

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**VARIAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA NO COMPLEXO ESTUARINO DE SÃO
MARCOS DURANTE A ESTAÇÃO DE CHUVA DE 2017**

Discente: Eduardo Kayk Abreu Lopes

Orientador: Prof. Dr. Francisco José da Silva
Dias

São Luís

2018

EDUARDO KAYK ABREU LOPES

**VARIAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA NO COMPLEXO ESTUARINO DE SÃO
MARCOS DURANTE A ESTAÇÃO DE CHUVA DE 2017**

Monografia apresentada ao curso de
graduação de Oceanografia da Universidade
Federal do Maranhão, como parte dos
requisitos para obtenção do grau Bacharel
em Oceanografia

Orientador: Prof. Dr. Francisco José da Silva
Dias

São Luís

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Abreu Lopes, Eduardo Kayk.

Variação das massas de água no Complexo Estuarino de São Marcos durante a estação de chuva de 2017 / Eduardo Kayk Abreu Lopes. - 2018.

44 p.

Orientador(a): Francisco José da Silva Dias.

Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2018.

1. Estuário. 2. Macro-maré. 3. Massas de água. I. da Silva Dias, Francisco José. II. Título.

EDUARDO KAYK ABREU LOPES

**VARIAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA NO COMPLEXO ESTUARINO DE SÃO
MARCOS DURANTE A ESTAÇÃO DE CHUVA DE 2017**

Monografia apresentada ao curso de graduação
de Oceanografia da Universidade Federal do
Maranhão, como parte dos requisitos para
obtenção do grau Bacharel em Oceanografia

Aprovado em: __/__/__.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias

Laboratório de Hidrodinâmica Costeira, Estuarina e de Águas Interiores – LHiCEAI

Universidade Federal do Maranhão

Orientador

Prof. Dr. Audálio Rebelo Torres Junior

Laboratório de Hidrodinâmica Costeira, Estuarina e de Águas Interiores – LHiCEAI

Universidade Federal do Maranhão

Me. Vinicius Henrique Maciel dos Santos

Laboratório de Hidrodinâmica Costeira, Estuarina e de Águas Interiores – LHiCEAI

Universidade Federal do Maranhão

“A felicidade só é real quando é compartilhada” Alex Supertramp

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Jeana e Luis, por todo apoio que foi me dado desde do ingresso ao curso até hoje, por nunca terem desistido e nem duvidado da minha capacidade em nenhum momento e sempre terem feito o máximo para me ajudar ao longo de toda essa jornada.

Agradeço muito ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias, por ter me dado a oportunidade de trabalhar junto com toda a equipe do LHiCEAI, também por nunca ter duvidado da minha capacidade, apesar de eu mesmo duvidar dela, por sempre ter me apoiado, ensinado e ter compartilhado todos os conhecimentos necessários para conseguir chegar até aqui.

Aos amigos do LHiCEAI, em especial Vinicius, Igor, Rubens, Hugo, Jefferson, Thays, Vivian, Rômulo, Laila e Julio, por ter me proporcionado uma amizade maravilhosa, e muitos momentos de felicidade, além de apoio para concluir esse trabalho, obrigado por tudo, de coração, pois sem a ajuda de vocês eu tenho certeza que não conseguiria chegar até aqui.

A minha namorada, Elaine pela ajuda, amor, companheirismo, carinho e apoio dado para o desenvolvimento do trabalho, além de sempre estar presente nos momentos mais difíceis da minha vida.

Agradeço a todos os amigos que conquistei no curso de Oceanografia, por terem me oferecido inúmeros momentos de felicidades, especialmente Igor, Laiane, Samara, Jamerson, Fernanda e Thais. Muito obrigado por tudo, a amizade de vocês será guardada para sempre.

Aos meus amigos de longa data, Alexandre, Wilton, Bruno, Ivanildo, Jefferson e em especial meu amigo de infância Vinicius, obrigado por todo o apoio, amizade e suporte necessário para que eu nunca desistisse e continuasse seguindo em frente apesar de todas as barreiras encontradas, amo vocês.

Ao quarteto formado ao longo dos anos, Matheus, Daniel e Lucas, pois sem a amizade deles eu tenho certeza que não seria a pessoa que sou hoje, obrigado por ter me aturado, me apoiado e terem me oferecidos inúmeras lembranças que sempre irão estar guardadas na minha memória, mais uma vez obrigado por tudo amigos, amo demais todos vocês.

As agências de fomento à pesquisa CNPq e FAPEMA pelo financiamento do projeto o qual estava inserido, que por meio destas agências de fomento à pesquisa científica me concederam bolsa.

A Universidade Federal do Maranhão pela infraestrutura dada e pelo conhecimento passado através dos professores.

Muito obrigado a todos que me ajudaram e me apoiaram direta ou indiretamente ao longo dessa jornada.

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

AC – Água Costeira

AF – Água de Frente

AR – Água de Rio

CEASJ – Complexo Estuarino Arraial/São José

CESM – Complexo Estuarino de São Marcos

CNB – Corrente Norte do Brasil

CTD – Conductivity Temperature and Depth

PC – Plataforma Continental

PCM – Plataforma Continental do Maranhão

PCNB – Plataforma Continental Norte Brasileira

QPC – Quebra da Plataforma Continental

S – Salinidade

T – Temperatura

TC – Talude Continental

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

ZC – Zona Costeira

ZM – Zona de Mistura

ZR – Zona de Maré de Rio

σ_t – densidade convencional

ρ – densidade da água do mar

P_{atm} – Pressão atmosférica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Complexo Estuarino de São Marcos (CESM).

Figura 2 – Precipitações média anual da série temporal dos anos 1981 a 2017 em barra, precipitação anual para o ano de 2017 em linha (INMET, 2016).

Figura 2 – Mapa da área de estudo com as 23 estações hidrográficas.

Figura 3. Representação da espacialização de áreas de representatividade de cada estação de amostragem de acordo com diagramas de Voronoi, para o Complexo Estuarino de São Marcos.

Figura 4 – Gradiente horizontal dos valores de salinidade observados na superfície da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 5 – Gradiente horizontal dos valores de temperatura observados na superfície da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 6 – Gradiente horizontal dos valores de densidade observados na superfície da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 7 – Gradiente horizontal dos valores de salinidade observados em meia água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 8 – Gradiente horizontal dos valores de temperatura observados em meia água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 9 – Gradiente horizontal dos valores de densidade observados em meia água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 10 – Gradiente horizontal dos valores de salinidade observados no fundo da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 11 – Gradiente horizontal dos valores de temperatura observados no fundo da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 10 – Gradiente horizontal dos valores de densidade observados no fundo da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

Figura 11 – Distribuição vertical de temperatura no CESM.

Figura 12 – Distribuição vertical de salinidade no CESM.

Figura 13 – Distribuição vertical do campo de massa no CESM.

Figura 14 – Diagrama T-S espalhado para o CESM durante a estação de chuva de 2017. As isolinhas representam a densidade convencional (σ_t), os triângulos representam a radial 1, os quadrados representam a radial 2, os asteriscos representam a radial 3 e os círculos representam a radial 4.

RESUMO

O Complexo Estuarino de São Marcos (CESM) é dominado por regime de macro-maré cujas alturas chegam a 7 metros. Este estudo tem como objetivo caracterizar as massas de água presentes no CESM durante a estação de chuva em evento de maré de sizígia. Foram traçados quatro perfis normais ao escoamento, com um total de 23 estações hidrográficas. Para as medidas da estrutura termohalina utilizou-se o CTD Exo 2, com amplitudes de medidas entre -5 e 40° C para temperatura, 0 a 90 ms cm^{-1} para condutividade, e alcance de 300 dbar. A frequência de aquisição dos dados foi de 1 Hz, a 1 ms^{-1} . Os resultados foram tratados em laboratório. O CESM não apresentou gradientes verticais de temperatura e de salinidade significativos, entre a superfície e fundo, evidenciando valores médios de $28,83^{\circ}\text{C}$ para temperatura e $33,48 \text{ gkg}^{-1}$ para salinidade. Na radial mais próxima à ilha dos Caranguejos, onde era esperado a presença de águas estuarinas menos salinas, encontramos águas salinizadas ($S > 30 \text{ gkg}^{-1}$) com presença de Água de Frente, encontramos águas com salinidade elevada ($S > 30 \text{ gkg}^{-1}$) com temperaturas de águas continentais ($T \approx 28^{\circ}\text{C}$), muito provavelmente devido a um baixo aporte fluvial e pequena profundidade local. Este comportamento se repetiu ao longo das radiais 1, 2 e 3, que se localizam estuário acima. Na radial 4, localizada na zona costeira do estuário, tivemos a presença de Água Costeira ($28 < T < 29^{\circ}\text{C}$; $S > 36 \text{ gkg}^{-1}$), onde há influência maior de águas oceânicas. O elevado valor de salinidade observado ao longo de todo estuário nos mostra como a minimização dos aportes fluviais facilita a propagação de águas mais salinas através da propagação da onda de maré, permitindo o avanço da água do mar estuário acima.

Palavras chave: Estuário. Macro-maré. Massas de água.

ABSTRACT

São Marcos Estuarine Complex (SMEC) is dominated by a macrotidal regime in which heights reach 7 meters. This study aims to characterize the water masses present at the SMEC during the rainy season under spring tide. Four profiles were taken, with a total of 23 hydrographic stations. For thermohaline structure measurements a CTD Exo 2 was used, with amplitudes of measurements between -5 and 40°C for temperature, 0 to 90 ms cm^{-1} for conductivity, reaching 300 dbar . The frequency of data acquisition was 1 Hz , at 1 ms^{-1} . The results were treated in the laboratory. The SMEC did not present significant vertical gradients of temperature and salinity between the surface and the bottom, showing average values of 28.83°C for temperature and 33.48 gkg^{-1} for salinity. In the profile closest to the Caranguejos Island, where it was expected the presence of estuarine waters less saline, it was found high salinity values ($S > 30\text{ kg}^{-1}$) with presence of Front Waters (FW). It was found high salinity waters ($S > 30\text{ g kg}^{-1}$) also showing continental water temperatures ($T \approx 28^{\circ}\text{C}$), most probably due to low river intake and the low local depth. The same behavior was observed along the profiles 1, 2 and 3, which are located estuary above. In the profile 4, located in the coastal zone of the estuary, it was observed the presence of Coastal Water (CW) ($28 < T < 29^{\circ}\text{C}$; $S > 36\text{ gkg}^{-1}$), where there is greater influence of oceanic waters. The high salinity value observed throughout the estuary shows how the minimization of fluvial inputs facilitates the propagation of marine waters through the propagation of the tidal wave, allowing the advancement of marine waters in the inner estuary.

Keywords: Estuary. Macrotidal. Water masses.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 ÁREA DE ESTUDO	15
4 METODOLOGIA	18
4.1 Aquisições dos dados	18
4.2 Estrutura Termohalina e Campo de Massa	19
4.2.1 Remoção de Dados Espúrios	20
4.2.2 Equi-Espaçamento Vertical	20
4.2.3 Filtragem por Janela Móvel	20
4.2.4 Diagrama T-S	21
4.2.5 Gradeamento Horizontal das Propriedades	22
4.2.6 Gradeamento Vertical	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 Estrutura Termohalina e Campo de Massa	24
5.1.1 Distribuição Horizontal	24
5.1.2 – Distribuição Vertical	36
5.1.3 Diagrama T-S	38
6 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

As massas de água são definidas como uma grande porção de água com um volume mensurável e que ocupam um lugar finito nos oceanos, podendo ocupar um lugar exclusivo ou podem compartilhar o oceano com outras massas de água, onde ocorrerá a mistura das mesmas (TOMCZAK, 1999). Podem se formar a partir de três processos físicos, que são: convecção, subducção e ou mistura subsuperficial. O processo de convecção para a formação da massa de água é oriundo do aumento da densidade da água na superfície oceânica (resfriamento ou evaporação), o que fara com que ocorra o afundamento da água para profundidades onde o equilíbrio hidrostático é reestabelecido (SPERB et al., 1999). O processo de subducção é oriundo da combinação da ação do vento e do resfriamento, a convergência do transporte de Ekman (Bombeamento de Ekman descendente), empurra água para baixo ao longo das superfícies isopícnais. Já o processo de mistura subsuperficial irá ocorrer parte de duas ou mais massas de água se encontram e ocorre uma mistura intensa (NETO, 2010).

Um estudo sobre essas massas de água é muito importante devido a influência que elas exercem nos padrões de circulação e na definição climática, como o fenômeno do El Niño; na produção dos oceanos; identificação de comunidades de espécies de peixes e/ou planctônicas; no transporte de poluentes e de sedimentos finos através dos oceanos; na navegação e na engenharia oceânica (SPERB et al., 1999).

