

PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO RIO SÃO FRANCISCO DURANTE O PERÍODO DE VAZÃO REDUZIDA

CTNE-70.2018.6530.00



EXECUÇÃO:



FUNDAÇÃO APOLÔNIO SALLES
F A D U R P E

RELATÓRIO MENSAL DE MONITORAMENTO DA CUNHA SALINA



DEZEMBRO, 2019

**PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO RIO SÃO FRANCISCO
DURANTE O PERÍODO DE VAZÃO REDUZIDA**

CTNE-70.2018.6530.00

**RELATÓRIO MENSAL DE MONITORAMENTO DA
CUNHA SALINA**

EXECUÇÃO:



RECIFE, 2019

Monitoramento dos parâmetros hidrológicos e meteorológicos com ênfase na intrusão salina no baixo São Francisco

Relatório mensal

Dezembro/2019

Equipe Executora

Dr. William Severi (CREA 10.942-D) - Coordenador

Dr. Ernesto de Carvalho Domingues

Engenheiro de Pesca, Crea: PE 044600

Equipe de apoio

Msc. José Cavalcante de Oliveira Filho

Oceanógrafo

Augusto Cesar Cristo de Carvalho

Engenheiro de Pesca

Sumário

1	Introdução	9
2	Área de trabalho.....	11
3	Metodologia	12
4	Resultados	15
	MONITORAMENTOS MÓVEIS (LONGITUDINAIS).....	15
	Dados hidrodinâmicos	21
	Campanhas móveis realizadas nos dias 26 e 30 de novembro de 2019.	22
	Campanhas móveis realizadas nos dias 12 e 13 de dezembro de 2019.	26
	Resultados do CTD	30
	MONITORAMENTO FIXO	40
	Dados hidrodinâmicos, campanhas fixas realizadas nos dias 28 e 29 de novembro de 2019	41
	Campanhas fixas realizadas nos dias 11 e 14 de dezembro de 2019	43
	Resultados de salinidade e temperatura pontos fixos.....	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50

Índice de Figuras

Figura 1: Série histórica de 2010 a 2019 do acúmulo de água nos reservatórios ao longo do rio São Francisco. Fonte: < www.ana.gov.br >.....	10
Figura 2: Localização das estações de monitoramento da introdução da cunha salina no trecho inferior do rio São Francisco. A posição das estações está marcada em vermelho.	11
Figura 3: Bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande - SE.	12
Figura 4: Instrumentos empregados na mensuração das variáveis meteorológicas e hidrológicas: CTD YSI CAsTaway (A), correntômetro Aquadopp Current Meter (B) e mini-estação Kestrel (C).	14
Figura 5: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019.....	22
Figura 6: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019.	23
Figura 7: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019.....	24
Figura 8: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 30/11/2019.	25
Figura 9: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019.	26
Figura 10: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019.	27
Figura 11: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019.	28
Figura 12: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha preta) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019.	29
Figura 13: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 26 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	31
Figura 14: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 26 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	31
Figura 15: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	32
Figura 16: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	32
Figura 17: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz),	

	no período de baixamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	33
Figura 18:	Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	33
Figura 19:	Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 13 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	34
Figura 20:	Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 13 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	34
Figura 21:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 26 novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	36
Figura 22:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 26 de novembro 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	36
Figura 23:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	37
Figura 24:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	37
Figura 25:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	38
Figura 26:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	38
Figura 27:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 13 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.	39
Figura 28:	Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 13 de dezembro de 2019.	39
Figura 29:	Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa em Brejo Grande no dia 28/11/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.	41
Figura 30:	Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF 30), no dia 28-29/11/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.	42
Figura 31:	Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa em Brejo Grande no dia 11/12/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.	43

Figura 32: Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF 30), no dia 13-14/12/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.	44
Figura 33: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 28 de novembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande - SE (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.	46
Figura 34: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 28-29 de novembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu (Penedinho, ESF 30). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.	46
Figura 35: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 11 de dezembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande - SE (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.	47
Figura 36: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 14 de dezembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu (Penedinho, ESF 30). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.	47
Figura 37: Distribuição temporal da temperatura da água durante o monitoramento fixo realizado no dia 28 de novembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.	48
Figura 38: Distribuição temporal da temperatura para o monitoramento fixo de 12 horas da cunha salina, realizado no dia 11 de dezembro de 2019 nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.	48

Índice de Tabelas

Tabela 1: Nome, coordenadas, profundidade na baixamar e distância da foz de cada estação de coleta do monitoramento da cunha salina na foz do Rio São Francisco.....	14
Tabela 2: Dados de altura da maré durante as fases de lua nova (26 e 30/11/19) e lua cheia (12 e 13/12/19). Dados relativos ao Terminal Marítimo Inácio Barbosa - SE (DHN).....	15
Tabela 3: Dados da direção, velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.....	16
Tabela 4: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.....	16
Tabela 5: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias para cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019 na foz do Rio São Francisco.....	17
Tabela 6: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019, na foz do Rio São Francisco.	17
Tabela 7: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	18
Tabela 8: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	18
Tabela 9: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	19
Tabela 10: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	19
Tabela 11: Médias gerais dos dados de vento para as medições referentes às luas nova e cheia do mês de dezembro de 2019.	20
Tabela 12: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.	22
Tabela 13: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.	23
Tabela 14: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019, na foz do Rio São Francisco.	24
Tabela 15: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 30/11/2019, na foz do Rio São Francisco.	25
Tabela 16: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	26
Tabela 17: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	27
Tabela 18: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	28

Tabela 19: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.	29
Tabela 20: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande –SE, no dia 28/11/2019.	41
Tabela 21: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF30) no dia 28-29/11/2019.....	42
Tabela 22: Dados de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande –SE, no dia 11/12/2019.	43
Tabela 23: Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF30) no dia 13-14/12/2019.....	44

1 Introdução

Os corpos hídricos do Rio São Francisco-RSF percorrem por 521 municípios, passando por seis estados: Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Goiás, além do distrito Federal. Ao longo do rio, a água é utilizada principalmente para irrigação (77%), em segundo lugar para a demanda urbana (11%) seguida pela indústria (7%). Além dos usos citados, o rio também é utilizado para produção de energia, que através de 10 usinas hidrelétricas denominadas pelos seguintes nomes; Queimado, Três Marias, Sobradinho, Luiz Gonzaga, Complexo de Paulo Afonso (que reúne as usinas de Paulo Afonso I, II, III, IV e Apolônio Sales) e Xingó, juntas produzem cerca de 10.708 MW, correspondente a cerca de 12 % da energia nacional (ANA_2019). No período de 2012 a 2017, muitas cidades no entorno do rio enfrentaram períodos de estiagem ano após ano, o que pode ser percebido nos níveis de volume dos reservatórios (Figura 1). Após um período de aproximadamente 6 anos de estiagem, os reservatórios do rio São Francisco vêm se normalizando (**Figura 1**), atualmente os níveis de volume de água dos reservatórios encontram-se na faixa operacional normal, fato expresso por meio da carta circular SOO-013/2019, emitida pela CHESF no mês de setembro, desta forma a defluências adotadas desde o dia 23 de novembro está entre 850 a 1600m³.

A restrição no fluxo de vazão influencia diretamente na vida de aproximadamente 50.000 pessoas que habitam as duas maiores cidades localizadas da foz do rio: Piaçabuçu na margem alagoana e Brejo Grande na margem sergipana. Essas duas cidades possuem o Rio São Francisco como principal fonte de captação de água, de modo que a manutenção contínua de uma vazão reduzida do rio pode permitir que a cunha salina penetre o rio São Francisco, atingindo as fontes de captação de água potável para as duas cidades. Desta forma, entende-se que o monitoramento da cunha salina ao longo do rio é de fundamental relevância para a manutenção do uso múltiplo da água de forma segura, visando a saúde das pessoas, assim como a manutenção de animais e plantios na região.

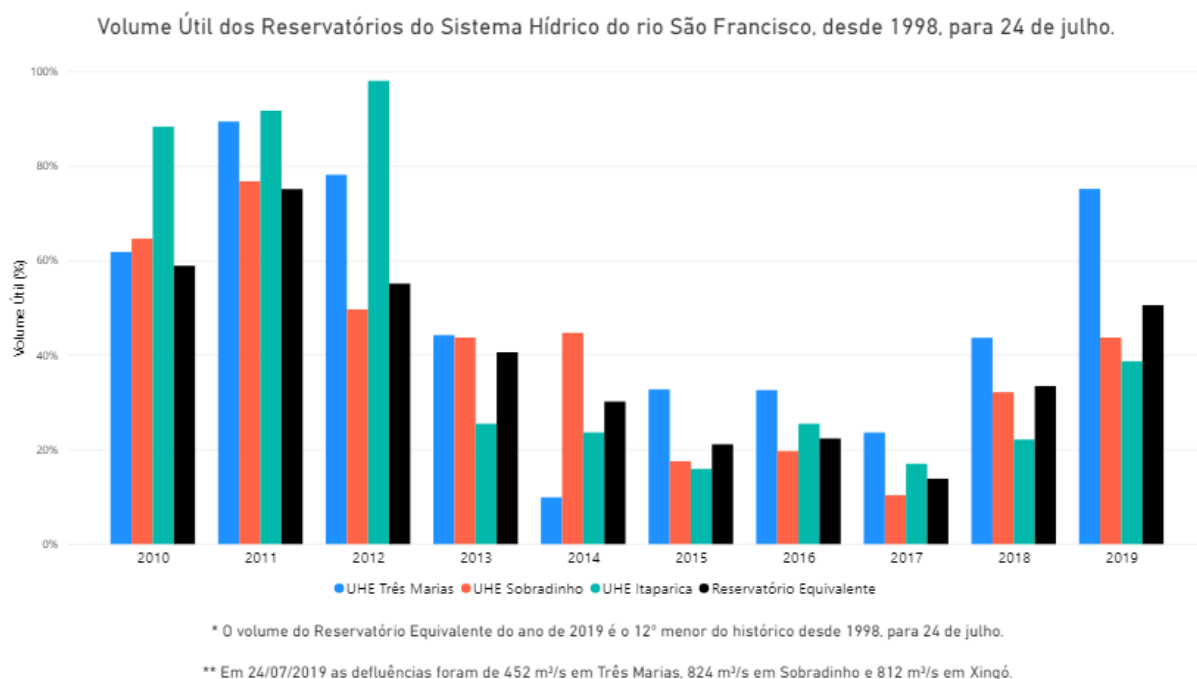


Figura 1: Série histórica de 2010 a 2019 do acúmulo de água nos reservatórios ao longo do rio São Francisco. Fonte: <www.ana.gov.br>.

O objetivo do presente monitoramento é acompanhar o comportamento dos parâmetros hidrográficos, hidrodinâmicos e meteorológicos ao longo do trecho inferior do rio São Francisco, próximo à sua foz no Oceano Atlântico, durante períodos de preamar e baixamar e em ciclos completos de maré, nas bombas de captação das cidades de Brejo Grande e Piaçabuçu (localidade de Penedinho - AL), com ênfase no monitoramento das concentrações de sais na água do rio ao longo de 14 pontos amostrais. Através dos dados coletados, pretende-se compreender os mecanismos pelos quais a água salgada do mar penetra rio acima e se mistura à água doce, bem como avaliar a extensão desta penetração e o eventual alcance dos pontos de captação de água para abastecimento público das duas cidades.

2 Área de trabalho

A área de estudo está localizada na foz do rio São Francisco, no trecho situado entre os estados de Alagoas e Sergipe. As coletas foram realizadas em 14 pontos amostrais ao longo da foz do rio São Francisco, entre os municípios de Piaçabuçu - AL e Brejo Grande - SE (Figura 2).

