensão total (MST), inorgânico (MSI), orgânico (MSO) em mg.L^{-1} , durante as campanhas de verão e inverno do projeto MAArE em 2014, 2015 e 2016.	39
Tabela A - 1 Porcentagem dos Estados Tróficos na área de estudo por profundidade.	85
Tabela A - 2 Porcentagem do Estado Trófico por massas d'água	85
Tabela A - 3 Porcentagem das classes de material em suspensão total por profundidade	86
Tabela A - 4 Porcentagem das classes de material em suspensão total (MST) por massa d'água.	86
Tabela A - 5 Porcentagem das classes de material em suspensão inorgânico (MSI) por profundidade.....	87
Tabela A - 6 Porcentagem das classes de material em suspensão inorgânico (MSI) por massa d'água.....	87
Tabela A - 7 Porcentagem das classes de material em suspensão total (MST) pelo Estado Trófico	88
Tabela A - 8 Porcentagem das classes de material em suspensão inorgânico (MSI) pelo Estado Trófico	89

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	17
2.	Objetivos.....	19
2.1.	Objetivo geral	19
2.2.	Objetivos específicos	19
3.	Fundamentação Teórica.....	19
3.1.	Processos oceanográficos na Plataforma Continental	19
3.1.	Reservas Biológicas.....	21
4.	Área de Estudo	22
4.1.	Oceanografia na Plataforma Continental Sudeste	24
5.	Materiais e Métodos	26
5.1.1.	Coleta de dados <i>in situ</i>	26
5.1.2.	Atividades em Laboratório.....	27
5.2.	Análise e Tratamento de Dados.....	29
5.2.1.	CTD.....	29
5.2.2.	Diagramas TS.....	29
5.2.1.	Análise integrada de dados (SIG).....	29
5.2.1.1.	Importação de Dados	30
5.2.1.2.	Distribuição espacial.....	30
5.2.1.3.	Massas d'água.....	31
5.2.1.4.	Clorofila-a e Material em Suspensão.....	32
5.2.1.5.	Estado Trófico, concentração de MS e Massas d'água.....	33
6.	Resultados.....	34
6.1.	Zona Eufótica (ZEU).....	34
6.2.	Massas d'água	36

6.3.	Concentrações de Clorofila-a e Material em Suspensão – Orgânico e Inorgânico	38
6.4.	Estado trófico.....	40
6.5.	Massas d'água e material em suspensão	45
6.5.1.	Material em Suspensão Total (MST).....	45
6.5.2.	Material em Suspensão Inorgânico (MSI)	51
7.	Discussão	57
8.	Conclusões.....	60
9.	Referências	61
	APÊNDICE A.....	67

1. Introdução

O litoral de Santa Catarina é caracterizado por sua grande biodiversidade, que por sua vez vem sendo ameaçada pelo crescimento urbano desordenado, exploração indevida de recursos naturais e pela falta de infraestrutura básica (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO/SC, 2009). Com objetivo de conservar parte deste patrimônio, foi criada pelo Decreto Federal de N°. 99.142/90 (BRASIL, 1990) a Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, ao norte da Ilha de Santa Catarina.

Para a avaliação do funcionamento efetivo da reserva biológica marinha do Arvoredo (REBIO do Arvoredo), foi criado um projeto de monitoramento dos parâmetros biológicos e oceanográficos da unidade e de seu entorno. O Projeto MAArE (Monitoramento Ambiental da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Entorno), através da integração de indicadores biológicos e dados oceanográficos, visa dar mais instrumentos ao órgão gestor da unidade, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com intuito de subsidiar medidas de planejamento, preservação e conservação.

O monitoramento teve início em abril de 2014, e é uma condicionante indicada pelo ICMBio no processo de licenciamento ambiental das atividades da Petrobras nos campos petrolíferos de Baúna e Piracaba, na porção sul da área geográfica da Bacia de Santos. Dentro dos objetivos do monitoramento, está a identificação e compreensão dos processos oceanográficos que influenciam o ambiente em que a REBIO está inserida, e neste escopo está a identificação da variabilidade das massas d'águas e da concentração da clorofila-a e material em suspensão na área da REBIO e entorno.

A clorofila-a é o principal pigmento presente nos organismos fitoplanctônicos, responsáveis pela produção primária nos oceanos, sendo assim, importante para os processos biológicos marinhos e a produção pesqueira (BERHRENFELD & FALKOWSKI, 1997). Através da clorofila-a é possível estimar a biomassa fitoplanctônica. Como o fitoplâncton é um importante elemento do ciclo do carbono planetário, o conhecimento da distribuição da clorofila-a passa a ser importante também no estudo de mudanças climáticas globais (DARECKI et al., 2005). Além disso, uma vez que o fitoplâncton é a base de toda a cadeia trófica no ambiente marinho, o entendimento dos processos que regem sua distribuição são importantes para a manutenção

da biodiversidade local, o que vai ao encontro a um dos principais objetivos da REBIO do Arvoredo, conservar a diversidade marinha na região.

O material em suspensão também tem sua importância, visto que a sua distribuição, tanto da fração orgânica como inorgânica, está relacionada a disponibilidade de nutrientes e de luz no ambiente marinho, afetando por sua vez a produção primária e, por conseguinte os processos biológicos (KIRK, 2011). Além de processos biológicos, a distribuição deste material interfere em processos físicos na atmosfera através do albedo do corpo d'água e o balanço de radiação solar (KOPELEVICH et al., 2016).

A variabilidade sazonal e espacial da clorofila-a e do material em suspensão no litoral catarinense, assim como as comunidades biológicas de forma geral podem ser influenciadas pela dinâmica de massas d'água, além de eventos sazonais e interanuais, como processos de ressurgência costeira, oscilações atmosféricas, como por exemplo, os fenômenos El Niño e La Niña, e a plumas de grandes descargas continentais, como a Pluma do Rio Prata (AIDAR et al., 1993; MOLLER Jr, 2008; CAMPOS et al., 2013; MACHADO et al., 2013).

Outras importantes fontes de nutrientes, sedimentos, material orgânico e intrusão de águas com menores salinidades para a região, são as contribuições dos aportes continentais em menor escala de plumas locais. No caso da área de estudo, Chludinski (2001) e resultados preliminares apresentados em eventos científicos mostram a importância do aporte fluvial proveniente da desembocadura do Rio Tijucas, no município de Tijucas (MENEZES et al., 2014; OBATA et al., 2014).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) embora não sejam tradicionalmente utilizados para análise de parâmetros oceanográficos, apresentam grande potencial de aplicação nesta área, com ferramentas de interpolação espacial de variáveis e análise combinada dos parâmetros, através de cruzamento, álgebra e sobreposições de camadas de informações. Desta forma, ferramentas e softwares relacionados ao tema tem sido utilizados em alguns estudos principalmente para descrever o comportamento das propriedades marinhas em seu domínio tanto espacial quanto temporal, e as relações dinâmicas que caracterizam o ambiente marinho (VALAVANIS, 2002).

Desta forma, o presente trabalho, através de coletas sazonais de dados oceanográficos e uso de SIG, visa compreender a contribuição dos processos oceanográficos regionais para a distribuição da concentração de material em suspensão e da biomassa de fitoplâncton na área e determinar o estado trófico da coluna d'água. Portanto, este trabalho pode se tornar subsídio para futuros estudos na região, como os relacionados a ecologia de comunidades biológicas, pesca e poluição, além de fornecer dados para a gestão da REBIO, que apesar de ter sido criada a mais de 20 anos, possui poucos dados *in situ* do material em suspensão e da clorofila-a, bem como pouco se sabe sobre a dinâmica oceanográfica no seu entorno.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho objetiva explicar a dinâmica espacial e temporal do material em suspensão e clorofila-a, bem como as suas interações com os parâmetros físico-químicos na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e seu entorno.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar as principais massas d'água predominantes na região;
- Determinar o estado trófico na região nas diferentes épocas, a partir das concentrações de clorofila-a, bem como sua distribuição espacial;
- Determinar classes de concentração do material em suspensão na região nas diferentes épocas, bem como sua distribuição espacial;
- Avaliar os agentes físicos na distribuição da clorofila-a e o material em suspensão através de análise em ambiente de Sistema de Informação Geográfica.
- Identificar as massas d'água mais produtivas para a região nas diferentes épocas.

3. Fundamentação Teórica

3.1. Processos oceanográficos na Plataforma Continental

A dinâmica das massas d'água e sua variabilidade sazonal e espacial exercem influência na distribuição da clorofila-a e do material em suspensão nos ambientes costeiros, assim como nas

comunidades biológicas de forma geral. Com isso, a compreensão sobre o que são esses corpos aquosos é de extrema importância para a discussão.

Segundo Tomczak (1999), uma massa d'água é definida como: “corpo d'água com história de formação comum, tendo sua origem em uma região física do oceano. Assim com massas de ar na atmosfera, massas d'água são entidades físicas com volume mensurável e portanto ocupa um volume finito no oceano. Em sua região de formação elas tem ocupação exclusiva de uma parte do oceano. Em outros lugares elas compartilham o oceano com outras massas de água com que se misturam. O volume total de uma massa d'água é dado pela soma de todos os seus elementos independentemente de sua localização”.

Nas regiões tropicais e temperadas, a presença de diferentes massas geram a estratificação da coluna d'água devido a variabilidade da temperatura atmosférica. Assim, águas mais quentes e menos salinas tendem a ficar perto da superfície, enquanto águas frias e mais salinas tendem a ficar próximas ao fundo. Por outro lado, nos pólos a diferença de densidade são pequenas, e a coluna d'água é mais homogênea (GARRISON, 2010).

As massas d'água podem ser identificadas através de diagramas TS (temperatura versus salinidade em cada profundidade amostrada), método introduzido por Bjorn Helland-Hansen em 1916 (MIRANDA, 1985). Assim, para construir os diagramas é necessário plotar sobre o eixo das abscissas a salinidade e no das ordenadas a temperatura, referentes a cada profundidade amostrada, e desta forma, linhas de densidade constante plotadas sob o gráfico indicam qual massa d'água se trata.

Um fenômeno físico que pode trazer massas d'água mais profundas até a superfície é a ressurgência costeira, que tem efeito significativo para a disponibilidade de nutrientes na zona eufótica. Esse fenômeno é induzido por ventos paralelos e ao longo da costa. A tensão de cisalhamento do vento sob a superfície oceânica, tende a defletir a água para a esquerda no Hemisfério Sul, o chamado Transporte de Ekman, gerando os movimentos verticais que são observados nesta região. Assim, a água superficial se afasta da costa, e a água de fundo, mais fria e enriquecida, consegue submergir atingindo a camada eufótica (GARRISON, 2010).

Devido ao aumento de nutrientes na camada eufótica, regiões de ressurgência representam 33% da produção primária global. Consequentemente, o estoque pesqueiro responde

positivamente a esse aumento, sendo importantes regiões produtoras de anchovas, sardinhas, xaréis-preto, sardas e lulas, o que corresponde a 17% da captura pesqueira global (PAULY & CHRISTENSEN, 1995).

Segundo Vollandweider et al. (1998), as áreas costeiras apresentam grande variação espacial de estado trófico, além de consideráveis variações interanuais, especialmente se estiverem sob influência de rios. E cada vez mais estudos tem sido desenvolvidos com o objetivo de desenvolver índices para classificar estes ambientes (VOLLENDWEIDER et al., 1998; SMITH et al., 1999; PENNA et al., 2004). Estes índices em geral se baseiam em parâmetros oceanográficos monitorados rotineiramente, como nutrientes, clorofila-a e turbidez. No Brasil, por exemplo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) utiliza índices desta natureza para diagnosticar e monitorar os ambientes marinhos e estuarinos quanto ao estado trófico (CETESB, 2014).

Sob a plataforma continental, além da intrusão de massas d'água mais profundas, a intrusão de águas de baixa salinidade de origem continental também são fontes adicionais que alteram e influenciam a disponibilidade de nutrientes, concentração de clorofila e material em suspensão, e conseqüentemente o estado trófico da água. A água que flui em direção ao mar é chamada então de pluma estuarina; e sua extensão, intensidade e direção em que flui, dependerá do tamanho do estuário e o volume de drenagem da bacia. Plumões de larga escala são também afetadas pela rotação da Terra e podem atingir centenas a milhares de quilômetros no oceano. Por outro lado, plumões de menores escala são também importantes para a hidrodinâmica e os processos biológicos regionais (GARVINE, 1987; PIOLA et al., 2005; PIOLA et al., 2008).

3.1. Reservas Biológicas

De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (BRASIL, 2000), a categoria Reserva Biológica de Unidade de Conservação (UC) objetiva a preservação integral do ecossistema, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, a partir da execução de medidas de recuperação e ações de manejo para restaurar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos da área em questão.

As reservas biológicas são refúgios onde populações de espécies com interesse comercial podem se recuperar e os ambientes antes degradados podem se regenerar (GELL & ROBERTS,

2003). Consequentemente, a proteção da biodiversidade e do patrimônio genético tem efeito em outras atividades como o turismo, lazer, educação e até na prospecção de fármacos (BERLINK et al., 2004).

É importante salientar que não só a área definida pela Reserva está sujeita ao controle por órgãos governamentais. As áreas ao entorno são de extrema importância para o funcionamento efetivo da REBIO. Esta área é conhecida como Zona de Amortecimento que é definida pela Lei nº 9.985/2000, artigo 2º inciso XVIII como “o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade (BRASIL, 2000)”.

No Brasil existem ao todo 31 REBIOS, a maioria localizadas na Mata Atlântica e na Amazônia. No entanto no ambiente marinho são apenas 4, são elas a REBIO Atol das Rocas – Rio Grande do Norte, REBIO de Comboios - Espírito Santo, REBIO de Santa Isabel - Sergipe e REBIO do Arvoredo - Santa Catarina (ICMBio, 2016).

A importância de adotar medidas de conservação e manejo que levou a criação da REBIO do Arvoredo está relacionada a alta diversidade de ecossistemas que a abrange devido a sua localização geográfica. A UC situa-se em uma zona de transição de ecossistemas, marcada pelo limite sul da chamada Província Biogeográfica Temperada Quente. Dentro desta elevada biodiversidade, encontram-se 22 espécies de animais ameaçadas de extinção pela lista da IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), além do único banco de algas calcárias do litoral sul brasileiro (BRASIL, 2004).

4. Área de Estudo

A REBIO do Arvoredo está inserida na Plataforma Continental Sudeste (PCSE) brasileira, de acordo com a divisão proposta por Castro Filho et al. (1996). Especificamente, está localizada ao norte da Ilha de Santa Catarina, a 11 km da costa, entre 27°11' – 27°16' Sul e 48°19' – 48°24' Oeste (Figura 4.1). Sua área corresponde a 17.800 ha, incluindo em sua extensão as Ilhas das Galés, Arvoredo e Deserta, bem como o Calhau de São Pedro (BRASIL, 1990). A sua Zona de Amortecimento compreende 50 km a partir da reserva com área total de 850 mil hectares (BRASIL, 2004).

Segundo o Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina (PANDOLFO et al., 2002), o litoral catarinense é classificado como Subtropical (mesotérmico úmido e verão quente), Cfa, de acordo com a classificação climatológica de Köppen. As médias de temperatura anuais na região da área de estudo estão entre 19°C e 20°C, com mínimas e máximas anuais médias, entre 15°C e 16°C, e entre 25°C e 26°C, respectivamente. A precipitação total anual é de 30 a 40 mm. Enquanto a umidade relativa anual se encontra entre 82% e 86% na área estudada.

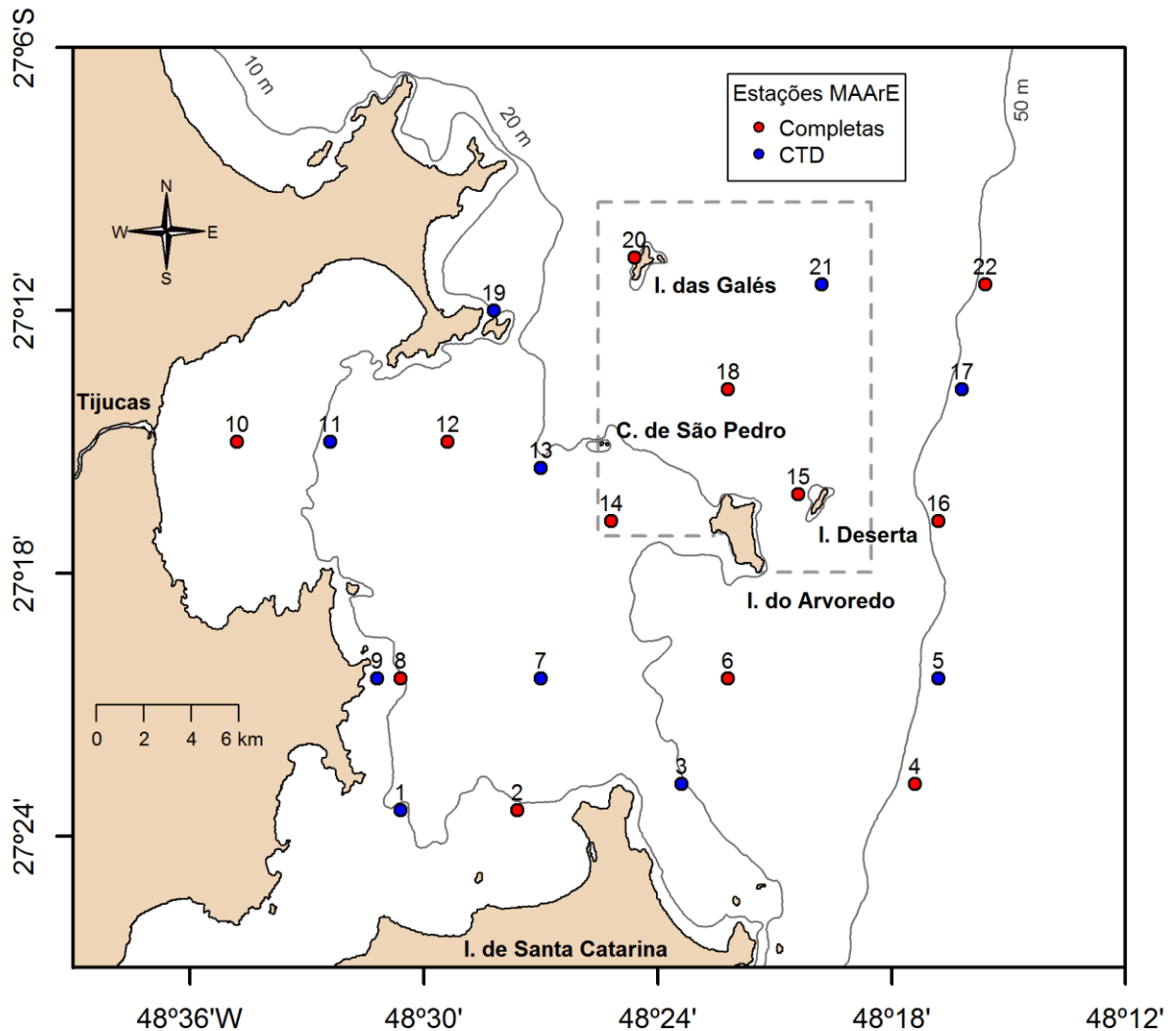


Figura 4.1 Mapa das estações do projeto MAARÉ, compreendendo a região da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (quadro hachurado) e entorno. Os pontos em vermelho representam as estações de amostragem completa (coleta de água e dados de CTD) e os pontos em azul representam as estações de amostragem apenas de CTD. As isóbatas de 10, 20 e 50 m sem cinza (produzida pelo projeto MAARÉ e gentilmente cedida para este trabalho).

4.1. Oceanografia na Plataforma Continental Sudeste

De acordo com Moller Jr. et al. (2008), as principais massas que atuam sobre a região sul e sudeste do Brasil são a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Tropical (AT), Água da Pluma do Prata (APP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP) e Água Subantártica de Plataforma (ASA). A Tabela 4.1 mostra os intervalos termohalinos, usados para identificar as massas d'água descritas pelo autor.

Tabela 4.1 Intervalo termohalino (TH) das principais massas d'água presentes na plataforma continental sul e sudeste do Brasil. (Moller Jr. et al., 2008 adaptado), sendo T, temperatura; S, salinidade; APP, Pluma do Prata; AT, Água Tropical; ASA, Água Subantártica de Plataforma; ASTP, Água Subtropical de Plataforma; ACAS, Água Central do Atlântico Sul.

MASSAS	Inverno	Verão
	Intervalo TH	Intervalo TH
APP	$T > 10^{\circ}\text{C}$, $S \leq 33,5$	$T > 10^{\circ}\text{C}$, $S \leq 33,5$
AT	$T \geq 18,5^{\circ}\text{C}$, $S \geq 36$	$T \geq 18,5^{\circ}\text{C}$, $S \geq 36$
ASA	$T \leq 14^{\circ}\text{C}$, $33,5 < S < 34,2$	$T \leq 21^{\circ}\text{C}$, $33,5 < S < 34,2$
ASTP	$T > 14^{\circ}\text{C}$, $33,5 < S < 35,3$	$T \geq 18,5^{\circ}\text{C}$, $35,3 < S < 36$
ACAS	$T > 18^{\circ}\text{C}$, $35,3 \leq S < 36$	$T > 21^{\circ}\text{C}$, $33,5 \leq S < 35,3$
	$T \leq 18,5^{\circ}\text{C}$, $S \geq 35,3$	$T \leq 18,5^{\circ}\text{C}$, $S \geq 35,3$

A principal massa d'água que funciona como uma agente fertilizadora na plataforma continental sul e sudeste brasileira é a ACAS cuja formação ocorre na região de Convergência Subtropical. Essa massa é caracterizada por alta salinidade, baixa temperatura e alta concentração de nutrientes. Por outro lado, a AT, formada por meandros da Corrente do Brasil, é a mais quente, também salgada, porém, pobre em nutrientes (AIDAR et al., 1993; MOLLER Jr, 2008; DEACON, 1933 apud MIRANDA, 1985).

Segundo Castro Filho & Miranda (1998), ventos de nordeste são dominantes na PCSE durante todo o ano. No entanto, devido a entrada de frentes frias durante o inverno, ventos de quadrante sul tornam-se mais frequentes e intensos, causando eventos de subsidência e um recuo da ACAS sob a plataforma continental. Associados ao comportamento da circulação atmosférica, a temperatura da superfície do mar (TSM) pode ser dividida entre situação de primavera-verão, com mais alta TSM e, situação outono-inverno, com mais baixas TSM. A Figura 4.2, apresenta a TSM média sobre a costa e plataforma de Santa Catarina, na qual pode

ser observado a variabilidade da temperatura durante as quatro estações, verão, outono, inverno e primavera de 2015.

Na região sul e sudeste do Brasil, mais especificamente na região que compreende Cabo Frio (23°S, Rio de Janeiro) e Cabo de Santa Marta Grande (29°, Santa Catarina), ocorre a Zona de Ressurgência Atlântica, onde eventos de ressurgência são frequentes e periódicos devido a variabilidade sazonal destes ventos sob a plataforma continental e a geometria da costa. Durante a primavera e o verão, estes eventos podem levar ao aumento da produção primária local pela intrusão de águas frias e ricas em nutrientes, no caso a ACAS (ACHA et al., 2004; CAMPOS et al., 2013).

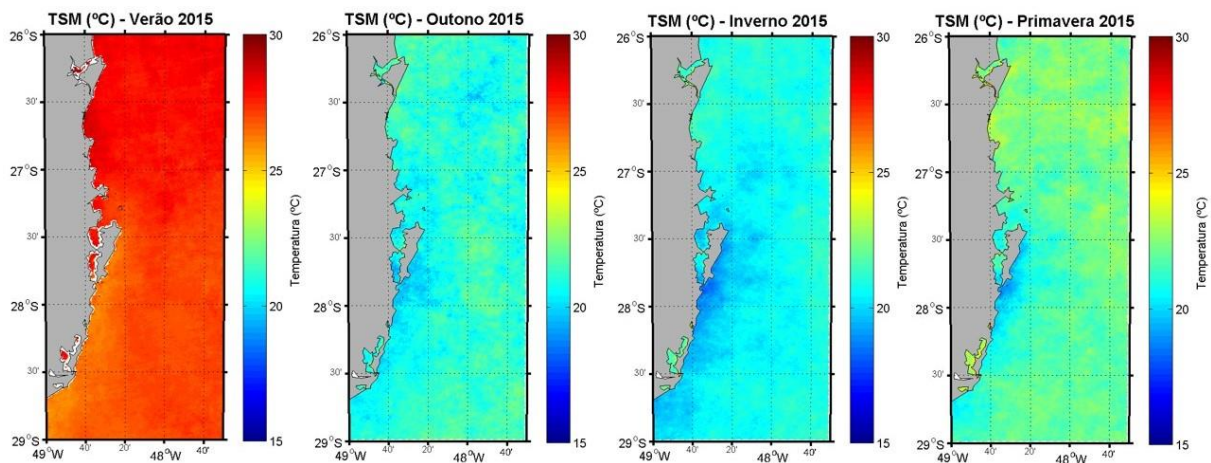


Figura 4.2 Temperatura da superfície do mar média no verão, outono, inverno e primavera de 2015. (Imagem do sensor Aqua/MODIS, produzida pelo projeto MAARÉ e gentilmente cedida para este trabalho).

No inverno, a PCSE também está sujeita a variabilidade causada pela intrusão da pluma do Rio do Prata, com menores salinidades e temperatura, carregando grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes para a plataforma continental sul e sudeste brasileira, e afetando a distribuição da clorofila-a na região. Essa pluma forma então a chamada APP, e a mistura entre ela, a AT e aportes continentais de menor escala, formam então a ASTP (PIOLA et al., 2005; PIOLA et al., 2008; BRAGA et al., 2008; GARCIA & GARCIA, 2008; CARVALHO et al., 2014; MOLLER et al., 2008).

Em menor escala, os aportes continentais locais são muito importantes para a distribuição das propriedades físicas e biológicas da água. Chludinski (2001), relatou que o Rio Tijucas, cuja desembocadura está localizada dentro da área deste estudo, exerce um papel importante na

distribuição da salinidade, temperatura, na transparência, clorofila-a e no carbono orgânico particulado nos sedimentos. Segundo o autor, a influência da pluma sobre as propriedades ficam mais restritas as proximidades da Baía de Tijucas, principalmente devido a sua geometria que confina a água em sua parte interior. No entanto, sedimentos finos advindos da pluma foram observados dentro da área da REBIO.

5. Materiais e Métodos

5.1.1. Coleta de dados *in situ*

Para a coleta de dados *in situ*, foram distribuídas 12 estações para amostragens completas e outras 10 estações para amostragem simples, apenas para o registro de dados do CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) e disco de Secchi (Figura 4.1). Foram realizadas um total de 6 campanhas, durante verão e inverno de 2014, 2015 e 2016. As campanhas foram realizadas nos dias 27/03/2014, 04/04/2014 e 07/04/2014 no verão de 2014; 30/07/2014, 01/08/2014 e 06/08/2015 no inverno de 2014; e 05/02/2015, 06/02/2015; 09/02/2015 no verão de 2015; 29/07/2015, 30/07/2015, 31/07/2015 no inverno de 2015; 16/02/2016, 17/02/2016, 18/02/2016 no verão de 2016; e no inverno de 2016, 03/08/2016, 04/08/2016 e 05/08/2016.

A campanha denominada Verão de 2014 foi realizada alguns dias após o término da estação. Além disso, a coleta simples (dados do CTD), foi realizada em outro período e, portanto foram consideradas neste trabalho somente as medições de salinidade e a temperatura realizadas durante a realização das estações completas.