A classificação de massas de água é realizada, basicamente, em função dos parâmetros de Temperatura e Salinidade. Porém, os intervalos que caracterizam determinada massa d'água variam de acordo com sua localização. Deste modo, a identificação dos valores típicos para cada local é feita com base em estudos prévios (MASCARENHAS et al., 1971).

Uma importante ferramenta na determinação dos índices termohalinos das principais massas de água envolvendo processos de circulação e mistura, nas últimas décadas, é o uso do diagrama T-S espalhado e volumétrico (BINDOFF et al., 2000; EMILSON, 1961; MASCARENHAS et al., 1971; MIRANDA; CASTRO, 1979; MIRANDA, 1985; OKUNDA, 1962).

Tal tipo de análise de massas de água foi utilizado para determinação dos índices de massas de água para a Plataforma Continental Norte Brasileira (PCNB) por Silva et al.(2005), Dias et al. (2013), onde foi possível estabelecer os índices de massas de água

para a Margem Equatorial (ME) como: Água do Rio (AR) ($T \geq 29^{\circ}\text{C}$; $S \leq 30 \text{ gkg}^{-1}$), Água Costeira (AC) ($28^{\circ}\text{C} \leq T \leq 29^{\circ}\text{C}$; $34 \text{ gkg}^{-1} \leq S \leq 36 \text{ gkg}^{-1}$) e Água Tropical (AT) ($T \geq 18^{\circ}\text{C}$; $S \geq 36 \text{ gkg}^{-1}$).

A Plataforma Continental (PC) brasileira estende-se por mais de 8000 km de costa, possuindo largura máxima de 300 km na região amazônica e mínima de 10 km ao largo da Bahia. A Quebra da Plataforma Continental (QPC) ocorre entre 40 e 180m (ZEMBRUSKI, 1979). Ao largo de São Luís do Maranhão, a PC apresenta uma largura média de 150 km, cujas profundidades são inferiores a 45 m, enquanto que na QPC a profundidade da PC chega a 75 m, atingindo rapidamente 2000 m na base do Talude Continental (TC) (SILVA; ALVARENGA, 1994).

A Plataforma Continental do Maranhão (PCM) pode ser classificada como uma região com alto potencial energético, devido à combinação da influência da Corrente Norte do Brasil (CNB), ventos alísios, variações de maré que podem chegar a 8 m de altura e a descarga de águas continentais de vários rios, tais como: Complexo Estuarino de São Marcos (CESM) e Complexo Estuarino do Arraial/São José (CEASJ). Além disso, estudos realizados mostram a presença de fortes correntes, instigados principalmente pela ação das marés e variações sazonais características da região (chuvoso e seco), atingindo valores na ordem de 2 ms^{-1} (PEREIRA; HARARI, 1995).

Situado oeste de São Luis, o CESM é um estuário de aproximadamente 100 km de extensão, com clima quente e úmido, cujas temperaturas encontram-se na média de 26°C . Ele é fortemente influenciado por marés semi-diurnas com altura de maré atingindo de 6 até 7 metros. A direção predominante dos ventos é de Leste-Nordeste (E-NE), com intensidades máximas de 30 nós. No tocante da descarga fluvial, ele é fortemente controlado pela marcha sazonal das chuvas, com vazões que chegam a $10 \text{ km}^3\text{ano}^{-1}$ (FURTADO, 2007; SOUSA, 2009; LEFÈVRE et al., 2017).

Segundo Kjerfve (1987), “um estuário é um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente. Tal conexão permanece aberta pelo menos intermitentemente e pode ser subdividido em três zonas distintas: Zona de Maré de Rio (ZR), Zona de Mistura (ZM) e Zona Costeira (ZC)”.

No CESM atuam cerca de 30 empresas dentre elas a Companhia Vale, Alumar e Petrobrás, apresentando grande importância para o litoral brasileiro. Essa atuação está diretamente ligada a esta baía por apresentar condições favoráveis a atividades portuárias, devido ao seu aspecto geológico e geomorfológico e variações adequadas de marés (MÍLEN et al., 2006).

Visando a importância desse ambiente para a região, é de grande relevância a realização de estudos para maior compreensão da estrutura termohalina e das massas de água presentes na CESH, caracterizando sua influência nesse complexo sistema estuarino, que possui amplo interesse socioeconômico, uma vez que sua localização é base de grandes empresas portuárias e também fonte de renda e sustento de pequenas comunidades ribeirinhas que utilizam recursos naturais ali presentes para diversas atividades de subsistência. A caracterização das massas de água do CESH, pode ajudar os gestores de recursos hídricos na formulação de políticas públicas, conduzindo um uso sustentável frente aos múltiplos usos de suas águas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar as massas de água presentes no Complexo Estuarino de São Marcos durante a estação de chuva de 2017, em evento de maré de sizígia.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar os índices termohalinos e calcular o campo de massa de água no Complexo Estuarino de São Marcos (CESM) durante o período chuvoso do ano de 2017;
- Estabelecer os índices termohalinos através do uso do diagrama T-S espalhado;
- Determinar a distribuição longitudinal e vertical dos índices termohalinos e densidade no CESM.

3 ÁREA DE ESTUDO

O Complexo Estuarino de São Marcos (CESM) é uma extensa zona estuarina situada a oeste de São Luís (MA), é considerado o maior complexo estuarino da costa Nordeste do Brasil, com cerca de 100 km de extensão e aproximadamente 23.600 km², sendo delimitado a oeste pelo continente, a leste pela Ilha do Maranhão, e ao sul pela foz do Rio Mearim. (RIOS, 2001; DHN, 2013) (Figura 1).

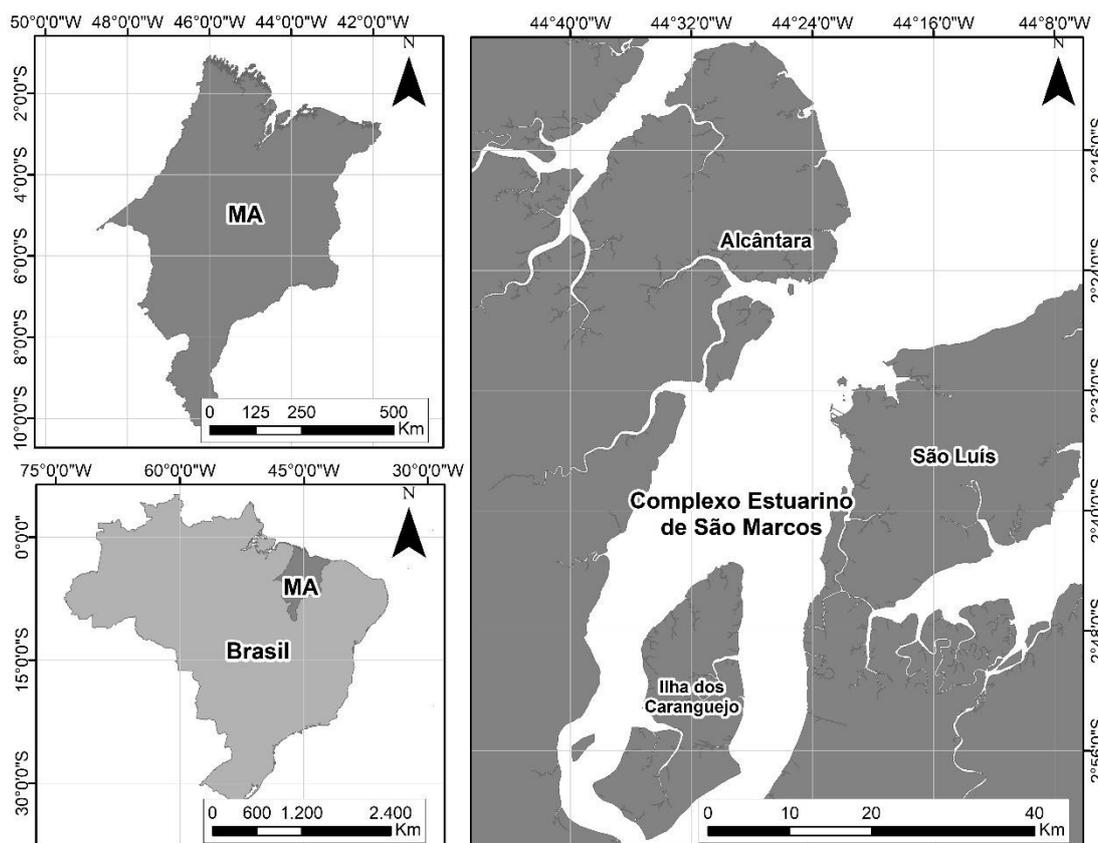


Figura 1 – Complexo Estuarino de São Marcos (CESM).

O CESM apresenta uma característica marcante que é a presença do regime de maré com periodicidade semidiurna e amplitude de macro maré, com alturas podendo atingir 7 m e influenciam áreas distantes de até 150km do litoral. A variação periódica do nível do mar determina a presença de fortes correntes de enchente ao longo de todo o ciclo anual, atingindo valores acima de 3 ms⁻¹ em áreas adjacentes ao Terminal Marítimo Ponta da Madeira (PEREIRA; HARARI, 1995).

A direção dos ventos predominantes é de Leste-Nordeste (E-NE), os quais são mais intensos nos meses de agosto e setembro, com intensidades máximas de 30 nós, o

que provavelmente está vinculado à localização da Zona de Convergência Intertropical, posicionado mais ao norte nessa época do ano (PINHEIRO, 2017).

Em estudo realizado por Samaritano (2013), foram simuladas marés com 6 m de altura para a região, gerando fortes correntes que alcançaram velocidades de até 3 ms^{-1} no regime de maré de sizígia. As velocidades de quadratura foram mais fracas, atingindo de $1,9 \text{ ms}^{-1}$ a 2 ms^{-1} durante o período de enchente e vazante, respectivamente.

Assim como em todo o estado, o CESM apresenta dois períodos distintos acerca da pluviosidade: um correspondendo ao período chuvoso, de meados de janeiro a julho e outro relacionado ao período de seca, entre os meses de agosto e dezembro. A Zona de Convergência Intertropical é o principal mecanismo climático de geração de chuvas na Ilha do Maranhão. Nota-se na figura 2, uma série temporal de 36 anos da pluviosidade na região onde está localizado o CESM (Temperatura da Superfície do Mar – TSM) (PINHEIRO, 2015; Instituto Nacional de Meteorologia – INMET).

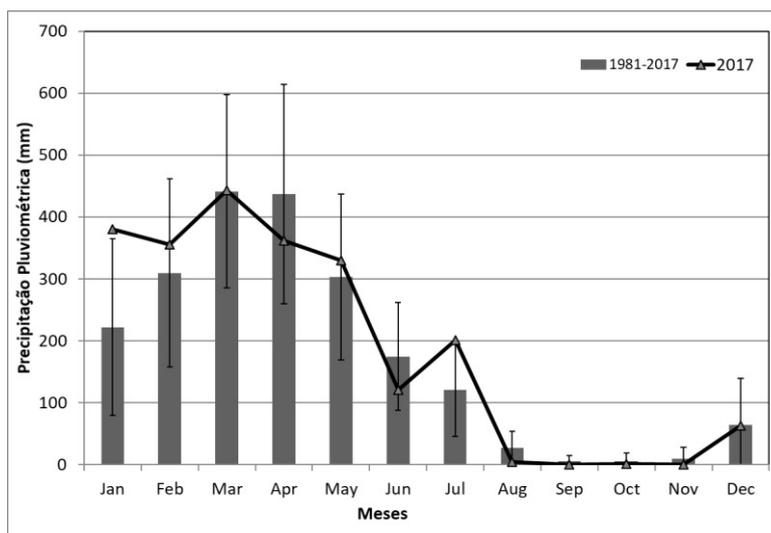


Figura 2 – Precipitações média anual da série temporal dos anos 1981 a 2017 em barra, precipitação anual para o ano de 2017 em linha (INMET, 2018).

O CESM recebe as maiores contribuições da bacia hidrográfica do rio Mearim, que contém uma área de aproximadamente 99.000 km^2 , que corresponde cerca de 30% do território do estado. Os principais afluentes que compõe a bacia do Mearim, é o próprio rio Mearim, Pindaré, Grajaú, das Flores e o do Corda (SECID, 2014). Segundo Jennearjhan et al. (2010), os valores estimados para a vazão na região do CESM, são na ordem de $10 \text{ km}^3 \text{ ano}^{-1}$ provenientes das descargas dos Rios Pindaré, Grajaú e Mearim.

