



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

EDMARA RAMOS MELO

**PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E IMPLICAÇÕES NA CARGA DE
NUTRIENTES NO ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO
DECORRENTE DAS REDUÇÕES DE VAZÕES.**

**MACEIÓ/AL
2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

EDMARA RAMOS MELO

**PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E IMPLICAÇÕES NA CARGA DE
NUTRIENTES NO ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO
DECORRENTE DAS REDUÇÕES DE VAZÕES.**

MACEIÓ/AL
2017

EDMARA RAMOS MELO

**PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E IMPLICAÇÕES NA CARGA DE
NUTRIENTES NO ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO
DECORRENTE DAS REDUÇÕES DE VAZÕES.**

Dissertação apresentada ao Departamento
de Meteorologia / CCEN/ ICAT-UFAL,
para obtenção do título de **Mestre em
Meteorologia**- Área de concentração em
Processos de Superfície.

Orientador: Prof. Dr. Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo

MACEIÓ/AL
2017

**Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central**

Bibliotecária responsável: Janaina Xisto de Barros Lima

M528p Melo, Edmara Ramos.
Processos hidrodinâmicos e implicações na carga de nutrientes no estuário do Rio São Francisco decorrente das reduções de vazões / Edmara Ramos Melo. – 2017.
103 f.; il. tabs. e gráfs.

Orientador: Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2017.

Bibliografia: f. 92-101.
Apêndices: f. 102-103.

1. Estuários. 2. São Francisco, Rio. 3. Marés. 4. Descarga fluvial.
5. Barragens – Redução de vazões. 6. Nutrientes. I. Título.

CDU: 551.5: 504.453



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

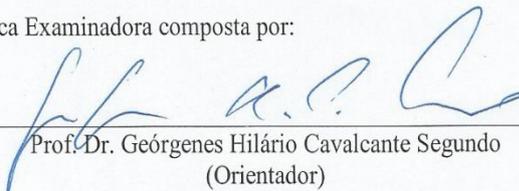
N.º de ordem: MET-UFAL-MS-146.

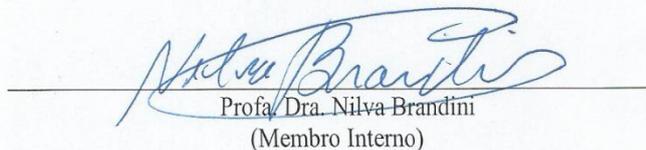
**“PROCESSOS HIDRODINÂMICOS E IMPLICAÇÕES NA CARGA DE
NUTRIENTES NO ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO DECORRENTE
DAS REDUÇÕES DE VAZÕES.”**

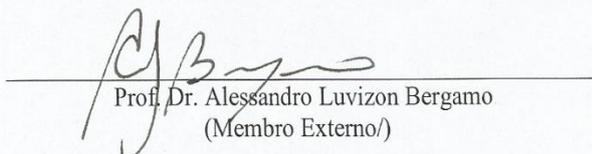
Edmara Ramos Melo

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:


Prof. Dr. Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo
(Orientador)


Profa. Dra. Nilva Brandini
(Membro Interno)


Prof. Dr. Alessandro Luvizon Bergamo
(Membro Externo/)

Maio/2017

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Mário e Ednai, além de meus irmãos, familiares e amigos, a quem sou eternamente grata.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade proporcionada e por me iluminar todos os dias.

Gostaria de prestar os meus agradecimentos ao Professor Dr. Geórgenes Cavalcante, orientador deste trabalho, pela confiança, paciência e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas.

Em especial, aos meus pais e aos meus irmãos pelo apoio e incentivo. Não menos importante, a Ailson Melo, Patrícia, Karoline Melo e Júlia Camily, com os quais convive durante estes dois anos. Enfim, a toda família (tias, tios, primos, primas, avós) por quem fui bem recebida e juntamente com meus pais me incentivaram a conclusão deste trabalho.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Meteorologia pelos ensinamentos que contribuíram nesta etapa acadêmica. Gostaria também de agradecer a Professora Dr^a Nilva Brandini pela disponibilidade, esclarecimentos e ensinamentos durante a realização deste trabalho. Ao Professor Alessandro Luvizon Bérغامo pelas sugestões.