Foram realizados perfis verticais da superfície ao fundo em todas as estações oceanográficas simples e completas com um CTD (*Seabird*®), com um fluorímetro (*Wetlabs*®) acoplado.

A profundidade da zona eufótica (ZEU) também foi estimada através das medidas de disco de Secchi em todas estações (Equação 5.1). A ZEU é uma medida importante para o fitoplâncton, uma vez que representa a camada superior da coluna d'água, até onde chega 10% da luz que atingiu a superfície da água, luz suficiente para a realização da fotossíntese pelos produtores primários.

Equação 5.1. Profundidade da Zona Eufótica em metros

$$ZEU = Prof. disco Secchi(m) * 2.7$$

O processo de amostragem nas estações completas consistiu na coleta de amostras de água com as garrafas de Van Dorn em 3 profundidades (superfície, fundo e intermediária – definida pela base da camada de mistura quando presente, ou pico de máxima fluorescência, ou meia água, nesta ordem de importância) para determinação da concentração da clorofila-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) e do material em suspensão total (MST) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e suas frações orgânicas (MSO) e inorgânicas (MSI).

Ainda a bordo da embarcação, as amostras de água foram filtradas em bomba a vácuo com pressão constante, em média 2L de água por filtro (dependendo da quantidade de material em suspensão na água), através de filtro de vidro Millipore AP-40, com 47 mm de diâmetro e 0,45 μm de poro, cuja células fitoplanctônicas e o material em suspensão ficam retidos. As amostras para a determinação de clorofila-a foram armazenadas a bordo em galão de nitrogênio líquido e posteriormente transferidas para um freezer no Laboratório de Crustáceos e Plâncton (LCP) da Universidade Federal de Santa Catarina até o momento da análise. As amostras para a análise do material em suspensão foram armazenadas a bordo em frascos com sílica-gel, em recipiente térmico com gelo e posteriormente transferidas para o freezer no LCP.

5.1.2. Atividades em Laboratório

Para análise da clorofila-a (de acordo com UNESCO, 1966 e PARSONS et al., 1984) foram feitas as extrações de pigmentos fitoplanctônicos em acetona 90%, em que 12 ml foram adicionados em tubo de centrífuga contendo o filtro com a amostra, e estas foram maceradas para haver o contato direto das células com a acetona. Os tubos foram armazenados em local escuro e refrigerados por um período superior a 18 horas. Após este período, as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm por 15 minutos e por fim foi realizada a leitura das absorbâncias dos extratos em um espectrofotômetro, utilizando cubetas de vidro com 5 cm de caminho ótico. Todas as análises de clorofila-a foram realizadas no Laboratório Multiusuário do Departamento de Ecologia e Zoologia da UFSC. As concentrações de clorofila-a foram determinadas de acordo com a equação de SCOR/UNESCO (1966) (Equação 5.2).

Equação 5.2. Cálculo da concentração de clorofila-a em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, a indica as absorbâncias e seus respectivos comprimentos de ondas.

$$Cla = \{[11.64 * (a_{665} - a_{750})] - [2.16 * (a_{665} - a_{750})] - [0.1 * (a_{480} - a_{750})]\} \\ * \left[\frac{\text{Volume de acetona}}{\text{Caminho ótico} * \text{Volume filtrado}} \right]$$

O material em suspensão foi analisado no período seguinte às campanhas, utilizando o método gravimétrico (APHA, 1985), pelo qual foram obtidas as concentrações do MST, MSI e MSO, respectivamente (Grasshoff et al., 1983) para cada estação de coleta e profundidade (Equação 5.3, Equação 5.4 e Equação 5.5):

Equação 5.3. Cálculo do material em suspensão total em mg L⁻¹

$$MST = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso inicial (mg)}}{\text{Volume filtrado (l)}}$$

Equação 5.4. Cálculo do material em suspensão inorgânico em mg L⁻¹

$$MSI = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final (mg)}}{\text{Volume filtrado (l)}}$$

Equação 5.5. Cálculo do material em suspensão orgânico em mg L⁻¹

$$MSO = MST - MSI$$

Para este cálculo, a metodologia utilizada foi baseada na pesagem inicial dos filtros em balança analítica após lavagem, secagem em estufa e queima na mufla, obtendo assim o Peso inicial. Posteriormente, após a filtração de determinada quantidade de água a bordo, os filtros com amostras foram submetidas a estufa para secagem em 80°C por 24 horas e pesados, obtendo assim o Peso Total, e em seguida foram queimados em mufla a 450°C por uma hora, de forma a eliminar a matéria orgânica, e pesados novamente para obtenção do Peso Final. Os pesos obtidos, juntamente com o volume de amostra filtrada, foram então aplicados nas Equação 5.3, Equação 5.4, e Equação 5.5 para obtenção da concentração do MST, MSI e MSO, respectivamente.

Vale ressaltar que Grasshoff et al. (1983) não distingue o material orgânico e inorgânico, uma vez que trata-se de um método analítico no qual não foi analisado as características da matriz analisada. No caso, o método descreve material combustível ou não combustível após a queima em mufla.

5.2. Análise e Tratamento de Dados

5.2.1. CTD

Os dados do CTD foram baixados do equipamento ainda a bordo, e convertidos do formato original, .hex, para extensão de texto (.txt), utilizando o *software SBE Data Processing – Win 32*. Durante este processo, os dados passaram por 3 etapas:

- Filtragem, para eliminação de dados espúrios e suavização dos perfis de pressão, temperatura e condutividade;
- Alinhamento, onde os dados foram alinhados no tempo em relação à pressão, garantindo que os cálculos de salinidade e de outros parâmetros feitos usando medições a partir do mesmo lote de água.
- Filtragem de acordo com a velocidade de descida do instrumento, em que foi definido uma velocidade de descida mínima que o *CTD* deve apresentar para que os dados sejam confiáveis.

Após serem convertidos para *.txt, os dados foram processados utilizando o *software MATLAB® R2012b* para obtenção de médias de salinidade e temperatura (°C) a cada 0,5 m.

5.2.2. Diagramas TS

Para a elaboração de diagramas TS e identificação das massas d'água, os dados de temperatura e salinidade foram adicionados ao software Ocean Data View 4 (ODV). Foram incorporadas linhas de mesma densidade, as chamadas isopcnais, além de serem aplicados os limites máximos e mínimos baseados em todos os valores encontrados. Obteve-se ao final, portanto, dois diagramas TS identificando as massas para as campanhas realizadas nos verões e nos invernos.

5.2.1. Análise integrada de dados (SIG)

O fluxograma ilustrado na Figura 5.1 mostra as etapas seguidas para a análise integrada (SIG) dos dados adquiridos. Cada etapa é detalhada no texto a seguir.

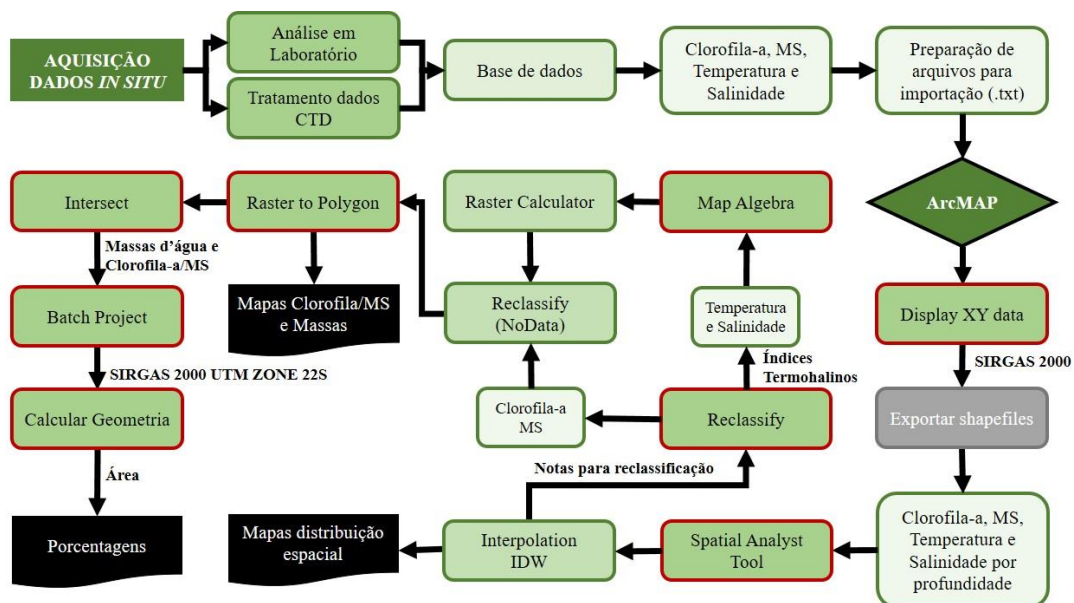


Figura 5.1 Fluxograma apresentando as etapas desenvolvidas para a análise integrada dos dados adquiridos.

5.2.1.1. Importação de Dados

Após a análise laboratorial das concentrações de clorofila-a e material em suspensão arquivos com os dados para cada profundidade (superfície, intermediária e fundo) foram preparados em formato .txt. Para minimizar o volume de mapas, os dados de MSO não foram espacializados e analisados no SIG, podendo ser inferidos indiretamente a partir dos mapas de MST e MSI. Neste formato, os dados puderam ser incorporados ao *software* ArcMap 10.2.2 do grupo de sistemas ArcGIS. No *software*, a primeira etapa foi a projeção dos pontos com o sistema de coordenada geográfica GCS SIRGAS 2000 (*Geographic Coordinate System, SIRGAS 2000 Datum*), conforme a latitude e longitude informada nos arquivos, para assim serem transformados e exportados no formato *shapefile*.

5.2.1.2. Distribuição espacial

Com as variáveis, salinidade, temperatura, clorofila-a e material em suspensão, profundidade da zona eufótica (ZEU) georreferenciadas, foram realizadas interpolações dos dados pelo método IDW (*Inverse Distance Weighted*), disponível na ferramenta “*Spatial Analyst*”. O método foi escolhido devido a melhor representação dos dados sobre a malha amostral, além de ser amplamente utilizado em outros trabalhos de tratamento de dados

oceanográficos. O IDW, assume que objetos mais próximos uns dos outros são mais semelhantes do que aqueles que estão mais distantes (ESRI, 2016). Para melhor comparação entre os mapas, foram definidos uma única paleta de cores e escala, a partir dos máximos e mínimos das variáveis em todas as campanhas, com exceção dos mapas de MS, cujos valores máximos e mínimos foram muito distintos, e uma escala com valores comparativos foi aplicada. Os produtos finais nesta etapa, foram mapas de distribuição espacial das propriedades para cada profundidade em cada campanha.

5.2.1.3. Massas d'água

Com os dados interpolados, foram definidas notas para as classes de valores de salinidade e temperatura conforme os índices termohalinos proposto por Moller et al. (2008), afim de se estimar a distribuição espacial das massas d'água. É importante salientar que a presença da Pluma do Rio Tijucas (PRT) e o Canal Norte de Florianópolis (CN) foram distinguidas através da análise espacial dos mapas de interpolação, mas para o cálculo das massas d'água que se seguiu, utilizou-se os índices termohalinos definidos para a APP, pelo fato de atenderem ao mesmo índice termohalino. Utilizando a ferramenta “*Reclassify*”, também disponível na extensão “*Spatial Analyst*”, foi possível então reclassificar os dados conforme as notas empregadas, como observado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Notas definidas para a reclassificação dos valores de salinidade e temperatura, conforme os índices termohalinos propostos por Moller et al. (2008).

Notas	Salinidade	Temperatura
1	$S < 33.5$	$T < 18.5$
2	$33.5 < S < 35.3$	$T > 18.5$
3	$35.3 < S < 36$	
4	$S > 36$	

A etapa seguinte a este processo, consistiu na definição das massas d'água por profundidade reunindo os mapas de salinidade com o de temperatura através de álgebra de mapas, utilizando a ferramenta “*Raster Calculator*”. Este processo só foi possível devido à reclassificação dos índices realizada na etapa anterior (notas de 1 a 4). À vista disso, para realizar a união dos mapas foram elaboradas as seguintes equações para os verões e invernos, respectivamente (Equação 5.6 e Equação 5.7):

Equação 5.6. Sistema de equações para a classificação de massas d'água durante os verões

$$\begin{aligned} \text{APP_PRT_CN} &= ((\text{Temperatura} == 1) * (\text{Salinidade} == 1)) \\ &+ ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} == 1)) \end{aligned}$$

$$\text{ASTP} = ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} == 2)) + ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} == 3))$$

$$\text{ACAS} = ((\text{Temperatura} == 1) * (\text{Salinidade} == 3)) + ((\text{Temperatura} == 1) * (\text{Salinidade} == 4))$$

$$\text{AT} = ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} == 4))$$

Equação 5.7. Sistema de equações para a classificação de massas d'água durante os invernos

$$\begin{aligned} \text{APP_PRT_CN} &= ((\text{Temperatura} == 1) * (\text{Salinidade} == 1)) \\ &+ ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} == 1)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ASTP} &= ((\text{Temperatura} == 1) * (\text{Salinidade} == 2)) + ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} = \\ &= 2)) + ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} == 3)) \end{aligned}$$

$$\text{ACAS} = ((\text{Temperatura} == 1) * (\text{Salinidade} == 3)) + ((\text{Temperatura} == 1) * (\text{Salinidade} == 4))$$

$$\text{AT} = ((\text{Temperatura} == 2) * (\text{Salinidade} == 4))$$

O resultado destas equações resultaram em duas classes de valores, sendo 0, a área que retorna um valor “falso”, ou seja, não obedece a equação, e 1, aos valores “verdadeiros”. Por conseguinte, foi necessário reclassificar novamente os valores iguais a 0 para “NoData”, afim de obter apenas o raster referente a massa d'água.

5.2.1.4. Clorofila-a e Material em Suspensão

Para a definição de classes de clorofila-a, foi utilizada a metodologia de CETESB (2014), cuja as classes foram obtidas a partir do fracionamento das concentrações de clorofila em quartis de 25%, 50% e 75% (HAKANSON, 1994 apud SMITH et al., 1999). Desta forma, baseado na classificação de CETESB e no fracionamento em quartis dos dados foram definidas as classes conforme o grau de trofia do ambiente marinho quanto a concentração de clorofila-a (Tabela 5.2). Observa-se na tabela que notas também foram definidas, com a finalidade de reclassificação dos valores da interpolação.

Tabela 5.2 Notas e classes das concentrações de clorofila-a ([Cl]), conforme o grau trófico do ambiente marinho.

Notas	Classes	Classes CETESB	Classes Quartis Amostras	Classes utilizadas
1	Oligotrófico	[Cl] < 1,0	[Cl] < 1,7	[Cl] < 1,5
2	Mesotrófico	1,0 < [Cl] < 2,5	1,7 < [Cl] < 2,9	1,5 < [Cl] < 3,0
3	Eutrófico	2,5 < [Cl] < 5,0	2,9 < [Cl] < 5,2	3,0 < [Cl] < 5,0
4	Supereutrófico	[Cl] > 5,0	[Cl] > 5,2	[Cl] > 5,0

Devido à falta de índices para classificar o MST e MSI no ambiente marinho na bibliografia consultada, foi proposto a utilização da mesma metodologia aplicada às classificações de clorofila-a previamente, pela divisão em quartis de classes (HAKANSON, 1994 apud SMITH et al., 1999). Os termos utilizados para as classes, foram baixa, média, alta e muito alta concentração do MST e MSI, e os valores para a classificação são definidos na Tabela 5.3, a seguir.

Tabela 5.3 Notas e classes das concentrações de material em suspensão total [MST] e material em suspensão inorgânico [MSI], conforme a divisão de classes propostas.

Notas	Classes	MST	MSI
1	Baixa	[MST] < 14	[MSI] < 12
2	Média	14 < [MST] < 21	12 < [MSI] < 15
3	Alta	21 < [MST] < 56	15 < [MSI] < 20
4	Muito Alta	[MST] > 56	[MSI] > 20

Após a reclassificação no ArcMap, foi necessário reclassificar novamente, mas desta vez para manter apenas o mapa de uma única classe, transformando as outras em “NoData”, obtendo o raster apenas da classe em questão.

5.2.1.5. Estado Trófico, concentração de MS e Massas d’água.

A partir das reclassificações e da álgebra de mapas para os índices termohalinos, os mapas que antes estavam em formato raster, foram transformados em polígonos através da ferramenta “*Raster to Polygon*”. Após este processo, foi possível sobrepor os mapas do estado trófico da água e de MS aos de massas d’água.

Com objetivo de obter quais as principais classes das concentrações de clorofila-a por época do ano (verão e inverno) e por profundidade, além do estado trófico por massa d’água, foi

utilizada a ferramenta “Intersect”. Esta ferramenta permite a sobreposição de mapas em formato shapefile, originando uma segunda feição que corresponde apenas a área em que ambos os mapas se sobrepõem. Esta análise necessita de um sistema de projeção geográfica, por tanto, para calcular a área das superposições, os polígonos devem ser transformados para um sistema de coordenadas projetadas. Com isso, o sistema de coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000 UTM Zone 22S. O passo seguinte, foi calcular a área das intersecções, através da tabela de atributos. Na tabela, foi criada um novo campo, nomeado área e no formato de dados “double”. No novo campo, foi calculado a geometria escolhendo a propriedade “Area”. Cada valor foi planilhado no Excel para a realização dos cálculos de porcentagem apresentados na sessão de resultados do presente trabalho.

6. Resultados

A seguir serão apresentados os resultados finais obtidos, na forma de mapas e gráficos, e utilizados na discussão a seguir. Resultados específicos de etapas intermediárias de processamento no ArcMap, como os dados interpolados de temperatura, salinidade, clorofila-a e material em suspensão, assim como tabelas geradas pela intersecção de mapas, podem ser consultados no APÊNDICE A.

6.1. Zona Eufótica (ZEU)

A Figura 6.1 mostra a distribuição espacial da profundidade da zona eufótica para todas as campanhas. A principal diferença observada foi a ZEU mais profunda nos verões (média $22,3 \pm 12,1$ m) em comparação aos invernos (média $11,1 \pm 6,4$ m). Diferenças entre anos também foram observadas. Nos verões de 2014 e 2015 (médias $21,2 \pm 9,7$ e $21,0 \pm 13,4$ m, respectivamente), a zona eufótica foi menor do que em 2016 (média $24,2 \pm 12,1$ m). Além do mais, observou-se que nos verões nos locais de maior profundidade, a zona eufótica foi mais profunda, especialmente na estação 15, localizada próxima a Ilha Deserta, com um máximo de 59.4 m em 2015.

No inverno de 2016 (Figura 6.1) a ZEU foi menos profunda (média $9,8 \pm 3,6$ m) e se distribuiu de forma homogênea em relação aos outros anos, em que nas estações mais afastadas da costa e localizadas mais ao norte da área de estudo tiveram um aumento da ZEU (média $10,1 \pm 5,6$ e $13,3 \pm 7,0$ metros, para 2014 e 2015, respectivamente).

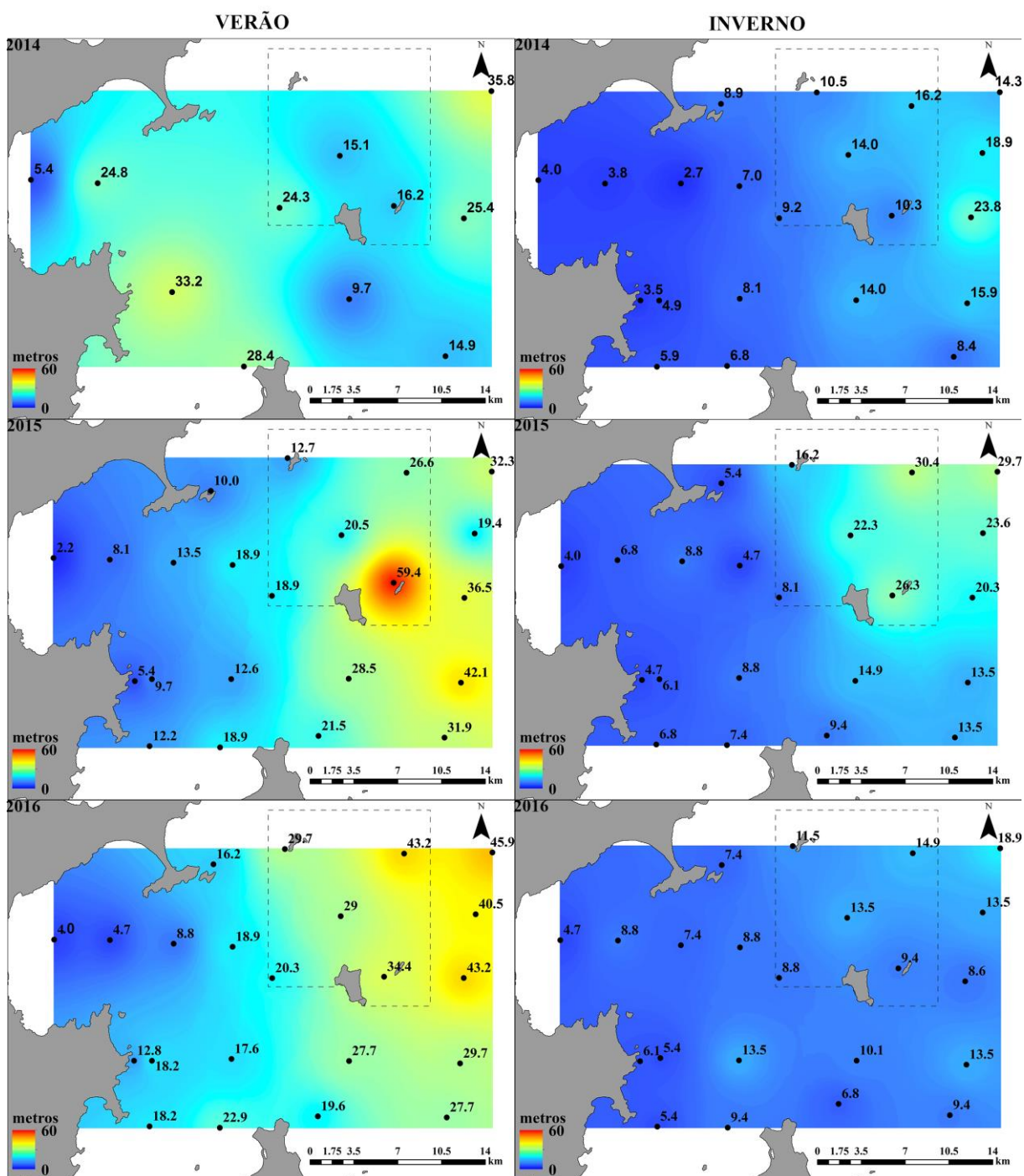


Figura 6.1 Profundidade da Zona Eufótica (ZEU) em metros para as campanhas de verão de 2014, 2015 e 2016 (à esquerda) e de inverno de 2014, 2015 e 2016 (à direita). Os valores sobre as estações indicam a profundidade da ZEU nas mesmas.

6.2. Massas d'água

A partir da composição de diagramas TS (temperatura e salinidade) e a análise em ambiente SIG foi possível identificar as massas d'água, bem como a mistura entre elas em cada ponto de coleta. Para a identificação das massas d'água foi utilizado os índices termohalinos descritos por Moller *et al.* (2008) descritos na Tabela 4.1. Águas de aporte continental, como a água da Pluma do Rio Tijucas (PRT) e a água do canal norte da Ilha de Santa Catarina (CN) foram agrupadas ao mesmo índice proposto por Moller et al. (2008) para a Água da Pluma do rio da Prata, assumindo que apresentam os mesmos intervalos termohalinos.

O diagrama TS referente às campanhas de verão (Figura 6.2) são típicos da estrutura termohalina da coluna d'água durante esta época do ano na Plataforma Continental Sudeste interna e média (PCSE). As características apontam um menor gradiente salino em contrapartida a um forte gradiente termal, formando uma coluna d'água bem estratificada. Observa-se também uma mistura de massas d'água. Em todas as campanhas pode se identificar a presença da Água Subtropical de Plataforma (ASTP), principalmente na superfície e estações com menor profundidade, apresentando uma temperatura mais elevada e distribuição homogênea, e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), fria e salina em maiores profundidades. Em 2015 e 2016 registrou-se também a Água Tropical (AT), salina e mais quente, em algumas estações e misturada com as outras águas, com presença mais marcante durante o verão de 2016.

Observa-se no inverno (Figura 6.2) características termohalinas completamente diferentes do verão, com maior gradiente salino e menor gradiente termal. Os diagramas corroboraram com a distribuição horizontal dos parâmetros, em que notou-se que a coluna d'água é mais homogênea durante essa época do ano. Pôde-se inferir que a ASTP contribui para a distribuição das propriedades na região. Além dela, outras importantes fontes de nutrientes são Água da Pluma do Plata (APP), Canal Norte de Florianópolis (CN) e Pluma do Rio Tijucas (PRT) que apresentam-se misturados à ASTP na região. A variabilidade das massas d'água entre os diferentes anos durante os invernos também ficou evidenciada no diagrama TS. Em 2014, a ASTP predominou na região, em contrapartida a 2016, em que águas de origem continental dominaram a região (APP, PRT e CN).

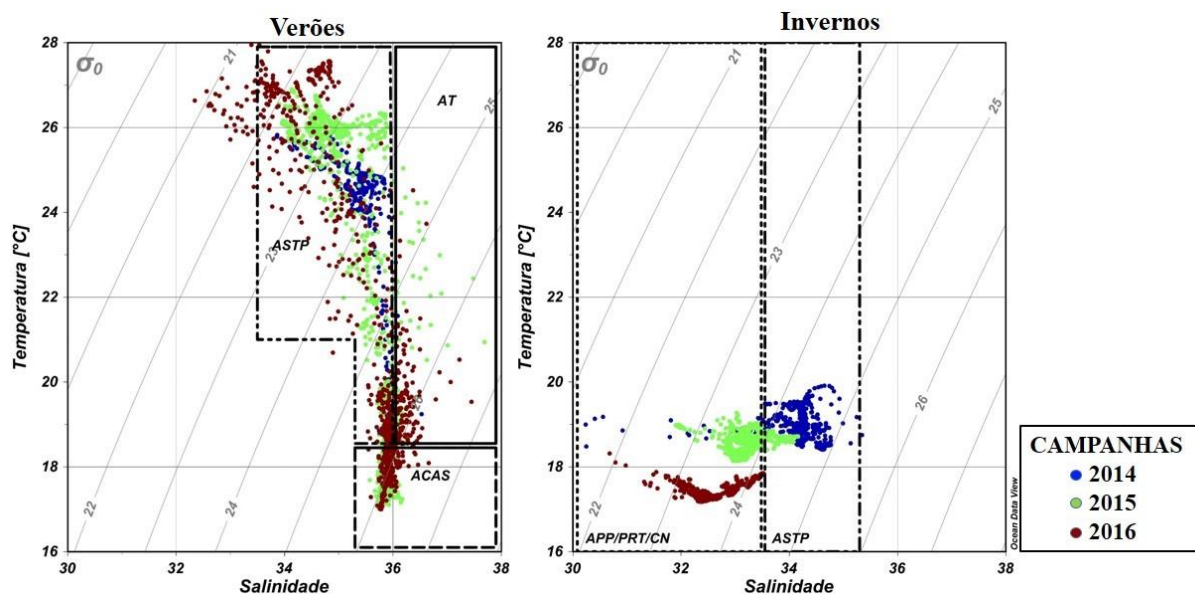


Figura 6.2 Diagrama TS das campanhas dos verões (à esquerda) e invernos (à direita) dos anos de 2014, 2015 e 2016 representados pelos pontos azul, verde e vermelho, respectivamente, os limites dos índices termohalinos das massas d'água indicados pelos quadros tracejados, e as isopnais em cinza claro.