O Complexo Estuarino de São Marcos é considerado um dos mais importantes do litoral brasileiro devido ao grande número de empreendimentos presentes na região, tais como Companhia Vale, Alumar e Petrobrás, essa região representa um dos maiores setores de exportação do mundo em termos de movimentação de carga, isso se deve muito ao fato de seu canal apresentar grandes profundidades, margens baixas e pequenas elevações na Ilha do Maranhão (AMARAL et al., 2010; DHN, 2013; MÍLEN et al., 2006).

4 METODOLOGIA

4.1 Aquisições dos dados

Para que fosse possível uma melhor representatividade dos dados de amostragem, foram pré-estabelecidas 23 estações hidrográficas dispostas em 4 radiais ao longo do CISM (Figura 2). A aquisição dos dados foi realizada durante um período chuvoso do ano de 2017, entre os dias 11 a 13 de fevereiro, sob o regime de maré de sizígia. As coordenadas geográficas podem ser observadas a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Localização das estações hidrográficas. Todas as coordenadas estão representadas em grau e décimo de grau, aspirando uma melhor navegação e adequação a base cartográfica adotada.

Ponto	Longitude	Latitude	Ponto	Longitude	Latitude
P01	-44.3946	-2.7193	P13	-44.4317	-2.6231
P02	-44.4203	-2.7158	P14	-44.3999	-2.6336
P03	-44.4456	-2.7126	P15	-44.3704	-2.5453
P04	-44.4717	-2.7098	P16	-44.3967	-2.5230
P05	-44.4978	-2.70649	P17	-44.4233	-2.5001
P06	-44.5240	-2.70410	P18	-44.4495	-2.4776
P07	-44.5502	-2.70055	P19	-44.3848	-2.4072
P08	-44.5764	-2.69794	P20	-44.3657	-2.4266
P09	-44.6038	-2.69492	P21	-44.3453	-2.4472
P10	-44.5490	-2.59200	P22	-44.3249	-2.4678
P11	-44.5120	-2.60249	P23	-44.3061	-2.4870
P12	-44.4747	-2.61279			

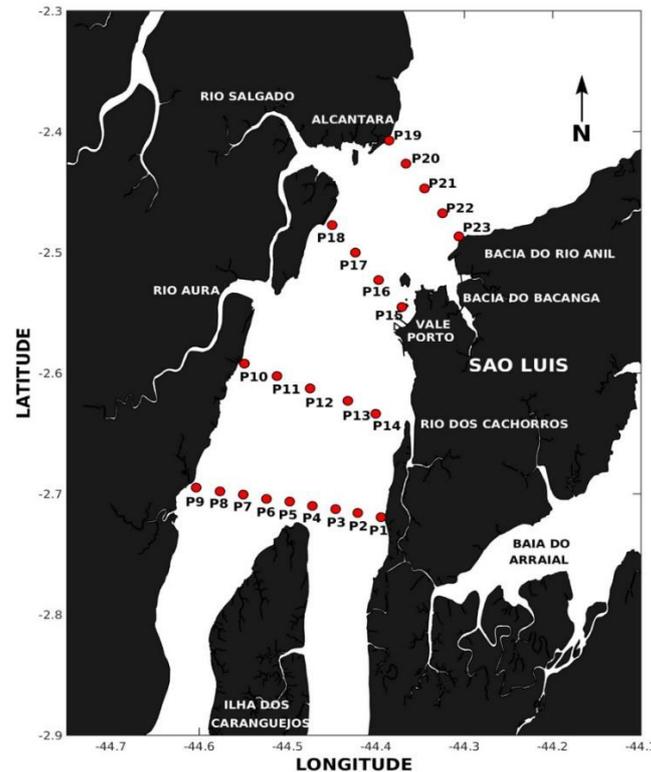


Figura 2 – Mapa da área de estudo com as 23 estações hidrográficas.

4.2 Estrutura Termohalina e Campo de Massa

Em cada ponto de amostragem foi estabelecido um perfil de superfície ao fundo, para a aquisição dos dados de temperatura e condutividade, com o auxílio de um CTD (Conductivity, Temperature and Depth) EXO2 Sonda, para que fosse possível calcular a salinidade através do TEOS-10. Esse CTD possui sensores com amplitudes de medidas entre -5 e 40°C para temperatura, 0 a 90 ms cm^{-1} para condutividade, e alcance de 300dbar . A frequência de aquisição dos dados foi 1 Hz .

Devido à forte hidrodinâmica no CESM, o CTD foi lastreado para ajudar a diminuir as ações das correntes que atuam no deslocamento horizontal em relação ao vertical local. O lastro de aço utilizado apresenta cerca de 15 kg . A cada estação o CTD era lançado na água e então era esperado um tempo mínimo para a calibração do equipamento, em seguida o mesmo descia de forma lenta para obter de maneira mais precisa os dados, que eram armazenados na memória do equipamento, os valores inconsistentes foram eliminados, tendo em vista que tais valores são provenientes de erros sistemáticos aleatórios. Os espaços dos valores retirados foram preenchidos através do uso de uma interpolação linear.

4.2 1 Remoção de Dados Espúrios

Afim obter uma análise mais precisa dos dados, a metodologia aplicada nesse trabalho se baseia em dividir os perfis hidrográficos realizados pelo CTD em blocos de 0,5 m de profundidade (da superfície até o fundo), os valores obtidos que divergiram da média em ± 3 vezes o desvio padrão do bloco foram eliminados e apenas os dados obtidos a partir da decida do aparelho foram considerados, pois o processo de subida é mais turbulento, o que gera algumas perturbações na estratificação original da coluna d'água. (EMERY; THOMSON, 1998).

4.2.2 Equi-Espaçamento Vertical

Como não é possível obter um equi-espacamento vertical entre as amostras no momento da aquisição dos dados, devido a oscilação da embarcação e a operação manual do cabo que desceu o CTD, foi calculado uma média vertical para cada 0,5 m de coluna de água, o que resultou em perfis equi-espacados verticalmente, logo em seguida ocorreu a retirada dos valores impuros, os dados de temperatura e salinidade foram recalculados utilizando uma metodologia conhecida na literatura como filtragem por janela móvel.

4.2.3 Filtragem por Janela Móvel

Devido a remoção dos valores espúrios e com a realização do equi-espacamento vertical, foi possível recalculer os valores de temperatura e salinidade, a partir do procedimento de filtragem por janela móvel, para cada 0,5 metro de água. Os valores removidos neste processo foram substituídos por uma média ponderada entre eles mesmos e os valores adjacentes. A quantidade de valores adjacentes incluídos nesta média corresponde ao tamanho da janela utilizada, e a distribuição dos pesos em relação ao central foi determinada pelo tipo de janela utilizada. Tal procedimento é extremamente necessário, tendo em vista que os dados obtidos pelo CTD, são altamente ruidosos. Esta metodologia tem que ser utilizada com bastante cautela, uma vez que pode ocorrer uma atenuação de importantes gradientes das propriedades. A janela utilizada no presente trabalho foi a *Hanning*, que promoveu uma distribuição de pesos de caráter gaussiano, favorecendo a medida central.

4.2.4 Diagrama T-S

Após descarregar os dados do aparelho em laboratório, foi realizada uma nova análise para separar os dados de temperatura e salinidade de cada ponto, para que fosse possível calcular a densidade da água em cada ponto de amostragem. Em cada ponto de amostragem os valores inconsistentes também foram eliminados, uma vez que esses valores são provenientes da falta de precisão do lançamento do aparelho (CTD) na água, já que tal procedimento foi realizado de forma manual com o uso de um cabo, e estava sujeito a oscilação da embarcação durante o período de amostragem.

Para obter os valores da densidade convencional (σ_t), foi aplicada a seguinte equação, que utiliza os dados de temperatura e salinidade obtidos em cada ponto de amostragem:

$$\sigma_t = \rho(S, T, P_{atm}) - 10^3$$

Onde $\rho(S, T, P_{atm})$ é a densidade da água do mar com salinidade (S), temperatura (T) a uma pressão atmosférica.

A distância vertical da temperatura e da salinidade foi definida de acordo com a seguinte equação:

$$di = \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_{i+1} - h_i}{2} \\ \frac{h_{i+1} - h_{i-1}}{2} \\ z + h_i \frac{h_{i+1} - h_{i-1}}{2} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \text{se } i = 1 \\ \text{se } 1 < i < n \\ \text{se } i = n \end{array} \right\}$$

No qual o índice i representa o i ésimo dado observado na coluna d'água em cada estação, números consecutivos da superfície ao fundo ($i = 1$ é para superfície e o $i = n$ para o fundo), di representa a distância vertical de influência da i ésima observação da coluna d'água, $hi \geq 0$ é a profundidade de observação do i ésimo dado, n é o número de observações verticais coletadas em cada estação oceanográfica e z é a profundidade local em cada estação. (MIRANDA & CASTRO, 1979). Depois de linearizar os índices termohalinos para cada tipo de massa d'água na distribuição dos pares T-S no diagrama T-S, foi utilizado o método de triangulação de massas d'água descrito inicialmente por Mamayev (1975) utilizando a porcentagem de massa d'água presente em cada

amostragem de mistura para diferenciação e caracterização presente nas estações observadas. Para calcular a influência de mistura de duas massas d'água, requer primeiro identificar os índices termohalinos T1S1 e T2S2 descritas na equação:

$$m_1T_1 + m_2T_2 = mT$$

$$m_1S_1 + m_2S_2 = mS$$

$$m_1 + m_2 = 1$$

Onde 1 representa 100% do volume e os termos m, T e S estão relacionados a mistura de duas massas d'água no triângulo de mistura, e significam massa, temperatura e salinidade, respectivamente.

Os dados obtidos foram utilizados para elaboração de gráficos para visualização da distribuição horizontal e vertical dos parâmetros de Temperatura, Salinidade e Densidade ao longo do CESM, assim como um diagrama T-S espalhado, que é uma ferramenta clássica de análise e identificação de massas de água. O diagrama T-S espalhado consiste na plotagem bidimensional das propriedades analíticas de Temperatura e Salinidade em um campo de isopícnais comprovando uma relação destes índices (MAMAYEV, 1975).

4.2.5 Gradeamento Horizontal das Propriedades

Com o intuito de obter uma variação horizontal dos campos termohalinos e de campos de massa, foi construído uma grade, afim de contemplar as características da região estudada.

A área que representa cada amostra de temperatura, salinidade e densidade foi determinada a partir da espacialização da área de atuação de cada uma delas, utilizando os Polígonos de Voronoi (AURENHAMMER; KLEIN, 1989) (Figura 3).

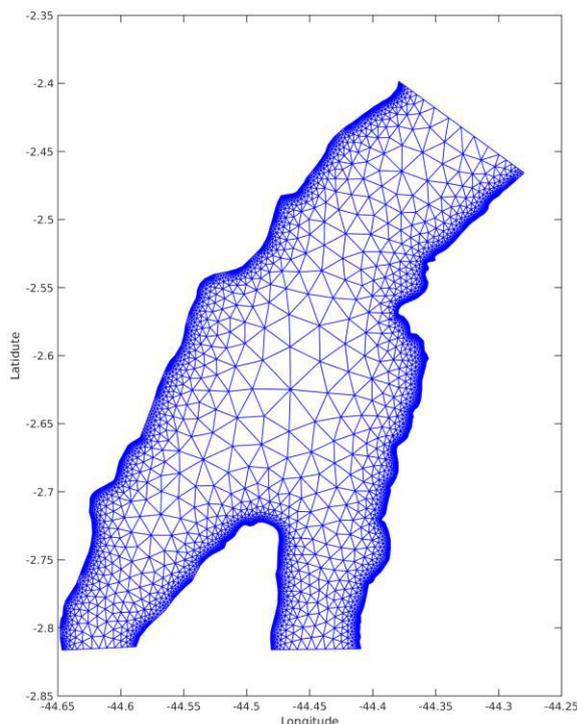


Figura 3. Representação da espacialização de áreas de representatividade de cada estação de amostragem de acordo com diagramas de Voronoi, para o Complexo Estuarino de São Marcos.

4.2.6 Gradeamento Vertical

Com relação ao gradeamento vertical dos campos termohalinos e de campos de massa para o CESM foi realizado a criação de uma grade regular utilizando estações hidrográficas específicas presentes em cada uma das 4 radiais da área estudada, sendo os últimos pontos de grade delimitados pela profundidade local de cada estação hidrográfica. Procurando minimizar a forte anisotropia vertical dos dados, foi implementado um fator peso, que consiste de uma relação direta entre as maiores profundidades e máxima distância de cada radial. A utilização deste fator de correção possibilitou o uso de Análise Objetiva (Interpolação Objetiva) como um interpolador ótimo. Os valores de comprimentos de correlação foram equivalentes aos valores das distancias entre os pontos mais distantes em cada radial (DIAS, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estrutura Termohalina e Campo de Massa

5.1.1 Distribuição Horizontal

Durante o período chuvoso de 2017, os valores de salinidade superficial apresentaram valores entre 31,10 a 36,90 gkg^{-1} , com média de 33,47 gkg^{-1} (Figura 4), enquanto que a estrutura térmica e o campo de massa variaram entre 28,53 a 28,96 °C, com média de 28,83 °C (Figura 5) e entre 19,10 a 23,49 kgm^{-3} , com média de 20,85 kgm^{-3} respectivamente (Figura 6).