Aos grandes parceiros que pude conhecer Nareida Delgado, Ana Carolina Cavalcante, Thaise Gomes, Leopoldo Souza, Dimas Santiago, Maurílio Neemias, Juliete Baraúna, Alaerte Germano, Anselmo Santos, Marcos Alves e Carlos Uzcátegui. Aos colegas do Laboratório de Oceanografia Física (Renata Araújo, Sara Mota, Hugo Cainã e Hugo Carvalho) e a todos pela amizade que fiz no ICAT – UFAL durante a minha passagem como mestranda do curso de Pós-Graduação em Meteorologia.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O estuário do Rio São Francisco localizado na divisa entre os estados de Alagoas e Sergipe (10°26'S e 036°25'W) sofre com as regularizações das vazões nos diversos setores hidrográficos do rio. Essa regularização influencia diretamente o transporte de nutrientes e sedimentos para região costeira adjacente, e, por sua vez, altera as condições químicas e biológicas dentro do setor estuarino. O presente trabalho teve como objetivo compreender como as reduções de vazões sucessivas influenciam a carga de nutrientes dentro desse ecossistema. As coletas de parâmetros físico-químicos foram realizadas através da sonda multiparamétrica YSI 6600 e velocidade das correntes com ADCP Sontek 1,5 MHz, além da amostragem de água para determinar a concentração e cargas de nutrientes inorgânicos dissolvidos, clorofila-*a* e sedimentos totais em suspensão. Utilizaram-se dados de reanálise ERA-Interim para representar as condições de vento a 1000 hPa durante o período de estudo. Os perfis verticais de velocidade da corrente apresentaram maiores valores na superfície e diminuíram em direção ao fundo do estuário, e em geral observada maior velocidade em julho. A temperatura média foi de 28,8°C em fevereiro e de 26°C em julho. Para salinidade, observou-se uma média de 18,17 e 18,01 ups em fevereiro e julho, respectivamente, estando diretamente relacionada à influência da maré e da pequena variabilidade dos fluxos fluviais. Os ventos apresentaram magnitude variando de 2 a 10 m.s⁻¹. As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, TSS, turbidez, pH e clorofila-*a* foram mais elevadas durante a estação chuvosa. Apesar do controle ativo das vazões, a erosão das margens, os processos físicos e geoquímicos juntamente com a precipitação local estariam incrementando os nutrientes no estuário. A exceção foi silício que apresentou maiores concentrações em fevereiro, devido à sua abundância nos solos. Maiores cargas de nutrientes foram observadas para TSS (superior a 1,2x10⁴ t/mês) seguida de sílica (superior a 1,1x10⁴ t/mês), e redução para PO₄⁻³ (máximo de 1,1x10 t/mês), HPO₄⁻² (máximo de 4,5x10 t/mês) e NID (máximo de 2,6x10² t/mês em julho). As regularizações da vazão alteraram a carga de nutrientes e sedimentos em suspensão, trazendo impactos para biota aquática e ao próprio estuário, atingindo à condição oligotrófica, além de maior intrusão salina. O incremento de nutrientes foi relacionado principalmente à precipitação local e a geoquímica estuarina.

Palavras-chaves: descarga fluvial, aporte de nutrientes, maré, impacto de barragens, Baixo São Francisco.