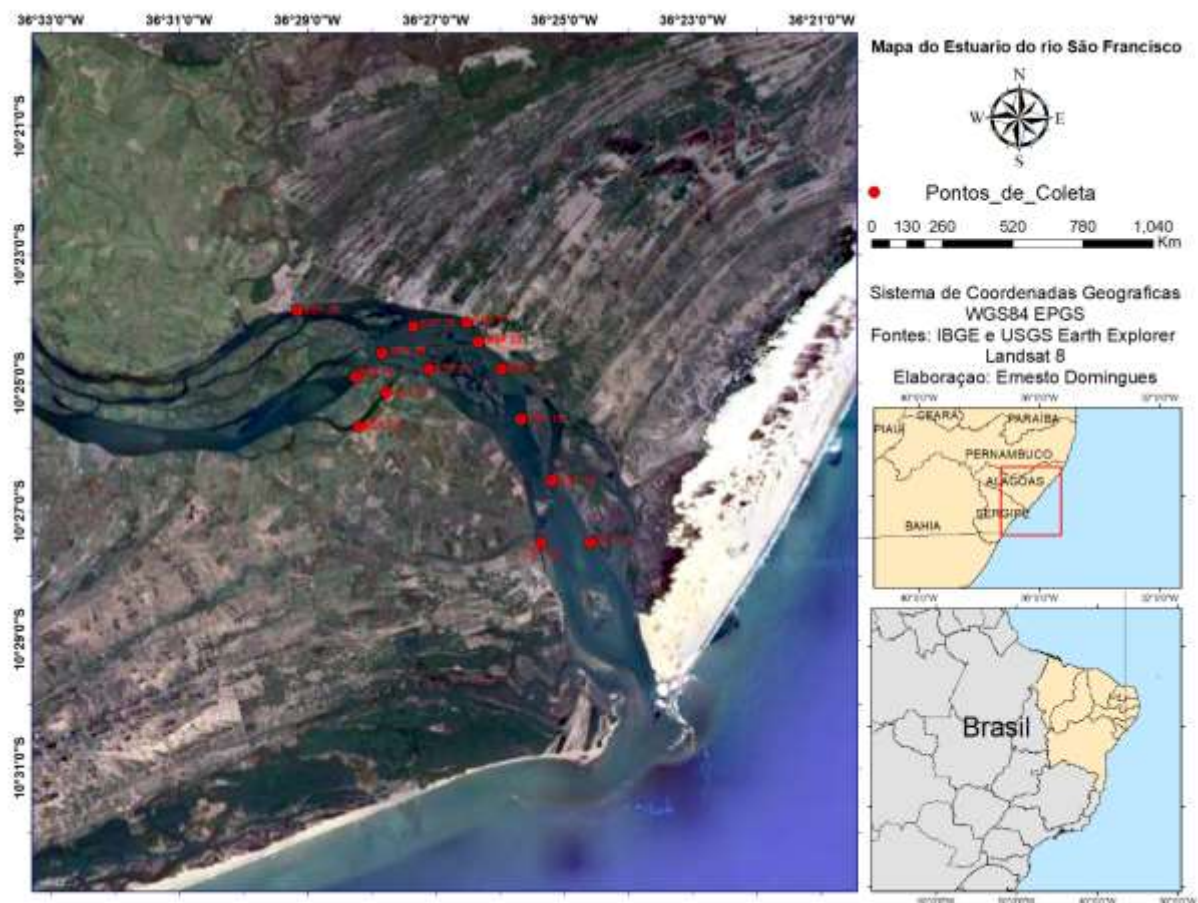


Figura 2: Localização das estações de monitoramento da introdução da cunha salina no trecho inferior do rio São Francisco. A posição das estações está marcada em vermelho.

3 Metodologia

O monitoramento da cunha salina referente ao mês de dezembro de 2019 foi realizado nos picos mensais de marés de sizígia (lua cheia e lua nova). Foram executadas campanhas hidrológicas móveis (lagrangeanas) em dois ciclos completos de maré, com coletas de dados em 14 estações, distribuídas entre a foz do rio (ESF 10 e D1; **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), a cidade de Piaçabuçu –AL (ESF 21 e 22), o distrito de Penedinho – AL (ESF 30) e a cidade de Brejo Grande- SE (ESF 30). Em cada lua de sizígia também foram feitas duas campanhas fixas (eulerianas) de 12 horas nas proximidades das bombas de captação de água dos municípios de Piaçabuçu-AL (no distrito rural de Penedinho) e Brejo Grande - SE (Figura 3).



Figura 3: Bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande - SE.

As campanhas móveis foram iniciadas 1 hora antes do pico máximo das marés de preamar e 1 hora antes do mínimo das marés de baixamar, sempre iniciando o

monitoramento na foz do rio no ponto ESF D1. Para as campanhas fixas, foram feitas 13 coletas horária.

Nos monitoramentos, foram realizados perfis de salinidade e temperatura da água do rio; medição da intensidade e direção da corrente; direção, e medição da intensidade do vento e da temperatura atmosférica. Para a obtenção dos dados foram utilizados uma sonda perfiladora de dados CTD (acrônimo de Conductivity, Temperature and Depth), marca YSI, modelo Castway (Figura 4-A); um correntógrafo da marca Nortek, modelo Aquadopp modelo Current Meter, com frequência de 2 MHz (Figura 4-B); e uma mini-estação meteorológica da marca Kestrel, modelo 5400 (Figura 4-C). Os perfis com a sonda CTD foram programados para registrar dados a cada 30 cm, os dados de corrente foram registrados a cada 1 metro, e os dados meteorológicos foram mensurados pontualmente nos locais de coleta. As estações tiveram suas posições definitivas devidamente georreferenciadas por meio de um receptor GPS Garmin Etrex, constantes da Tabela 1, nas quais podem ser visualizados os nomes das estações, suas latitudes e longitudes, as profundidades na baixamar e a distância de cada ponto até a foz do rio.

Os dados do correntógrafo e da estação meteorológica foram registrados em fichas de papel no momento da coleta, cujas planilhas foram escaneadas em escritório em seguida, digitalizadas em programa [®]Excel, usado para a elaboração das tabelas e figuras dos valores médios de cada parâmetro apresentados nos resultados do presente relatório. Os dados da sonda CTD foram armazenados na memória do próprio instrumento e, posteriormente, baixados para um computador através do software [®]Castway-CTD v. 15 no formato “.mat”. Utilizando-se a plataforma de processamento de dados [®]Matlab, os dados da sonda foram filtrados, tratados e, por meio de programação computacional, foram geradas as figuras longitudinais de temperatura e salinidade. Essas figuras representam a variação de salinidade e temperatura em relação à distância longitudinal de cada estação até a foz.

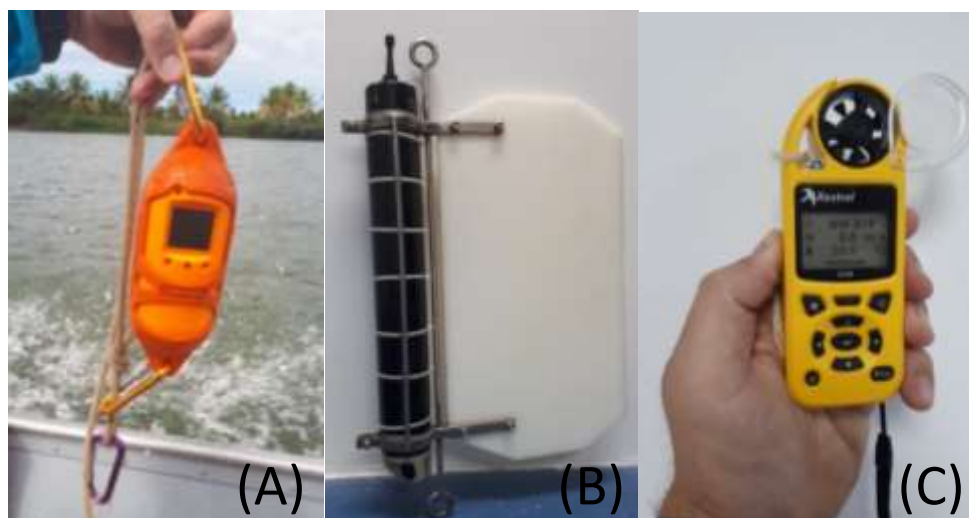


Figura 4: Instrumentos empregados na mensuração das variáveis meteorológicas e hidrológicas: CTD YSI CAstAway (A), correntômetro Aquadopp Current Meter (B) e mini-estação Kestrel (C).

Tabela 1: Nome, coordenadas, profundidade na baixamar e distância da foz de cada estação de coleta do monitoramento da cunha salina na foz do Rio São Francisco.

Estações	Latitude (S)	Longitude (O)	Profundidade (m)	Dist. da foz (m)
ESF_D1	-10,458	-36,423	5,02	6,13
ESF 10	-10,458	-36,410	6,97	5,54
ESF 14	-10,442	-36,420	2,97	7,54
ESF 18	-10,426	-36,428	4,27	9,57
ESF 21	-10,413	-36,433	9,01	11,12
ESF 22	-10,406	-36,439	5,71	12,1
ESF 23	-10,401	-36,442	8,59	12,79
ESF 25	-10,413	-36,452	2,58	12,1
ESF 26	-10,402	-36,456	5,35	14,26
ESF 27	-10,419	-36,463	3,67	13,63
ESF 28	-10,409	-36,464	7,13	15,45
ESF 30	-10,398	-36,486	5,35	17,67
ESF 31	-10,415	-36,471	6,81	16,46
ESF 32	-10,428	-36,470	3,43	14,9

4 Resultados

Monitoramentos móveis (longitudinais)

Ficha de Monitoramento dos Pontos de Controle

Na Tabela 2, estão apresentados os valores de altura das marés de baixamar e preamar durante os dias de amostragem, nas duas fases lunares (nova e cheia) relativas às marés de sizígia. Os dados relativos às variáveis meteorológicas (velocidade e direção do vento e temperatura do ar) e suas respectivas médias constam das Tabelas 3 e 4 (lua nova) e das Tabelas 5 a 8 (lua cheia).

No mês de dezembro/19, os ventos sopraram predominantemente da direção de 125°, com velocidade média de 4,1 m.s⁻¹. Os ventos mais intensos foram registrados no período de lua nova, apresentando médias de 4,4 m.s⁻¹, enquanto a média da temperatura atmosférica média foi de 29.4°C (tabela 11).

Tabela 2: Dados de altura da maré durante as fases de lua nova (26 e 30/11/19) e lua cheia (12 e 13/12/19). Dados relativos ao Terminal Marítimo Inácio Barbosa - SE (DHN).

Campanhas móveis			
Lua	Datas	Hora	Altura da Maré (m)
Nova	26/11/2019	01:56	2.3
		08:11	0.0
		14:23	2.2
		20:28	0.1
	30/11/2019	4:53	2.3
		11:00	0.2
		17:08	2.2
Cheia	12/12/2019	23:21	0.1
		03:11	2.1
		09:21	0.2
		15:32	2.1
	13/12/2019	21:41	0.2
		3:51	2.1
		09:58	0.3
		16:06	2.1
		22:17	0.2

Tabela 3: Dados da direção, velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
26/11/2019	08:32	ESF_D1	87	5.7	28.3
	08:49	ESF 10	88	3.3	29.2
	09:13	ESF 14	120	4.8	29.4
	09:27	ESF 18	101	3.3	32.7
	09:51	ESF 21	101	5.1	29.8
	10:01	ESF 22	128	3.7	32.8
	10:13	ESF 23	129	4.6	30
	10:26	ESF 26	159	6.9	39
	10:45	ESF 30	170	5.2	31.5
	10:59	ESF 28	159	5.9	29.7
	11:10	ESF 31	137	2.7	29.9
	11:24	ESF 32	133	2.4	31
	11:34	ESF 27	47	1.9	31.4
	11:42	ESF 25	163	2.1	29.7
Média			129	4.6	30

Tabela 4: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
26/11/2019	15:02	ESF_D1	131	53	280
	15:17	ESF 10	178	4.2	27.7
	15:26	ESF 14	142	41	27.9
	15:36	ESF 18	150	65	27.7
	15:51	ESF 21	143	4.3	28
	16:01	ESF 22	160	4	28.4
	16:14	ESF 23	171	4.0	28.3
	16:22	ESF 26	135	3.2	28.0
	16:39	ESF 30	148	4.1	28.0
	16:54	ESF 28	123	3.3	27.8
	17:02	ESF 31	127	3.5	27.5
	17:13	ESF 32	133	2.4	31
	17:20	ESF 27	47	1.9	31.4
	17:25	ESF 25	163	2.1	29.7
Média			143	47	31

Tabela 5: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias para cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019 na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
30/11/2019	11:09	ESF_D1	86	7.6	29
	11:16	ESF 10	95	5	29.4
	11:26	ESF 14	96	5.9	29.1
	11:37	ESF 18	59	7.7	30.9
	11:49	ESF 21	92	8.4	29.9
	12:00	ESF 22	118	4.6	32.1
	12:09	ESF 23	135	5.5	30.9
	12:22	ESF 26	91	7.1	30
	12:43	ESF 30	118	5.2	30
	14:11	ESF 28	101	6.5	30.2
	14:25	ESF 31	89	4.5	30.6
	14:39	ESF 32	102	3.1	30.9
	14:49	ESF 27	62	3.1	31.1
	14:58	ESF 25	91	4.8	27.7
	Média			94	5.55

Tabela 6: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
30/11/2019	06:00	ESF_D1	50	2.2	26.7
	06:11	ESF 10	44	1.6	26.6
	06:23	ESF 14	49	3.6	26.6
	06:45	ESF 18	50	2	26.8
	06:56	ESF 21	74	2	27.2
	07:10	ESF 22	45	1.7	28
	07:20	ESF 23	144	2.9	28.6
	07:29	ESF 26	49	4.4	27.9
	07:14	ESF 30	89	4.2	28.5
	07:56	ESF 28	64	7.6	28.8
	08:05	ESF 31	70	5.8	28.1
	08:21	ESF 32	87	4.4	28.4
	08:29	ESF 27	61	3	29.1
	08:40	ESF 25	26	7.5	28.5
	Média			56	3.9