Os mapas de distribuição espacial das massas d'água (Figura 6.3 a Figura 6.5), corroboram os diagramas TS. Nos verões, foi observado que na superfície a ASTP domina toda a região (Figura 6.3 e Figura 6.4), com exceção de 2016, em que a pluma de baixa salinidade do Rio Tijucas abrange grande parte da região, alcançando o entorno da REBIO (Figura 6.4). Nas profundidades intermediárias foi possível identificar também o domínio da ASTP, a presença pontual da AT em algumas estações, indicando a mistura entre essas massas. No fundo, a intrusão da ACAS foi registrada em todos os anos, em regiões de maiores profundidades, no entanto, em 2016 a massa se aproximou-se mais da costa, atingindo a REBIO (Figura 6.5). Também em 2016, foi registrada a presença da AT no fundo, em grande parte da região, incluindo a porção a oeste da REBIO.

Durante os invernos (Figura 6.3 a Figura 6.5), a influência de águas continentais é marcante na região. Em 2014, ficou evidente a influência da pluma do Rio Tijucas e o Canal Norte de Florianópolis na superfície. Já na profundidade intermediária e fundo, observou-se apenas a PRT, confinada à Baía de Tijucas. Em 2015, toda a superfície foi dominada pela pluma de baixa salinidade. Essa tendência seguiu para a profundidade intermediária, com exceção da região norte (estações 19 e 21). No fundo, foi observado um recuo da região de baixa salinidade em direção ao sul e a costa. Já o inverno de 2016 foi caracterizado pela coluna d'água inteiramente homogênea de águas com origem continental (APP, PRT e CN).

6.3. Concentrações de Clorofila-a e Material em Suspensão – Orgânico e Inorgânico

A Tabela 6.1 apresenta os valores máximo, mínimos, médios e o desvio padrão da clorofila-a, MST, MSI e MSO. A distribuição espacial das variáveis sem encontram no APÊNDICE A. Entre os verões e invernos, a média das concentrações de clorofila-a foram semelhantes considerando o desvio padrão das concentrações registradas. Durante os verões, a média da concentração de clorofila-a foi $1,44 \pm 1,00 \text{ mg.m}^{-3}$, em 2014; $4,94 \pm 4,37 \text{ mg.m}^{-3}$, em 2015, e; $4,35 \pm 3,29 \text{ mg.m}^{-3}$, em 2016. Uma máxima concentração de $24,75 \text{ mg.m}^{-3}$ ocorreu em 2015, e uma mínima de $0,08 \text{ mg.m}^{-3}$, em 2014. Nos invernos, as médias ficaram $5,04 \pm 3,46 \text{ mg.m}^{-3}$, em 2014; $3,55 \pm 2,96 \text{ mg.m}^{-3}$, em 2015, e; $3,88 \pm 2,64 \text{ mg.m}^{-3}$, em 2016. A máxima concentração de $19,21 \text{ mg.m}^{-3}$ ocorreu em 2014 e mínima de $0,51 \text{ mg.m}^{-3}$ no mesmo ano.

Em geral as mais altas concentrações de MST ocorreram durante os invernos. A média nos verões (Tabela 6.1) foi $26,82 \pm 18,80 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2014; $63,32 \pm 95,03 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2015, e; $13,75 \pm 17,89 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2016. A máxima concentração de MST igual a $534,00 \text{ mg.L}^{-1}$ ocorreu em 2015 e mínima $3,13 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2016. Nos invernos, as médias foram $44,81 \pm 45,44 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2014; $90,81 \pm 16,52 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2015, e; $38,80 \pm 46,80 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2016. A máxima e mínima concentração de MST nos invernos, ocorreram em 2015 ($311,00 \text{ mg.L}^{-1}$ e $10,00 \text{ mg.L}^{-1}$).

A média da concentração de MSI nos verões (Tabela 6.1) foi $23,48 \pm 16,64 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2014; $17,11 \pm 13,02 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2015, e; $8,06 \pm 7,65 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2016. A máxima concentração de MST igual a $94,70 \text{ mg.L}^{-1}$ ocorreu em 2014 e mínima $4,47 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2016. Nos invernos, as médias foram $23,78 \pm 18,95 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2014; $21,06 \pm 16,52 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2015, e; $19,69 \pm 8,63 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2016. A máxima e mínima concentração de MST nos invernos, ocorreram em 2015 ($85,75 \text{ mg.L}^{-1}$ e $8,03 \text{ mg.L}^{-1}$).

Os dados de MSO não foram analisados no SIG para minimizar o número final de mapas, uma vez que eles podem ser inferidos a partir dos mapas de distribuição do MST e MSI. Apesar disso, um resumo estatístico é apresentado na Tabela 6.1, assim como seus mapas de distribuição no APÊNDICE A. A média das concentração obtidas nos verões foram, $3,34 \pm 2,30 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2014; $46,21 \pm 89,49 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2015, e; $5,69 \pm 15,53 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2016. Nos invernos, as médias foram $21,03 \pm 42,38 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2014; $69,75 \pm 82,40 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2015, e; $19,11 \pm 42,64 \text{ mg.L}^{-1}$, em 2016.

Tabela 6.1 Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão das variáveis analisadas: clorofila-a em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; material em suspensão total (MST), inorgânico (MSI), orgânico (MSO) em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, durante as campanhas de verão e inverno do projeto MAArE em 2014, 2015 e 2016.

Campanhas		Clorofila-a (mg m^{-3})	MST (mg L^{-1})	MSI (mg L^{-1})	MSO (mg L^{-1})
Verão 2014	Mínimo	0,08	12,10	10,80	0,40
	Máximo	3,75	105,67	94,70	11,00
	Média	1,44	26,82	23,48	3,34
	DP	1,00	18,80	16,64	2,30
Inverno 2014	Mínimo	0,51	13,90	12,00	1,70
	Máximo	19,21	190,70	83,20	166,60
	Média	5,04	44,81	23,78	21,03
	DP	3,46	45,44	18,95	42,38
Verão 2015	Mínimo	0,64	5,49	4,62	0,87
	Máximo	24,75	534,00	57,60	479,80
	Média	4,94	63,32	17,11	46,21
	DP	4,37	95,03	13,02	89,49
Inverno 2015	Mínimo	0,37	10,00	8,03	1,97
	Máximo	15,20	311,00	85,75	291,00
	Média	3,57	90,81	21,06	69,75
	DP	2,96	16,52	16,52	82,40
Verão 2016	Mínimo	0,58	3,13	2,47	0,67
	Máximo	13,98	90,10	38,60	81,20
	Média	4,35	13,75	8,06	5,69
	DP	3,29	17,89	7,65	15,53
Inverno 2016	Mínimo	0,53	12,55	10,65	0,27
	Máximo	9,82	245,57	52,18	199,57
	Média	3,88	38,80	19,69	19,11
	DP	2,64	46,80	8,63	42,64

6.4. Estado trófico

A Figura 6.6 mostra a porcentagem do estado trófico para todas as profundidades e campanhas. Associando essa análise às Figura 6.3 a Figura 6.5, observa-se uma tendência a situações opostas entre superfície e fundo, nos verões e invernos. Nos verões, a superfície foi basicamente classificada entre oligotrófica e mesotrófica. Na profundidade intermediária, em geral a classificação ficou entre mesotrófica a supereutrófica. No fundo o estado trófico modificou-se ao longo dos anos, com 2014 classificado como oligotrófico; 2015, eutrófico; e 2016, como supereutrófico.

No inverno (Figura 6.6) a superfície foi classificada de supereutrófica a eutrófica, e o oposto ocorre no fundo, em que a classificação ficou entre oligotrófica e mesotrófica.

A Figura 6.7 indica o estado trófico das massas d'água durante os verões e invernos. Nos verões a ASTP foi classificada entre oligotróficas a eutróficas. A ACAS, foi classificada em 2014, 2015 e 2016 como mesotrófica, eutrófica e supereutrófica, respectivamente. É importante observar que em 2014 a ACAS ocorreu de forma pontual, no fundo das estações mais distantes da costa. E a AT que ocorreu de forma pontual em 2014 como mesotrófica, e em 2015 e 2016 se apresentou como eutrófica e supereutrófica, respectivamente. No verão de 2016, uma pluma de baixa salinidade do rio Tijucas foi observada, a qual foi predominantemente mesotrófica.

No inverno de 2014 a ASTP foi na maior parte eutrófica a supereutrófica, enquanto nos anos seguintes se caracterizou por ser predominantemente oligotrófica (Figura 6.7). No mesmo período as PRT, CN e APP se caracterizaram na maior parte como eutrófica a supereutrófica.

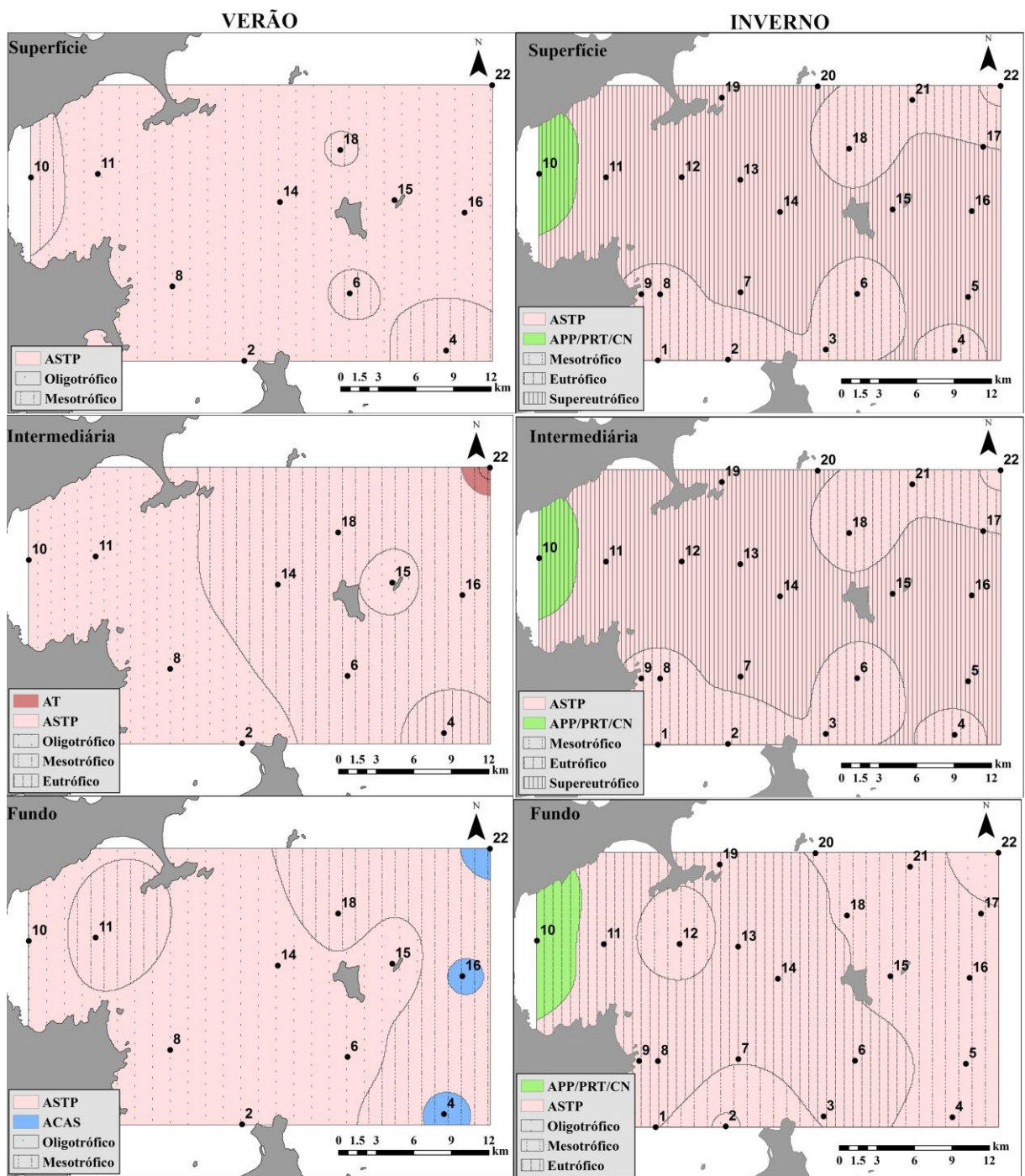


Figura 6.3 Distribuição espacial das massas d'água e do estado trófico na área de estudo durante as campanhas de verão e inverno de 2014.

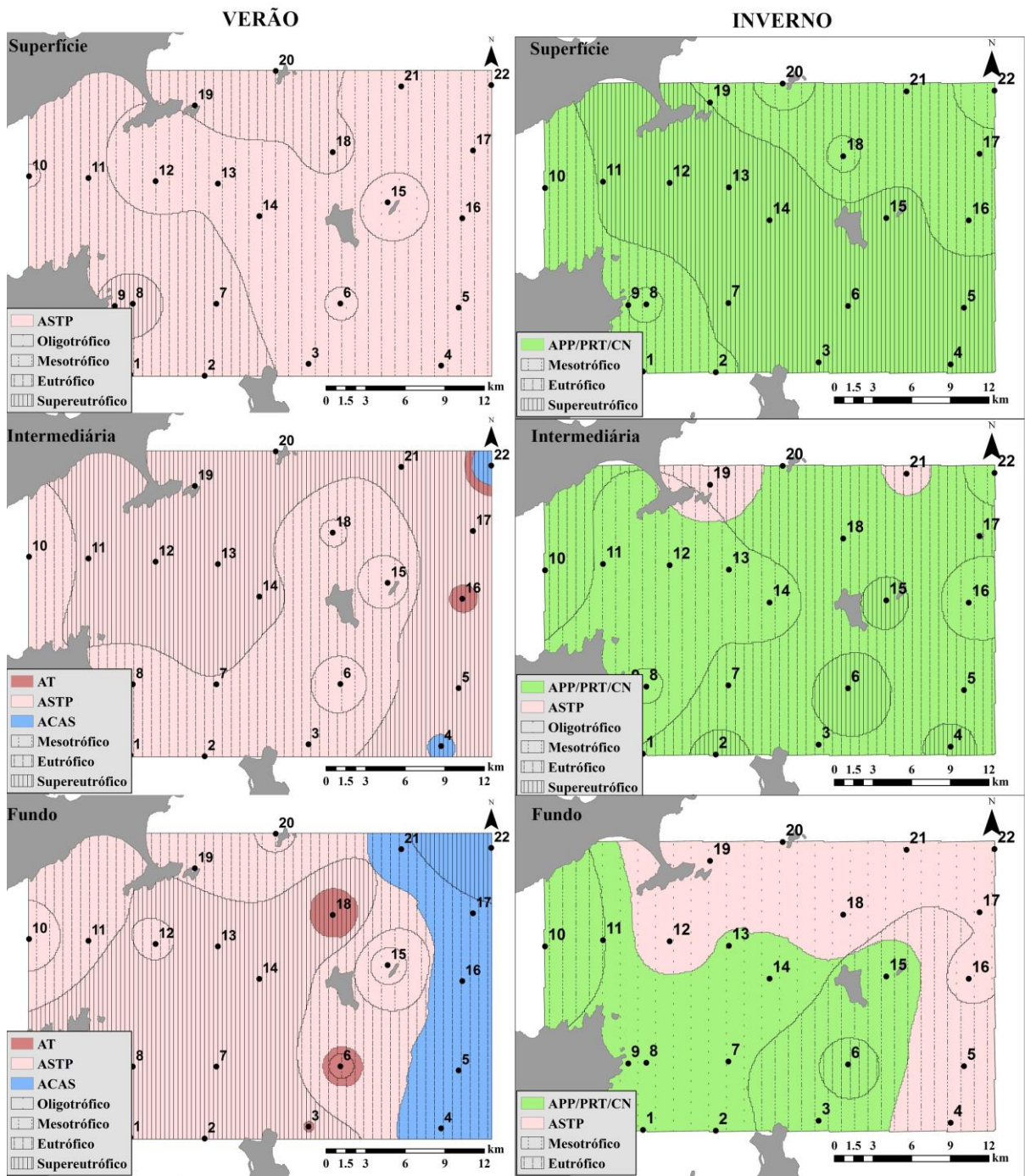


Figura 6.4 Distribuição espacial das massas d'água e do estado trófico na área de estudo durante as campanhas de verão e inverno de 2015.

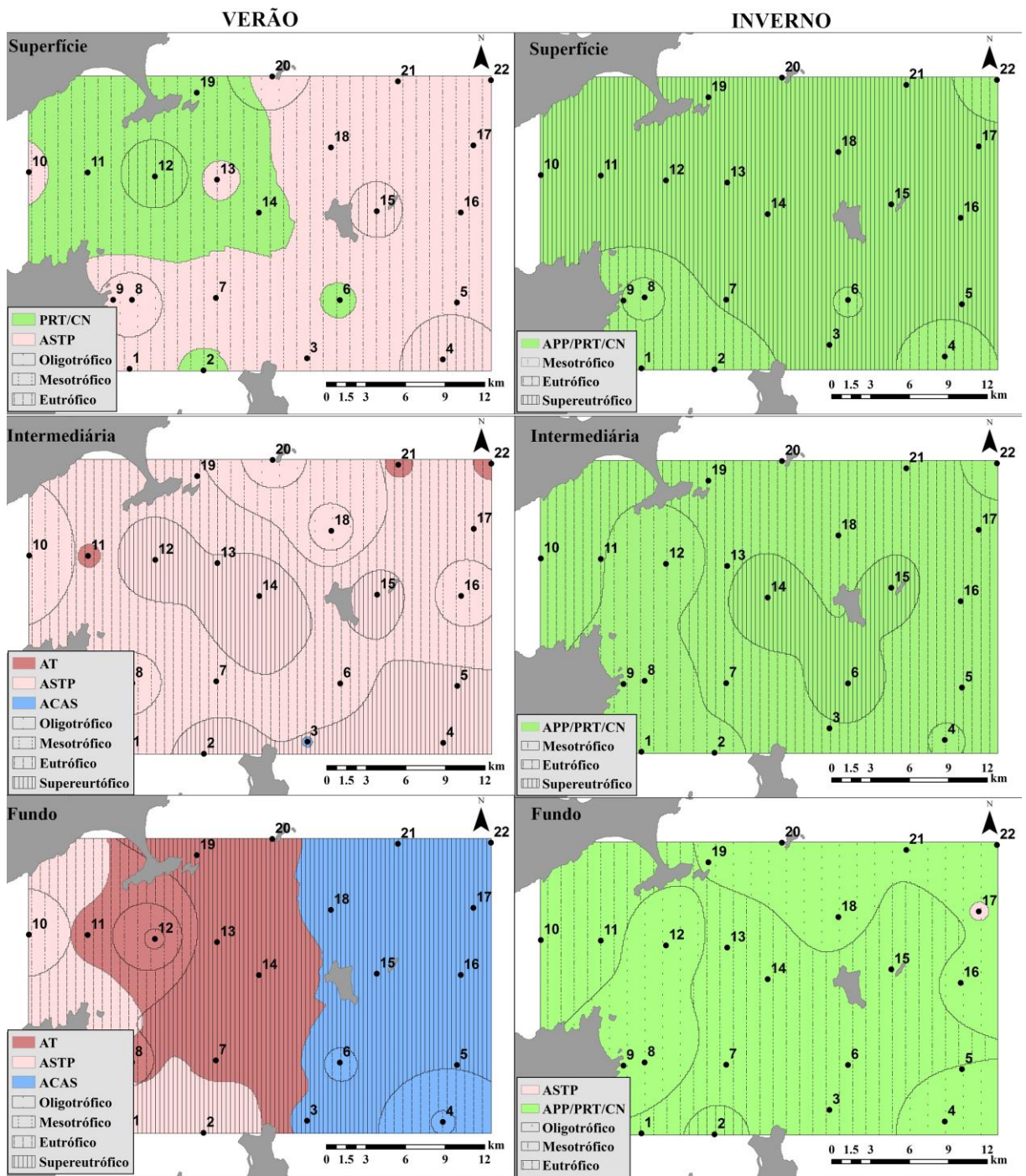


Figura 6.5 Distribuição espacial das massas d'água e do estado trófico na área de estudo durante as campanhas de verão e inverno de 2016.

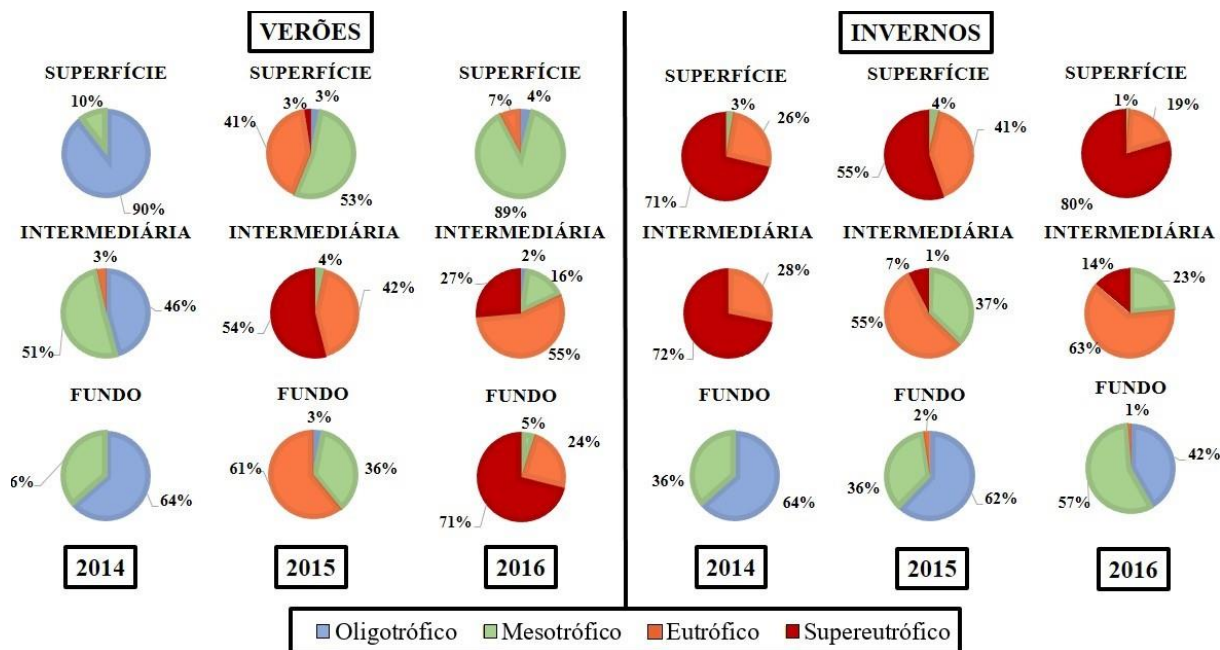


Figura 6.6 Porcentagem do estado trófico por profundidade (superfície, intermediária e fundo), durante os verões e invernos de 2014, 2015 e 2016.

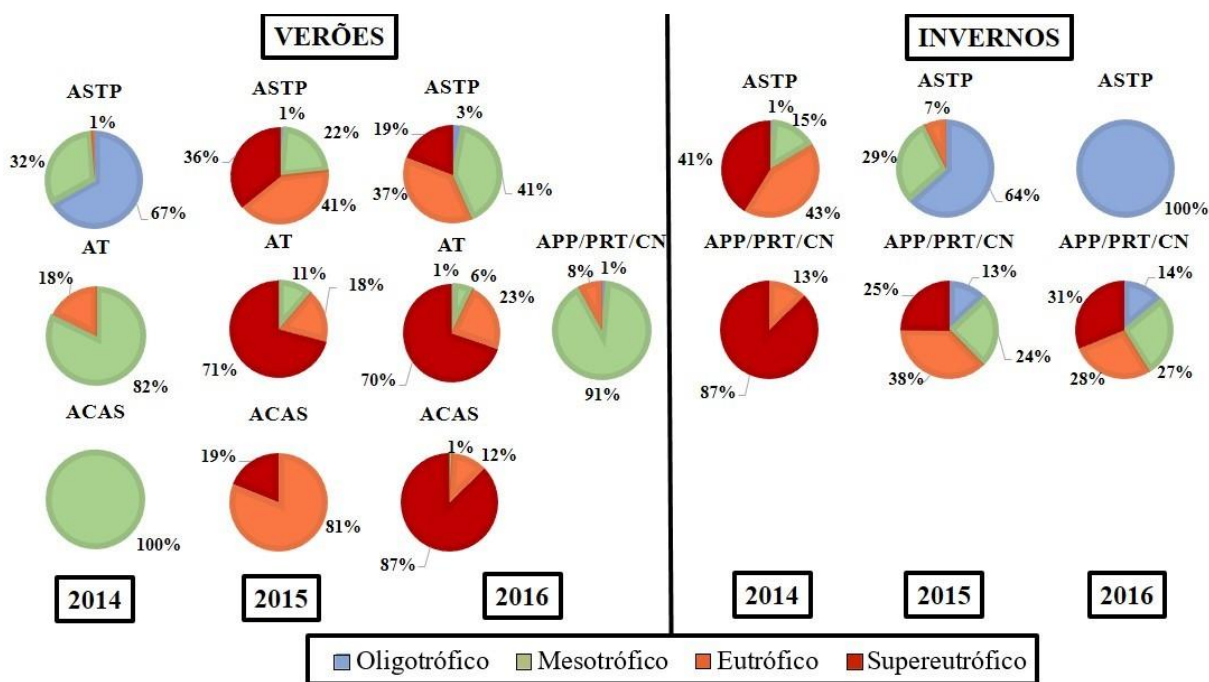


Figura 6.7 Porcentagem do Estado Tróficos por massas d'água durante os verões e invernos, de 2014, 2015 e 2016.

6.5. Massas d'água e material em suspensão

6.5.1. Material em Suspensão Total (MST)

As Figura 6.8 a Figura 6.10, apresentam a distribuição espacial das classes de concentração de MST sobrepostas às massas d'água. A Figura 6.11 apresenta as porcentagens das classificações de MST por profundidade durante todas as campanhas. Durante os verões a coluna d'água apresentou, de modo geral, alta concentração de material em suspensão, com exceção da superfície e profundidade intermediária em 2016, com predominância de baixa concentração de MST. Destaca-se a porção intermediária em 2015, com predomínio de muito alta concentração. Durante os invernos, foi possível observar a hegemonia das classes alta e muito alta em todas as profundidades. Apenas em 2016, na superfície e na camada intermediária, destacou-se também a presença de média concentração.

A porcentagem da ocorrência das classes de MST durante todas as campanhas em relação às massas d'água são apresentadas na Figura 6.12. As Figura 6.8 a Figura 6.10 apresentam a distribuição espacial das massas d'água com as classes de MST sobrepostas, auxiliando na interpretação dos resultados. Durante os verões não ocorreu um padrão na distribuição das classes de MST em relação às massas d'água. Em 2014, a ASTP, AT e ACAS foram classificadas entre média e alta (Figura 6.8), e na sua distribuição horizontal houve um gradiente alta-média entre costa e o oceano (Figura 6.9). Em 2015, concentrações muito altas na superfície ocorreram na baía de Tijucas e na saída do CN; também muito alta em toda a porção interna e média na profundidade intermediária; e no fundo a maior parte alta, mas muito alta também na baía de Tijucas e na porção sudeste da área (Figura 6.10). Em 2016 a ASTP foi classificada em sua maioria com baixa concentração, a AT como alta, a ACAS na maior parte, mas com frações importantes de média e alta concentração. A influência da pluma de baixa salinidade presente nesta estação, no caso a PRT (Figura 6.10), apresentou também predominantemente baixa concentração de MST.