ABSTRACT

The São Francisco River estuary located on the border between the states of Alagoas and Sergipe (10° 26'S and 036° 25'W) suffers from the regularization of flow in the various hydrographic sectors of the river. Such regularization directly influences the transportation of nutrients and sediments to the adjacent coastal region, and in turn, alter the chemical and biological conditions within the estuarine sector. The present work aimed to understand how the successive flow reductions influence the nutrient load within this ecosystem. Physical-chemical parameters collections were performed through the YSI 6600 multi-parameter probe and current velocities with Sontek 1.5 MHz ADCP, in addition to water sampling to determine the concentration and dissolved inorganic nutrients loads, chlorophyll-*a*, and total suspended sediments. ERA-Interim reanalysis data were used to represent the wind conditions at 1000 hPa during the study period. The vertical velocity profiles of the current presented higher values on the surface and decreased towards the bottom, and overall it was observed higher velocity in July. The average temperature was 28.8°C in February and 26°C in July. For salinity an average of 18.17 and 18.01 UPS was observed in February and July respectively, being directly related to the influence of the tide and the small variability of the fluvial flows. The wind showed magnitude varying from 2 to 10 m.s⁻¹. The concentrations of dissolved inorganic nutrients, TSS, turbidity, pH and chlorophyll-*a* were higher during the rainy season. Despite the active control of outflows, the erosion of the margins, physical and geochemical processes along with local precipitation would be increasing nutrients in the estuary. The exception was the silicon that presented higher concentrations in February, due to its abundance in the soils. Higher nutrient loads were observed for TSS (greater than 1,2x10⁴ t/month) followed by silica (greater than 1,1x10⁴ t/month), and reduced for PO₄⁻³ (maximum of 1,1x10 t/month), HPO₄⁻² (maximum of 4,5x10 t/mês) and NID (maximum of 2,6x10² t/month in July). The regularization of the flow changed the nutrient load and suspended sediments, bringing impacts to the aquatic biota and to the estuary itself, reaching oligotrophic condition, in addition to greater saline intrusion. The nutrient increment was mainly related to local precipitation and the estuarine geochemistry.

Keywords: fluvial flow, nutrients load, tide, dams impact, lower São Francisco.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processos e forçantes locais e remotas na bacia de drenagem e no oceano adjacente, determinantes de características e da dinâmica dos sistemas estuarinos.....	16
Figura 2 - Regiões fisiográficas da bacia do RSF e principais aproveitamentos hidrelétricos UHE.....	19
Figura 3 - Barragens e reservatórios na bacia do rio São Francisco.....	21
Figura 4- Baixo curso do rio São Francisco desde a UHE Xingó até a região da foz.....	22
Figura 5- Mudança na vazão do rio São Francisco antes e após o início das operações da UHE Xingó. (Gerado a partir de dados do ONS para a barragem de Xingó).....	23
Figura 6- Desenho esquemático de um estuário do tipo cunha salina. As setas em verticais indica o processo de entranhamento.....	29
Figura 7- Distribuição longitudinal da salinidade e da circulação num estuário tipo parcialmente misturado.	29
Figura 8- Distribuição da salinidade e da circulação num estuário verticalmente homogêneo, com uma breve estratificação lateral.	29
Figura 9- Área de estudo na planície fluviomarinha do rio São Francisco com as estações de coletas espaciais (P) e do ponto fixo (EF0).	32
Figura 10 - Mapas de precipitação acumulada em 24 h durante o período analisado.	36
Figura 11 - Variação das vazões para o mês de fevereiro e julho de 2014. (Gerado a partir de dados da ANA para a estação de Traipú- AL).....	39
Figura 12 - Variação diária das precipitações para os meses estudados. (Gerado a partir de dados da estação do INMET de Brejo Grande – SE e de Propriá -SE)	40
Figura 13- Variação da maré para o período em estudo no estuário do rio São Francisco (nível de superfície livre, em A a partir de dados coletados pelo ADCP e em B gerado a partir da maré prevista para o porto de Maceió, DHN da Marinha do Brasil).....	41
Figura 14- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 18/02/2014.....	42
Figura 15- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 19/02/2014.....	43
Figura 16- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 16/07/2014.....	44
Figura 17- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 17/07/2014.....	45
Figura 18- Variação espacial da temperatura da água ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	47
Figura 19 - Variação espacial da salinidade ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	48
Figura 20- Variação espacial do nitrito ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para o dia 18/02/2014.....	49
Figura 21- Variação espacial do nitrato ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	50
Figura 22- Variação espacial do íon amônio ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	51
Figura 23- Variação espacial do PO4-3 ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	52
Figura 24- Variação espacial do HPO4-2 , ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	53
Figura 25- Variação espacial da sílica ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	54