Tabela 7: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura atmosférica em cada estação de amostragem da cunha salina e médias de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
12/12/2019	08:30	ESF_D1	64	2.9	28.2
	08:54	ESF 10	59	3.9	28.2
	09:10	ESF 14	64	5.2	29.0
	09:22	ESF 18	139	5.2	29.3
	09:38	ESF 21	140	7.2	28.8
	09:51	ESF 22	91	5.0	29.2
	10:04	ESF 23	108	5.6	29.5
	10:45	ESF 26	179	3	28.8
	11:00	ESF 30	147	6.6	29.1
	11:15	ESF 28	179	5.5	28.5
	11:27	ESF 31	152	4.3	30
	11:45	ESF 32	133	2.6	29.9
	11:53	ESF 27	170	0.9	31.6
	12:02	ESF 25	160	4.1	29.1
Média			140	4.1	29.1

Tabela 8: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
12/12/2019	15:36	ESF_D1	129	5.5	27.9
	15:49	ESF 10	166	3.5	28
	16:02	ESF 14	144	4	28.2
	16:12	ESF 18	117	4.6	28.5
	16:25	ESF 21	116	3.6	28.4
	16:38	ESF 22	127	3.4	28
	16:51	ESF 23	172	5.3	28
	17:01	ESF 26	105	3.4	27.8
	17:16	ESF 30	130	3.6	27.6
	17:31	ESF 28	116	5.2	27.5
	17:39	ESF 31	140	3.7	27.1
	17:54	ESF 32	168	1.2	26.9
	18:03	ESF 27	101	0.9	26.5
	18:12	ESF 25	122	2.7	26.9
Média			128	3.6	27.85

Tabela 9: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
13/12/2019	09:21	ESF_D1	135	1.4	29.8
	09:35	ESF 10	170	4	29.9
	09:47	ESF 14	135	4	29.5
	10:02	ESF 18	183	4.3	29.4
	10:16	ESF 21	188	5	29.1
	10:29	ESF 22	165	4	30.8
	10:40	ESF 23	163	4.8	30
	10:58	ESF 26	163	4.5	30.6
	11:15	ESF 30	165	3.6	30.0
	11:37	ESF 28	170	4.7	30.1
	11:50	ESF 31	174	5.0	30.3
	12:08	ESF 32	109	1.7	31.4
	12:17	ESF 27	187	0.6	31.2
	12:27	ESF 25	185	4.9	30.3
Média			168	4	29.8

Tabela 10: Dados da direção e velocidade do vento e temperatura do ar em cada estação de amostragem da cunha salina e média de cada parâmetro, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Direção (°)	Vel. (m.s ⁻¹)	Temp. ar (°C)
13/12/2019	15:17	ESF_D1	153	4	28
	15:31	ESF 10	190	4	27.9
	15:42	ESF 14	149	3.2	28.4
	15:53	ESF 18	123	5	28.4
	16:04	ESF 21	140	2.9	28.6
	16:15	ESF 22	165	4.4	28
	16:24	ESF 23	147	3.3	28.1
	16:34	ESF 26	174	5.1	27.7
	16:51	ESF 30	116	4.0	28.3
	17:07	ESF 28	181	3.9	27.8
	17:19	ESF 31	190	3.6	27.5
	17:33	ESF 32	135	0.8	27.7
	17:41	ESF 27	179	0.7	27.5
	17:50	ESF 25	177	3.9	27.4
Média			159	4	28.1

Durante as marés de sizígia analisadas no presente relatório, a vazão média do rio São Francisco, com base nos dados de vazão da barragem de Xingó (Boletins da Sala de Situação da ANA), esteve entre de 850 e 1600 m³.s⁻¹. A altura da baixamar e preamar foi de, respectivamente, 0,0; 0,1; 2,2 e 2,3 m na lua nova, e aqueles de lua cheia, de 0,2; 0,2; 2,1 e 2,1m (**Tabela 2**).

Na fase de lua nova, a direção predominante do vento foi leste (105.5°), com velocidade média de 4,4 m.s⁻¹ e temperatura média do ar de 29.2°C (26,6 a 32,8°C) (Tabela 11). Na fase de lua cheia, o vento apresentou direção predominante sudeste (145°), com velocidade média de 3,74 m.s⁻¹ e temperatura média do ar de 28,88°C (26,5 a 32,2°C) (tabela 11).

Tabela 11: Médias gerais dos dados de vento para as medições referentes às luas nova e cheia do mês de dezembro de 2019.

	Médias gerais dos dados de vento								
	Direção (°)			Velocidade (m.s-1)			Temperatura do ar (°C)		
	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx
Lua Nova	26.00	105.54	178.00	1.60	4.41	8.40	26.60	29.25	32.80
Lua Cheia	59.00	145.52	190.00	0.60	3.74	6.60	26.50	28.88	31.60
Média	42.50	125.53	184.00	1.10	4.08	7.50	26.55	29.06	32.20

Dados hidrodinâmicos

As Tabelas 12 a 18 contêm os valores médios de velocidade e direção da água na coluna d'água de cada estação de monitoramento da cunha salina, nas marés de baixamar e de preamar, amostradas nas luas nova e cheia. A variação espacial dos valores da velocidade média e direção média da água na coluna consta nas Figuras 5 a 12.

Na fase de lua nova, a velocidade média da coluna d'água apresentou média de 0,42 m.s⁻¹, a estação amostral que apresentou as maiores intensidades de corrente foram as estações a ESF 22 e 23, as quais apresentaram médias próximo de 0.9 m.s⁻¹, e a máxima nesse ponto foi registrada no dia 12 de dezembro no período de baixamar. Nas duas luas, a direção da corrente na baixamar esteve predominante entre sudeste- sul (165 – 175°), exceto nas estações ESF 26, 27, 28, 31 e 32, as quais apresentaram suas correntes nas direções entre nordeste e leste (60° - 75°). A geomorfologia dessas estações possibilita o deslocamento de massas d'água nas direções nordeste-leste e sudoeste-oeste diferentemente do canal principal, que possibilita o deslocamento de água nas direções sudeste-sul e noroeste-norte.

Como esperado, a velocidade das correntes foi menor nas preamares, apresentando média de 0.31 m.s⁻¹, já na baixamar a média foi de 0.53 m.s⁻¹.

Campanhas móveis realizadas nos dias 26 e 30 de novembro de 2019.

Tabela 12: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
26/11/2019	08:32	ESF_D1	0.773	187
	08:49	ESF 10	0.533	170
	09:13	ESF 14	0.638	161
	09:27	ESF 18	0.464	167
	09:51	ESF 21	0.890	154
	10:01	ESF 22	0.509	161
	10:13	ESF 23	0.726	138
	10:26	ESF 26	0.536	94
	10:45	ESF 30	0.468	112
	10:59	ESF 28	0.587	67
	11:10	ESF 31	0.434	96
	11:24	ESF 32	0.460	74
	11:34	ESF 27	0.396	63
	11:42	ESF 25	0.227	143

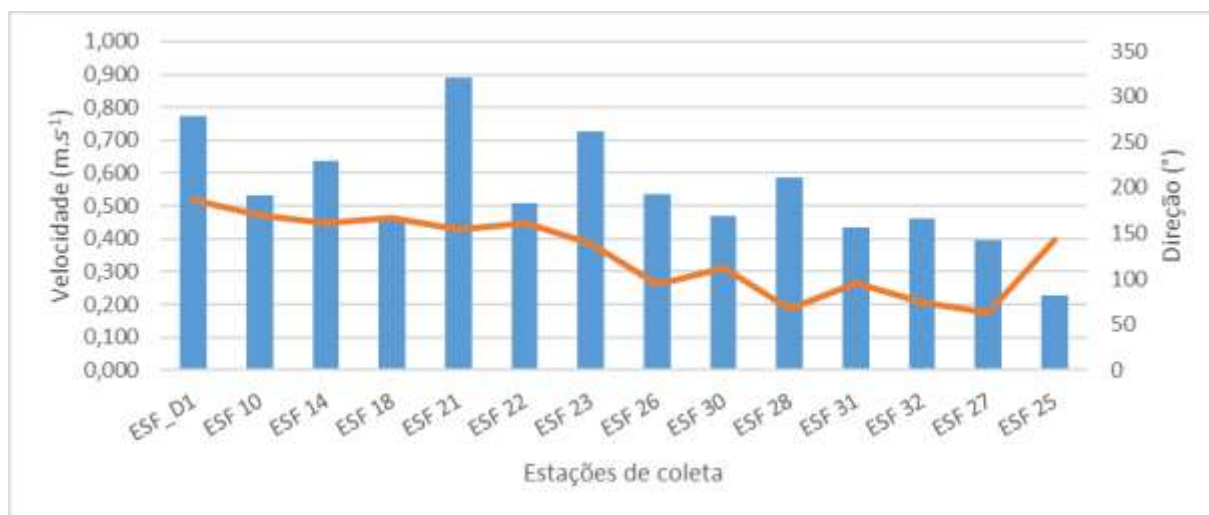


Figura 5: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019.

Tabela 13: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
26/11/2019	15:02	ESF_D1	0.383	206
	15.17	ESF 10	0.215	237
	15:26	ESF 14	0.523	215
	15:36	ESF 18	0.488	187
	15:51	ESF 21	0.358	214
	16:01	ESF 22	0.552	338
	16:14	ESF 23	0.154	324
	16:22	ESF 26	0.268	283
	16:39	ESF 30	0.253	295
	16:54	ESF 28	0.116	222
	17:02	ESF 31	0.166	240
	17:13	ESF 32	0.361	254
	17:20	ESF 27	0.362	236
	17:25	ESF 25	0.452	318

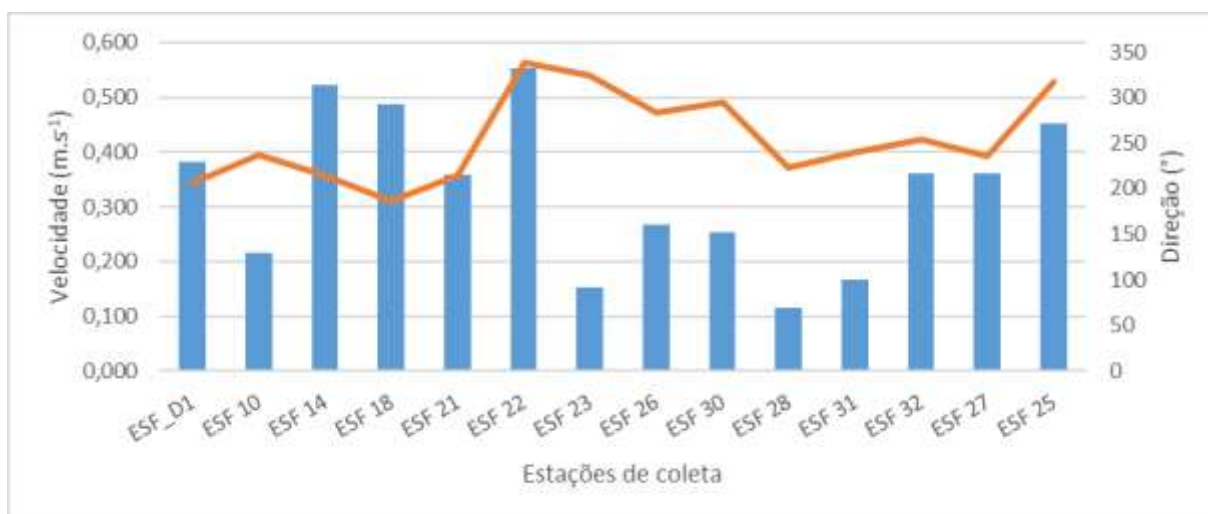


Figura 6: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 26/11/2019.