Em contrapartida ao verão, os invernos apresentaram característica semelhante na distribuição das classes de MST por massa d'água na região nos três anos (Figura 6.12). De forma geral a predominância das classes alta e muito alta, tanto na ASTP, quanto nas massas denominadas APP/PRT/CN. No entanto sua distribuição espacial das classes de concentração

de MST não foi similar entre os anos (Figura 6.8 a Figura 6.10). Em 2014, não houve padrão na distribuição das classes na superfície, mas na profundidade intermediária e de fundo observou-se aumento das concentrações do sul, em direção ao norte. Em 2015 foi observado decréscimo das concentrações em direção a costa, com destaque para menores classes observadas próximas ao Rio Tijuca. Por fim, em 2016 em toda a coluna d'água também não foi observado padrão de distribuição associado aos aportes de água locais, com a superfície variando de média a alta concentração de MST, a profundidade intermediária de média a muito alta, e o fundo de alta a muito alta concentração de MST.

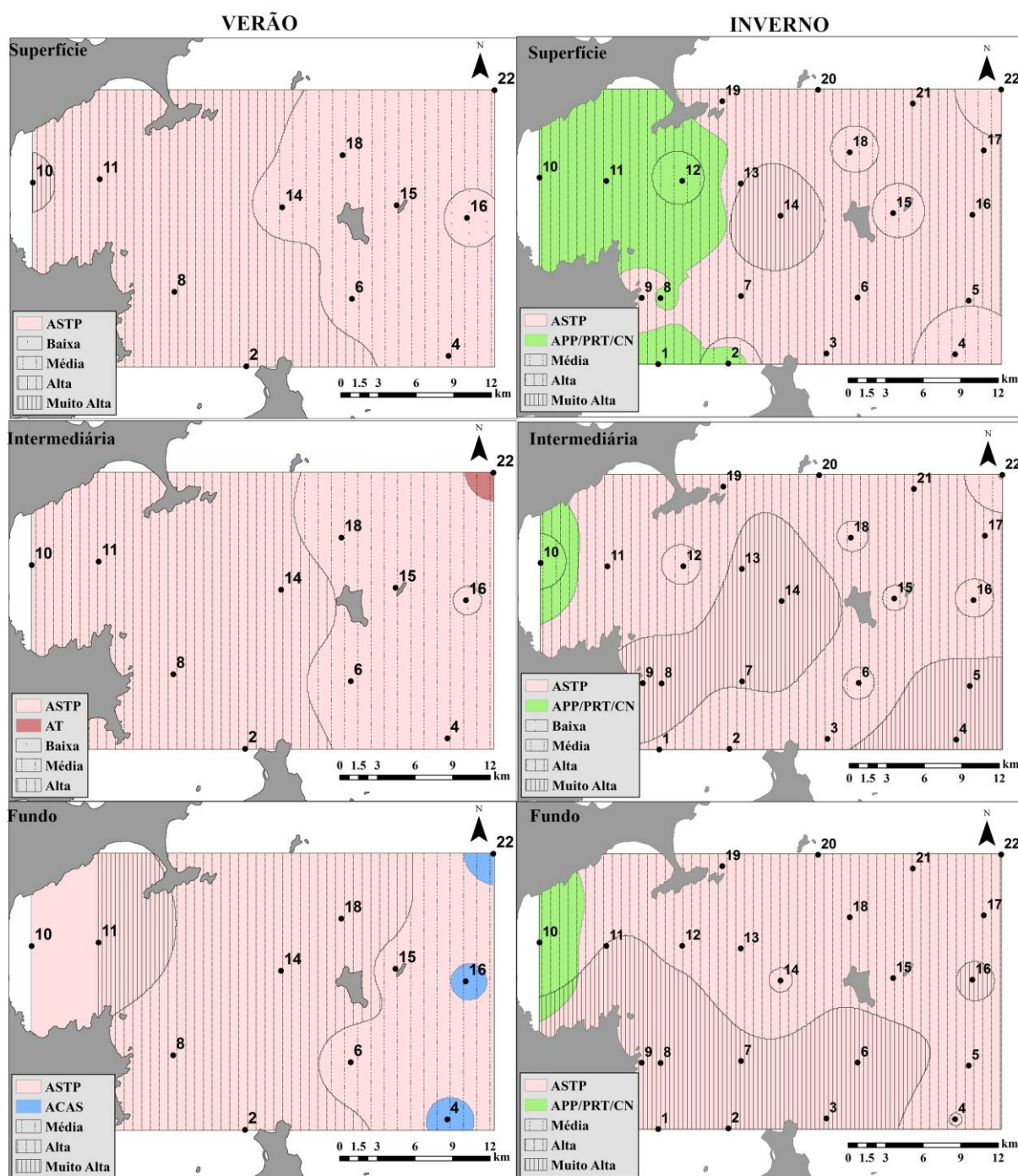


Figura 6.8 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MST na área de estudo no verão e inverno de 2014.

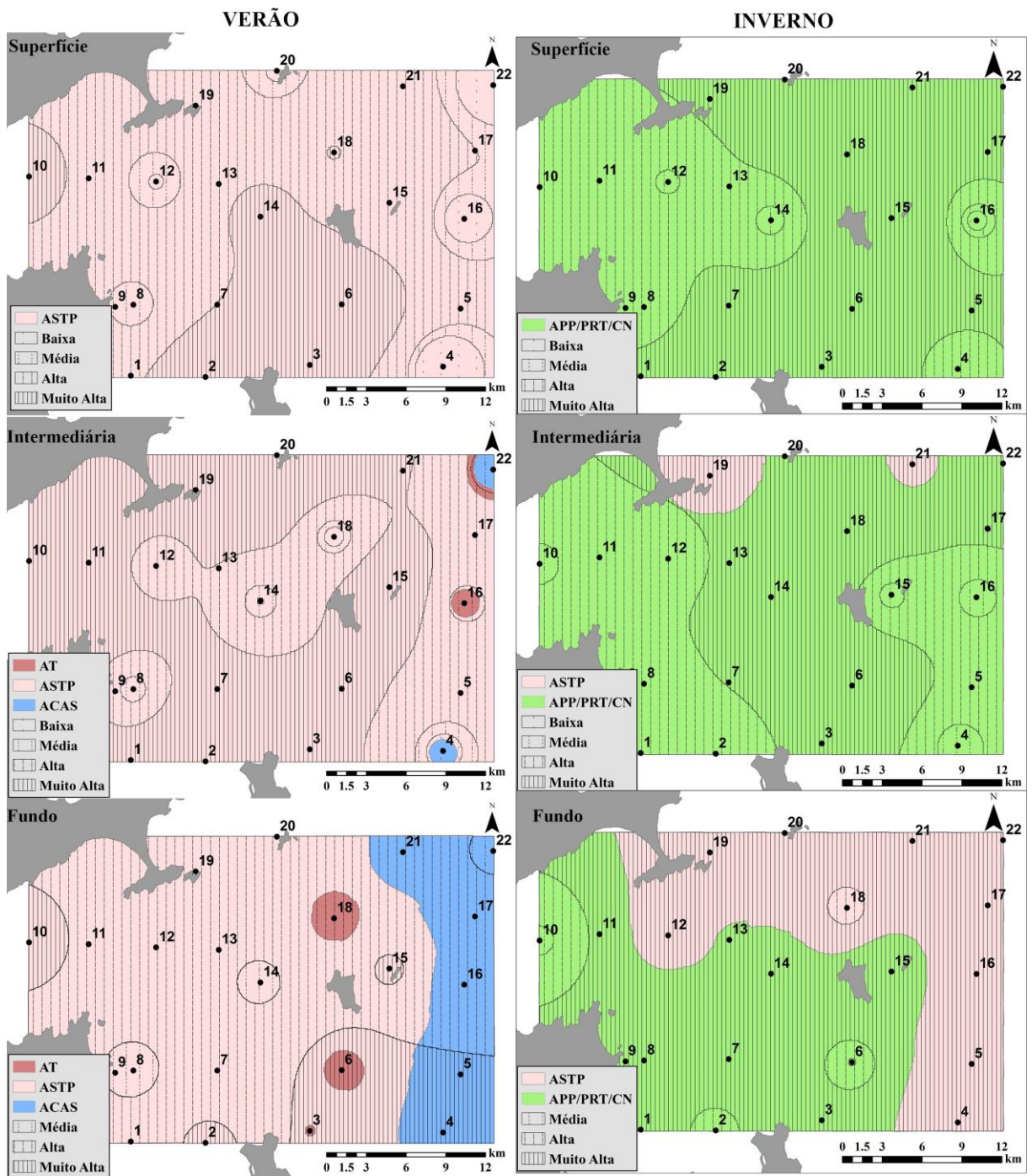


Figura 6.9 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MST na área de estudo no verão e inverno de 2015.

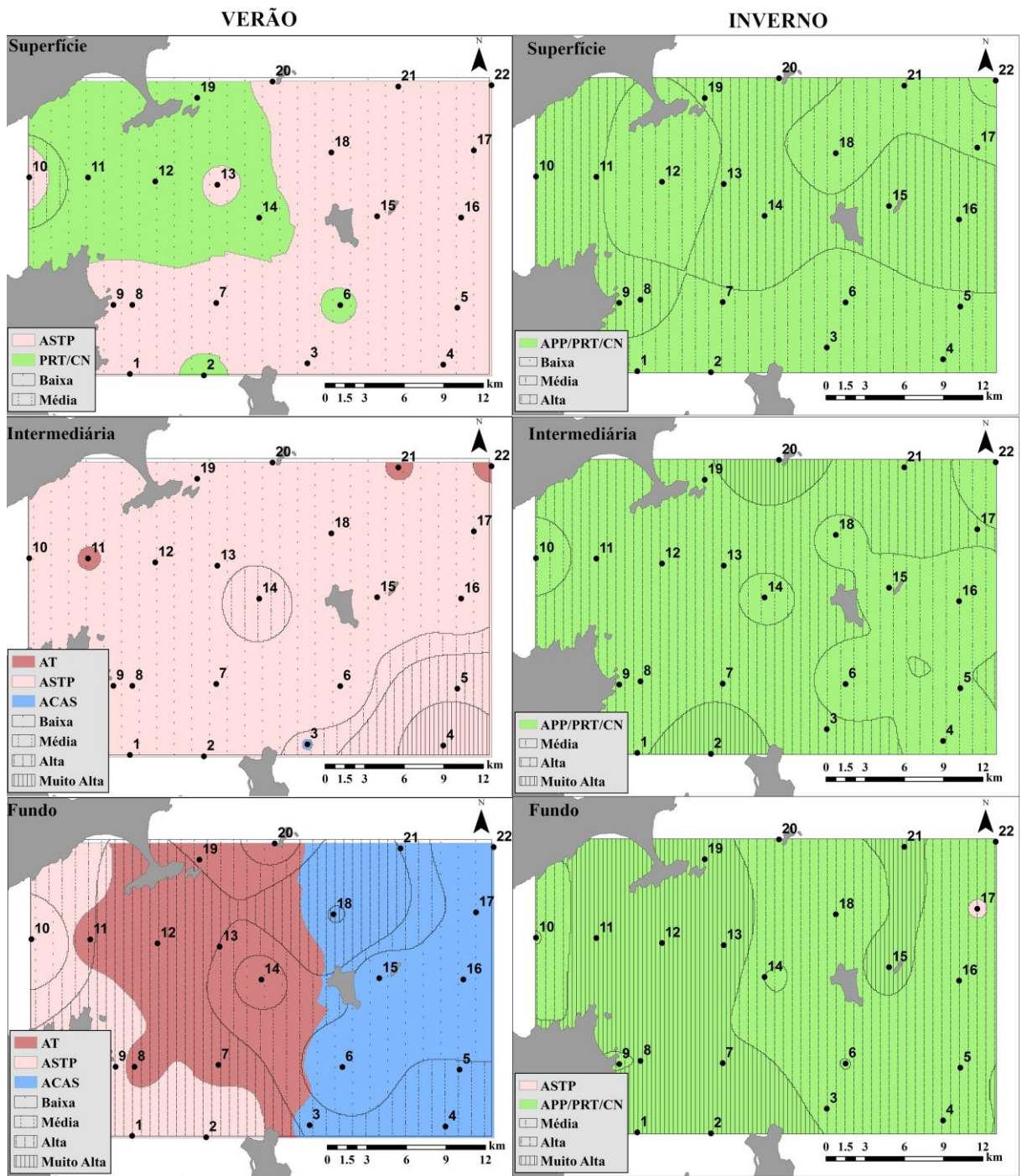


Figura 6.10 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MST na área de estudo no verão e inverno de 2016.

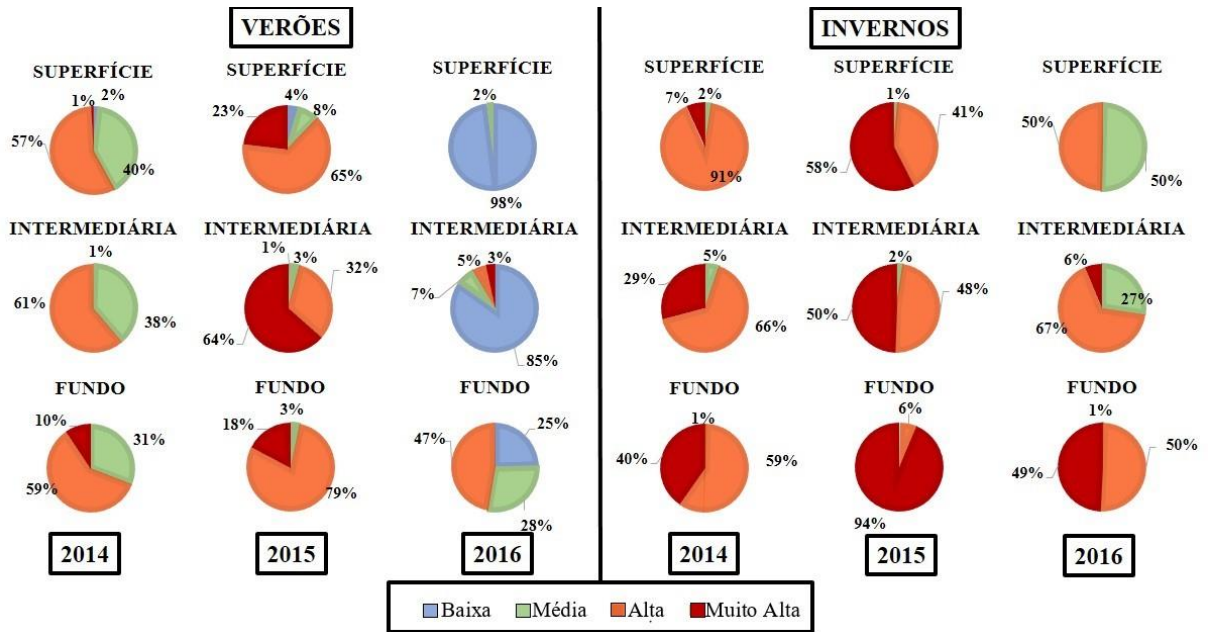


Figura 6.11 Porcentagem das classes de concentração de MST por profundidade (superfície, intermediária e fundo), durante os invernos e verões de 2014, 2015 e 2016.

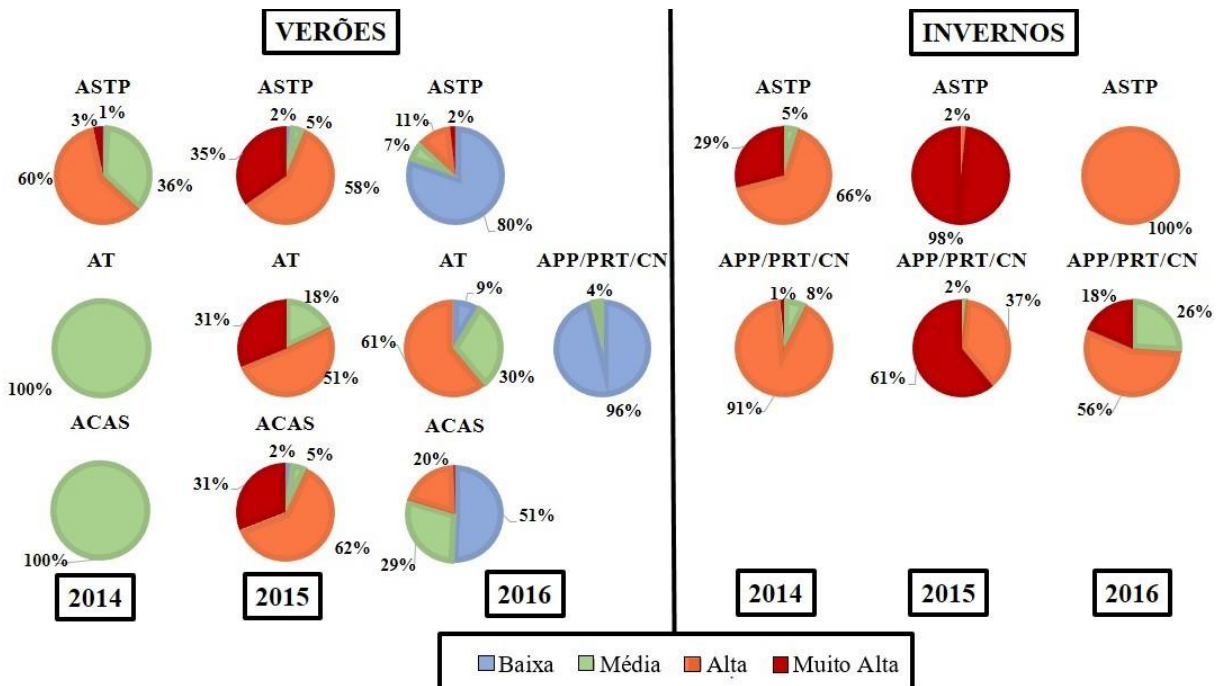


Figura 6.12 Porcentagem das classes de concentrações de MST por massas d'água durante os verões e invernos, de 2014, 2015 e 2016.

6.5.2. Material em Suspensão Inorgânico (MSI)

A distribuição espacial do MSI é ilustrada nas Figura 6.13 a Figura 6.15 e a porcentagem das classes de MSI conforme a profundidade é a ilustrada na Figura 6.16. Durante as campanhas de verão, assim como as classes de MST, não houve um padrão na distribuição do MSI. Em 2014, toda a coluna d'água foi classificada entre alta e muito alta concentração de MSI e assim como o MST, sua distribuição espacial apresentou destaque para o gradiente entre a costa e oceano. Em 2015, praticamente metade da superfície apresentou baixa concentração, com pequena parcela alta e muito alta. A concentração aumentou em direção ao fundo, com maioria classificada como média, na porção intermediária; e alta e muito alta no fundo. A distribuição horizontal do MSI foi semelhante ao ano anterior. O ano de 2016 foi caracterizado, por baixa concentração de MSI na coluna d'água como um todo, no entanto, no fundo houve um aumento das concentrações, atingindo 22% da classificação muito alta.

Em relação a distribuição por massa d'água (Figura 6.17), assim como para o MST (Figura 6.12) não houve um padrão de distribuição entre os diferentes anos durante os verões, e feições distintas puderam ser observadas. No verão de 2014 (Figura 6.17), na ASTP foram predominantes as classes alta e muito alta; na AT média, e; na ACAS entre média e alta. Em 2015, ASTP e AT apresentaram todas as classes distribuídas aproximadamente de forma igualitária e mesmo padrão de distribuição espacial registrada no verão anterior, como dito previamente. No entanto a ACAS, foi caracterizada com alta concentração de MSI. Em 2016, foram observadas as menores concentrações de MSI em todas as massas, apenas a AT, apresentou classificações mais elevadas.

Durante os invernos, de modo geral, o MSI apresentou alta e muito alta concentração. Porém, a superfície de 2014 e 2015, apresentou na maior parte as classes baixa e média, respectivamente (Figura 6.16), com as altas concentrações associadas a PRT e CN, como pode ser observado nos mapas de distribuição horizontal (Figura 6.13 e Figura 6.14) e nos gráficos de distribuição das classes de MSI por massa d'água (Figura 6.17). Outra ressalva aconteceu na profundidade intermediária em 2015, cuja predominância foi da classe média de concentração de MSI, e assim como a superfície, as altas e muito altas concentrações estiveram associadas ao CN e PRT. Em 2016 toda a coluna d'água apresentou concentração alta a muito alta. No

fundo, a distribuição das classes de MSI foi similar nos três anos, com concentração alta na maior parte sobre toda a área.

Desta maneira, diferente do verão, no inverno foi possível observar um padrão similar entre os anos: na superfície foi possível notar a influência de águas continentais principalmente da PRT e CN relacionadas às mais altas concentrações. Na porção intermediária, observou-se a influência da região sul da área de estudo, incluindo o CN. Por último, no fundo altas e muito altas concentrações se distribuíram de forma homogênea, possivelmente relacionadas a ressuspensão do material de fundo.

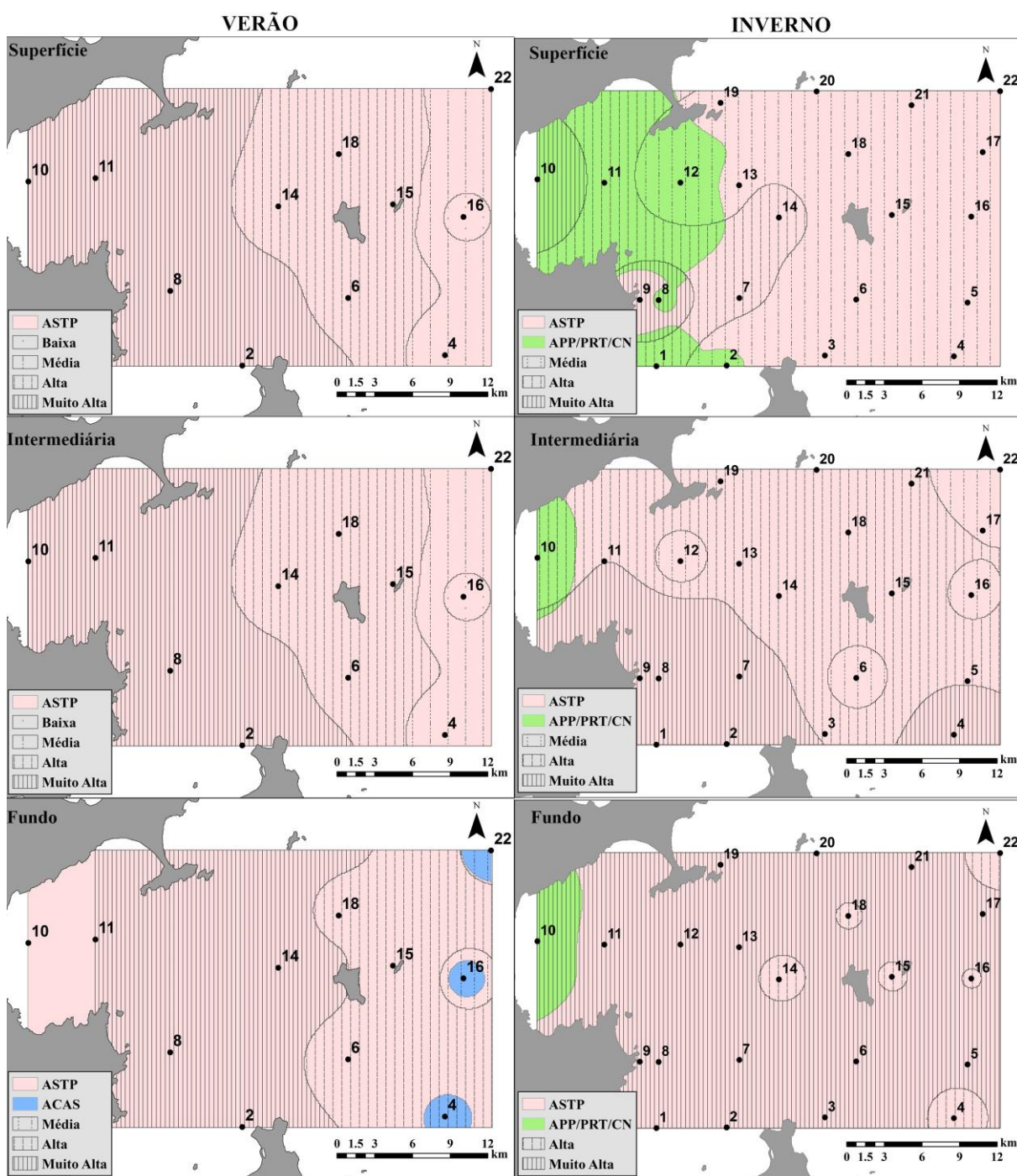


Figura 6.13 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MSI na área de estudo no verão e inverno de 2014.

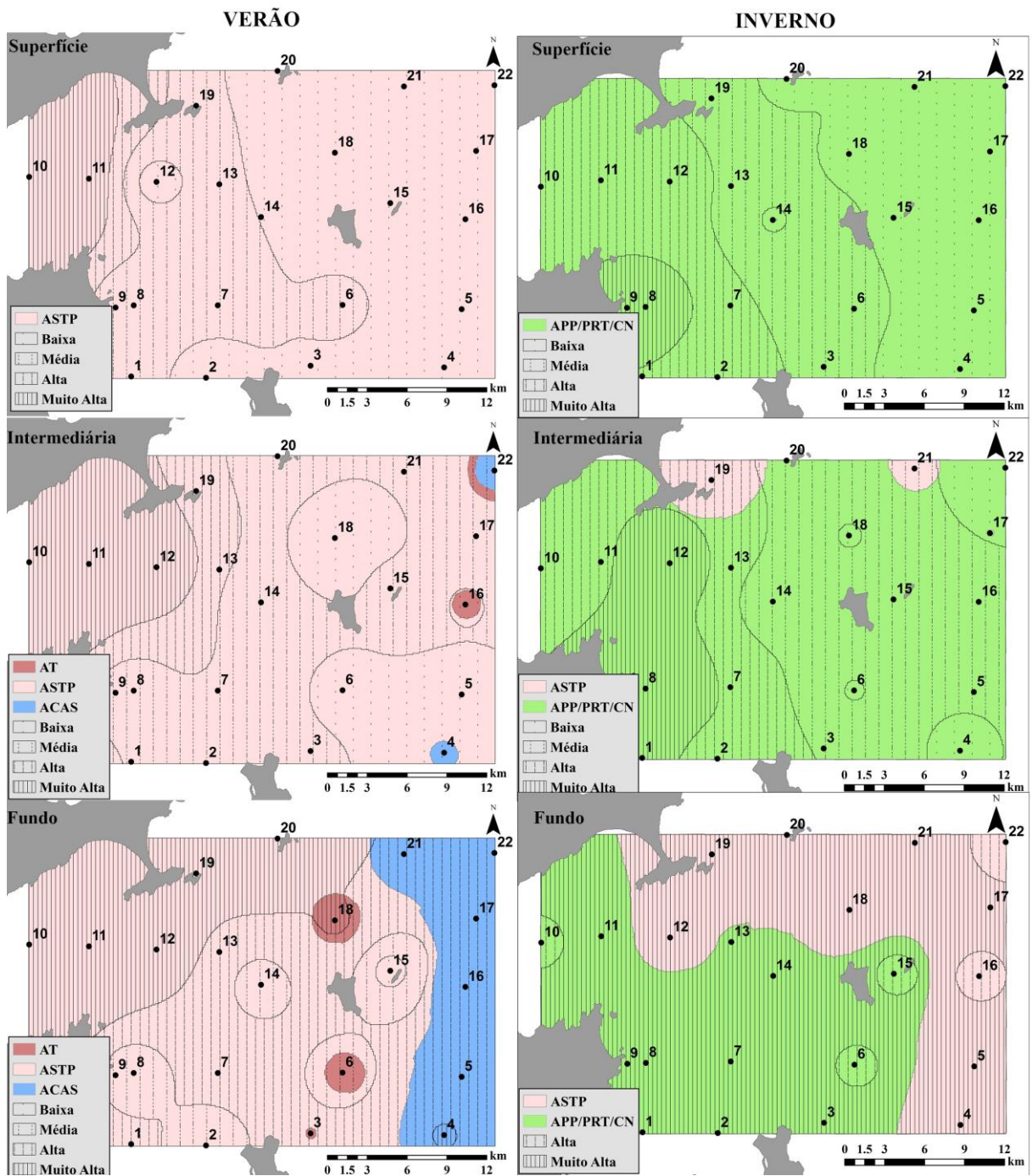


Figura 6.14 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MSI na área de estudo no verão e inverno de 2015.