Figura 26- Variação espacial da clorofila ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	55
Figura 27- Variação espacial do TSS ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	56
Figura 28- Variação espacial da turbidez ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	57
Figura 29- Variação espacial do pH ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.	58
Figura 30- Variação horária dos perfis da velocidade da corrente na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas. A linha tracejada indica a maré prevista.....	60
Figura 31- Variação horária dos perfis da velocidade da corrente na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas. A linha tracejada indica a maré prevista.....	61
Figura 32- Distribuição vertical das temperaturas em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.	62
Figura 33- Distribuição vertical das temperaturas em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0- latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.	63
Figura 34- Distribuição vertical das salinidades em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.	64
Figura 35- Distribuição vertical das salinidades em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.	64
Figura 36- Variação da concentração do nitrato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02/2014.....	69
Figura 37-Variação do nitrato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.	70
Figura 38-Variação do íon amônio em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.	71
Figura 39- Variação do íon amônio em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.....	72
Figura 40 -Variação do fósforo (PO4-3) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.....	73
Figura 41- Variação do fósforo (PO4-3) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.....	74
Figura 42- Variação do fósforo (HPO4-2) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.	75

Figura 43- Variação do fósforo (HPO ₄ -2) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.	76
Figura 44- Variação do silicato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.	78
Figura 45- Variação do silicato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.	79
Figura 46- Variação da clorofila em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.	81
Figura 47- Variação da clorofila em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.	82
Figura 48- Variação do TSS em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.	83
Figura 49- Variação do TSS em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.	84
Figura 50- Variação de TSS e turbidez para os meses em estudo.	85
Figura 51- Variação da turbidez em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.	86
Figura 52- Variação da turbidez em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento de onda (CO) em nm e limites de detecção (LD) em μM utilizado na análise de nutrientes no espectrofotômetro para uma cubeta de 1 cm.....	35
Tabela 2 – Parâmetros físicos e químicos ao longo do estuário do rio São Francisco.....	46
Tabela 3- Médias, desvios-padrões, mínimos e máximos das variáveis estudadas referente aos fundeios realizados nos meses de fevereiro e julho de 2014.....	66
Tabela 4- Análise de correlação de Spearman (r_s), nível de significância (p) e número de observações (n) entre a clorofila e as variáveis analisadas.....	66
Tabela 5- Análise de correlação de Spearman (r_s), nível de significância (p) e número de observações (n) entre a salinidade e as variáveis.	67
Tabela 6- Dados de vazões e carga de nutrientes no Baixo São Francisco para os meses de fevereiro e julho de 2014 nas marés de sizígia na estação fixa (EF0).....	89