Tabela 14: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
30/11/2019	11:09	ESF_D1	0.399	160
	11:16	ESF 10	0.428	149
	11:26	ESF 14	0.470	183
	11:37	ESF 18	0.611	183
	11:49	ESF 21	0.599	154
	12:00	ESF 22	0.654	161
	12:09	ESF 23	0.604	139
	12:22	ESF 26	0.559	93
	12:43	ESF 30	0.562	106
	14:11	ESF 28	0.428	76
	14:25	ESF 31	0.241	88
	14:39	ESF 32	0.206	93
	14:49	ESF 27	0.244	63
	14:58	ESF 25	0.149	223

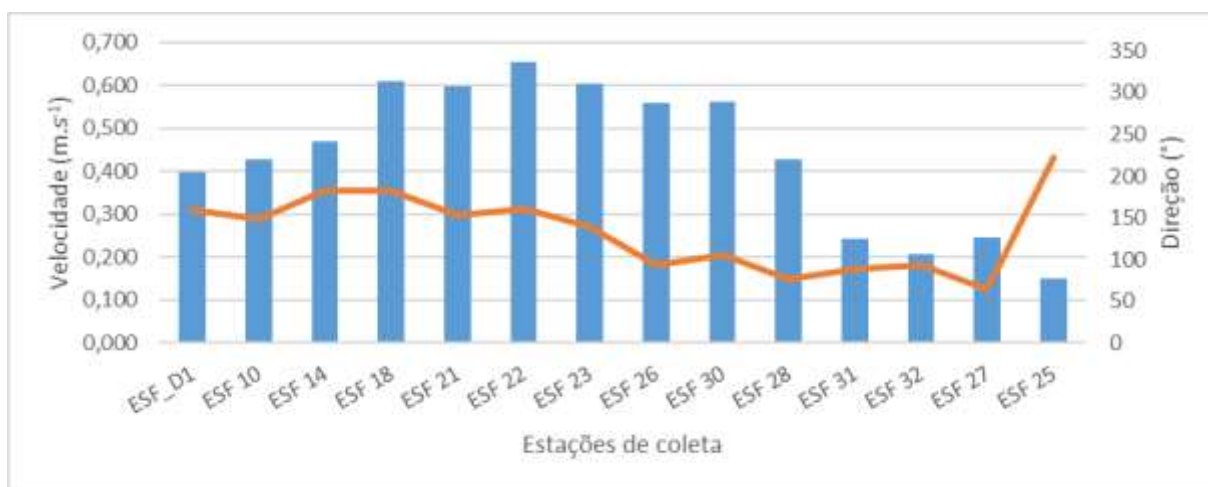


Figura 7: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a baixamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 30/11/2019.

Tabela 15: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 30/11/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
30/11/2019	06:00	ESF_D1	0.258	176
	06:11	ESF 10	0.167	114
	06:23	ESF 14	0.183	50
	06:45	ESF 18	0.201	220
	06:56	ESF 21	0.106	259
	07:10	ESF 22	0.184	333
	07:20	ESF 23	0.091	147
	07:29	ESF 26	0.185	190
	07:14	ESF 30	0.185	118
	07:56	ESF 28	0.250	93
	08:05	ESF 31	0.326	70
	08:21	ESF 32	0.393	74
	08:29	ESF 27	0.434	60
	08:40	ESF 25	0.550	140



Figura 8: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 30/11/2019.

Campanhas móveis realizadas nos dias 12 e 13 de dezembro de 2019.

Tabela 16: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua nova) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
12/12/2019	08:30	ESF_D1	0.439	192
	08:54	ESF 10	0.474	158
	09:10	ESF 14	0.593	183
	09:22	ESF 18	0.694	181
	09:38	ESF 21	0.586	159
	09:51	ESF 22	0.642	159
	10:04	ESF 23	0.803	137
	10:45	ESF 26	0.625	88
	11:00	ESF 30	0.757	108
	11:15	ESF 28	0.592	61
	11:27	ESF 31	0.577	72
	11:45	ESF 32	0.664	85
	11:53	ESF 27	0.514	58
	12:02	ESF 25	0.316	137

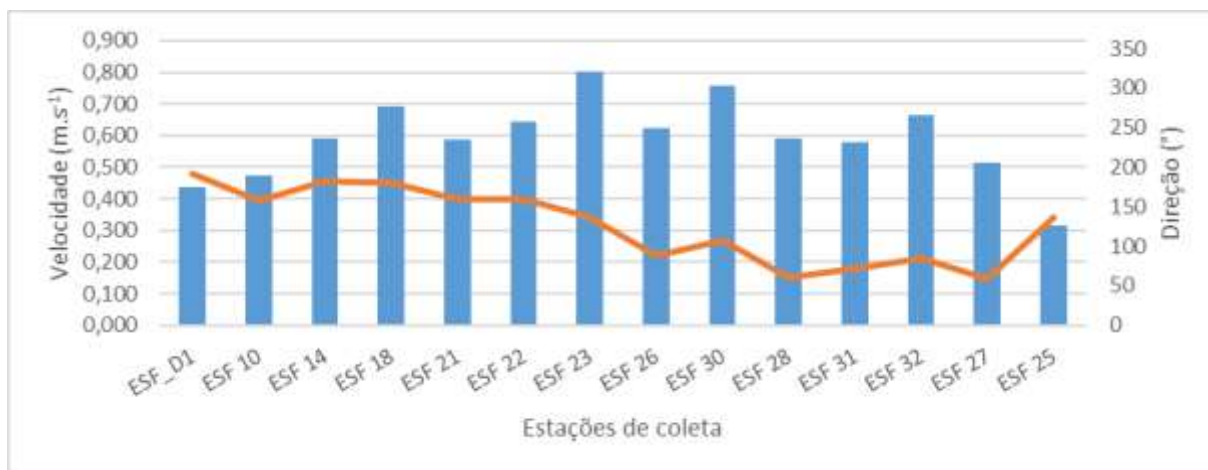


Figura 9: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019.

Tabela 17: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
12/12/2019	15:36	ESF_D1	0.341	298
	15:49	ESF 10	0.196	139
	16:02	ESF 14	0.368	278
	16:12	ESF 18	0.275	20
	16:25	ESF 21	0.387	171
	16:38	ESF 22	0.369	341
	16:51	ESF 23	0.199	325
	17:01	ESF 26	0.181	273
	17:16	ESF 30	0.185	299
	17:31	ESF 28	0.114	182
	17:39	ESF 31	0.054	136
	17:54	ESF 32	0.154	76
	18:03	ESF 27	0.247	63
	18:12	ESF 25	0.455	136



Figura 10: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 12/12/2019.

Tabela 18: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)
13/12/2019	09:21	ESF_D1	0.481
	09:35	ESF 10	0.343
	09:47	ESF 14	0.676
	10:02	ESF 18	0.724
	10:16	ESF 21	0.449
	10:29	ESF 22	0.694
	10:40	ESF 23	0.821
	10:58	ESF 26	0.551
	11:15	ESF 30	0.566
	11:37	ESF 28	0.595
	11:50	ESF 31	0.564
	12:08	ESF 32	0.523
	12:17	ESF 27	0.349
	12:27	ESF 25	0.268

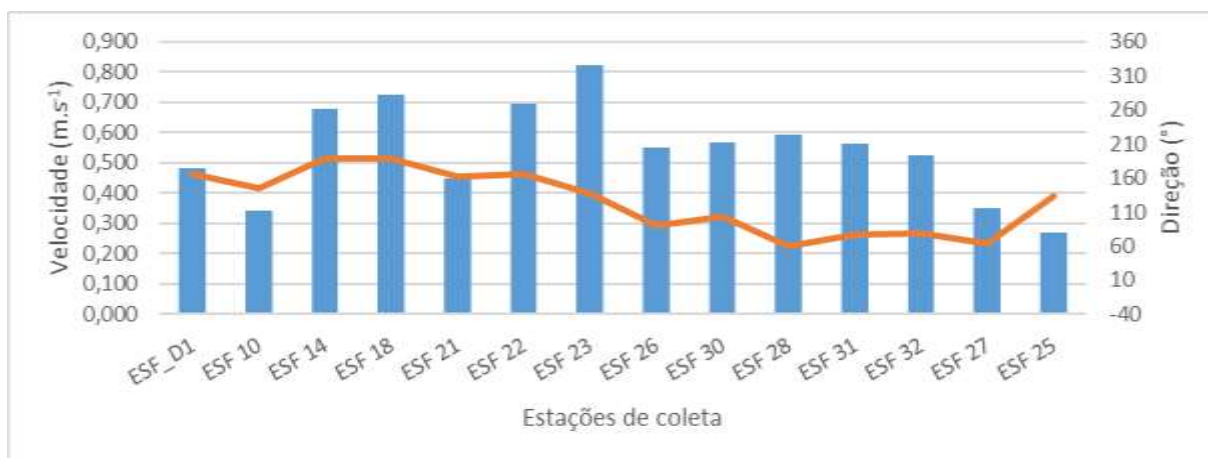


Figura 11: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a preamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019.

Tabela 19: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água em cada estação de amostragem da cunha salina, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019, na foz do Rio São Francisco.

Data	Hora	Estação	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
13/12/2019	15:17	ESF_D1	0.521	354
	15:31	ESF 10	0.502	153
	15:42	ESF 14	0.634	236
	15:53	ESF 18	0.543	68
	16:04	ESF 21	0.404	242
	16:15	ESF 22	0.645	316
	16:24	ESF 23	0.274	326
	16:34	ESF 26	0.378	271
	16:51	ESF 30	0.420	290
	17:07	ESF 28	0.251	249
	17:19	ESF 31	0.388	248
	17:33	ESF 32	0.187	249
	17:41	ESF 27	0.152	244
	17:50	ESF 25	0.183	314



Figura 12: Variação média da velocidade (barras azuis) e da direção (linha laranja) das correntes na coluna entre pelas estações de amostragem da cunha salina da foz do Rio São Francisco, durante a baixamar da maré de sizígia (lua cheia) do dia 13/12/2019.

Resultados do CTD

Salinidade

As Figuras 13 a 20 demonstram a penetração da cunha salina na baixamar e preamar dos dois períodos de sizígia analisados referentes a dezembro de 2019. As figuras representam a distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, cuja análise foi baseada na distância longitudinal de cada estação de monitoramento ao ponto de coleta mais próximo da foz (ESF 10) à estação mais distante longitudinalmente do rio, localizada na localidade de Penedinho – AL (ESF 30). Através das figuras, é possível afirmar que no mês de dezembro de 2019, a cunha salina penetrou de forma significativa com valores superiores a 0,5 PSU na foz do rio São Francisco até a região próxima à estação ESF 14 (distante 7,57 km da foz), apresentando picos de salinidade de até 30 PSU entre as estações ESF D1 e ESF10 (6,1 e 5,54 km da foz, respectivamente), na períodos de preamar o pico de salinidade acima de 30 PSU esteve distribuído por quase toda coluna d'água nas coletas realizadas nos períodos de preamar (Figura 14, 18 e 20) nos períodos de baixamar a cunha apresentou valores serem menores, onde a cunha é predominante no fundo (figuras 13, 15, 17 e 19). Os registros realizados nas baixamares e preamares consecutivas demonstram um comportamento similar entre si, onde a intrusão salina foi percebida com maior intensidade nos momentos de preamar.

Baixamar e preamar dos dias 26 e 30 de novembro de 2019.

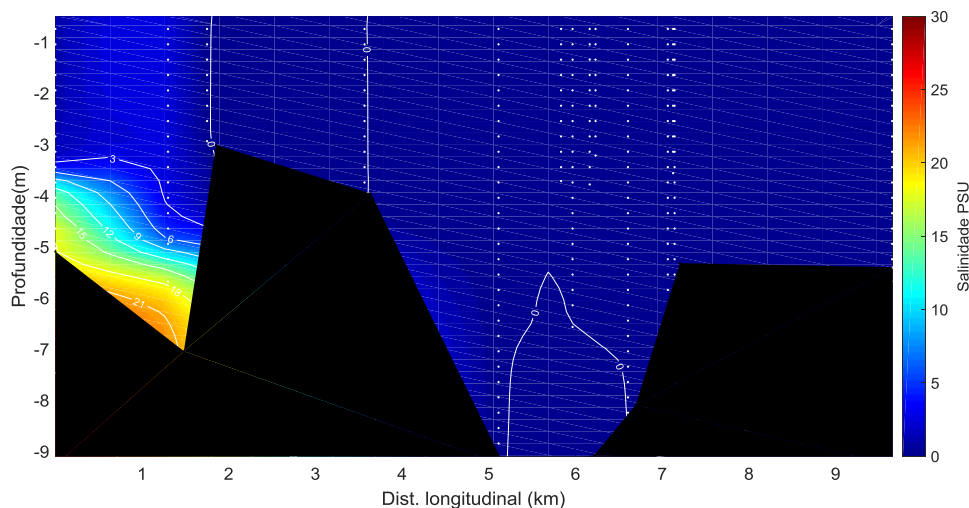


Figura 13: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 26 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