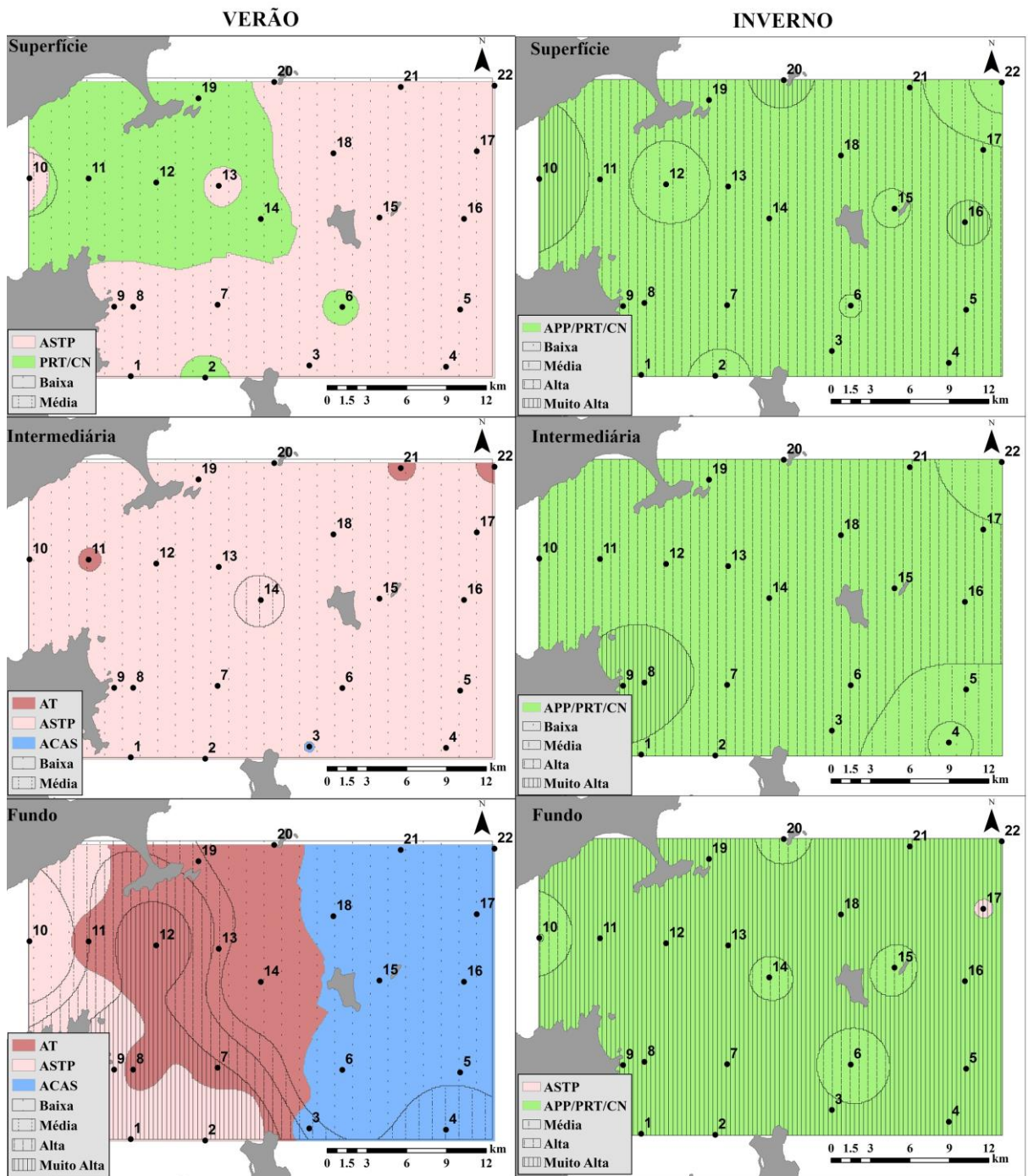


Figura 6.15 Distribuição espacial das massas d'água e das classes de concentração de MSI na área de estudo no verão e inverno de 2016.

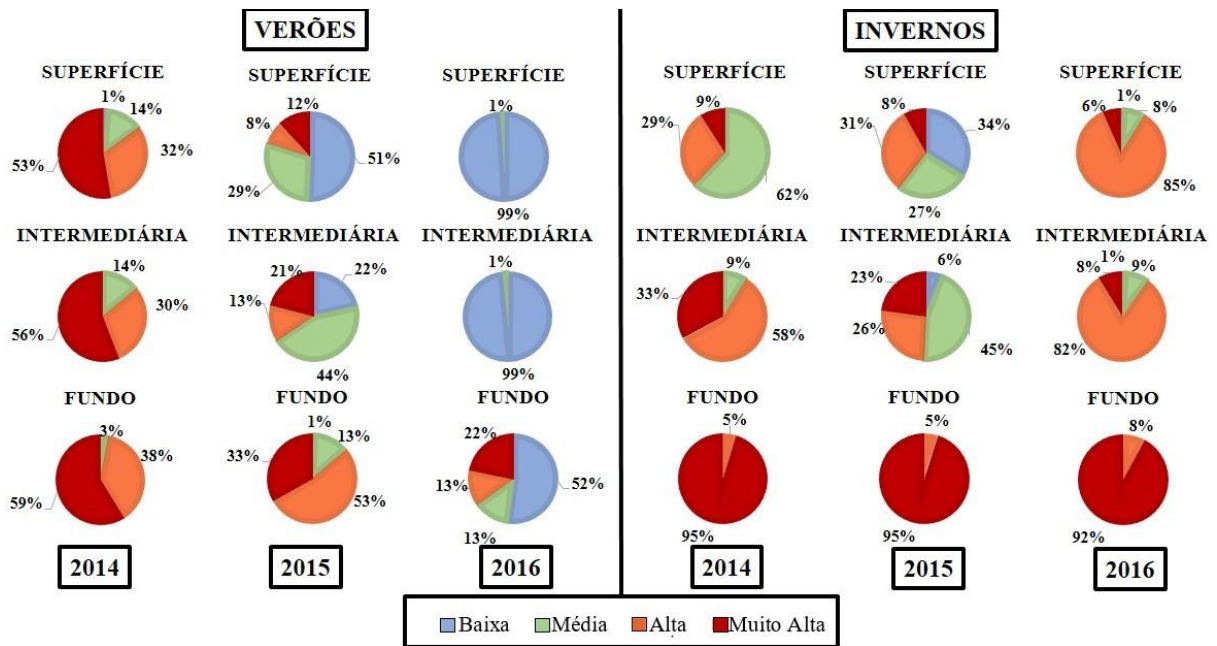


Figura 6.16 Porcentagem das classes de concentração de MSI por profundidade (superfície, intermediária e fundo), durante os invernos e verões de 2014, 2015 e 2016.

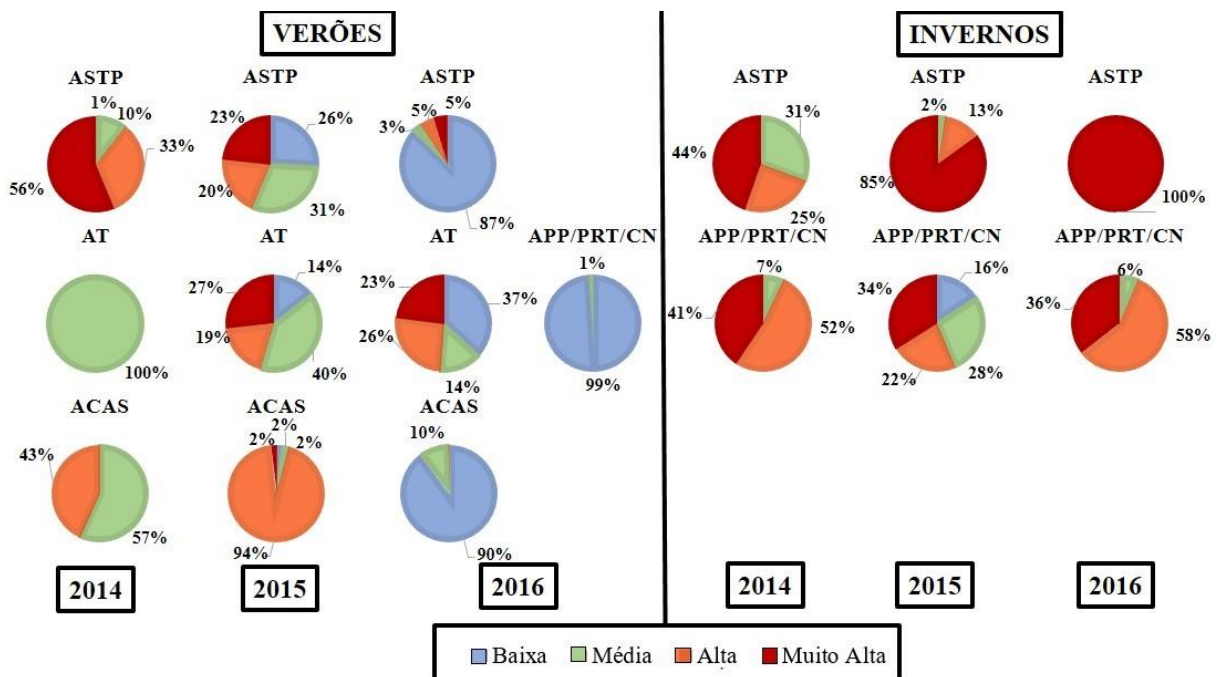


Figura 6.17 Porcentagem das classes de concentrações de MSI por massas d'água durante os verões e invernos, de 2014, 2015 e 2016.

7. Discussão

Os resultados mostram uma variabilidade sazonal dos parâmetros temperatura e salinidade, e conseqüentemente da presença das massas de água na região, corroborando com os resultados obtidos por Amorim (2013) que estudou a hidrodinâmica e as propriedades físicas no entorno da REBIO, identificando a ACAS, AT, e a classificação mais generalizada, Água Costeira uma vez que utilizou índices termohalinos distintos para a classificação. Os resultados mostraram ainda que essa variabilidade afeta a distribuição da biomassa fitoplanctônica e o material em suspensão na região.

Durante o verão essa influência fica mais evidente com a intrusão da ACAS que é comum nesta época do ano devido a intensificação de ventos nordeste na Plataforma Continental Sudeste interna e média (MOLLER et al. 2008; CASTRO FILHO et al. 2006). A ACAS, ao atingir a zona eufótica, é responsável por enriquecer em nutrientes a coluna d'água e assim tende a aumentar a produção primária na região (AIDAR et al., 1993; MOLLER Jr, 2008), como foi observado nos verões de 2015 e 2016, em que esta se caracterizou predominantemente como eutrófica a supereutrófica. Verifica-se então que nestes anos a ressurgência costeira ocorreu, sendo responsável pelo aumento da biomassa fitoplanctônica na região. Mas não podemos deixar de considerar o fato da campanha de verão/2014 ter sido realizada mais tardiamente que em 2015 e 2016.

Diferenças interanuais também foram observadas, o que pode sugerir diferentes fenômenos oceanográficos ocorrendo simultaneamente sobre a região. No verão de 2016 foi observada uma mais forte penetração horizontal da ACAS, alcançando toda a região da REBIO, o que não ocorreu nos outros anos, além de uma forte presença da AT, que nos anos anteriores ocorreu de forma mais discreta. No mesmo período também foi registrada uma marcada pluma do rio Tijucas na superfície. O efeito deste contato entre três massas d'águas distintas foi o aumento da biomassa fitoplanctônica em profundidade intermediária e fundo, decorrente do enriquecimento proporcionado pela PRT e ACAS, e baixa concentração de material em suspensão, decorrente do avanço da AT. Assim, embora a AT seja uma massa d'água oligotrófica, como já bem descrito na literatura (AIDAR et al., 1993; CIOTTI et al., 1995; GIANESELLA, 2000), neste caso específico, devido ao contato com duas massas d'água ricas em nutrientes (PRT e ACAS), aliada a menor concentração de MS, ela teve sua produção

fitoplanctônica aumentada e se apresentou como supereutrífica. Uma condição similar foi observada por Smith & Demaster (1993) na zona de transição entre a pluma do Rio Amazonas e águas oceânicas oligotróficas adjacentes. Nesta zona intermediária, a concentração de MS não é tão alta para impedir a fotossíntese, mas ainda há aporte de nutrientes de origem continental, levando ao aumento da biomassa fitoplanctônica em massas d'água originalmente oligotróficas.

Quanto a distribuição do material em suspensão, tanto total quanto inorgânico, o Rio Tijucas se mostrou a principal fonte durante os verões de 2014 e 2015, juntamente com o canal norte da Ilha de Santa Catarina, que também aparece como importante fonte de MSI para a região da REBIO. Enquanto o verão de 2016 apresentou de forma geral baixas concentrações. Estes aportes continentais são importantes para a produção primária local devido a sua relação com a disponibilidade de luz e o subsídio de nutrientes para os organismos fotossintetizantes (CIOTTI et al., 1995). Esta relação fica clara a medida que se compara a baixa profundidade da ZEU, nas regiões mais próximas destes aportes continentais.

Outra possível fonte de material em suspensão na porção norte da área de estudo pode ser a pluma do rio Itajaí-Açu. Embora a malha amostral utilizada no presente estudo não permita demonstrar claramente sua presença, Campos et al. (2013) associou a presença de menores salinidades na região da plataforma de Santa Catarina ao fluxo da pluma do Rio Itajaí-Açu, localizado ao norte da área de estudo, em direção ao sul, até o Cabo de Santa Marta Grande. É possível sugerir a presença dessa pluma na superfície do verão de 2016, além da Pluma do Rio Tijucas, uma vez que Chludinski (2002) constatou que esta tende a ficar restrita dentro da Baía de Tijucas, e a região de baixa salinidade observada neste ano também ocorreu próxima a Ilha das Galés.

No inverno, a região da REBIO e entorno sofre forte influência de águas continentais, de origem local e remota, enquanto as massas de água mais oceânicas como a AT e ACAS recuam para a quebra da plataforma continental (CASTRO FILHO et al. 1998). Em 2014 a pluma de baixa salinidade teve origem local, no rio Tijucas e canal norte da Ilha de Santa Catarina, enquanto em 2015 e 2016 além da pluma de baixa salinidade local, a região também foi influenciada pela APP, de origem remota. A presença da APP na PCSE durante o inverno vem sendo descrita por diversos autores (PIOLA, 2002; PIOLA et al., 2005; GARCIA et al., 2008; MOLLER et al., 2008).

Durante o inverno, a Pluma do Rio do Prata funciona como um agente fertilizador na região, carregando grande quantidade de matéria orgânica de origem continental, o que pode indicar os valores mais elevados da biomassa fitoplanctônica e de material em suspensão total nesta estação (PIOLA et al., 2008; MOLLER et al., 2008). Além disso, a presença de ventos de quadrante sul nesta época, que ao mesmo tempo empurram a pluma em direção a menores latitudes (MOLLER et al., 2008), também causam maior mistura da coluna d'água e podem levar a ressuspensão de material inorgânico, diminuindo assim a profundidade da ZEU. Portanto, apesar do aumento do estado trófico durante o inverno, essa biomassa fica confinada nos primeiros metros da coluna d'água, como foi observado na superfície e profundidade intermediária, que foram predominantemente eutrófica a supereutrófica no inverno. Com uma pequena ZEU, o fundo é limitado pela luz, o que leva a um decréscimo da biomassa fitoplanctônica, sendo predominantemente oligotrófico a mesotrófico (CIOTTI et al., 1995).

Eventos como El Niño e La Niña são outros fatores que devem ser considerados durante a análise da distribuição das propriedades, uma vez que estes podem alterar o padrão sazonal das mesmas na área de estudo (PIOLA et al., 2005; CIOTTI et al., 1995). Machado et al. (2013), assim como Ciotti et al. (1995), concluem que estes fenômenos influenciam a distribuição da clorofila-a na plataforma continental sul-sudeste brasileira, relacionando-a com a posição de frentes oceânicas e plumas.

Apesar de ainda não terem estudos que mostrem associação entre o deslocamento da pluma do rio da Prata com o forte El Niño registrado em 2015/2016 (NOAA, 2015), os resultados mostraram forte presença da APP na região no inverno de 2016, dominando toda a coluna d'água. Existe na literatura um questionamento sobre os efeitos que estes fenômenos podem causar, pois em cada ano em que ocorreram tiveram consequências diferentes. Em teoria, o fenômeno estaria relacionado ao aumento na vazão do Rio da Prata em resposta ao forte volume de chuvas na América do Sul o que aumentaria a extensão da APP em direção ao norte (PIOLA, 2002). No entanto, alguns trabalhos indicam que a resposta atmosférica ao fenômeno, com a intensificação de ventos de quadrante nordeste, tendem a contrabalancear a extensão da pluma em direção ao norte, mas estendendo-a em direção ao oceano aberto (PIOLA, 2002; PIOLA et al., 2005; MACHADO et al. 2013).

8. Conclusões

Os principais responsáveis pelo aumento da biomassa fitoplanctônica na região, são a pluma do Rio Tijucas e a intrusão da ACAS sob a plataforma continental durante os verões; e durante os invernos, o aporte do Canal de Norte da Ilha de Santa Catarina, a pluma do rio Tijucas e a Pluma do Prata. E todos estes processos ocorrem não só no entorno, mas dentro da área da REBIO.

As águas de origem continental determinam a dispersão de material em suspensão na região. Assim, ora este material atua como agente fertilizante para a produção primária local, ora atua como limitante da disponibilidade de luz para os indivíduos fotossintetizantes, diminuindo a profundidade da zona eufótica, permitindo a fotossíntese apenas nos primeiros metros da coluna d'água.

Os resultados reforçam a importância da utilização de Sistemas de Informação Geográfica na análise de dados oceanográficos, permitindo análises espaciais entre as diversas camadas de informação, e a visualização clara e objetiva dos resultados, facilitando a interpretação dos mesmos e utilização pelos órgãos gestores.

Uma análise mais completa do estado trófico das águas no entorno da REBIO poderá ser alcançada com a inclusão dos dados de nutrientes ao índice de estado trófico utilizado, os quais foram levantados simultaneamente nas campanhas oceanográficas.

Por fim, sugere-se a integração dos dados obtidos com os dados meteorológicos, nutrientes e zooplâncton, para compreender a complexidade desse sistema e assim subsidiar a gestão da REBIO. Além disso, sugere-se a obtenção de maior série temporal de dados para associar a fenômenos de grandes escalas, como o El Niño e para entender a variabilidade oceanográfica interdecadal e suas possíveis consequências frente as mudanças climáticas globais.

9. Referências

- AIDAR, E.; GAETA, S. A.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; KUTNER, M. B. B.; TEIXEIRA, C. 1993. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. Publ. Esp. Inst. Oceanogr., v.10, p. 9-43.
- AMORIM, F. L. L. 2013. Hidrodinâmica e propriedades físicas das águas adjacentes à Reserva Biológica Marinha do Arvoredo -SC. 2013. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Oceanografia, Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013
- APHA (American Public Health Association). 1985. Standard methods for the examination of water and waste water. 16th ed. Washington, APHA, 1288p.
- BERHRENFELD, M.; FALKOWSKI, P. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology Oceanography*, v.42, p.1-20.
- BERLINK, R. G. S. *et al.* (mais 20 autores). 2004. Challenges and Rewards of Research in Marine Natural Products Chemistry in Brazil. *J. Nat. Prod.* 67: 510–522.
- BRAGA, E. S.; CHIOZZINI, V. C.; BERBEL, C. B. B.; MALUF, J. C. C.; AGUIAR, V. M. C.; CHARO, M.; MOLINA, D.; ROMERO, S. I.; EICHLER, B. B. 2008. Nutrient distributions over the Southwestern South Atlantic continental shelf from Mar del Plata (Argentina) to Itajaí (Brazil): Winter – summer aspects. *Cont. Shelf. Res.*, v. 28, p. 1649-1661.
- BRASIL. 1990 . Decreto nº 99142, de 12 de março de 1990. Cria, no Estado de Santa Catarina, a Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, e dá outras providências.
- BRASIL. 2000. *Lei 9.985*. Regulamenta o art. 225, parágrafo 1, incisos I, II, III, VII, XVII da Constituição Federal, institui o SNUC e dá outras providências.
- BRASIL. 2004. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de Manejo da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo: Encarte 1 – Contextualização da UC. Brasília. 295 p.

BRASIL. 2004. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de Manejo da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo: Encarte 4. Brasília. 100 p.

CAMPOS, P. C.; MOLLER, O. O.; PIOLA, A. R.; PALMA, E. D. 2013. Seasonal variability and coastal upwelling near Cape Santa Marta (Brazil). *Journal Of Geophysical Research: Oceans*, Rio Grande, v. 118, n. 3, p.1420-1433.

CARVALHO, M.; CIOTTI, A. M.; GIANESELLA, S. M. F.; SALDANHA-CORRÊA, F. M. P.; PERINOTTO, R. R. C. 2014. Bio-Optical Properties of the Inner Continental Shelf off Santos Estuarine System, Southeastern Brazil, and their Implications for Ocean Color Algorithm Performance. *Brazilian Journal Of Oceanography*, [s.l.], v. 62, n. 2, p.71-87. FapUNIFESP (SciELO).

CASTRO FILHO, B.M.; MIRANDA, L.B. 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf Located Between 4°N and 34°S - Coastal Segment (4,W). In: ROBINSON, A. R.; BRINK, K. H., (ed). *The Sea*. John Wiley & Sons, Inc., New York, v.11, p.209-251.

CASTRO FILHO, B.M.; LORENZETTI, J.A.; SILVEIRA, I.C.A; MIRANDA, L.B. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSHOWSKI, C.L.; MADUREIRA, L.S. (org) *O Ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil*, EDUSP, São Paulo, pp 11-120

CETESB. 2014. Governo do Estado de São Paulo (Org.). *Qualidade das águas salinas e salobras no Estado de São Paulo*. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2014. 154 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/salinas-salobras-2014-parte2.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2016.

CHLUDINSKI, Adriani Py. 2001. Integração de dados oceanográficos e de sensoriamento remoto na análise espacial de águas costeiras visado a setorização da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Baía de Tijucas, SC. 2001. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CIOTTI, A. M.; ODEBRECHT, C; FILLMANN, G; MOLLER JR, O. O. 1995. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Cont Shelf Res* 15: 1737-1756

DARECKI, M.; KACZMAREK, S.; OLSZEWSKI, J. 2005. SeaWiFS ocean colour chlorophyll algorithms for the Southern Baltic Sea. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 2, p. 247-260.

ESRI. How inverse distance weighted interpolation works. 2016. Disponível em: <<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>>. Acesso em: 27 out. 2016.

NOAA. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. . Strong El Niño sets the stage for 2015-2016 winter weather. 2015. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/stories2015/101515-noaa-strong-el-nino-sets-the-stage-for-2015-2016-winter-weather.html>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

GARCIA, C. A. E.; GARCIA, V. M. T. 2008. Variability of chlorophyll-a from ocean color images in the La Plata continental shelf region. *Science direct: Continental Shelf Research*, Rio Grande, n. 28, p. 1568-1578.

GARRISON, T. 2010. *Fundamentos de Oceanografia*. 4ª ed. Cengage Learning. São Paulo. 426 p.

GARVINE, R.W. 1987. Estuary Plumes and Front in Shelf Waters: A Layer Model. *Journal Of Physical Oceanography*, Delaware, v. 17, n. 1, p.1877-1896, 1987.

GIANESELLA, S. M. F. 2000. Variabilidade da camada de clorofila máxima na região de quebra de Plataforma Continental Sudeste Brasileira. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Departamento de Oceanografia Biológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. 166 f.

GELL, F. R.; ROBERTS, C. M. 2003. Benefits beyond boundaries: the fishery effects of marine reserves. *Trends In Ecology And Evolution*, York, v. 0, n. 0, p.1-8.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. 1983. Methods of sea water analysis. 2^a ed. Basel, Verlag Chemie. 419 p.

ICMBio. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. . Unidades de Conservação. 2016. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros>>. Acesso em: 09 out. 2016.

KIRK, J. T. O. 2011. Light and photosynthesis in aquatic systems. 3^a ed. Cambridge: Cambridge University Press. 664 p.

KOPELEVICH, O. V.; VAZYULYA, S. V.; SHEBERSTOV, S. V.; BUKOVA, T.V. 2016. Suspended matter in the surface layer of the Southeastern Baltic from Satellite Data. *Oceanology*, v. 56, n. 1, p. 46-54.

MACHADO, I.; BARREIRO, M.; CALLIARI, D. 2013. Variability of chlorophyll-a in the Southwestern Atlantic from satellite images: Seasonal cycle and ENSO influences. *Continental Shelf Research*, n. 53, p. 102-109.

MENEZES, B. S.; GORRI, C.; REITER, A. C.; AZEVEDO, A.; OBATA, C. S. S.; MOLESSANI, L. S.; CARVALHO, M.; FREIRE, A. S. 2014. Distribuição espacial do zooplâncton associada às massas de água e aporte continental no Arquipélago do Arvoredo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 6., Itajaí. Anais... . Itajaí: Aoceano, 2014. p. 1092 - 1093. Disponível em: <http://www.aoceano.org.br/site/images/pdf/livro_de_resumos_cbo2014.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2015.

MIRANDA, L.B. 1985. Forma da Correlação T-S de massas de água das regiões costeiras e oceânicas entre o cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v.33, n.2, p. 105-119.

MOLLER Jr., O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J. D. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Science direct: Continental Shelf Research*, Rio Grande, n.28, p.1607-1624.

OBATA, C. S. S. ; MOLESSANI, L. S. ; FREIRE, A. S. ; CARVALHO, M. 2014. Análise da distribuição espacial do material em suspensão e clorofila-a na reserva biológica do Arvoredo e entorno. In: XXVI Semana Nacional de Oceanografia. Guaratuba.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. 2002. Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri. CD-ROM.

<http://www.ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=708&Itemid=483>. Acesso em: 05 out. 2016.