LISTA DE SIGLAS

- ADCP** – Correntômetro Acústico de Efeito Doppler
- ANA** – Agência Nacional de Águas
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- APA** – Área de Proteção Ambiental
- CHESF** – Companhia Hidrelétrica do São Francisco
- DHN** – Diretoria de Hidrografia e Navegação
- ECMWF** – European Centre for Medium-Range Weather Forecast (Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio- Prazo)
- GEF** – Global Environment Facility
- GrADS** – Grid Analysis and Display System (Sistema de Visualização e Análise de Dados em Pontos de Grade)
- HPO₄²⁻** – Fósforo
- INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente
- MPS** – Material Particulado em Suspensão
- NH₄⁺** – Íon amônio
- NO₂⁻** – Nitrito
- NO₃⁻** – Nitrato
- OEA** – Organização dos Estados Americanos
- pH** – Potencial hidrogeniônico
- PNUMA** – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
- PO₄⁻** – P-ortofosfato
- RSF** – Rio São Francisco
- SEMARH** – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (Alagoas)
- SiO₂** – Sílica
- TSS** – Total de Sedimentos em Suspensão
- UHE** – Usina Hidrelétrica
- UNT** – Unidade Nefelométrica de Turbidez
- UPS** – Unidade Prática de Salinidade
- Vel. Corrente** – Velocidade da corrente
- ZCIT** – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Aspectos gerais da Bacia do Rio São Francisco	19
2.2 Influências das usinas hidrelétricas na bacia do rio São Francisco.....	20
2.3 Importância da bacia do São Francisco.....	23
2.4 Trabalhos realizados na bacia do São Francisco.....	24
2.5 Estuário e sua Importância	26
2.6 Classificação dos estuários pela estratificação de salinidade.....	28
2.7 Fatores que influenciam a produtividade dos estuários	30
2.8 Processos biogeoquímicos em estuários	30
2.9 Importância dos nutrientes	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Área de estudo.....	32
3.2 Procedimentos de campo e em laboratório	33
3.2.1 Parâmetros físico-químicos.....	33
3.2.2 Nutrientes e Total de Sedimentos em Suspensão (TSS).....	34
3.2.3 Elaboração de mapas a partir de dados ERA- Interim.....	37
3.2.4. Elaboração de mapas no Surfer.....	37
3.2.5 Análise Estatística.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Vazões e altura das marés durante o período de estudo.....	39
4.2 Ventos de superfície	41
4.3 Resultados das amostragens ao longo do canal.....	45
4.4 Hidrodinâmica no estuário do Rio São Francisco (EF0).....	60
4.4.1 Variação espaço/temporal das correntes.....	60
4.4.2 Temperatura	62
4.4.3 Salinidade.....	63
4.4.4 Nutrientes.....	65
4.4.5. Fluxos de nutrientes	89
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
6. REFERÊNCIAS	93
7. ANEXOS	103

1. INTRODUÇÃO

O rio São Francisco vem sendo modificado pela ação da construção de sistemas de barragens em cascata que possuem a capacidade de regularizar ou modular totalmente as vazões, com o intuito de suprir a demanda de água de forma constante para garantir o fornecimento populacional, desenvolvimento de diversas atividades ao longo de seu curso, além da demanda energética por meio das hidrelétricas construídas ao longo da sua bacia.

Ao regularizar as vazões tem-se modificações no equilíbrio hídrico e sedimentar, pois a mudança na hidrodinâmica dos ecossistemas eleva a sedimentação de material particulado em suspensão dentro do rio, ocasionando maior erosão das margens e assoreamento (MEDEIROS et al., 2007). Como o transporte de sedimentos do continente para os oceanos se dá principalmente pelos rios, estes ecossistemas são importantes fontes de contribuição de sedimentos e nutrientes ao oceano, essenciais à geologia e biogeoquímica do planeta (VÖRÖSMARTY et al., 1997).

Entretanto, entre os rios e oceanos está o estuário, ecossistema no qual há trocas de materiais entre os dois ambientes, possui maior produtividade que ambos, sendo bastante influenciado pelos regimes das marés, das contribuições continentais e atmosféricas (MIRANDA et al., 2002; SOUZA et al., 2005; DAVIS & RICHARD, 1985; TRUCCOLO & SCHETTINI, 2009; WANG, 1979; ELLIOTT, 1982).