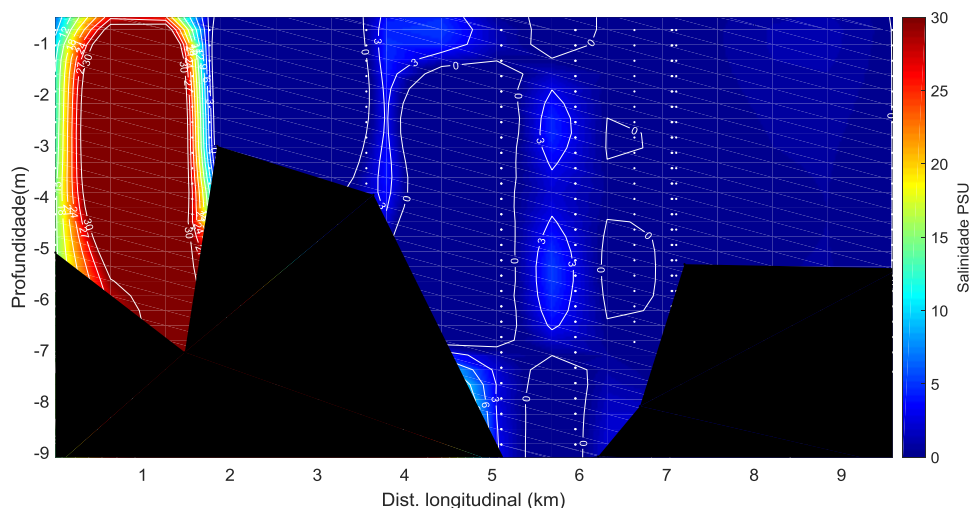


Figura 14: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 26 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

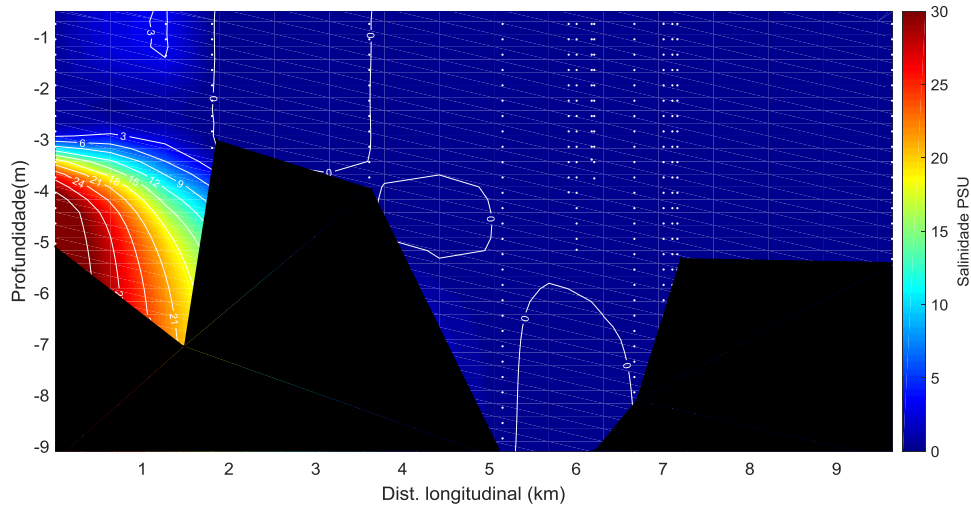


Figura 15: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

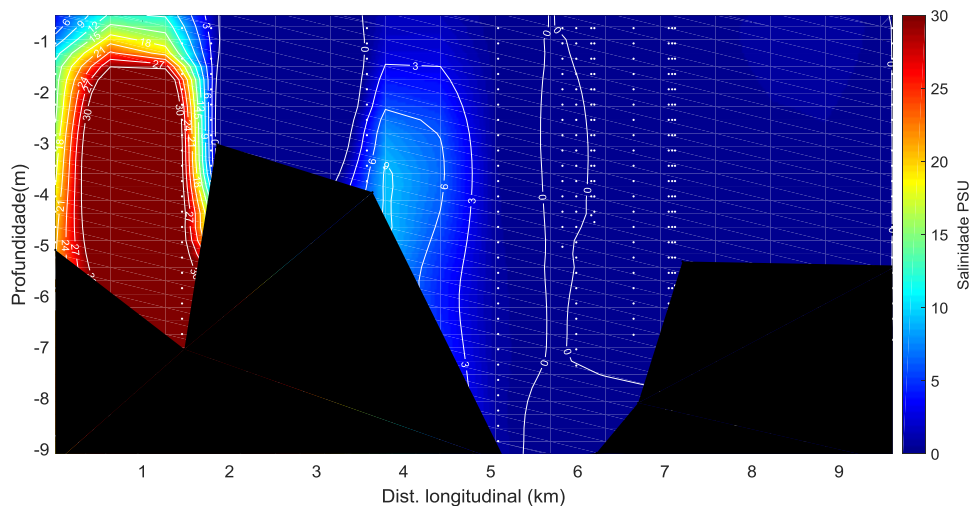


Figura 16: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

Baixamar e preamar dos dias 12 e 13 de dezembro de 2019.

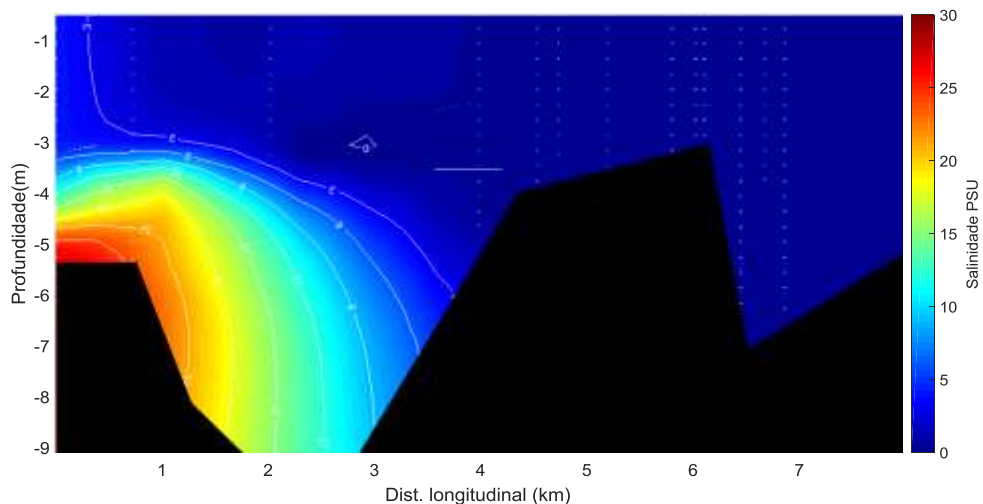


Figura 17: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

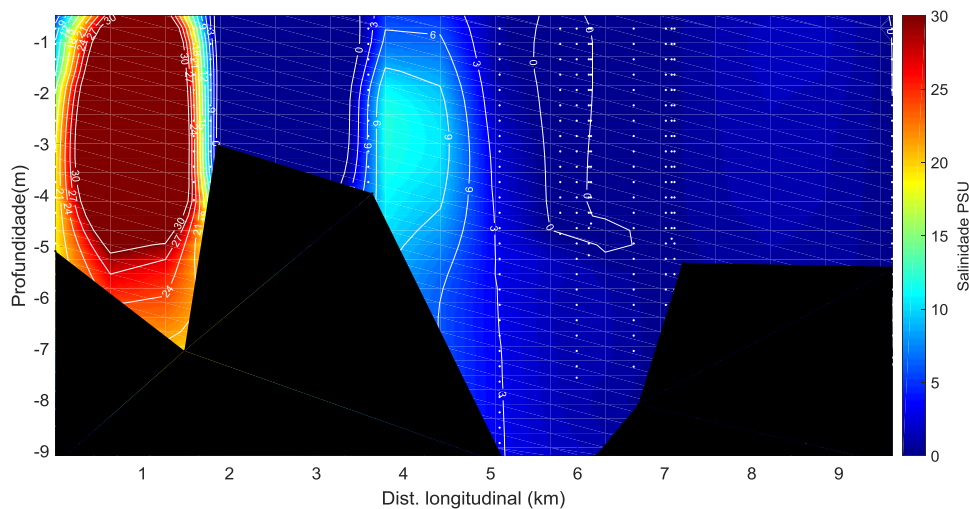


Figura 18: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

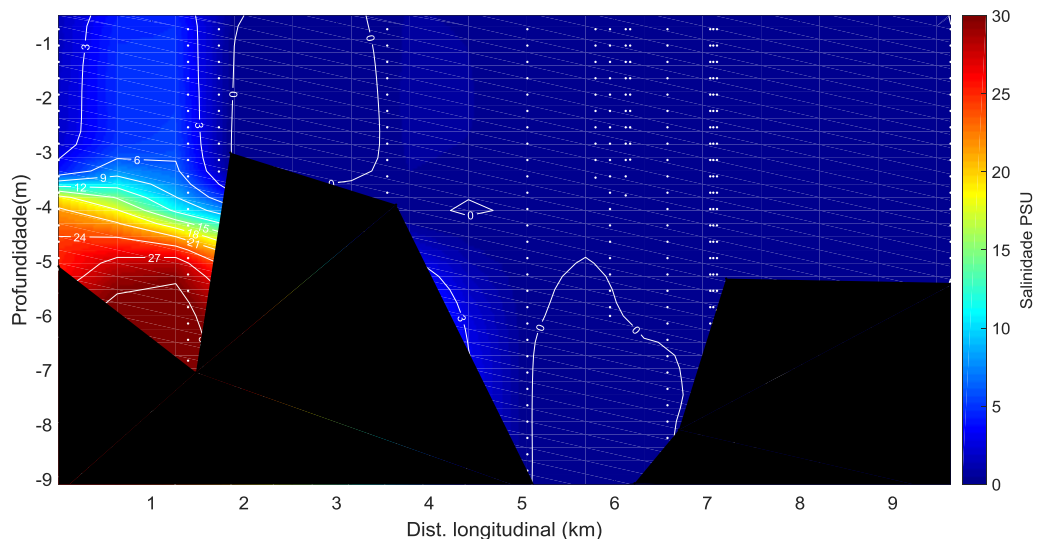


Figura 19: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de baixamar do dia 13 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

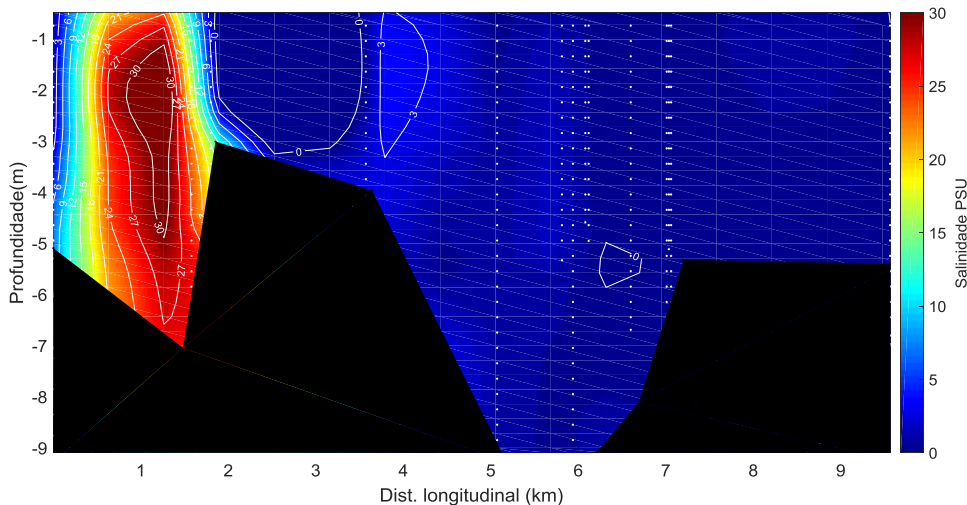


Figura 20: Distribuição longitudinal da salinidade na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à ESF 30 (ponto mais distante da foz), no período de preamar do dia 13 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

Temperatura

Para a análise da temperatura da água, também foi utilizada a variação longitudinal deste parâmetro no trecho monitorado. As temperaturas da água na foz do rio São Francisco, nas marés de sizígia (lua nova e lua cheia) no mês de dezembro/2019, a temperatura registrada nas coletas estiveram predominantemente em torno de 29°C. Nos períodos de preamar, as temperaturas em geral foram mais altas, todas as campanhas de preamar foram coletadas no período vespertino o que está associado com o momento do dia em que as águas expostas ao sol acumula o calor adquirido durante todo o dia além do acúmulo de água que ocorre na foz, onde vamos ter a entrada de água do continente pela vazão do rio assim como a entrada de água do mar devido à maré. As temperaturas mais baixas, entre 27°C, foram registradas na região próxima ao ponto ESF 26 e próximo à foz (Figuras 21 a 29). De maneira geral, a temperatura da água na foz do rio São Francisco no mês de dezembro esteve homogênea, em torno de 29°C.