PARSONS, T.R.; TAKAHASHI, M.; HARGRAVE, B. 1984. Biological oceanographic processes. Pergamon Press. Oxford, 330p.

PAULY, D.; CHRISTENSEN, V. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, v.374, p. 255-257.

PENNA, N.; CAPELLACCI, S.; RICCI, F. 2004. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48(3), 321-326.

PIOLA, A., 2002. El impacto del Plata sobre la plataforma continental. Taller sobre El Niño: sus Impactos en el Plata y en la Región Pampeana, E.J. SCHNAK, F. De FRANCESCO & J.L. POUSA (eds.), Com. Inv. Cient. de la Prov. de Buenos Aires, Asoc. Bonaerense de Científicos, Fac. de Cs. Naturales y Museo de La Plata. La Plata, 13 de junio de 2002. *Contribuciones*, 19-22

PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; MOLLER, O. O.; CAMPOS, E. J. D. 2005. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophysical Research Letters*, v. 32, p. 1-4.

PIOLA, A.; ROMERO, S.; ZAJACZKOVSKI, U. 2008. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. *Cont. Shelf. Res.*, v. 28, n. 13, p.1556-1567.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO/SC. 2009. Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro: Diagnóstico do Setor 3 – Litoral Central.

<http://www.spg.sc.gov.br/gerco01/gerco_setor%203_site.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2016.

SMITH, V.H.; TILMAN, G.D.; NEKOLA, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, v.100, n.1-3, p.179-196.

TOMCZAK, M. 1999. Some historical, theoretical and applied aspects of quantitative water mass analysis. *Journal of Marine Research*, v.57, n.2, p.275–303.

UNESCO 1966. Determination of photosynthetic pigments in Seawater.- Rep.

SCOR/UNESCO Working Group 17. Monographs on Oceanographic Methodology: 1-69. UNESCO, Paris.

VOLLENWEIDER, R. A.; GIOVANARDI, F.; MONTANARI, G.; RINALDI, A. 1998.

Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, [s.l.], v. 9, n. 3, p.329-357.

APÊNDICE A

TEMPERATURA 2014

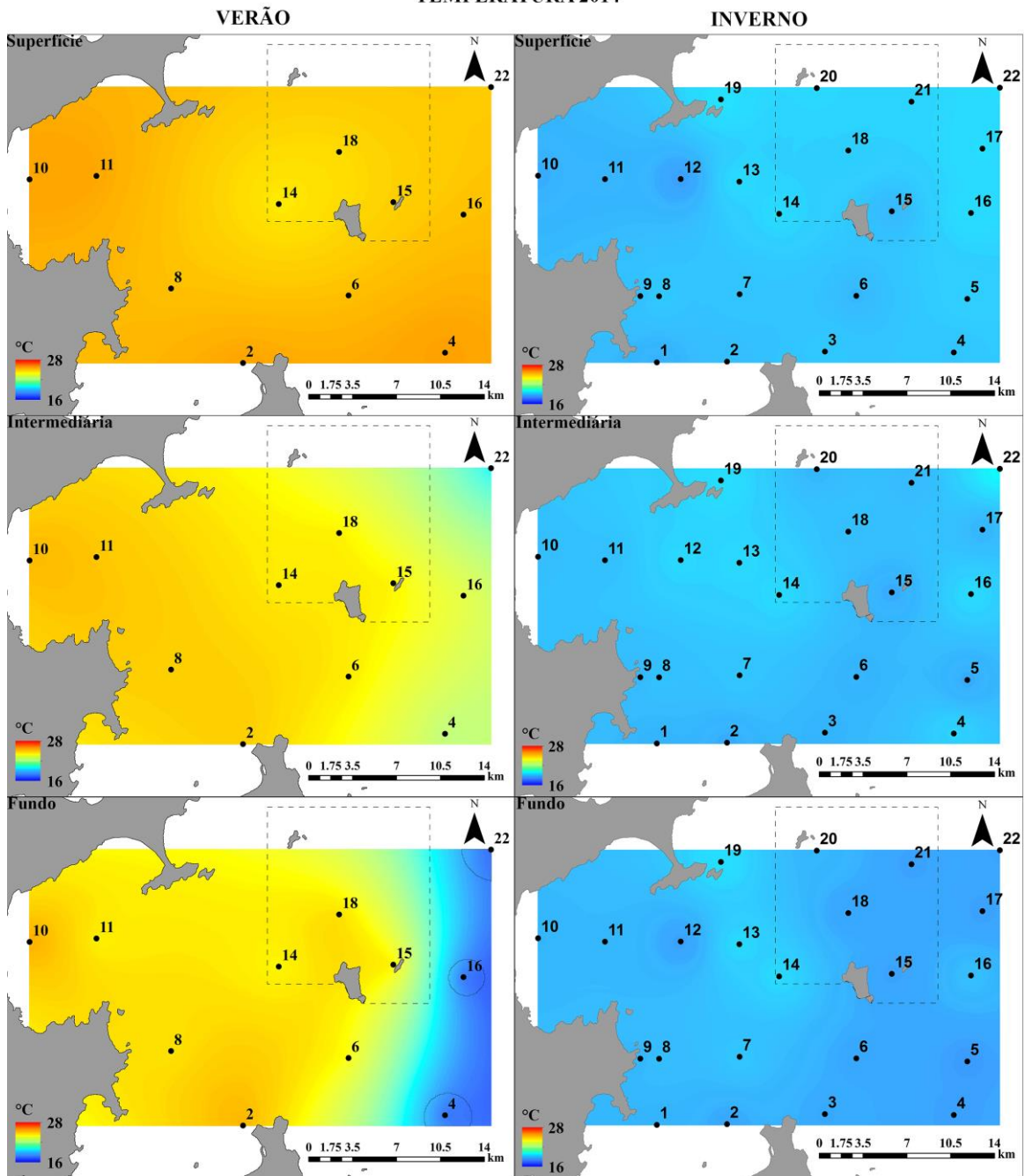


Figura A - 1 Distribuição horizontal da temperatura (°C) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno. Isotherma de 18,5°C em cinza.

TEMPERATURA 2015

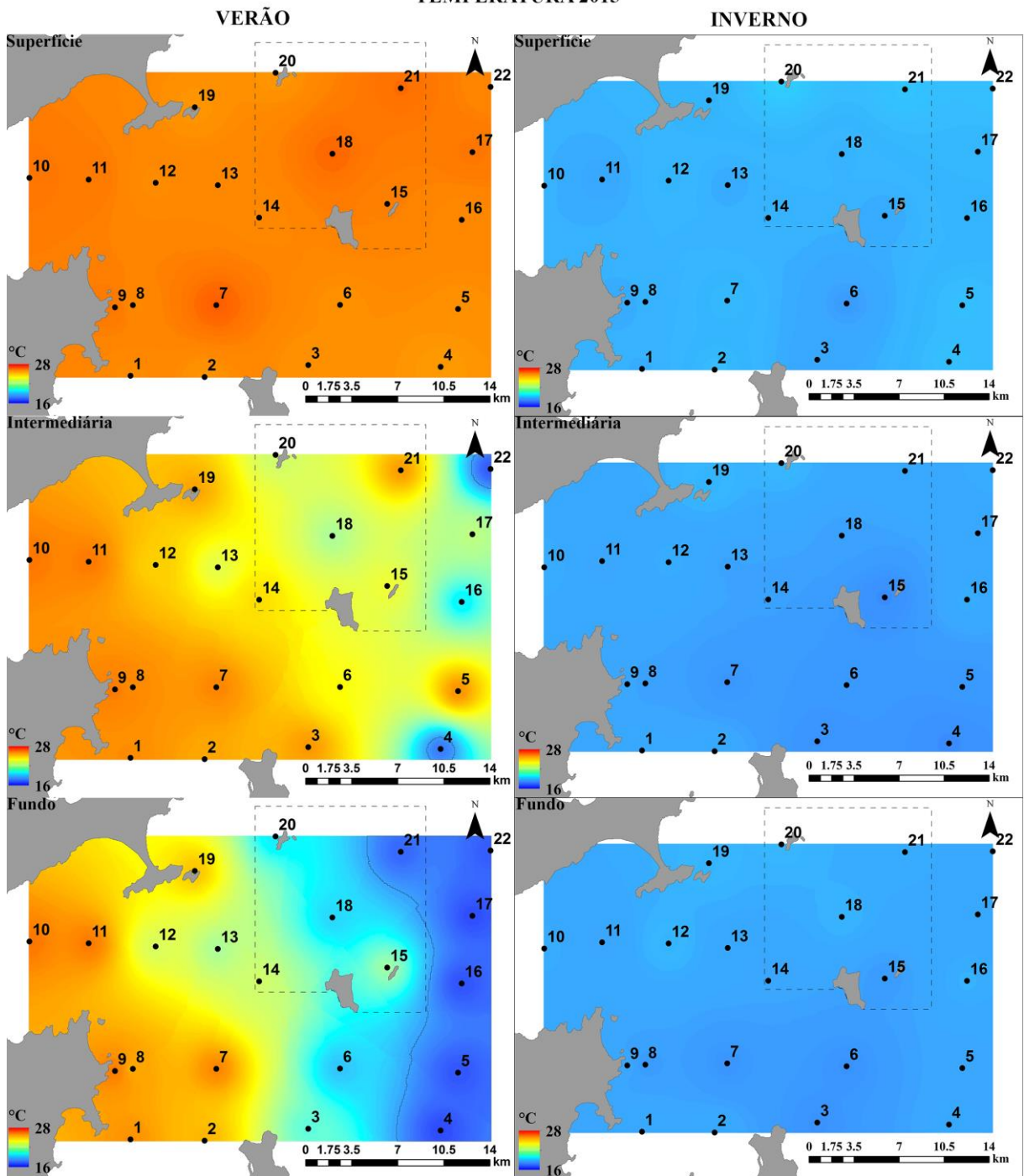


Figura A - 2 Distribuição horizontal da temperatura (°C) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno. Isoterma de 18,5°C em cinza.

TEMPERATURA 2016

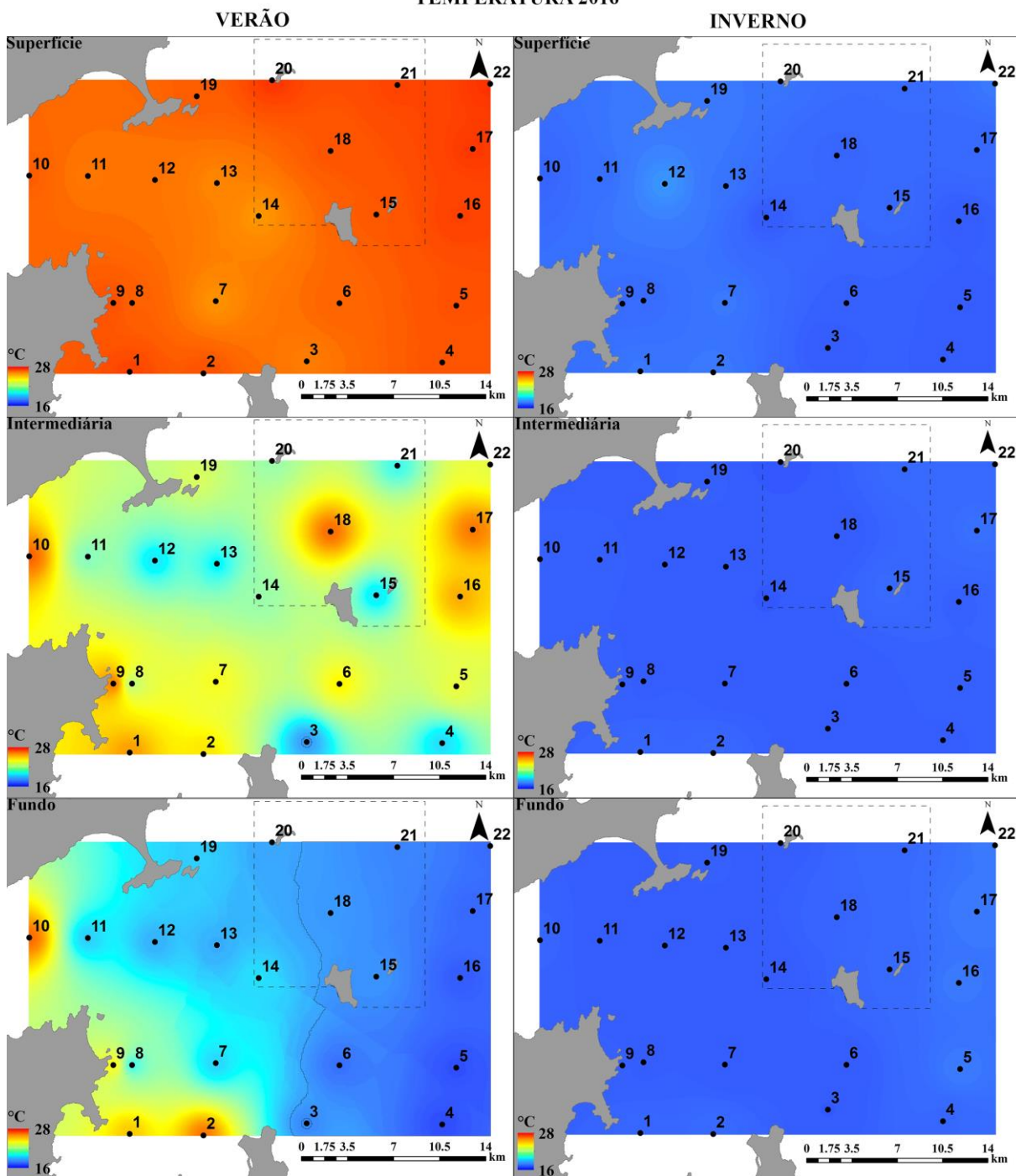


Figura A - 3 Distribuição horizontal da temperatura (°C) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno. Isotherma de 18,5°C em cinza.

SALINIDADE 2014

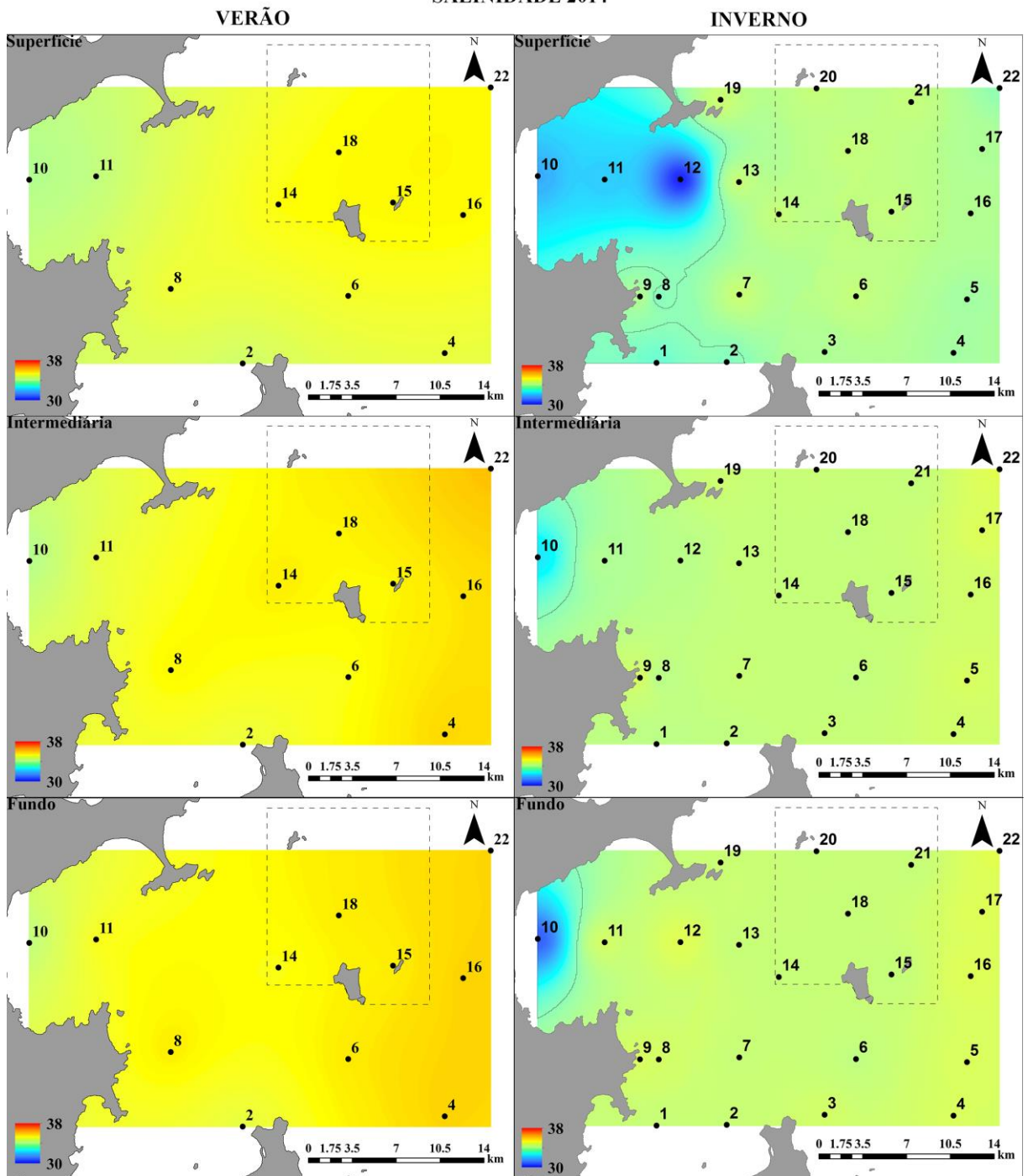


Figura A - 4 Distribuição horizontal da salinidade na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno. Isohalina de 33.5 em cinza.

SALINIDADE 2015

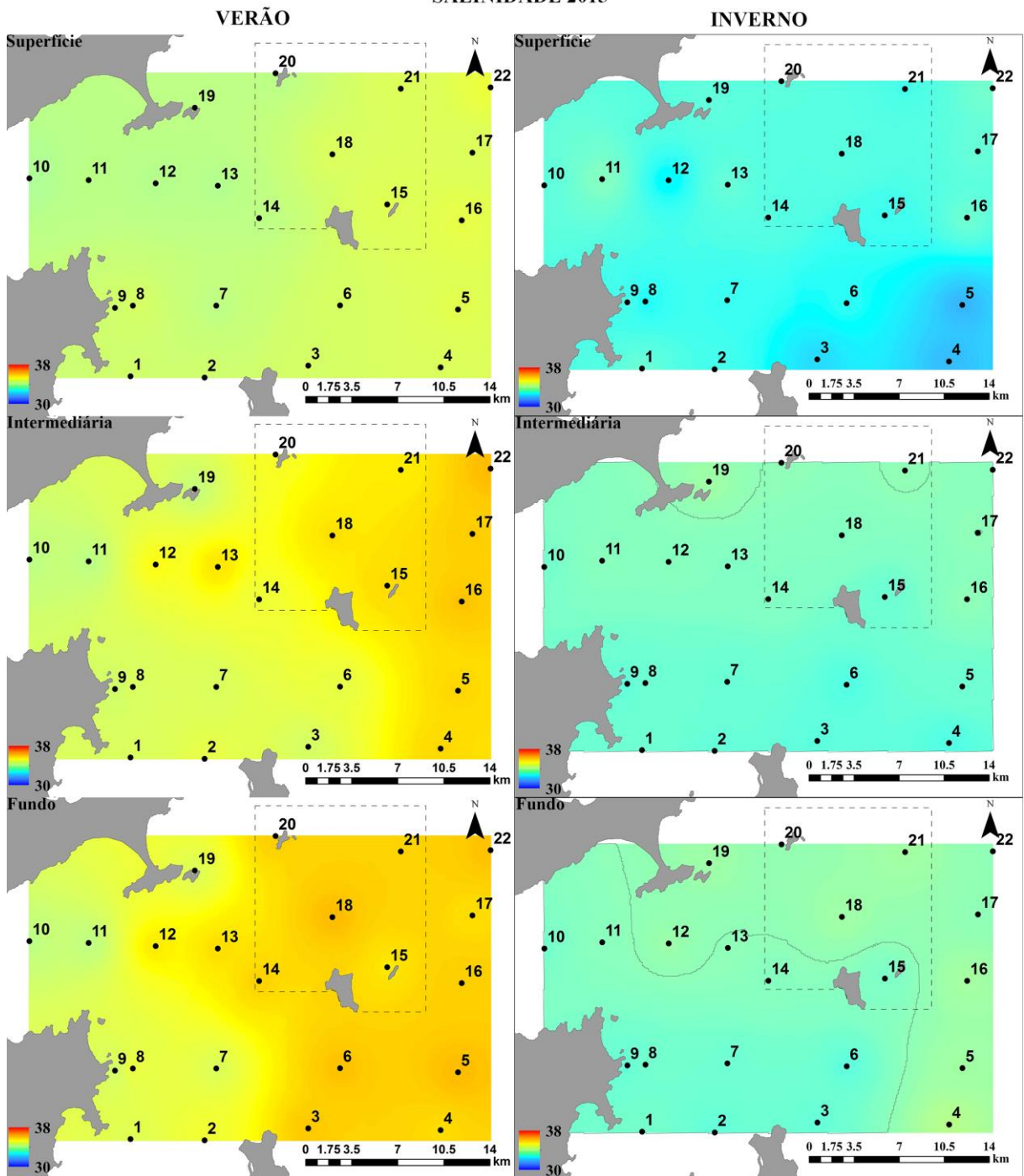


Figura A - 5 Distribuição horizontal da salinidade na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno. Isohalina de 33.5 em cinza.

SALINIDADE 2016

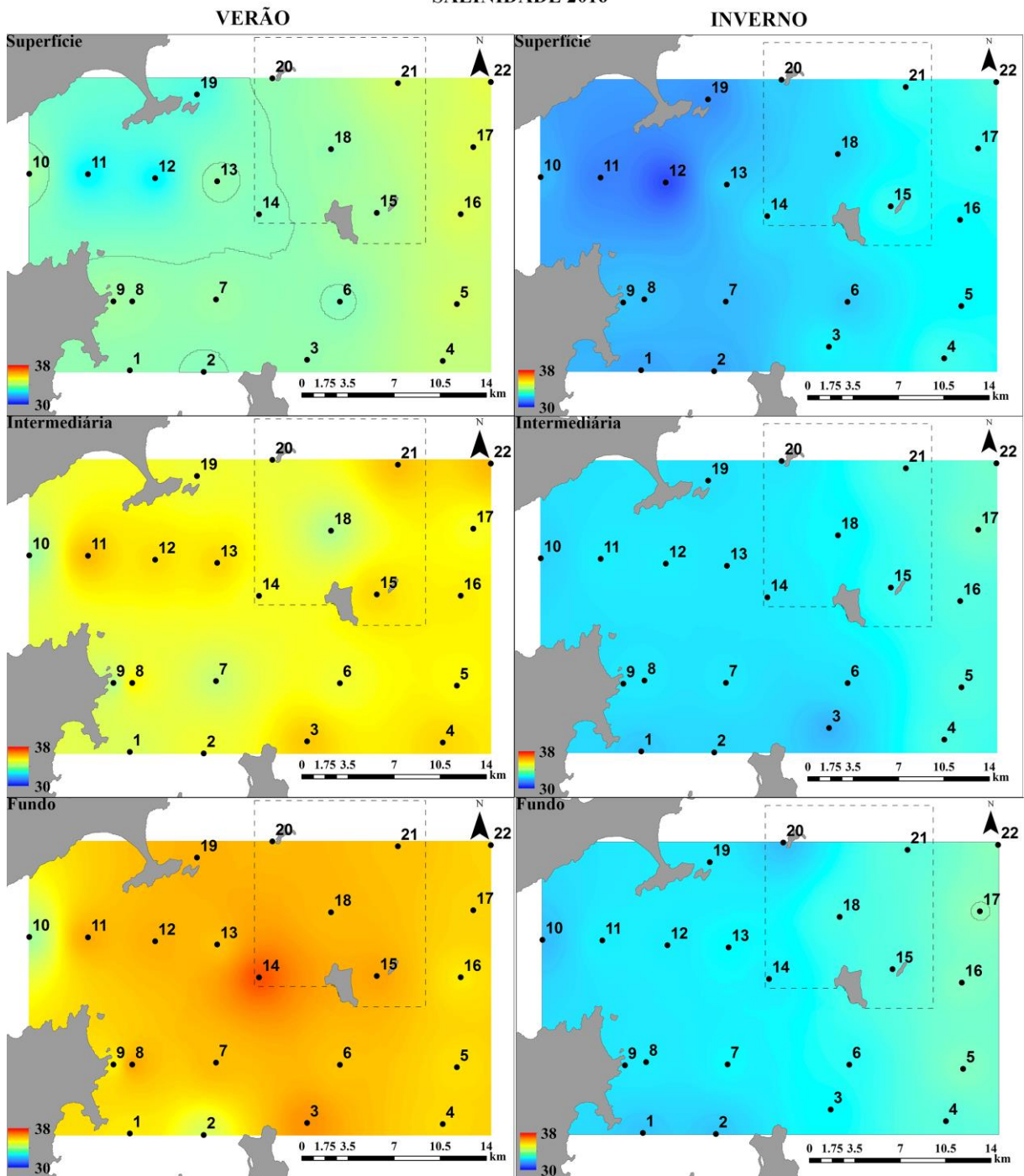


Figura A - 6 Distribuição horizontal da salinidade na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno. Isohalina de 33.5 em cinza.

CLOROFILA-A 2014

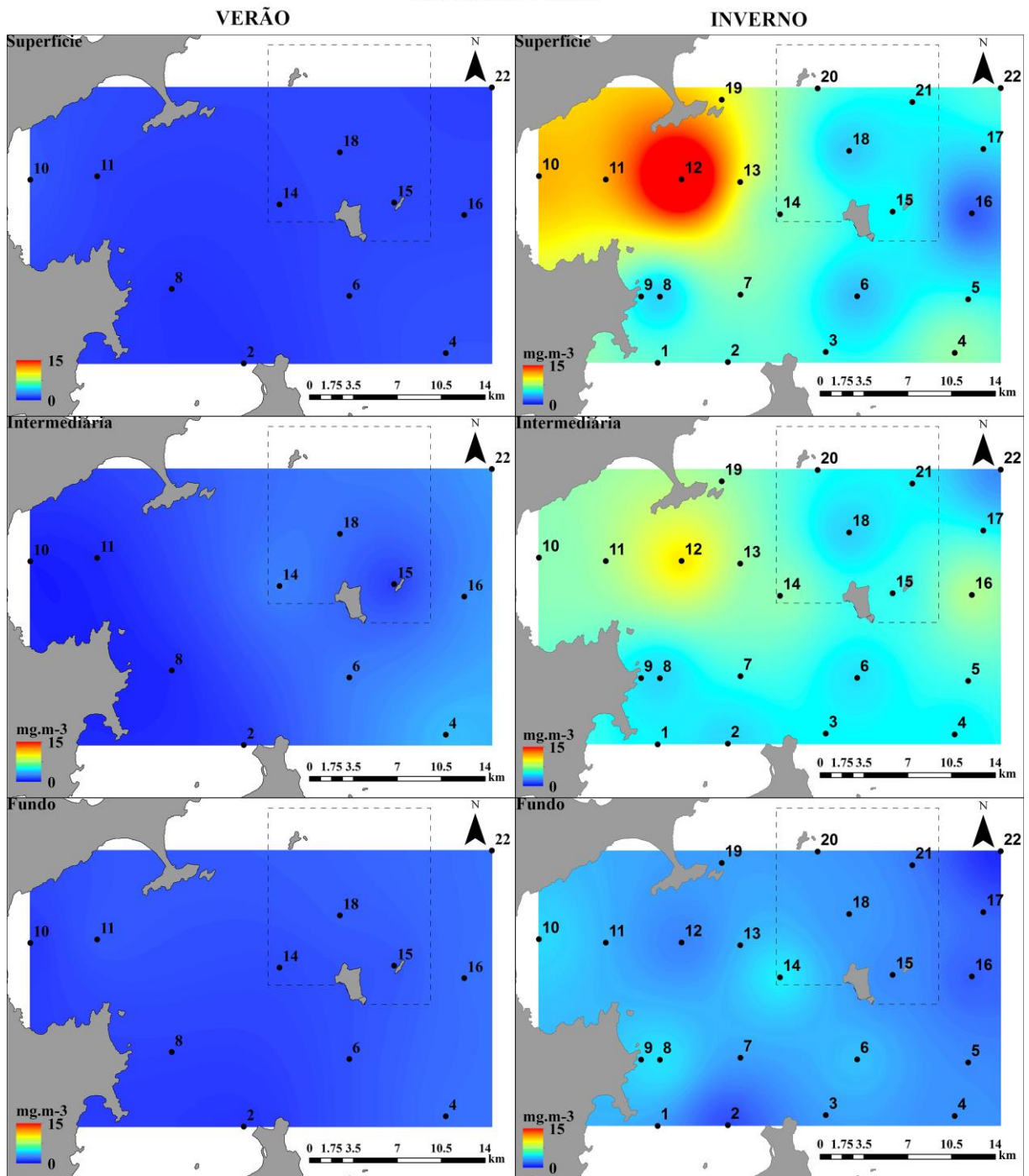


Figura A - 7 Distribuição horizontal da clorofila-a (mg.m^{-3}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.