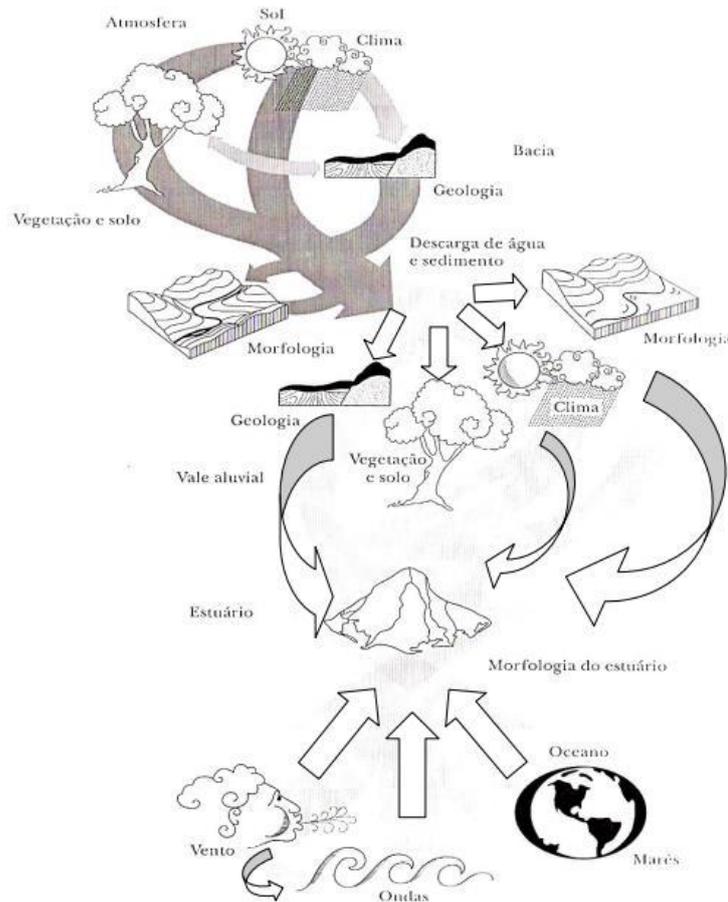
Em ambientes estuarinos, as propriedades físicas, químicas e geológicas interagem com elementos biológicos criando uma rede de interações complexas. Na figura 1 é possível observar algumas forçantes as quais os estuários estão sujeitos (MIRANDA et al., 2002):

- A radiação solar, por meio dos fluxos que chegam aos oceanos e nas regiões costeiras são fonte de energia para fotossíntese e para o processo de evapotranspiração na bacia de drenagem;
- O balanço entre precipitação, descarga fluvial e evapotranspiração na bacia de drenagem do estuário, podem ser influenciados pela temperatura e a umidade relativa do ar, direção e intensidade dos ventos, geomorfologia, características do solo e cobertura vegetal;
- Os ventos promovem a aeração e a circulação de massas das águas estuarinas e costeiras, além de gerarem ondas e correntes nos estuários que intensificam a mistura vertical;
- A descarga fluvial e os gradientes longitudinais de salinidade (densidade) são essenciais para a dinâmica do estuário, e aos processos de transporte e de mistura. Pela descarga

de água doce são transportados sedimentos em suspensão e nutrientes orgânicos e inorgânicos, desempenhando um papel de grande importância para o desenvolvimento urbano, social e econômico;

- As oscilações periódicas e a amplitude de maré além da relação com o gradiente de salinidade e a circulação de massas, são também relevantes por propiciar condições para o desenvolvimento de manguezais nas áreas inundáveis.

Figura 1- Processos e forças locais e remotas na bacia de drenagem e no oceano adjacente, determinantes de características e da dinâmica dos sistemas estuarinos.



Fonte: Modificada segundo Miranda et al. (2002).