Em meia água os valores amostrais de salinidade variaram de 31,10 a 36,92 gkg^{-1} , com média de 33,48 gkg^{-1} (Figura 7), já com os valores de temperatura, ocorreu uma variação de 28,53 a 28,96 °C, com média de 28,81 °C (Figura 8), e para o campo de massa a variação foi de 19,10 a 23,53 kgm^{-3} , apresentando média de 20,90 kgm^{-3} (Figura 9).

No tocante aos valores de fundo a salinidade variou de 31,09 a 36,95 gkg^{-1} , com média de 33,50 gkg^{-1} (Figura 10), para temperatura os valores obtidos apresentaram valores de 28,53 a 28,97 °C, com uma média de 28,82 °C (Figura 11) e para o campo de massa a variação foi de 19,10 a 23,57 kgm^{-3} , indicando uma média de 20,95 kgm^{-3} (Figura 12).

O gradiente horizontal de salinidade demonstrou uma variação mais significativa em relação ao gradiente de temperatura. O qual foi possível observar os maiores índices nas radiais 3 e 4, que se localizam na região mais costeira do estuário, apresentando valores de salinidade de 36,92 gkg^{-1} , próximos a costa de São Luís, ocorrendo uma minimização estuário acima, onde os valores mínimos de salinidade chegam a 31,09 gkg^{-1} , presentes nas radiais 1 e 2 ao largo da costa da Ilha dos Caranguejos. Observamos a distribuição horizontal de salinidade para superfície, meio e fundo no CESM, temos comportamento praticamente idêntico em todas as camadas da coluna de água não ocorrendo mudança significativa da distribuição salina, ou seja, não ocorreu estratificação vertical nesse estuário e o processo de mistura ocorre unicamente na direção longitudinal. Ao empregarmos a classificação de estuários de acordo com estratificação de salinidade sugerida por Officer (1977), podemos caracterizar o CESM como um estuário Bem Misturado, onde ocorre ausência da haloclina, indicando que esse estuário é forçado predominantemente pela maré e sua circulação média é unidirecional. Comparando os

resultados obtidos neste trabalho, com resultados de Santos (2018), para o Complexo Estuarino Arraial/São José (CEASJ), ambos regidos pela ação de macro-maré, durante período chuvoso, notamos que a variação da distribuição horizontal de salinidade foi menor no CESM, que apresentou amplitude de salinidade de apenas $5,86 \text{ gkg}^{-1}$, enquanto que no CEASJ a amplitude de salinidade foi de 18 gkg^{-1} , tal diferença nos mostra que a contribuição fluvial para o CEASJ, é mais visível que no CESM. Em estudo realizado por Lefèvre et al (2017) para o CESM no ano de 2014, a variação de salinidade ao longo de todo estuário foi maior que a do presente estudo, tal variação observada nos sugere que no ano de 2014 a influência das águas continentais foi maior que a do componente marinho. Cavalcante (2007) aponta em estudo realizado no rio Caeté (PA), amplitude de salinidade de $6,2 \text{ gkg}^{-1}$, corroborando os resultados obtidos neste estudo (tabela 2).

Tabela 2 – Valores máximos e mínimos de salinidade e temperatura dos estuários do CESM, CEASJ e rio Caeté.

Estuários	Temperatura	Salinidade
CESM 2014 (Lèfreve 2017)	27,66 – 29,41	25,95 – 35,95
CESM 2017	28,53 – 28,78	31,09 – 36,95
CEASJ (Santos 2018)	29,2 – 30,7	8,9 – 27,0
Rio Caeté – PA (Cavalcante 2007)	23,6 – 29,5	30,0 – 36,2

Com relação a estrutura térmica espacial, o CESM apresentou uma variação irrelevante ao longo de todo o estuário. Onde o menor valor observado foi de $28,53 \text{ }^{\circ}\text{C}$, presente na radial 1 (estuário acima), ao largo da costa da Ilha do Caranguejos. E o maior valor de temperatura foi de $28,97 \text{ }^{\circ}\text{C}$ junto ao fundo, na radial 4, próximo ‘a costa da Ilha de São Luís. A distribuição térmica do CESM, mostrou-se homogênea em todo o estuário, apresentando amplitude térmica de $0,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Em estudo realizado por Lefèvre et al (2017), no CESM em 2014 e por Santos (2018), no CEASJ em 2014, as amplitudes térmicas observadas foram de $1,77$ e $1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Tais valores denotam a presença de águas mais quentes no CEASJ e mais frias no CESM em 2014, onde somente os resultados obtidos no ano de 2014 corroboram com os obtidos no presente estudo, sugerindo um maior fluxo marinho, com águas mais frias no CESM, e maior fluxo fluvial no CEASJ, com águas mais quentes. Comparando os resultados obtidos neste trabalho com os de Cavalcante (2007), para o estuário do rio Caeté, podemos observar uma

variação dos valores de temperatura maiores no rio Caeté, onde o aporte o fluvial foi superior ao observado no CESM, onde a componente marinha se sobrepõe a fluvial.

Já em relação a estrutura horizontal do campo de massa, também foi possível observar uma variação mais visível em relação a estrutura térmica. Onde foi observado valores mais altos nas radiais 3 e 4 (estuário abaixo), assim como na distribuição horizontal de salinidade, com valores de $23,57 \text{ kgm}^{-3}$ em meia água, e apresentou valores mínimos de $19,10 \text{ kgm}^{-3}$ observados no final da radial 1 (estuário acima) de $19,10 \text{ kgm}^{-3}$. Bem como os resultados obtidos de temperatura e salinidade, a densidade apresentou-se de forma homogênea nos 3 perfis obtidos neste estudo (superfície, meio e fundo), ou seja, não ocorreu estratificação da superfície ao fundo. Cavalcante (2007) em estudo realizado no estuário do rio Caeté, demonstrou que a variação da densidade está ligada diretamente a oscilação da salinidade e que a temperatura não teve influência direta para sua distribuição ao longo do estuário, corroborando aos resultados deste trabalho.

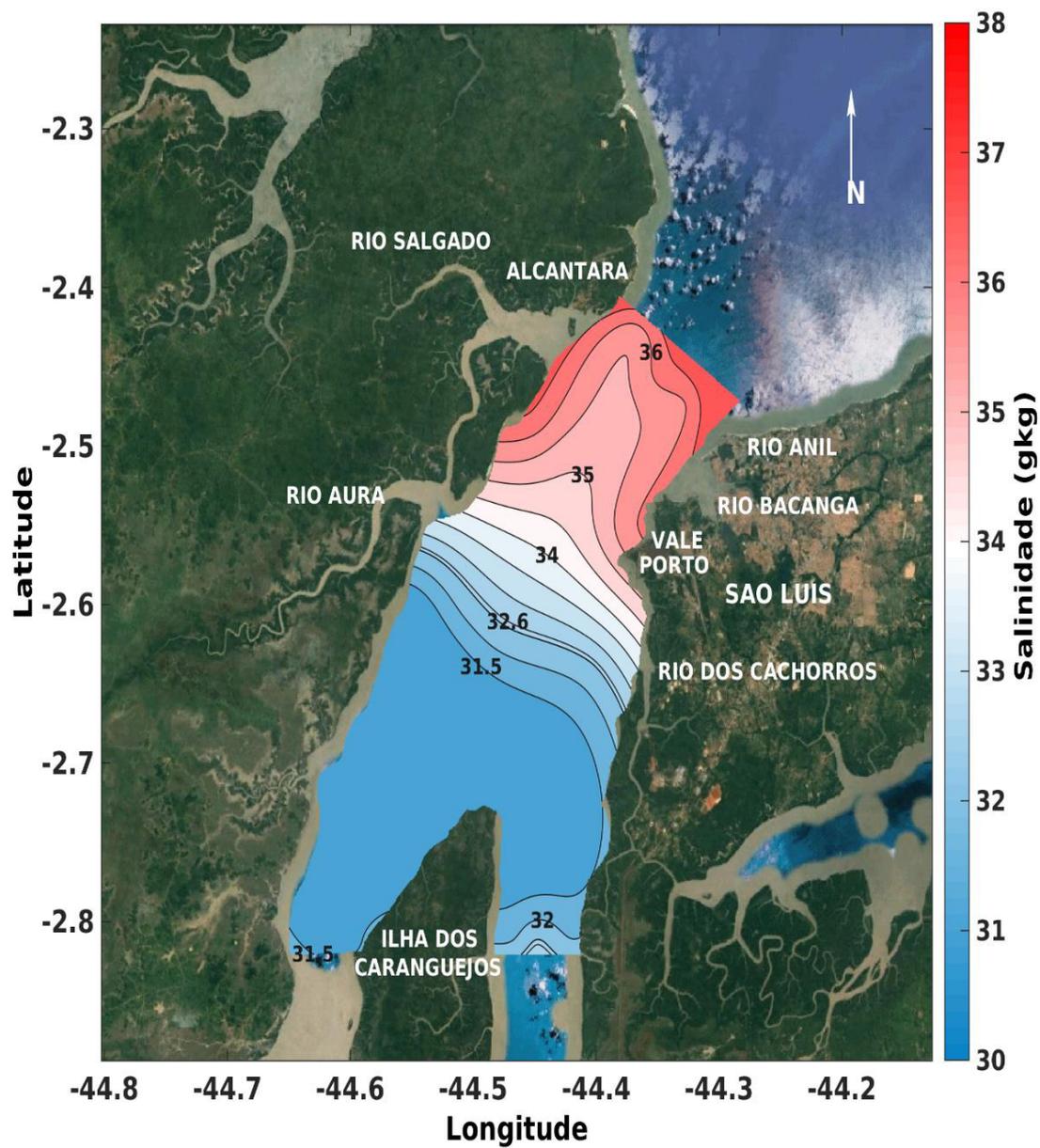


Figura 4 – Gradiente horizontal dos valores de salinidade observados na superfície da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

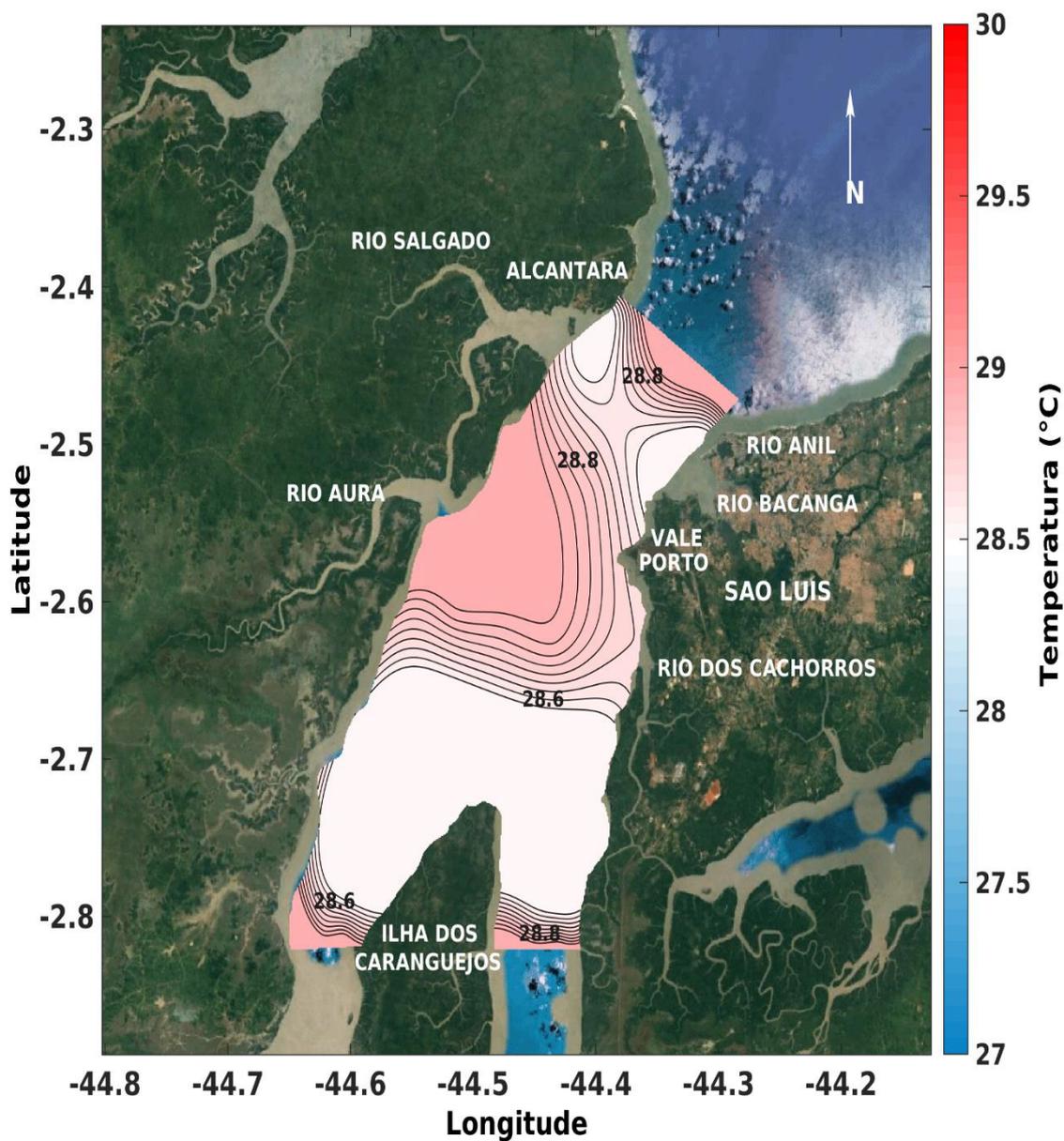


Figura 5 – Gradiente horizontal dos valores de temperatura observados na superfície da coluna de água no CSM durante o período chuvoso de 2017.