CLOROFILA-A 2015

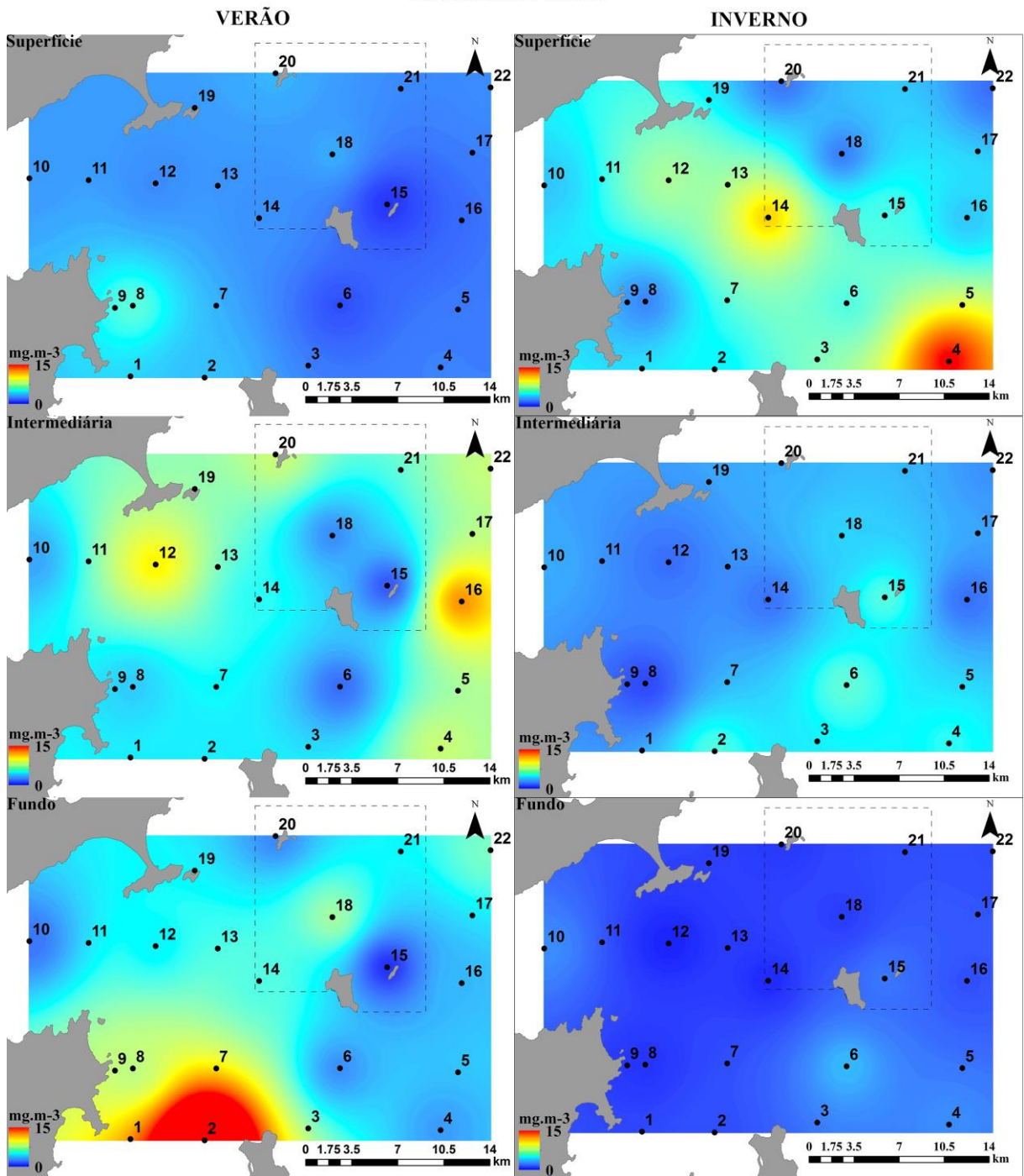


Figura A - 8 Distribuição horizontal da clorofila-a (mg.m^{-3}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.

CLOROFILA-A 2016

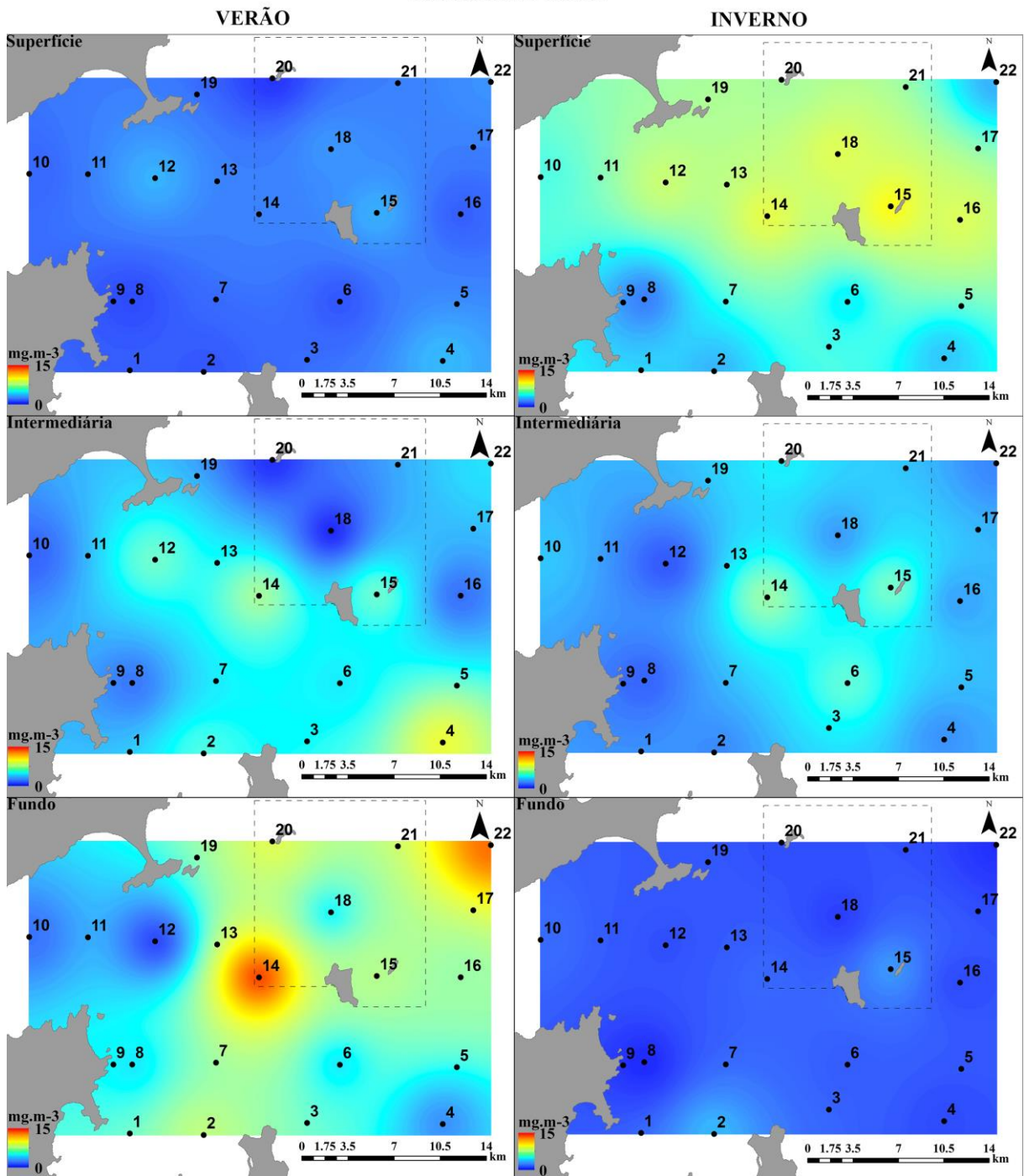


Figura A - 9 Distribuição horizontal da clorofila-a (mg.m^{-3}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.

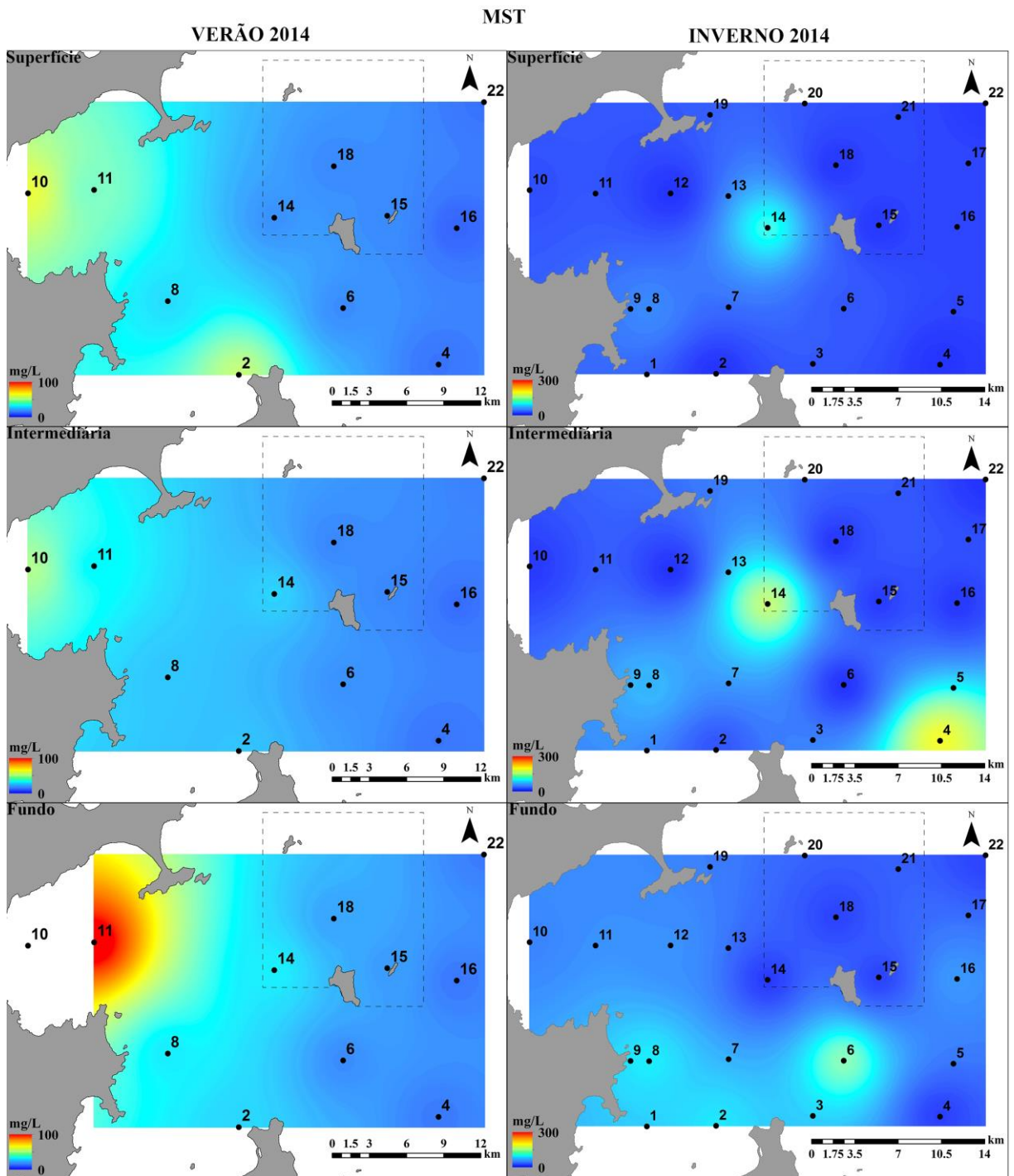


Figura A - 10 Distribuição horizontal do material em suspensão total – MST (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.

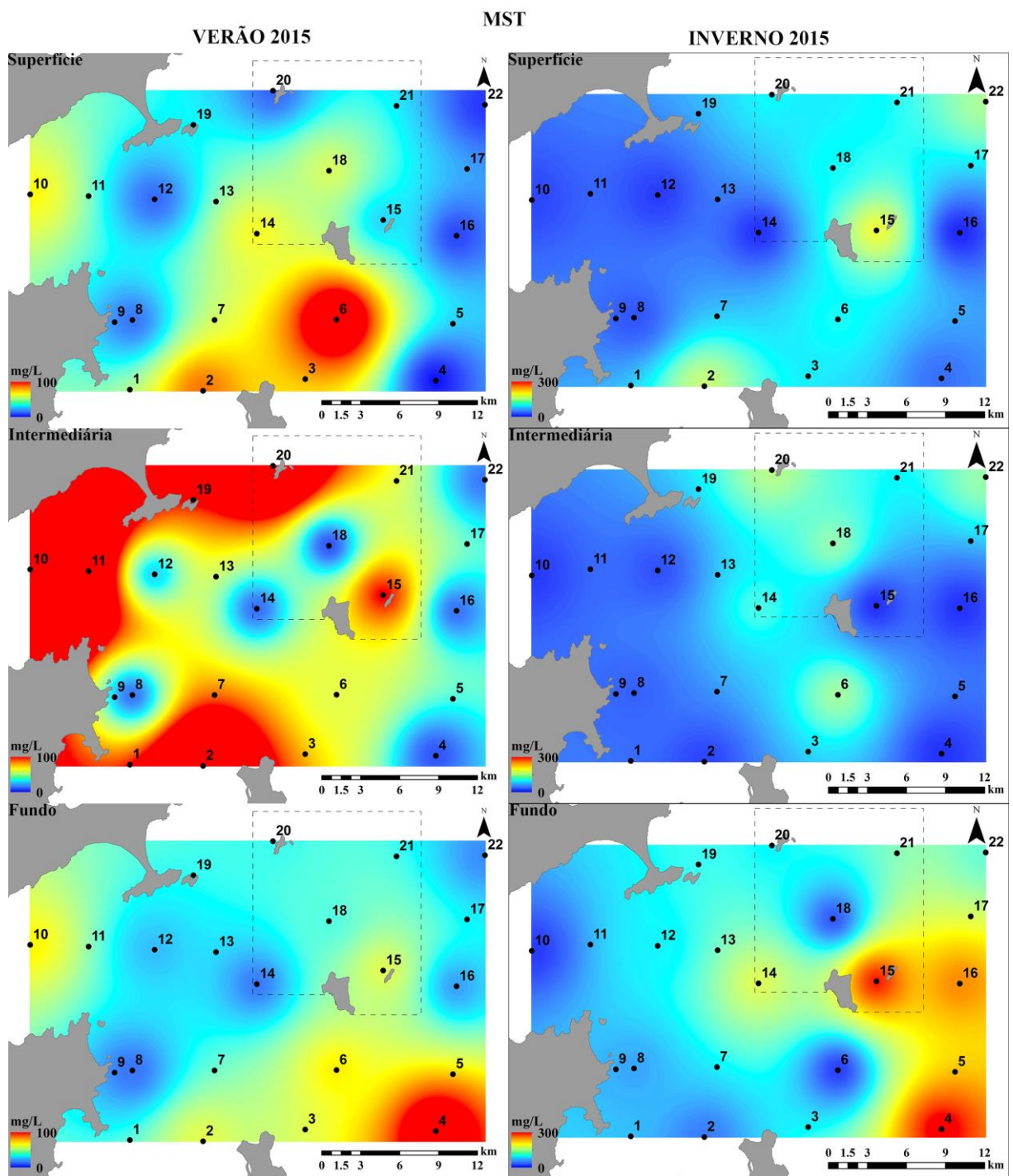


Figura A - 11 Distribuição horizontal do material em suspensão total – MST($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.

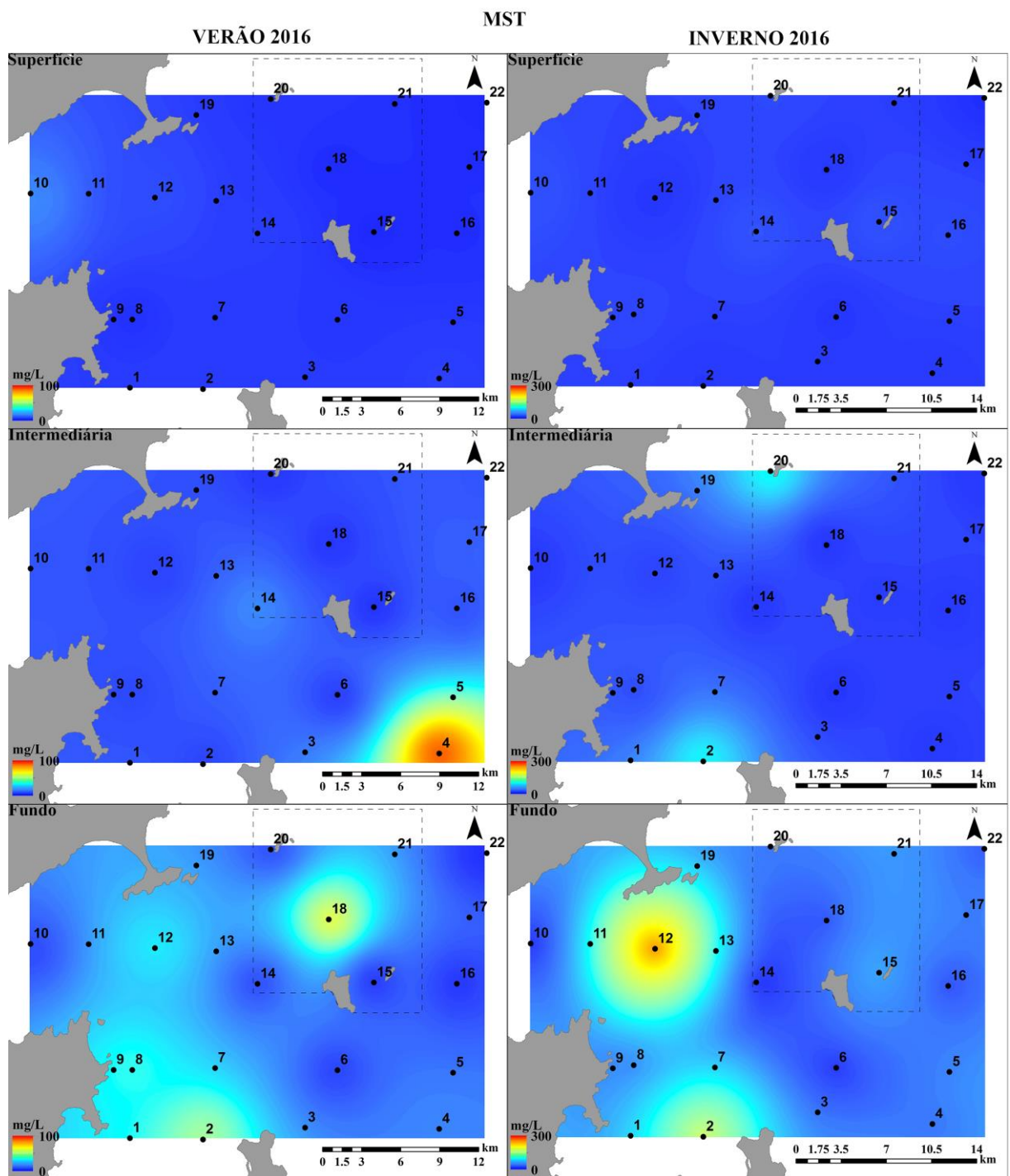


Figura A - 12 Distribuição horizontal do material em suspensão total - MST(mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno.

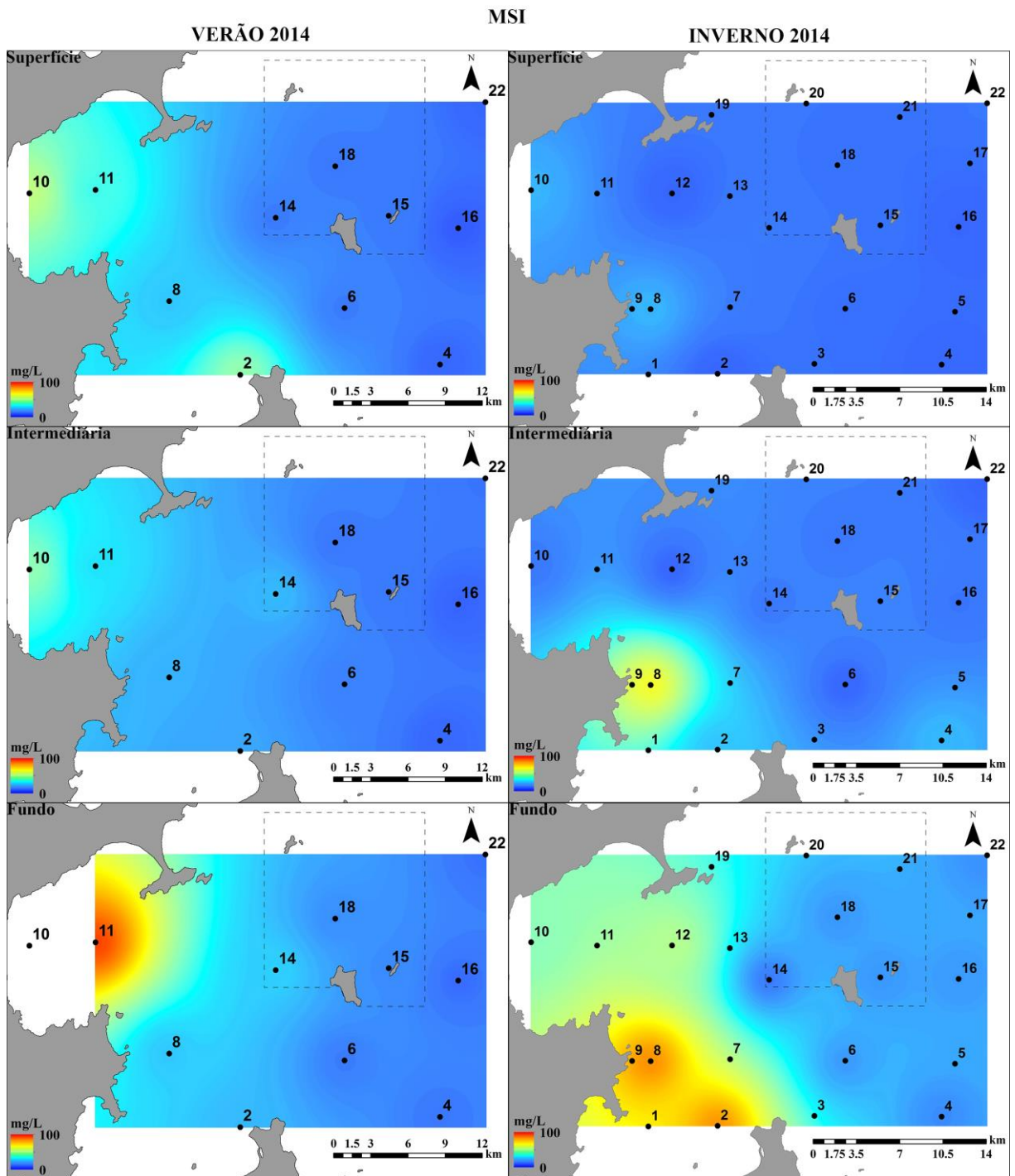


Figura A - 13 Distribuição horizontal do material em suspensão inorgânico – MSI ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.

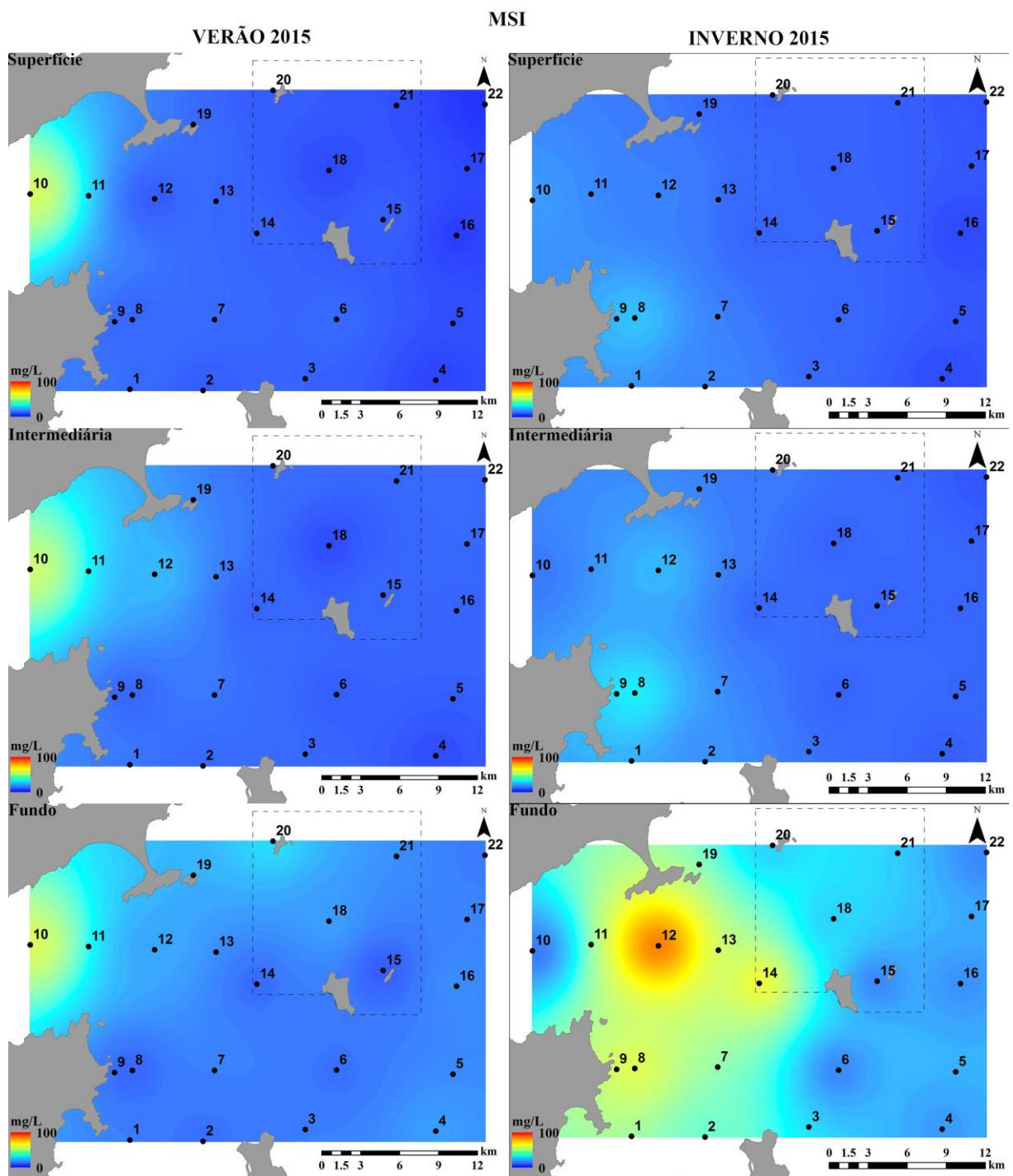


Figura A - 14 Distribuição horizontal do material em suspensão inorgânico – MSI ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.