Dentro deste contexto, o estuário do Rio São Francisco (RSF) mostra-se como de grande importância ambiental por ser local de desova, alimentação e crescimento para várias espécies (BLABER, 2000; PIHL et al., 2002), sendo também de importância econômica e social (OLIVEIRA & BEMVENUTI, 2006). Aliados a esses vários usos deste ecossistema estão as alterações nos padrões limnológicos decorrente de reduções de vazão, poluição da água, bem como a manutenção das atividades que se desenvolvem nesta região, tais como turismo e pesca (HOLANDA et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2013). Devido principalmente ao pleno

funcionamento do reservatório de Xingó, o rio vem sofrendo as consequências do represamento de suas águas e com isso modificando e interferindo nas características físico-químicas do estuário e conseqüentemente na produtividade do ambiente estuarino. Trabalhos recentes e históricos já comprovaram que a redução das vazões nas diversas barragens ao longo do RSF afeta a estrutura e funcionamento do ecossistema estuarino, e deste modo, podendo reduzir as cargas de material para o oceano. Como hipótese de trabalho, pretende-se verificar como as alterações na vazão interfere na carga de nutrientes no estuário Rio São Francisco em campanhas de verão e inverno.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 GERAL

Este estudo tem como objetivo avaliar como as reduções das vazões sucessivas influenciam na carga de nutrientes no estuário do Rio São Francisco durante o período de fevereiro e julho de 2014.

1.1.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar espacialmente as concentrações de nutrientes (nitrito, nitrato, íon amônio, sílica e fósforo) ao longo do ambiente estuarino;
- Verificar as oscilações dos nutrientes ao longo de dois ciclos de maré;
- Calcular os fluxos de cada nutriente para o estuário do Rio São Francisco;
- Identificar se as modificações na vazão têm influenciado na variação dos nutrientes.

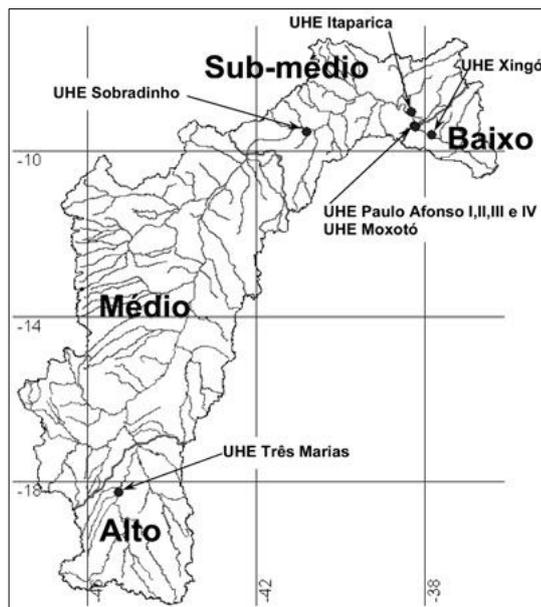
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da Bacia do Rio São Francisco

A bacia do São Francisco apresenta área de drenagem 638.323km² que corresponde a 8% do território nacional, abrangendo parte dos territórios dos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. Apresenta-se dividida em quatro regiões fisiográficas: Alto São Francisco, Médio, Sub-médio e Baixo São Francisco (MMA, 2006; MEDEIROS et al., 2014; 2016; 2015), como mostrado na figura 2.

- Alto São Francisco: desde a Serra da Canastra até a cidade de Pirapora (MG);
- Médio São Francisco: compreende desde Pirapora até a cidade de Remanso (BA);
- Sub-médio São Francisco: estende-se de Remanso até Paulo Afonso;
- Baixo São Francisco: de Paulo Afonso até a sua foz no Oceano Atlântico.

Figura 2 - Regiões fisiográficas da bacia do RSF e principais aproveitamentos hidrelétricos UHE.