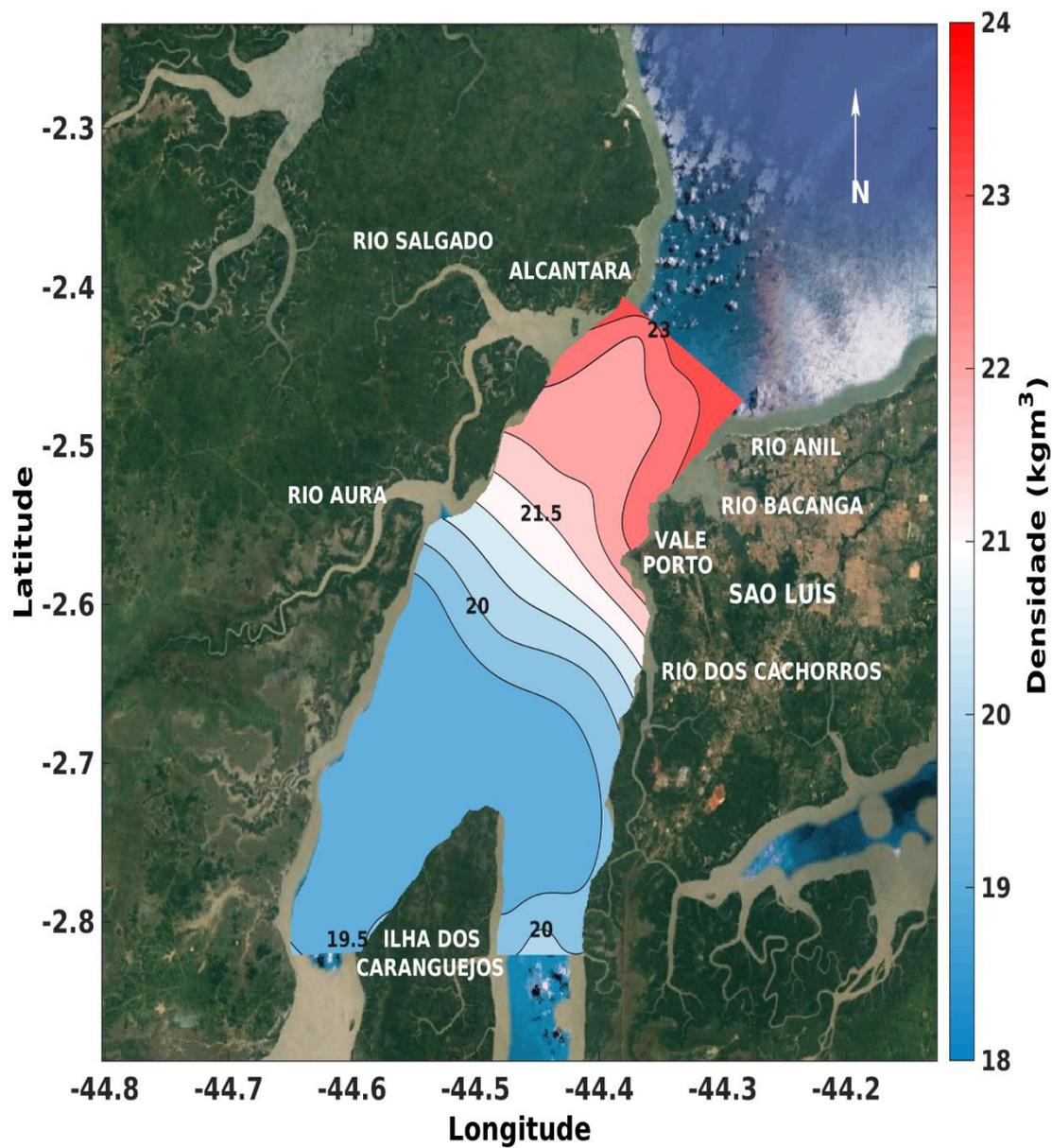


Figura 6 – Gradiente horizontal dos valores de densidade observados na superfície da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

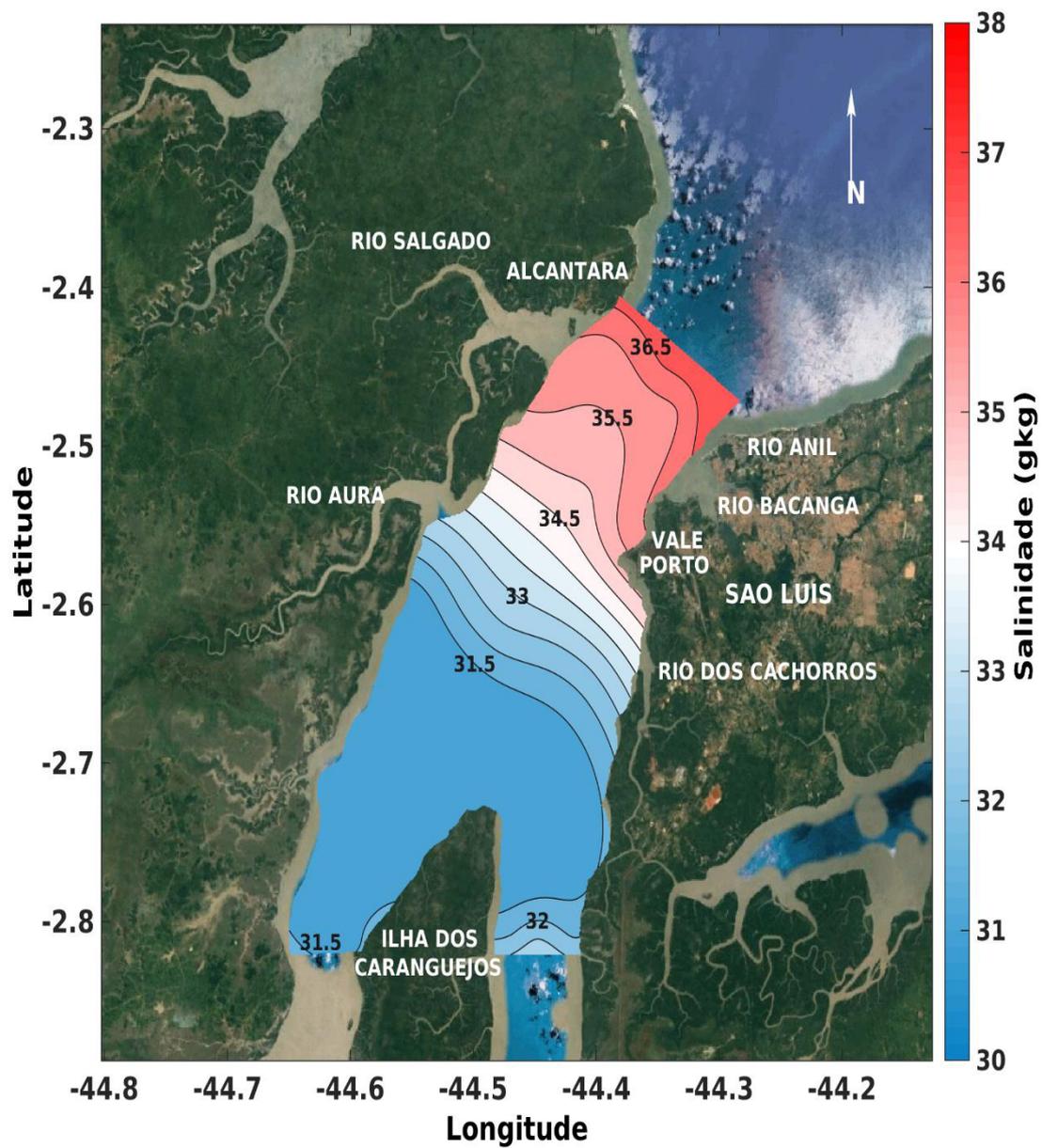


Figura 7 – Gradiente horizontal dos valores de salinidade observados em meia água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

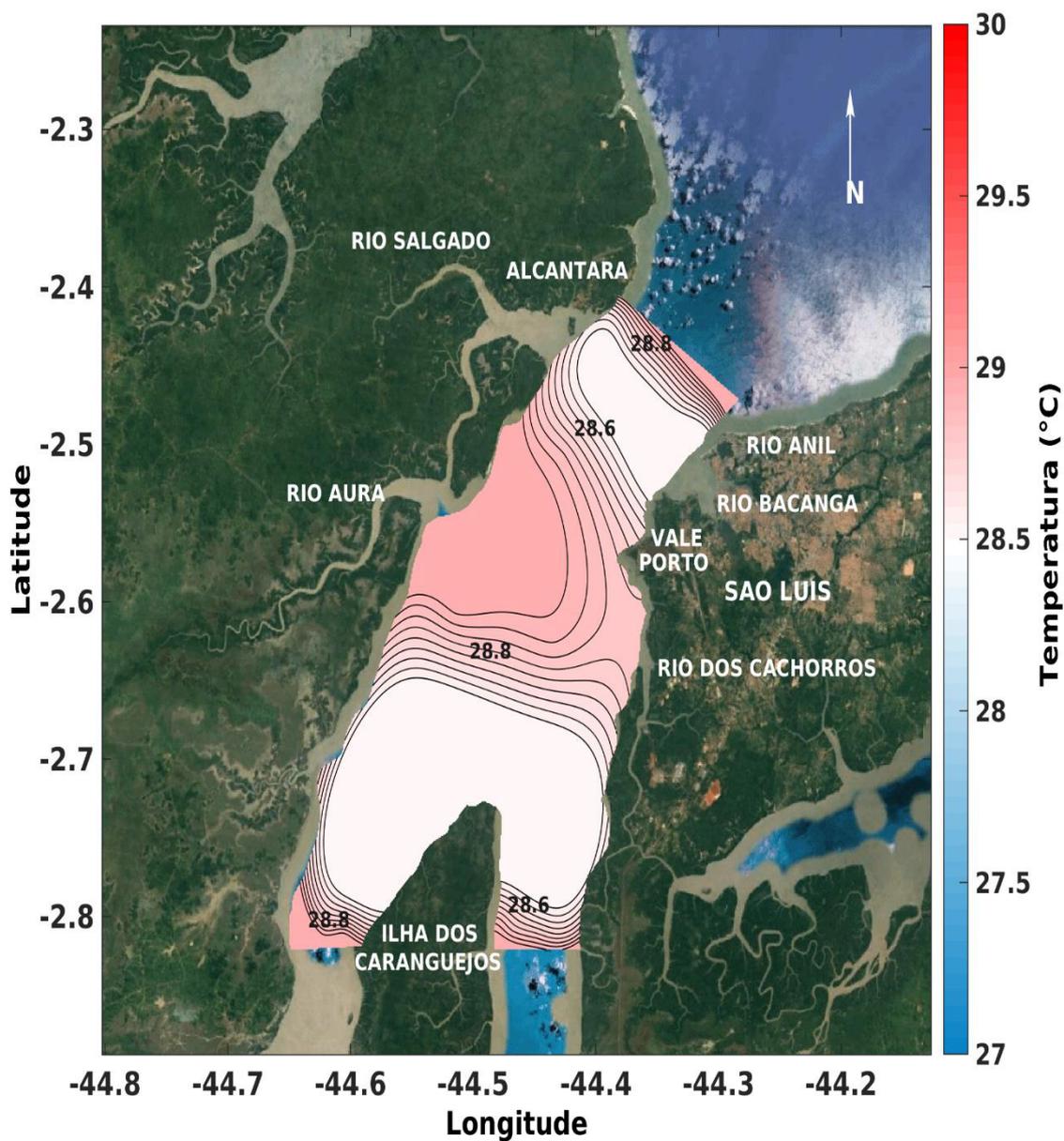


Figura 8 – Gradiente horizontal dos valores de temperatura observados em meia água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