Baixamar e preamar dos dias 26 e 30 de novembro de 2019

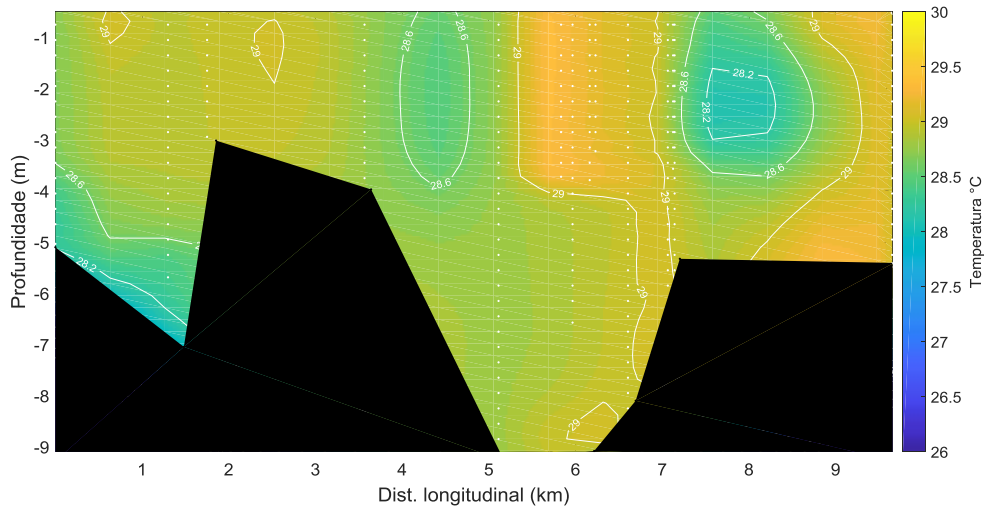


Figura 21: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 26 novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

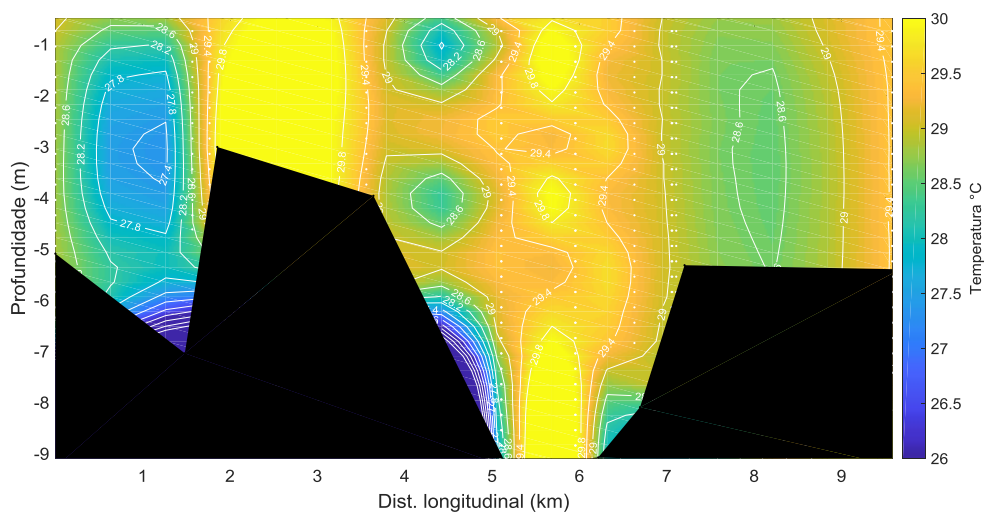


Figura 22: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 26 de novembro 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

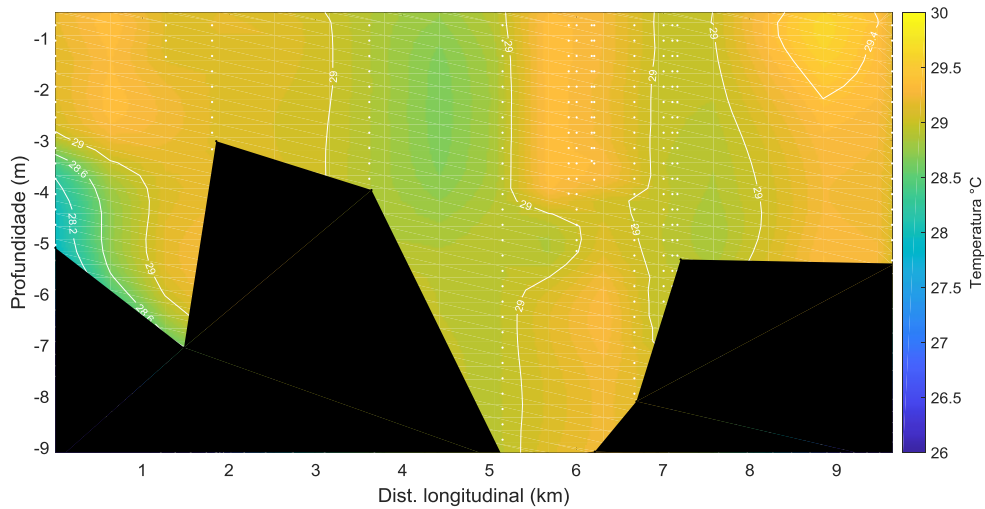


Figura 23: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

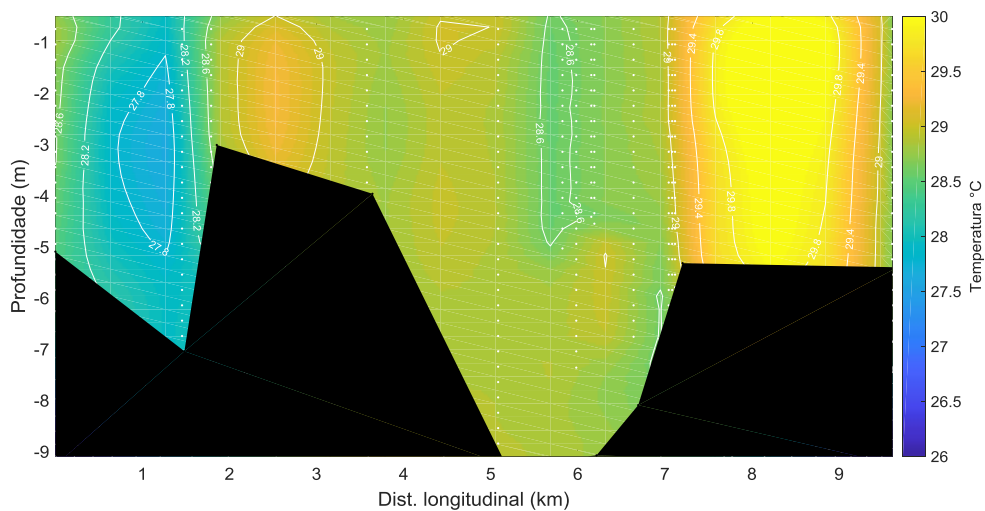


Figura 24: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 30 de novembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

Baixamar e preamar dos dias 12 e 13 de dezembro de 2019.

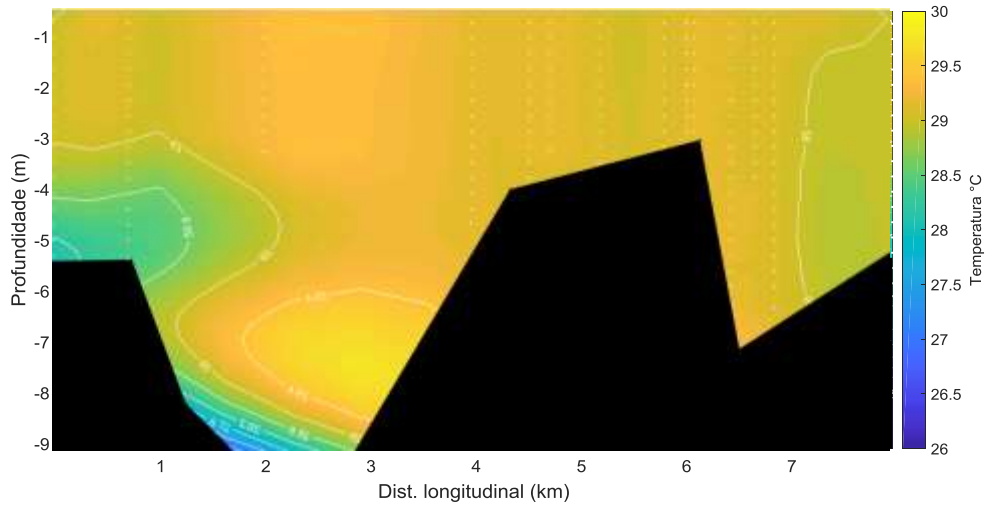


Figura 25: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

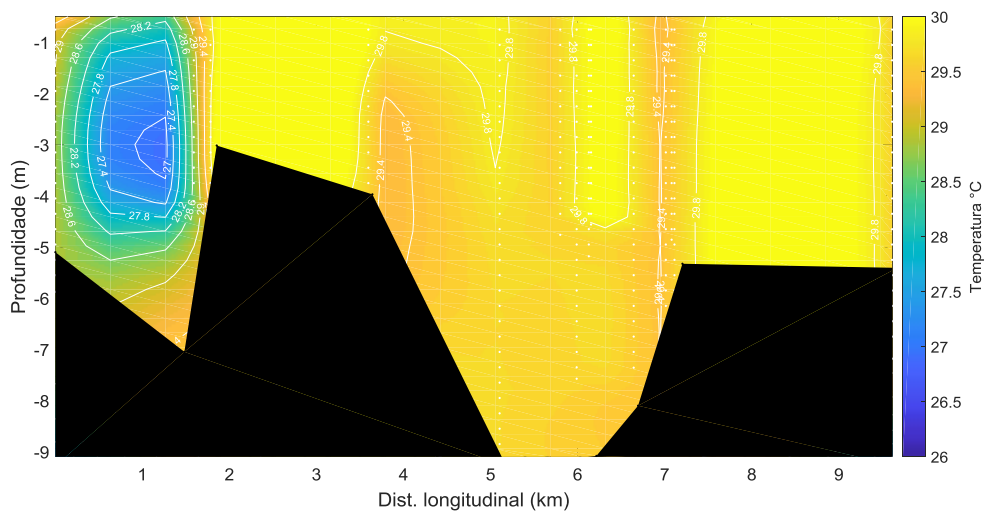


Figura 26: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 12 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

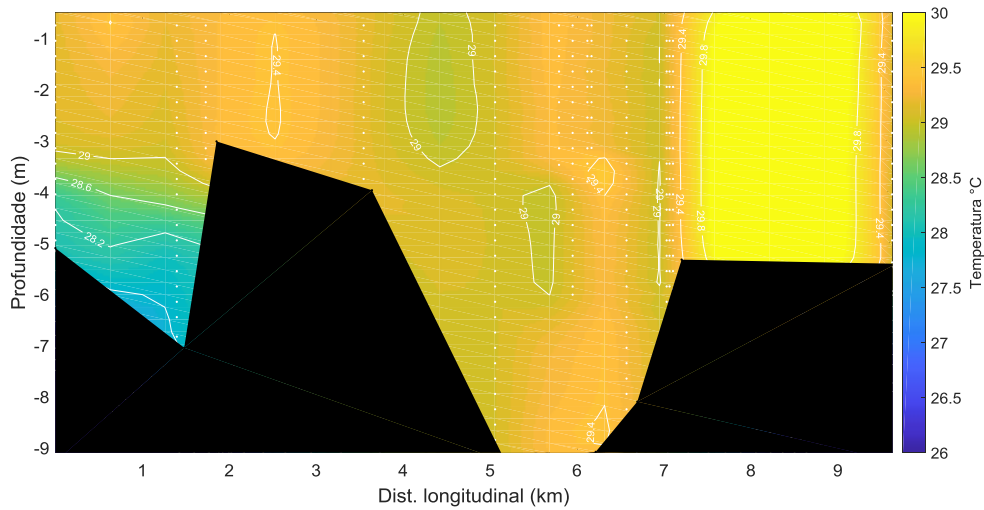


Figura 27: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de baixamar do dia 13 de dezembro de 2019. Os pontos brancos indicam a localização longitudinal de cada perfil.

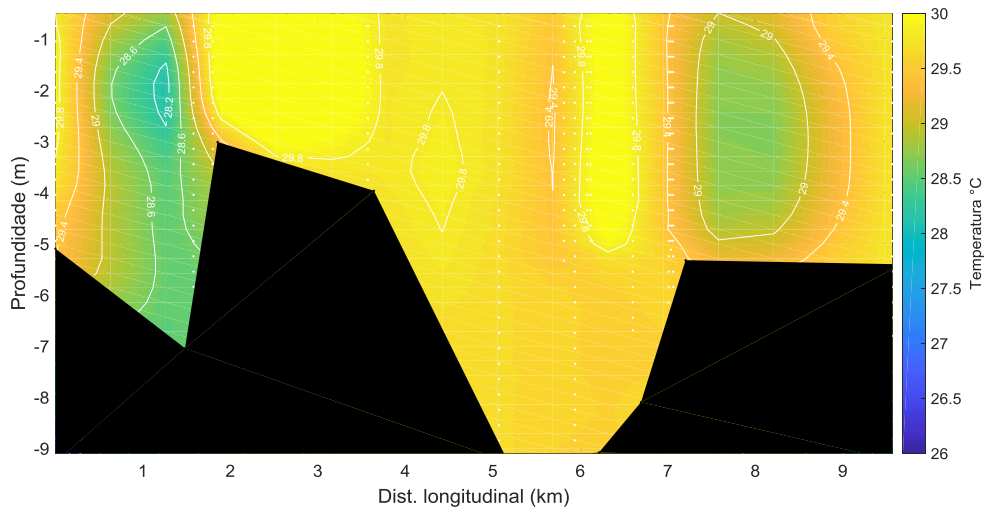


Figura 28: Distribuição longitudinal da temperatura da água na foz do rio São Francisco, variando da estação ESF 10 (ponto mais próximo à foz) à estação ESF 30 (ponto mais distante da foz,) no período de preamar do dia 13 de dezembro de 2019.