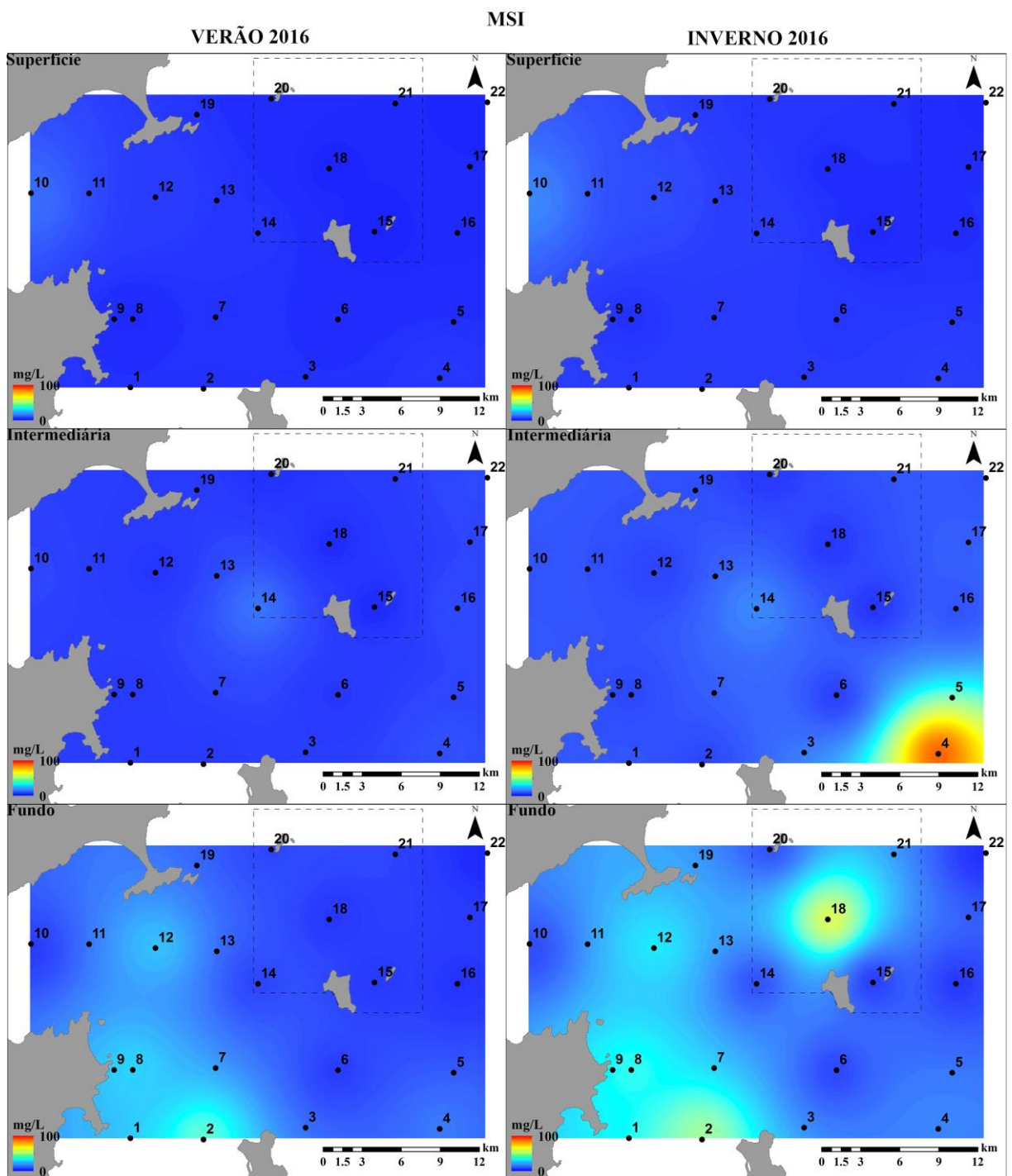


Figura A - 15 Distribuição horizontal do material em suspensão inorgânico – MSI ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno.

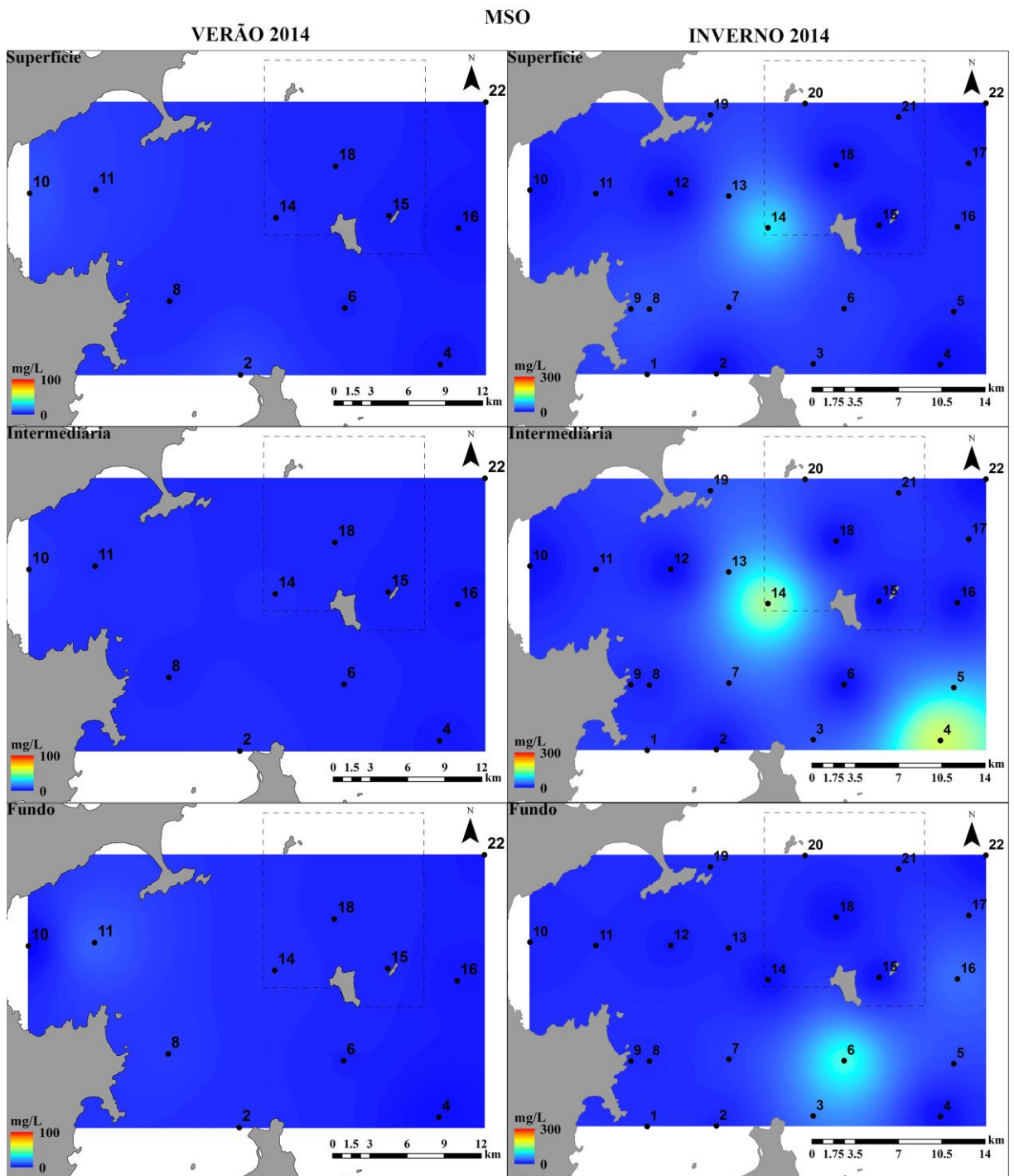


Figura A - 16 Distribuição horizontal do material em suspensão orgânico – MSO (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2014 na REBIO e entorno.

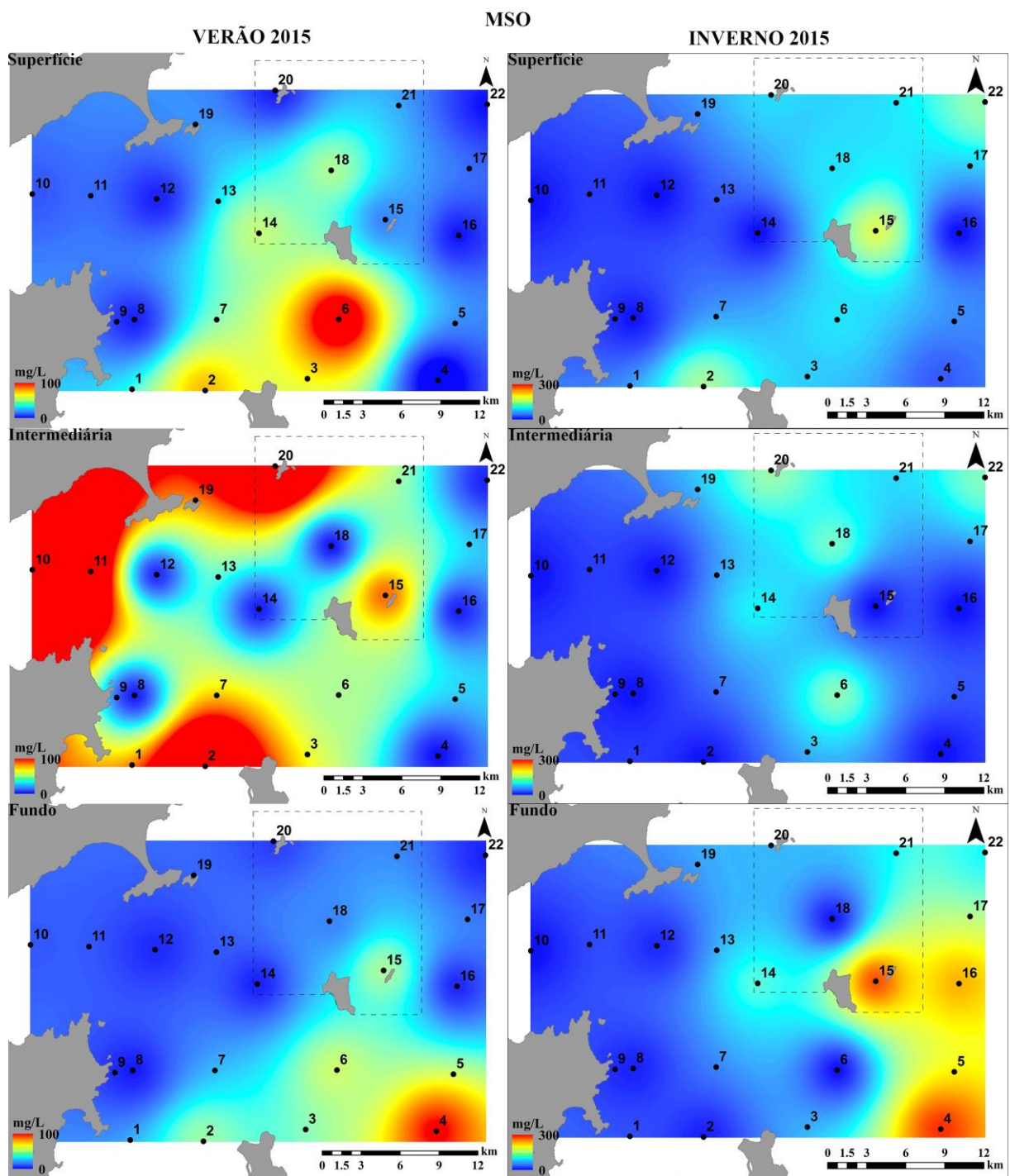


Figura A - 17 Distribuição horizontal do material em suspensão orgânico – MSO (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2015 na REBIO e entorno.

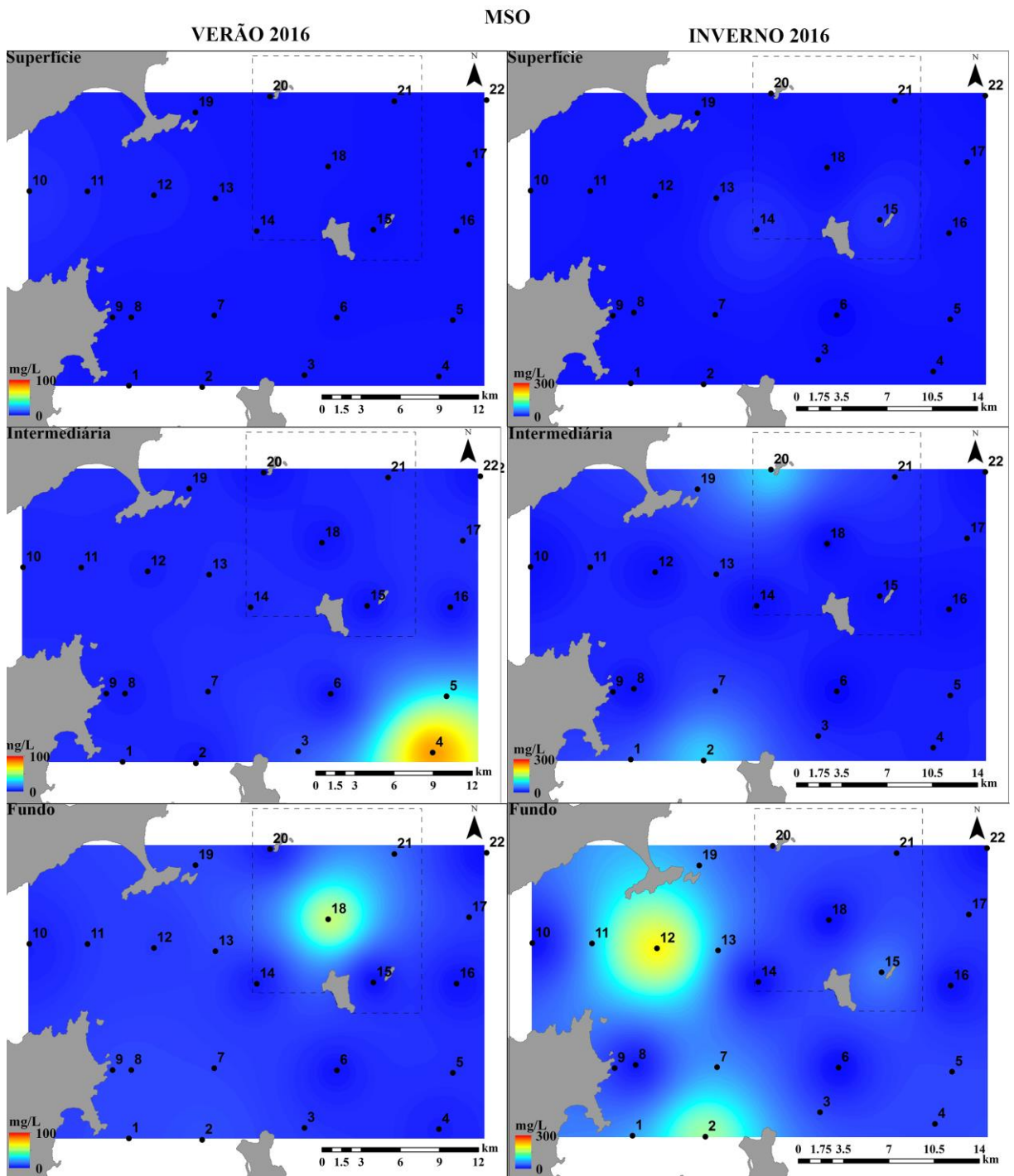


Figura A - 18 Distribuição horizontal do material em suspensão orgânico – MSO (mg.L^{-1}) na superfície, profundidade intermediária e fundo do verão e inverno de 2016 na REBIO e entorno.

Tabela A - 1 Porcentagem dos Estados Tróficos na área de estudo por profundidade.

Campanha	Profundidade	Oligotrófico (%)	Mesotrófico (%)	Eutrófico (%)	Supereutrófico (%)
Verão 2014	Supefície	89,6	10,4	0,0	0,0
	Intermediária	45,7	50,9	3,3	0,0
	Fundo	63,5	36,5	0,0	0,0
Inverno 2014	Supefície	0,0	2,7	26,0	71,3
	Intermediária	0,0	0,3	27,9	71,9
	Fundo	63,5	36,5	0,0	0,0
Verão 2015	Supefície	3,2	53,0	41,4	2,4
	Intermediária	0,0	3,6	42,4	54,0
	Fundo	3,1	36,1	60,8	0,0
Inverno 2015	Supefície	0,0	3,6	41,0	55,4
	Intermediária	0,8	36,5	55,3	7,4
	Fundo	62,2	35,6	2,2	0,0
Verão 2016	Supefície	3,9	88,5	7,5	0,0
	Intermediária	2,3	16,0	55,4	26,4
	Fundo	0,2	4,8	23,9	71,1
Inverno 2016	Supefície	0,0	1,1	19,2	79,7
	Intermediária	0,0	23,5	62,8	13,7
	Fundo	0,0	6,8	20,1	49,0

Tabela A - 2 Porcentagem do Estado Trófico por massas d'água

Campanha	Massas	Oligotrófico (%)	Mesotrófico (%)	Eutrófico (%)	Supereutrófico (%)
Verão 2014	ASTP	66,9	32,0	1,1	0,0
	AT	0,0	82,2	17,8	0,0
	ACAS	0,0	100,0	0,0	0,0
Inverno 2014	ASTP	1,2	15,2	42,4	41,1
	APP/PRT/CN	0,0	0,0	12,7	87,3
Verão 2015	ASTP	1,4	21,9	40,8	35,9
	AT	0,0	11,3	17,8	70,8
	ACAS	0,0	0,0	81,1	18,9
Inverno 2015	ASTP	63,4	29,2	7,3	0,0
	APP/PRT/CN	13,1	24,5	37,6	24,9
Verão 2016	ASTP	3,0	40,4	37,3	19,3
	AT	0,6	6,5	23,0	69,8
	ACAS	0,0	0,8	12,0	87,2
	APP/PRT/CN	1,4	90,6	8,0	0,0
Inverno 2016	ASTP	100,0	0,0	0,0	0,0
	APP/PRT/CN	13,9	27,2	27,7	31,1

Tabela A - 3 Porcentagem das classes de material em suspensão total por profundidade

Campanha	Profundidade	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)	Muito Alta (%)
Verão 2014	Superfície	1,9	40,1	57,2	0,8
	Meio	0,5	38,2	61,3	0,0
	Fundo	0,0	30,9	59,5	9,6
Inverno 2014	Superfície	0,0	2,2	83,4	6,1
	Meio	0,0	5,2	65,6	29,2
	Fundo	0,0	0,4	59,1	40,4
Verão 2015	Superfície	4,3	7,9	64,7	23,1
	Meio	0,8	3,3	32,3	63,5
	Fundo	0,0	3,3	79,3	17,4
Inverno 2015	Superfície	0,2	1,2	41,0	57,6
	Meio	0,0	2,4	48,1	49,4
	Fundo	0,0	0,3	6,1	93,6
Verão 2016	Superfície	98,0	2,0	0,0	0,0
	Meio	84,9	6,8	5,2	3,0
	Fundo	24,6	28,1	47,2	0,2
Inverno 2016	Superfície	0,5	49,9	49,7	0,0
	Meio	0,0	27,3	66,5	6,1
	Fundo	0,0	0,4	50,4	49,2

Tabela A - 4 Porcentagem das classes de material em suspensão total (MST) por massa d'água.

Campanha	Massas	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)	Muito Alta (%)
Verão 2014	ASTP	0,8	36,1	59,9	3,2
	AT	0,0	100,0	0,0	0,0
	ACAS	0,0	100,0	0,0	0,0
Inverno 2014	ASTP	0,0	5,1	65,9	29,1
	APP	0,0	7,4	91,2	1,4
Verão 2015	ASTP	1,7	4,7	58,6	35,0
	AT	0,0	17,9	51,0	31,2
	ACAS	2,0	5,1	62,0	30,9
Inverno 2015	ASTP	0,0	0,0	1,6	98,4
	APP	0,1	1,5	37,4	61,0
Verão 2016	APP	96,0	4,0	0,0	0,0
	ASTP	80,3	6,7	11,4	1,6
	AT	8,7	30,3	61,1	0,0
	ACAS	50,7	29,0	19,9	0,4
Inverno 2016	ASTP	0,0	0,0	100,0	0,0
	APP	0,2	25,9	55,5	18,5

Tabela A - 5 Porcentagem das classes de material em suspensão inorgânico (MSI) por profundidade.

Campanha	Profundidade	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)	Muito Alta (%)
Verão 2014	Superfície	1,4	13,5	32,5	52,6
	Meio	0,1	13,9	30,0	56,0
	Fundo	0,0	3,1	38,1	58,8
Inverno 2014	Superfície	0,0	62,2	28,9	8,9
	Meio	0,0	9,0	57,9	33,1
	Fundo	0,0	0,0	4,9	95,1
Verão 2015	Superfície	50,6	29,2	8,3	11,8
	Meio	21,6	44,0	13,4	20,9
	Fundo	0,5	13,3	53,0	33,2
Inverno 2015	Superfície	33,8	26,7	31,6	7,9
	Meio	5,9	44,9	26,4	22,8
	Fundo	0,0	0,0	4,9	95,1
Verão 2016	Superfície	99,0	1,0	0,0	0,0
	Meio	98,5	1,5	0,0	0,0
	Fundo	52,1	12,8	13,3	21,8
Inverno 2016	Superfície	0,6	8,2	84,8	6,4
	Meio	0,9	9,1	81,6	8,3
	Fundo	0,0	0,0	7,9	92,1

Tabela A - 6 Porcentagem das classes de material em suspensão inorgânico (MSI) por massa d'água

Campanha	Massa	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)	Muito Alta (%)
Verão 2014	ASTP	0,5	10,0	33,3	56,2
	AT	0,0	100,0	0,0	0,0
	ACAS	0,0	56,7	43,3	0,0
Inverno 2014	ASTP	0,1	2,2	12,7	85,0
	APP	15,7	27,9	22,5	33,9
Verão 2015	ASTP	25,8	30,5	20,4	23,3
	AT	14,5	39,9	18,8	26,8
	ACAS	2,0	2,2	94,0	1,8
Inverno 2015	ASTP	0,1	2,2	12,7	85,0
	APP	15,7	27,9	22,5	33,9
Verão 2016	APP	99,0	1,0	0,0	0,0
	ASTP	88,2	3,2	5,1	4,6
	AT	36,9	14,3	25,8	23,0
	ACAS	89,9	9,8	0,3	0,0
Inverno 2016	ASTP	0,0	0,0	0,0	100,0
	APP	0,5	5,8	58,1	35,6

Tabela A - 7 Porcentagem das classes de material em suspensão total (MST) pelo Estado Trófico

Campanha	Estado Trófico	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)	Muito Alta (%)
Verão 2014	Oligotrófico	1,0	22,7	75,4	0,9
	Mesotrófico	0,5	61,7	30,2	7,6
	Eutrófico	0,0	100,0	0,0	0,0
	Supereutrófico	0,0	0,0	0,0	0,0
Inverno 2014	Oligotrófico	0,0	0,0	86,7	13,3
	Mesotrófico	0,0	0,9	81,1	18,0
	Eutrófico	0,0	4,6	60,3	35,0
	Supereutrófico	0,0	7,3	73,2	19,5
Verão 2015	Oligotrófico	12,8	6,0	65,7	15,5
	Mesotrófico	7,2	14,7	44,6	33,5
	Eutrófico	0,1	3,1	46,7	50,1
	Supereutrófico	0,6	10,1	49,3	40,0
Inverno 2015	Oligotrófico	0,0	0,0	3,4	96,6
	Mesotrófico	0,0	1,3	39,1	59,6
	Eutrófico	0,2	0,9	38,7	60,2
	Supereutrófico	0,0	3,1	40,4	56,5
Verão 2016	Oligotrófico	96,3	0,0	3,7	0,0
	Mesotrófico	95,4	2,4	2,2	0,0
	Eutrófico	70,5	13,2	16,3	0,0
	Supereutrófico	36,6	23,5	36,7	3,3
Inverno 2016	Oligotrófico	0,0	0,0	50,3	49,7
	Mesotrófico	0,0	2,4	61,6	36,0
	Eutrófico	0,5	36,1	57,2	6,2
	Supereutrófico	0,0	48,9	51,1	0,0

Tabela A - 8 Porcentagem das classes de material em suspensão inorgânico (MSI) pelo Estado Trófico

Campanha	Estado Trófico	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)	Muito Alta (%)
Verão 2014	Oligotrófico	0,7	5,3	22,6	71,4
	Mesotrófico	0,1	17,6	55,3	27,0
	Eutrófico	0,0	100,0	0,0	0,0
	Supereutrófico	0,0	0,0	0,0	0,0
Inverno 2014	Oligotrófico	0,0	0,0	43,9	56,1
	Mesotrófico	0,0	7,5	7,0	85,6
	Eutrófico	0,0	25,2	11,2	63,6
	Supereutrófico	0,0	27,4	52,5	20,2
Verão 2015	Oligotrófico	78,5	21,5	0,0	0,0
	Mesotrófico	67,3	26,9	2,7	3,1
	Eutrófico	13,0	26,5	24,6	35,9
	Supereutrófico	9,1	29,0	35,2	26,7
Inverno 2015	Oligotrófico	0,0	0,0	0,0	100,0
	Mesotrófico	4,7	7,8	15,1	72,3
	Eutrófico	20,7	38,1	30,6	10,6
	Supereutrófico	12,6	22,6	16,7	48,0
Verão 2016	Oligotrófico	96,3	0,0	0,0	3,7
	Mesotrófico	96,6	1,2	0,0	2,2
	Eutrófico	75,9	8,2	8,8	7,1
	Supereutrófico	73,8	7,0	5,8	13,4
Inverno 2016	Oligotrófico	0,0	0,0	1,9	98,1
	Mesotrófico	0,9	1,0	26,8	71,3
	Eutrófico	1,0	12,1	85,5	1,3
	Supereutrófico	0,0	6,9	86,2	6,9