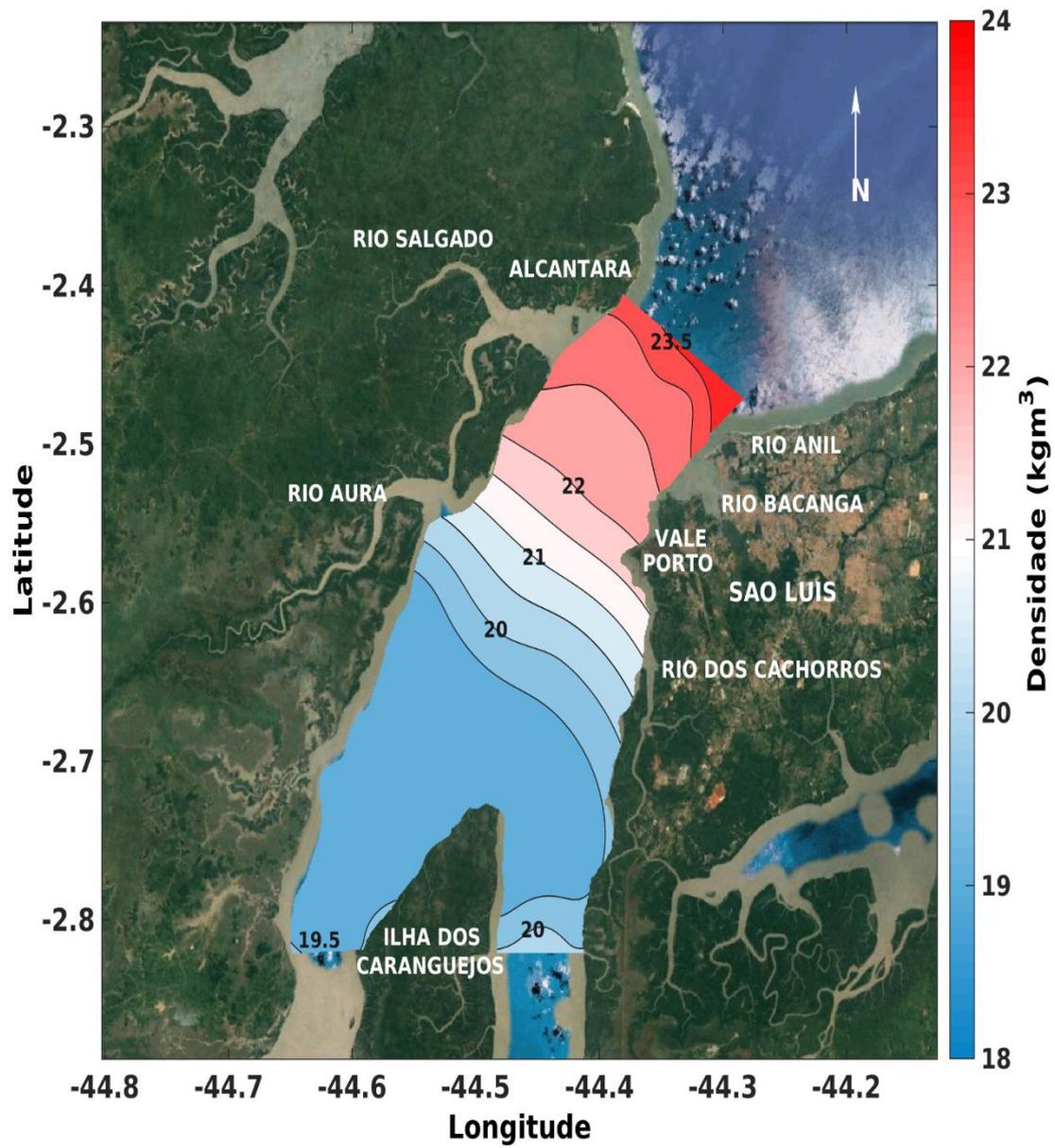


Figura 9 – Gradiente horizontal dos valores de densidade observados em meia água no CSM durante o período chuvoso de 2017.

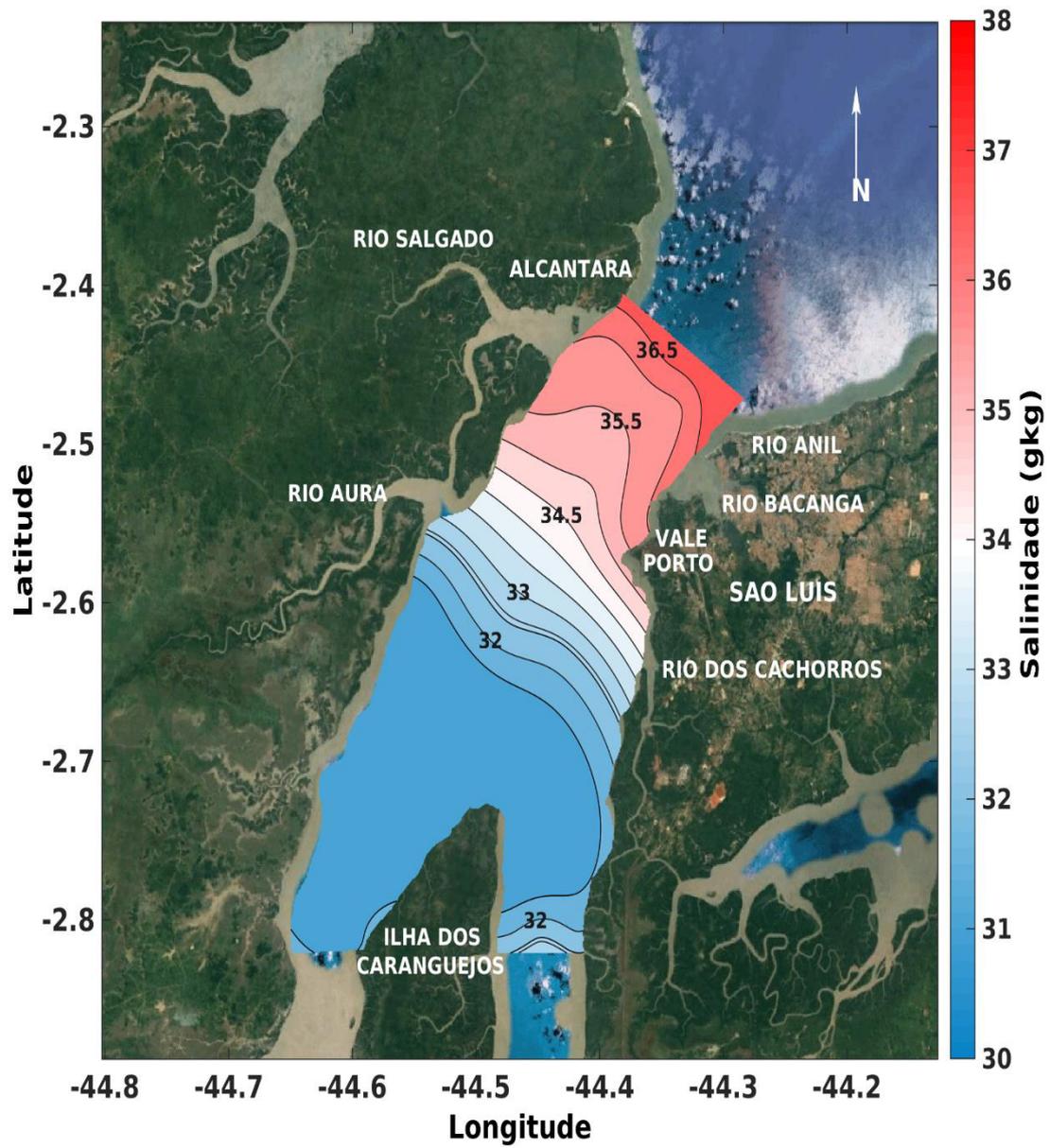


Figura 10 – Gradiente horizontal dos valores de salinidade observados no fundo da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

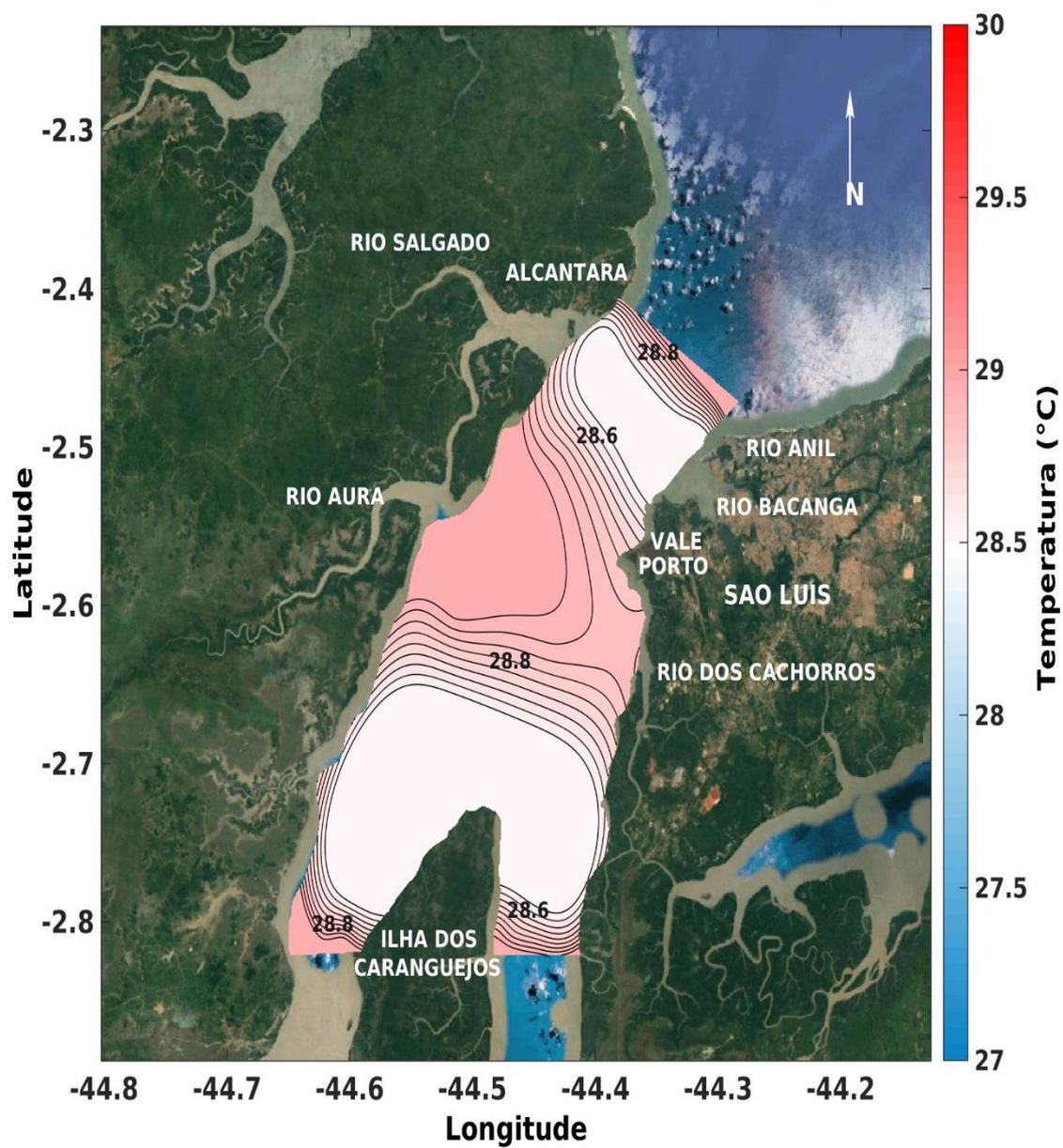


Figura 11 – Gradiente horizontal dos valores de temperatura observados no fundo da coluna de água no CESM durante o período chuvoso de 2017.