MONITORAMENTO FIXO

As Tabelas 20 a 23 apresentam os dados relativos ao horário das coletas, direção e velocidade dos ventos no monitoramento fixo nas estações de captação em Brejo Grande – SE e Piaçabuçu – AL (localidade de Penedinho), cujos dados podem ser visualizados nas Figuras 29 a 32.

A velocidade da corrente mais intensas foram registradas no monitoramento na localidade de Penedinho-AL no dia 29 de novembro 2019, quando atingiu $0,64 \text{ m.s}^{-1}$. Neste ponto, a variação bidirecional de vazante e enchente foi de 87 a 293° , respectivamente (24 e 26). Em Penedinho, esta variou entre 100 a 291° (21 e 23). Quando ocorre os picos de velocidade da corrente do rio acontece o desprendimento dos bancos de plantas aquáticas, fato que vêm ocorrendo com maior frequência, devido ao aumento da defluência essas plantas flutuam aglomeradas entre si, esses eventos influenciam diretamente na vida dos ribeirinhos, tendo em vista que essas plantas derivam e até a região de pesca o que atrapalha na atividade de pesca de rede, também grandes volumes dessas plantas se engancham nas cordas das âncoras dos barcos que estão ancorados fazendo com que suas âncoras se desprendam do fundo deixando os barcos à deriva. E também influencia de forma negativa nos procedimentos de coleta onde ao navegar pelo rio se torna comum os engalhes de plantas na hélice da embarcação de coleta assim como o desprendimento da âncora do barco para as coletas fixas.

Dados hidrodinâmicos, campanhas fixas realizadas nos dias 28 e 29 de novembro de 2019

Tabela 20: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande –SE, no dia 28/11/2019.

Data	Hora	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
28/11/2019	04:05	0.324	257
	05:01	0.288	259
	06:00	0.071	262
	07:01	0.435	74
	08:05	0.668	75
	09:03	0.576	73
	10:03	0.649	74
	11:00	0.604	71
	12:00	0.621	72
	13:00	0.431	75
	14:09	0.094	52
	15:08	0.315	251
	16:02	0.344	255



Figura 29: Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa em Brejo Grande no dia 28/11/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.

Tabela 21: Dados médios de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF30) no dia 28-29/11/2019

Data	Hora	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
28-29/11/2019	17:00	0.397	286
	18:00	0.256	276
	19:00	0.322	107
	20:00	0.697	100
	21:00	0.807	99
	22:00	0.915	100
	23:00	0.878	101
	00:00	0.596	100
	01:00	0.739	102
	02:00	0.281	97
	03:00	0.450	200
	04:00	0.605	217
	05:00	0.544	235



Figura 30: Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF 30), no dia 28-29/11/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.

Campanhas fixas realizadas nos dias 11 e 14 de dezembro de 2019

Tabela 22: Dados de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande –SE, no dia 11/12/2019.

Data	Hora	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
11/12/2019	04:22	0.233	88
	05:17	0.480	76
	06:05	0.615	79
	07:10	0.642	77
	08:12	0.717	76
	09:06	0.694	78
	10:00	0.608	76
	11:03	0.496	75
	12:05	0.167	73
	13:00	0.270	269
	14:01	0.404	256
	15:10	0.393	258
	16:03	0.354	261

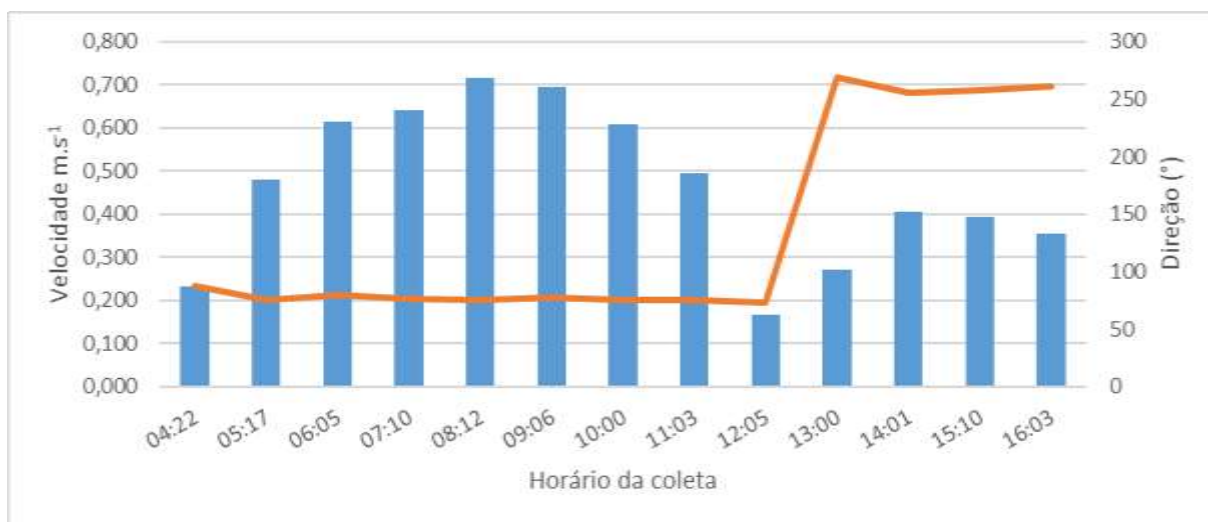


Figura 31: Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa em Brejo Grande no dia 11/12/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.

Tabela 23: Dados médio de velocidade e direção da coluna d'água durante o monitoramento fixo na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF30) no dia 13-14/12/2019

Data	Hora	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção (°)
13-14/12/19	23:15	0.943	103
	00:11	0.894	103
	01:09	0.662	102
	02:11	0.059	237
	03:08	0.596	291
	04:05	0.591	286
	05:04	0.511	285
	06:03	0.298	282
	07:06	0.272	101
	08:09	0.701	104
	09:07	0.846	103
	10:10	0.946	101
	11:00	0.904	104



Figura 32: Dados hidrodinâmicos coletados durante a campanha fixa na bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu-AL (Penedinho, ESF 30), no dia 13-14/12/2019. As barras azuis representam a velocidade da corrente e a linha laranja a direção.

As Figuras 33 a 36 representam a distribuição temporal de salinidade da água das campanhas fixas de 12 horas, realizadas nos dias 30 e 31 de novembro e 14 e 15 de dezembro de 2019. A salinidade nas campanhas fixas de Brejo Grande e Penedinho se mantiveram abaixo de 0.5 PSU, limite para classificação de água doce segundo a Resolução nº. 357 do CONAMA, os valores mais elevados estiveram próximo de 0.06 PSU, desta forma os parâmetros de salinidade para todas as medições estiveram dentro dos parâmetros seguros para o uso doméstico.

Foi observado um padrão temporal similar de variação da temperatura no ciclo diurno, evidenciando uma elevação gradual da temperatura das massas de água ao longo do dia, com uma amplitude média menor do que 0,45°C entre a primeira e a última medição, com valores mais elevados no final do dia, em todas as quatro campanhas realizadas.

Resultados de salinidade e temperatura pontos fixos

Salinidade

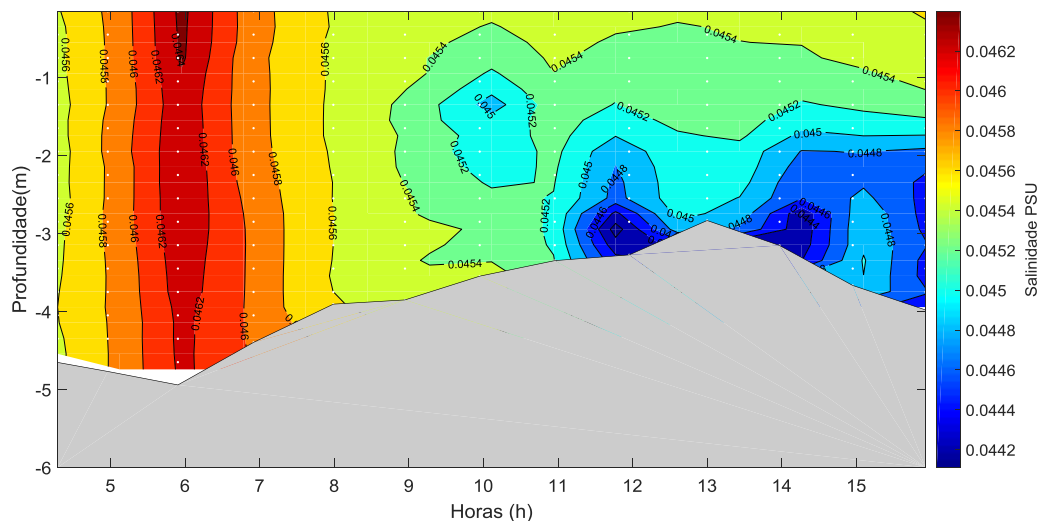


Figura 33: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 28 de novembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande - SE (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

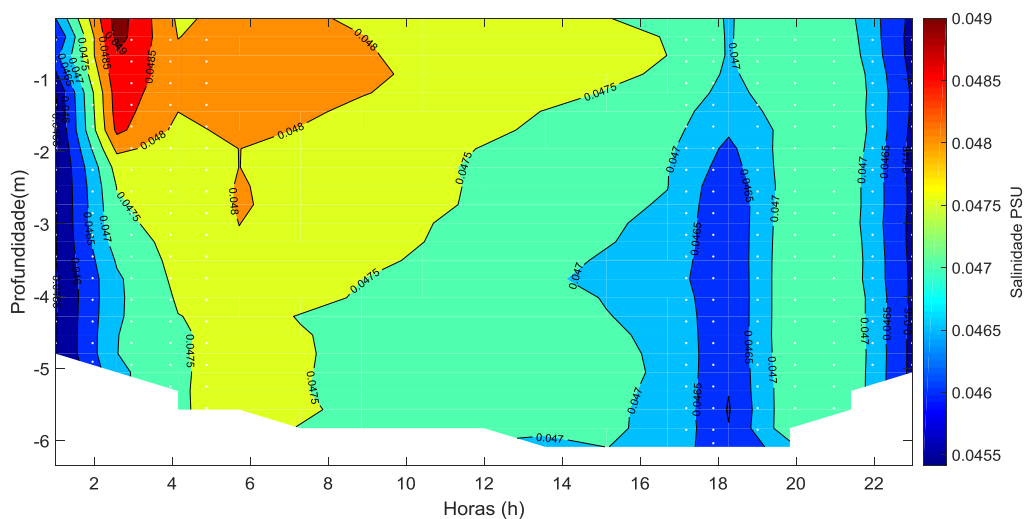


Figura 34: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 28-29 de novembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu (Penedinho, ESF 30). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

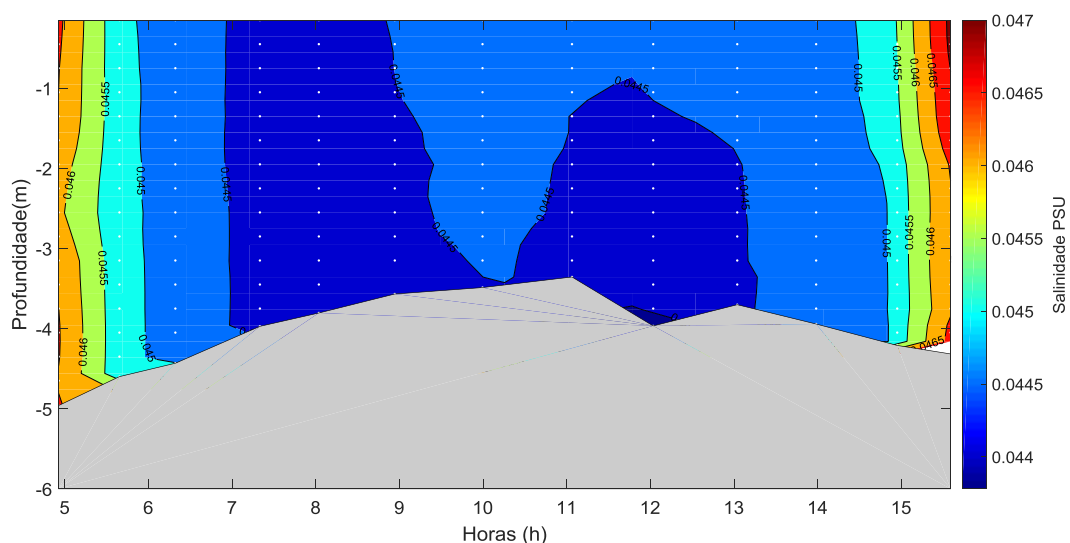


Figura 35: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 11 de dezembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande - SE (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