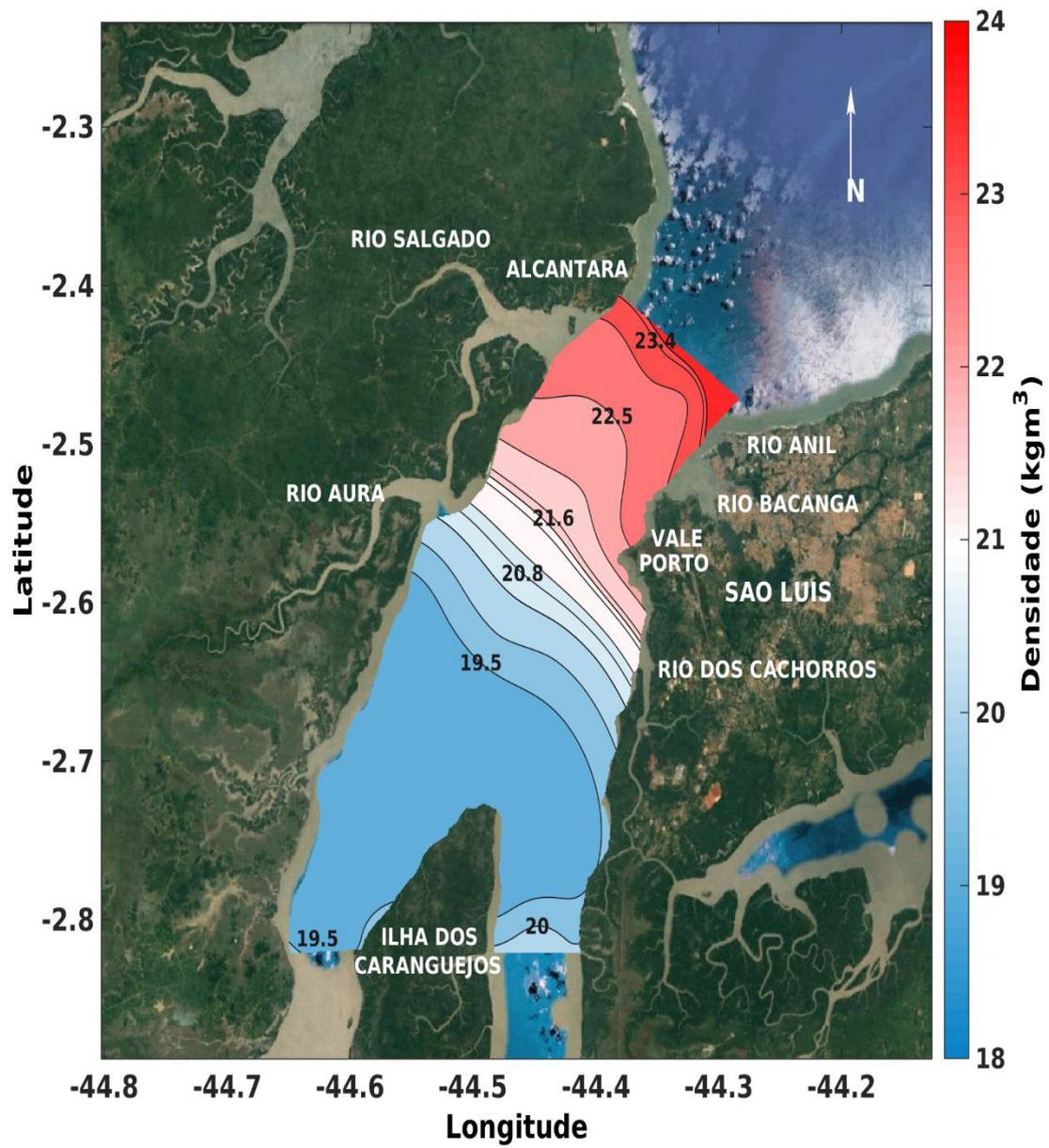


Figura 10 – Gradiente horizontal dos valores de densidade observados no fundo da coluna de água no CSM durante o período chuvoso de 2017.

5.1.2 – Distribuição Vertical

A estrutura vertical de salinidade apresentou variação entre 31,09 a 36,72 gkg^{-1} , com média de 33 gkg^{-1} (Figura 12). Com os valores obtidos é possível observar que a variação de salinidade da superfície em relação ao fundo é homogênea, porém é possível notarmos uma estratificação longitudinal, onde os maiores valores estão presentes estuário abaixo, enquanto que os menores valores estão presentes estuário acima. Mostrando a intrusão de água mais salina, proveniente do oceano, adentrando no estuário.

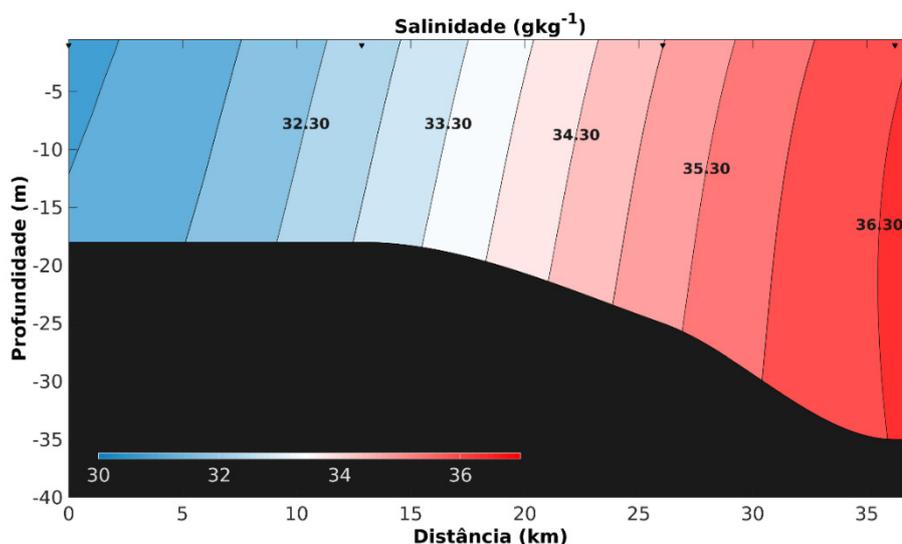


Figura 12 – Distribuição vertical de salinidade no CESM.

Durante o período chuvoso de 2017, ao longo das 4 radiais realizadas no CESM, a temperatura apresentou variação entre 28,54 a 28,94 °C, com valores médios de 28,8 °C (Figura 11). A partir dos valores apresentados podemos observar que a variação foi muito baixa, caracterizando uma estrutura térmica vertical homogênea. A estrutura vertical foi definida por valores menos elevados estuário abaixo, crescendo gradativamente estuário acima, com os menores valores observados nas radiais 3 e 4 e valores pouco mais elevados nas radiais 1 e 2. Tais resultados sugerem a mistura das águas mais frias vindo do oceano com águas mais quentes provenientes da descarga fluvial.

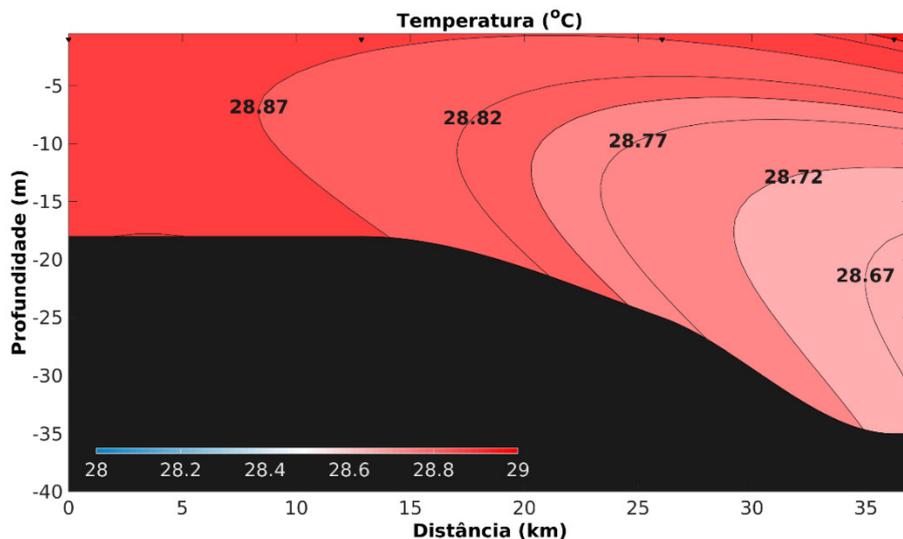


Figura 11 – Distribuição vertical de temperatura no CESM.

A distribuição de densidade ao longo do CESM apresentou valores entre 19,13 a 23,35 kgm^{-3} , com média de 20,56 kgm^{-3} (Figura 13). Apesar do CESM apresentar uma estratificação térmica irrisória ao longo de todo o estuário, é possível observar uma estratificação de salinidade longitudinal bem diferente em relação a temperatura, demonstrando uma variação mais elevada de seus valores, o que faz com que o CESM evidencie uma estrutura vertical de densidade, ocorrendo uma estratificação apenas longitudinal, onde pode se observar menores valores de densidade estuário acima, enquanto que apresenta valores maiores estuário abaixo.

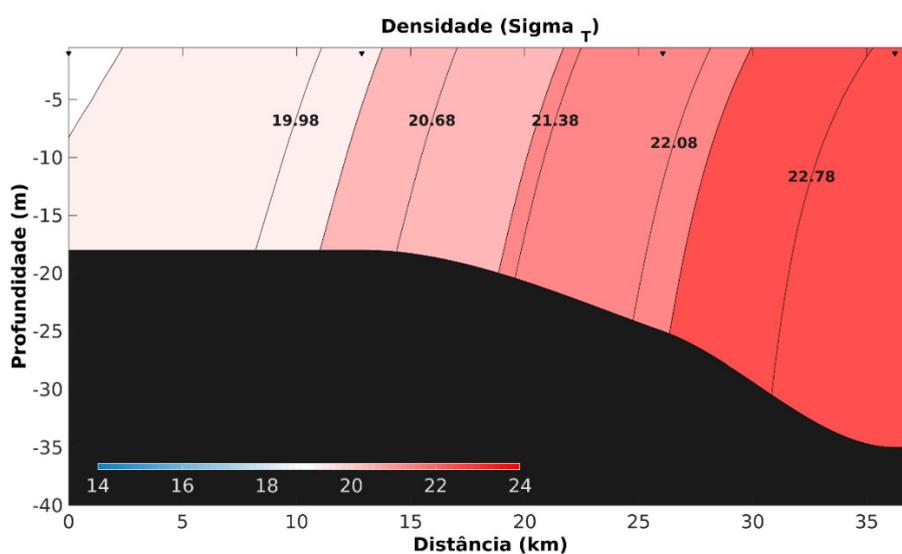


Figura 13 – Distribuição vertical do campo de massa no CESM.

5.1.3 Diagrama T-S

Segundo os critérios estabelecidos por Dias et al. (2013) (tabela 2), designamos os índices termohalinos característicos para Água Costeira (AC) e Água de Frente (AF).

Tabela 2 – Índices termohalinos para classificação de massas de água de acordo com Dias et al (2013).

Massa de Água	Temperatura	Salinidade
Água de Rio (AR)	≤ 29	≤ 30
Água Costeira (AC)	>28.5	≥ 33
Água Tropical (AT)	< 20	$> 36,2$
Água de Frente (AF)	28 - 29	30 - 33

A distribuição termohalina, correspondente ao período chuvoso de 2017 (figura 14), podemos observar temperaturas superiores a 28,5 °C, e salinidades variando de 31 a 37gkg⁻¹. A distribuição dos índices T-S para o ano de 2014 caracteriza presença de AF, oriunda do processo de descarga fluvial e processos de mistura com AC, com temperatura (28,5 < T < 29 °C) e salinidade elevadas (31 < S < 36 gkg⁻¹), entre os limites isopicnais (σ_t) de 19 < σ_t < 23 kgm⁻³ e também a presença de AC, provenientes da mistura entre AF e águas oceânicas mais salinas, com temperatura (28 < T < 29 °C) e salinidade bem elevadas (S > 36 gkg⁻¹) entre os limites isopicnais de 23 < σ_t < 24 kgm⁻³.

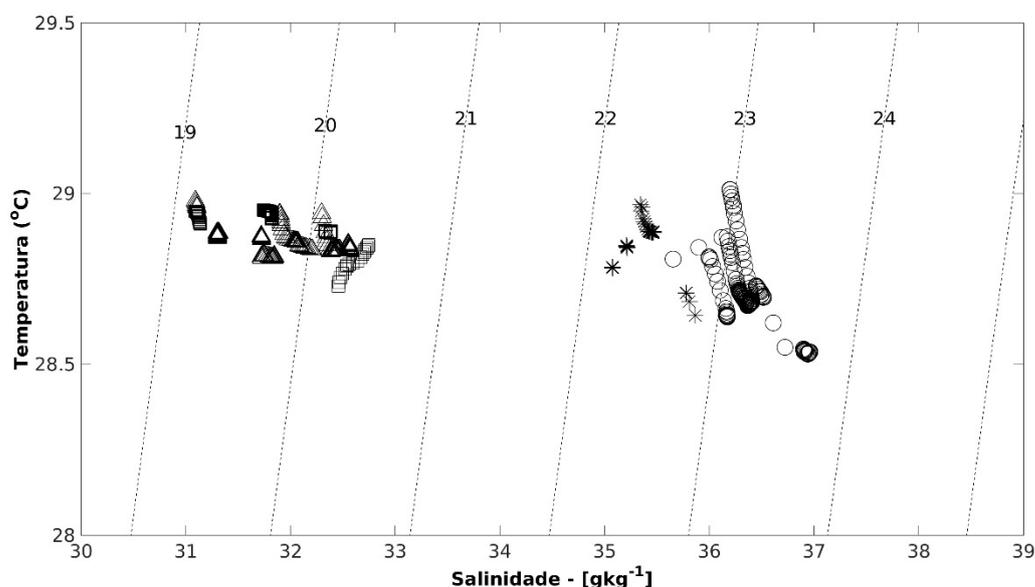


Figura 14 – Diagrama T-S espalhado para o CEM durante a estação de chuva de 2017. As isolinhas representam a densidade convencional (σ_t), os triângulos representam a radial 1, os quadrados representam a radial 2, os asteriscos representam a radial 3 e os círculos representam a radial 4.

Nota-se a presença de AC somente na radial 4, apontando elevada temperatura ($T > 28,5$ °C) e elevada salinidade ($36 < S < 37$ gkg⁻¹) nos limites isopicnais de $22 < \sigma_t < 24$ kgm⁻³, manifestando um pequeno avanço dessa massa de água no CESM. Nas radiais 1, 2 e 3 podemos identificar a presença de AF, menos salinas ($31 < S < 36$ gkg⁻¹), porém com temperatura semelhante da AC ($28,5 < T < 29$ °C), alocados entre as isopicnais de 19 a 23 kgm⁻³. A quase verticalidade das isopicnais mostra a homogeneidade das massas de água atuantes na região.

Analisando o comportamento dos índices T-S durante o período de amostragem, chuvoso em maré de sizígia, percebemos a pouca influência que as águas fluviais, exerceram no CESM durante o ano de 2017, enquanto que podemos notar a maior atuação de águas marinhas ao longo do estuário, o que muito se deve ao fato de que, com a minimização de fluxos fluviais, a propagação da onda de maré ocorre com mais facilidade, transportando águas mais salinas estuário adentro. Podemos mensurar no CESM de acordo com os índices termohalinos obtidos, a presença unicamente de dois tipos de massas de água (AF e AC).

Apesar da amostragem ter sido realizada em período chuvoso, não podemos deferir o quanto de água oriunda dos processos pluviométricos chegaram no rio Mearim, porém através dos índices termohalinos obtidos neste trabalho, podemos sugerir que a influência do aporte fluvial para aquele ano, foi muito baixa, e que isso influenciou na entrada da maré estuário acima, causando assim uma salinização de águas que deveriam apresentar menores valores de salinidade para aquela época.

6 CONCLUSÃO

Durante o período de amostragem realizado no CESM em 2017, foi possível observar presença de águas salinas ao longo de todo o estuário, o que nos leva a sugerir que o aporte fluvial presente no complexo foi muito baixo, facilitando o transporte de água mais salina através da propagação das ondas de maré. Já os valores de temperatura mostraram se homogêneos tanto longitudinalmente como verticalmente. O comportamento observado pelo campo de massa, se demonstrou muito semelhante ao comportamento de salinidade, com valores mais elevados estuário abaixo e diminuindo gradativamente estuário acima. Com base na estrutura termohalina desse estudo, podemos observar que a distribuição do campo de massa está ligada diretamente a oscilação da salinidade e que não houve influência direta da distribuição térmica.

O gradiente vertical halino e de campo de massa se mostrou homogêneo ao longo de toda coluna de água, apresentando estratificação somente no âmbito longitudinal, evidenciando assim uma forte mistura presente no CESM, resultante da ação da maré. No tocante ao gradiente vertical térmico, não foi possível constatar nenhum tipo de variação ao longo de todo estuário.

Os índices termohalinos obtidos neste estudo nos mostraram a presença de duas massas de água presentes no CESM (AF e AC). A presença de AF foi observada na maior parte do estuário, adentrando até as proximidades da Ilha do Caranguejo, tendo sua formação iniciada entre a mistura de massa de AC e o pequeno aporte de água estuarina. A presença de AC foi observada unicamente na radial 4, próximo a região costeira da Ilha de São Luís, onde foi possível observar os maiores índices de salinidade no complexo.

O avanço de águas mais salinas estuário acima, proveniente do baixo fluxo fluvial observado para o ano de 2017, nos gera uma certa preocupação, tendo em vista que o gradiente de salinidade afeta diretamente na distribuição e sobrevivência de animais e vegetais no estuário. O efeito do gradiente halino juntamente com o térmico, além de afetar na distribuição da biota local, também são responsáveis pela recirculação de nutrientes e pela possível dispersão de poluentes lançados no estuário, fato que pode atingir diretamente a comunidade ribeirinha, que utilizam recursos daquele ambiente para diversas atividades de subsistência.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. G., ALFREDINI, P. **Modelação Hidrossedimentológica no canal de acesso do Complexo Portuario do Maranhão**. Diretoria da ABRN, v. 15, n 2, p. 5. 2010.

AURENHAMER, F.; KLEIN, R. **Voronoi diagrams**. 1^a ed. FernUversidat Hagen: Technical Report. 1989.

BINDOFF, N. L., ROSENBERG, M. A., WARNER, M. J. **On the circulation and water masses over the Antarctic continental slope and rise between 80 and 1501 E**. Deep-Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography 47777(12-13), 2299-2326. 2000.

CAVALCANTE, G. H.; FEARY, D. A.; KJERFVE, B. **Effects of tidal range variability and local morphology on hydrodynamic behavior and salinity structure in the Caeté river estuary, north Brazil**. International Journal of Oceanography. 2017.

DHN – DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Anais Hidrográficos**. Revista Anual da Diretoria de Hidrografia e Navegação. 2013

DIAS, F. J. S.; LACERDA, L. D.; MARINS, R. V.; PALA, F. C. F. **Comparative analysis of rating curve and adp estimates of instantaneous water discharge through estuaries in two contrasting brazilian rivers**. **Hydrological Process.**, DOI:100.1002/hyp.7972. 25, n. 2, p. 2188-2201. 2011.

DIAS, F. J. S.; MARINS, R.V.; MAIA, L.P.; FARIAS, E.G.G. **Dependência do tempo de residência da água no estuário do Rio Jaguaribe (NE, Brasil), em relação à entrada de águas marinhas e a descarga de água doce**. Anais do XII Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, abril 15-19, 2007. Florianópolis: AOECEANO, 2007.

DIAS F.J.S., CASTRO B.M., LACERDA L.D. **Continental shelf water masses off the Jaguaribe River (4S), northeastern Brazil**. Continental Shelf Research, Volume 66, 1 September, Pages 123-135. 2013

EMERY, W.J. **Water types and water masses**. University of Colorado, Boulder, CO, USA, 2003.

EMERY, W. J., AND R. E. THOMSON,: **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**. Pergamon, 634 pp. 1998

EMILSON, I. **The shelf and coastal Waters off Southern Brazil**. Bulletin of Oceanography, Intute of São Paulo University 11(2), 44-54. 1961.

FURTADO, J. G. C. **Estudo de impactos ambientais causados por metais pesados em água do mar na baía de São Marcos: correlações e níveis de background**. 2007. 74 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) Faculdade de João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2007.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Precipitações históricas para o Complexo Estuarino de São Marcos**. Em (<http://inmet.gov.br>) Acesso em 06 de janeiro de 2018.

JENNERJAHN, T. et al. **The tropical Brazilian continental margin** In: Liu K et al. (Eds), **Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins, A global synthesis**, Berlin: Springer Verlag Heidelberg, p. 427-436. 2010

KJERFVE, B. **Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography**. In: Day Jr, J.W.; Hall, C. A. S., Kemp W. M.; Yanez-Arancibia, A. (eds). **Estuarine Ecology**. New York, Wiley. 1987.

LEFÈVRE, N. et al. **A source of CO₂ to the atmosphere throughout the year in the maranhense**. **Continental Shelf Research**, v. 141, n. May, p. 38-50. 2017.

MAMAYEV, O. I. **Temperature-salinity analysis of world Waters**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publ. 1975

MASCARENHAS, J. A. S., MIRANDA, L. B., ROCK, N. J. **A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio**. In: Costlow JR., J. D (Ed.), **Fertility of the sea**, vol. 1. Gordon and Breach, New York, pp 285-308, 1971.

MÍLEN, A. F. **Complexo Portuario da Baía de São Marcos: Contribuições às análises geoambientais**. VI Simposio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology. 2006.

MIRANDA, L.B. **Forma de correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1985.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B.M. **Aplicação do diagrama T-S estatístico volumétrico a análise das massas de água da plataforma continental do Rio Grande do Sul.** Boletim do Instituto Oceanográfico 28(1),185–200, 1979

MÍLEN, A.F., COSTA, A. DE S., MELO, A.V.L.D. DE., AROUCHA, F.R., DIAS, L.J.B. DAS S., **Complexo portuário da Baía de São Marcos: contribuições às análises geoambientais.** VI Simpósio nacional de geomorfologia. Goiânia-GO, Goiás, 2006.

NETO, H.F. **As massas de água na Bacia de Campos, RJ.** Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

OFFICER, C. B. **Longitudinal Circulation and Mixing Relations in Estuaries. Estuaries, Geophysics, and the Environmet.** Washigton D. C., National Academy of Science, pp. 13-21. 1977.

OKUNDA, T. **Physical and chemical oceanograpgy over continental shelf between Cabo Frio and Vitoria (central Brazil).** Journal of the Oceanographical Society of Japan 1,514-540. 1962.

PEREIRA, J. E. R.; HARARI, J. **Modelo numérico tri-dimensional linear da plataforma continental do Estado do Maranhão.** Bolm. Inst. Oceanografia, São Paulo, 43(1): 11-26. 1995.

PINHEIRO, J. M. **Distribuição espaço-temporal da pluviosidade na ilha do maranhão no ano de 2016.** Revista de Geografia e Interdisciplinaridade. 2017.

PONTES, P.H.P & EL-ROBRINI, M. **Massas d'água da plataforma continental do Maranhão, durante o período seco (novembro, 1997).** Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, 21:17-24. 2008.

SANTOS, F.T. **Variação espaço-temporal da água Central do Atlântico Sul (ACAS) entre os paralelos de 10°S e 25°S.** Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2012.

SECID – SECRETARIA DE ESTADO DAS CIDADES E DESENVOLVIMENTO URBANO. **Resumo do Diagnostico do Plano Diretor da Bacia Hidrografia do Mearim-MA.** 2014

SILVA, L. C. F.; ALVARENGA, J. B. R. **Levantamento do estado da arte dos recursos vivos marinhos do Brasil – Oceanografia Física da Região Nordeste**. Ministério do Meio Ambiente, 200 p. 1994

SILVA, A. C.; ARAÚJO, M.; BOURLÈS, B. **Variação sazonal da estrutura de massas de água na plataforma continental do amazonas e área adjacente**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n.2, p. 145-157, 2005.

SOUSA, J.K.C. **Avaliação dos impactos ambientais causados por metais-traço em água, sedimento e material e biológico, na Baía de São Marcos, São Luís – Maranhão**. Tese de Doutorado. João Pessoa, 2009.

SPERB., RAFAEL M., MODRO, NILSON R., MARTINS, ALEJANDRO., PACHECO, ROBERTO, C.S. **Classificação de Massas D'Água: Um enfoque Difuso**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP. Florianópolis, 1999.

TOMCZAK, M. **Some historical, theoretical and applied aspects of quantitative water mass analysis**. Journal of Marine Research, (57), 275-303. 1999.

ZEMBRUSKI, S. **Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes**. In: **PROJETO REMAC. Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. Rio de Janeiro: PETROBRAS. CENPES. DINTEP (Série REMAC no 7). p 129–177. 1979.