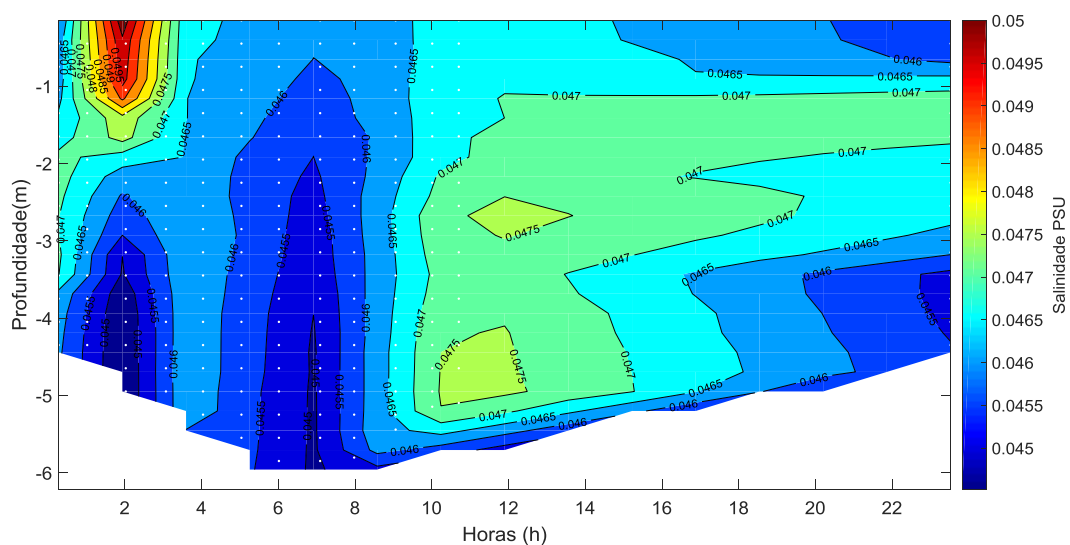


Figura 36: Distribuição temporal da salinidade da água durante o monitoramento fixo da cunha salina, realizado no dia 14 de dezembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu (Penedinho, ESF 30). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

Temperatura

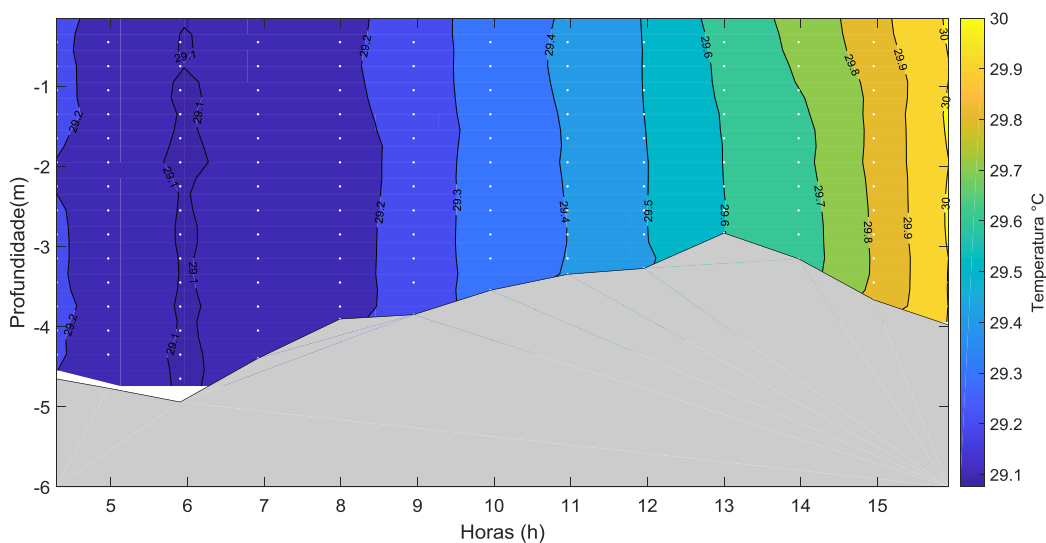


Figura 37: Distribuição temporal da temperatura da água durante o monitoramento fixo realizado no dia 28 de novembro de 2019, nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

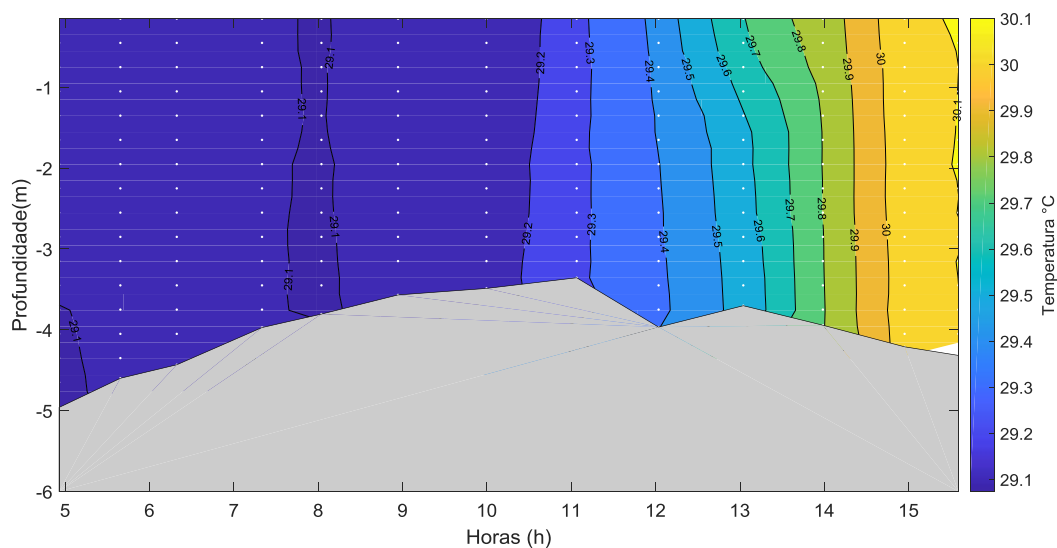


Figura 38: Distribuição temporal da temperatura para o monitoramento fixo de 12 horas da cunha salina, realizado no dia 11 de dezembro de 2019 nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Brejo Grande (ESF 32). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

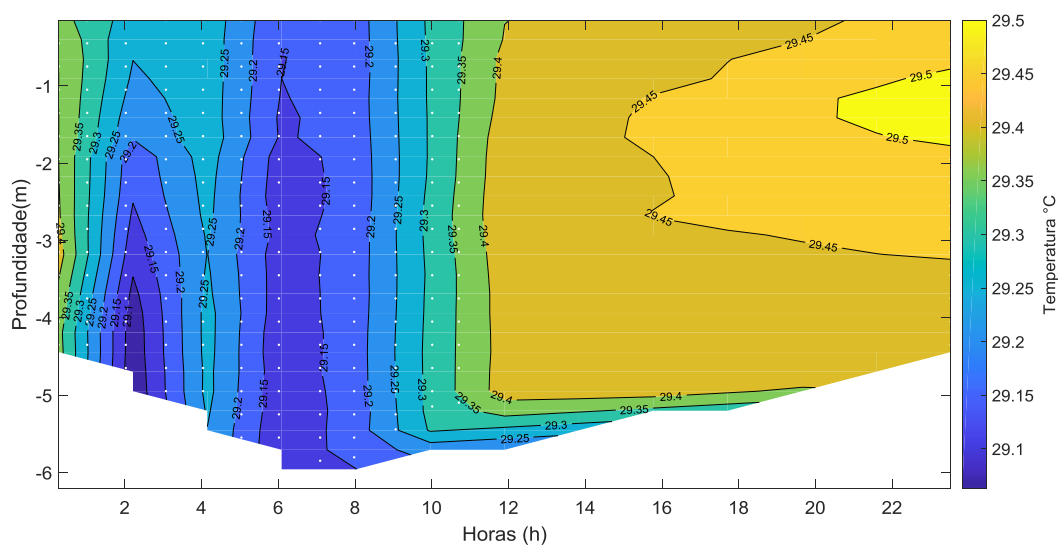


Figura 39: Distribuição temporal da temperatura para o monitoramento fixo de 12 horas da cunha salina, realizado no dia 13 de dezembro de 2019 nas proximidades da bomba de captação de água da cidade de Piaçabuçu (Penedinho, ESF 30). Os pontos brancos representam o momento do dia da campanha quando os perfis foram realizados e o formato do fundo corresponde à variação do nível da coluna d'água ou o ponto máximo de alcance do CTD.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As marés durante as campanhas de coleta variaram entre a altura mínima de 0,0 m no dia 26 de novembro e máxima de 2,3 m no dia 30 de novembro de 2019. Os ventos sopraram de forma predominantes da direção sul 125,5°, com velocidades média de 4,1 m.s⁻¹, e a temperatura atmosférica média foi de 29,25°C para o período de lua nova e 28,8°C para o período de lua cheia.

As correntes apresentaram seu deslocamento de forma bidirecional, de acordo com a disposição geomorfológica de cada estação, tendo 8 delas (ESF D1, ESF 10, ESF 14, ESF 18, ESF 21, ESF 22, ESF 23 e ESF 25) apresentado variação entre o eixo de 120° - 300° (sudeste-noroeste), e as estações ESF, 26, ESF 27, ESF 28, ESF 30, ESF 31 e ESF 32 se deslocado no eixo nordeste-sudoeste. A correntes mais intensas foram registradas nos momentos de vazante da maré nas estações localizadas no eixo sudeste-noroeste (ESF D1, ESF 10, ESF 14, ESF 18, ESF 21, ESF 22e ESF 23); onde a velocidade média das correntes foi de 0,42 m.s⁻¹. As correntes mais fortes foram registradas na superfície da coluna d'água, tendo decrescido com o aprofundamento ao longo da coluna d'água.

A temperatura da água do rio não demonstrou um padrão definido longitudinalmente nas campanhas móveis, tendo a distribuição de temperatura sido aparentemente relacionada diretamente com as condições do tempo. De forma geral apresentou uma distribuição homogênea em torno de 29.

E, por fim e mais importante, foi o comportamento da salinidade no Baixo São Francisco onde foi registrado nas campanhas móveis, a penetração da cunha salina durante a preamar esteve entre os pontos ESF 14, distantes aproximadamente 7,6 km da boca da barra do rio. A presença de água salgada na região mais próxima da foz esteve homogeneamente distribuída por toda a coluna d'água, atingindo picos superiores a 30 PSU, diferente dos momentos de baixamar, quando a salinidade se concentrou no fundo dos perfis entre os pontos ESD D1 e ESF 10, distantes aproximadamente 5,54 km da foz do rio atingindo picos máximos em torno próximo de 30 PSU.

Nas campanhas fixas, tanto em Brejo Grande quanto em Penedinho, a salinidade se manteve constante durante as 12 horas de monitoramento, em todas as 4 campanhas referentes ao mês de dezembro/2019. De maneira geral os perfis de salinidade para as

campanhas nos pontos fixos estiveram inferiores a 0.06 PSU, o que demonstra níveis seguros em relação à salinidade para a captação de água doce nos pontos ESF 32 (Brejo Grande - SE) e ESF 30 (Penedinho - AL). De acordo com a resolução do CONAMA 357 de 2015, a água é considerada doce até salinidade de 0,5 PSU, salobra de 0,5 a 30 PSU e salina a partir de 30 PSU.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ANA- Agência Nacional de Águas 2019, acessado em 28 de Agosto de, 2019, no site <http://ana.gov.br>

ANA- Agência Nacional de Águas 2017, Resolução N° 2.081, de 04 de dezembro de 2017. Condições de operação do sistema hídrico do Rio São Francisco.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasília. 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Variáveis de Qualidade das Águas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#serie>. Acessado

Domingues, E. C; Schettini, C. A. F; Truccolo, E. C. Filho, J. C. O., 2017. Hydrography and current on the Pernambuco Continental Shelf, Brazilian Journal of Water Resources, Porto Alegre v. 22, e. 43,

Schettini, C.A.F., Miranda, J.B., Valle-Levinson, A., Truccolo, E.C., Domingues, E.C., 2016. The circulation of the lower Capibaribe estuary (Brazil) and its implications in the transport of scalars. Brazilian Journal of Oceanography. 64 (3), 263-276. (a)

Valle-Levinson, A. & Schettini, C.A.F 2015., Fortnightly switching of residual flow drivers in tropical semiarid estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1-10.