Fonte: Modificado segundo Da Silva et al. (2005)

O rio São Francisco, inserido na bacia acima mencionada, nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais a uma altitude de 1.800 m, possuindo 2.863 km (MEDEIROS et al., 2007) e escoar no sentido Sul-Norte pela Bahia e Pernambuco, quando altera seu curso para o Sudeste, chegando ao Oceano Atlântico na divisa entre Alagoas e Sergipe (ANA, 2017). De acordo com CAVALCANTE SEGUNDO (2001), os afluentes mais importantes situam-se na margem esquerda do Alto e do Médio São Francisco, em territórios dos estados de Minas Gerais e Bahia. Essa característica se deve à existência de grandes áreas de formação sedimentar naquelas regiões, permitindo maior infiltração das chuvas.

A região de estudo situa-se à jusante do município de Piaçabuçu (15 km a montante da foz) e, segundo Oliveira et al. (2008), o estuário estende-se até quase 75 km da foz, e as inversões do sentido das correntes de marés podem ocorrer até 40 km, e a penetração de massas de água do oceano até 8 km, à jusante da cidade de Piaçabuçu/AL.

Na bacia do RSF, a cobertura vegetal contempla fragmentos de Cerrado no Alto e Médio, Caatinga no Médio e Sub-médio e de Mata Atlântica no Alto São Francisco, principalmente nas cabeceiras (ANA, 2017). A cobertura vegetal original na região do Baixo São Francisco é representada por extensas áreas de caatinga, que se constitui num tipo xerófito de vegetação, ou seja, com adaptações funcionais contra a falta de água, desenvolvida em função do baixo nível de precipitação pluviométrica da região do semiárido (CAVALCANTE, 2011).

Próximo ao litoral ocorrem formações pioneiras que cobrem ambientes sedimentares recentes, instáveis e sem tempo necessário para serem edafizados. Dois tipos de ambientes aparecem no litoral de Alagoas e Sergipe: a restinga e os manguezais (CAVALCANTE, op.cit.).

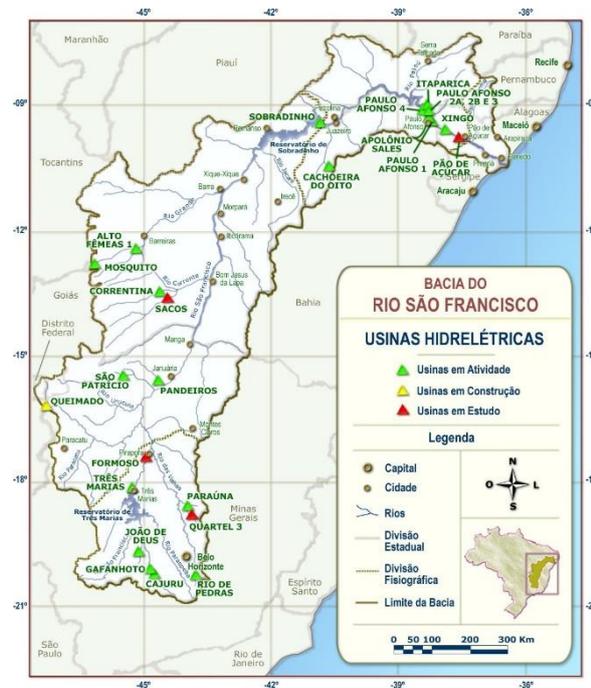
O clima na bacia hidrográfica do São Francisco possui variações desde o tropical úmido ao semiárido (BERNARDES, 1951). Porém, Knoppers et al. (2006), seguindo a classificação de Köppen, citou que devido à grande extensão do rio, o mesmo está sujeito a várias condições climáticas. O setor superior tem um clima do tipo Awa (quente, úmido, com chuvas no verão) e a planície deltaica onde está inserida a região estuarina As (quente, úmido, com chuvas de inverno). A porção intermediária, parcialmente fixada no polígono das secas do NE, é caracterizada por um clima semiárido do tipo Bwh (tropical seco, semiárido, com chuvas de inverno). Medeiros et al. (2016), refere-se ao clima na bacia como quente, com a área semiárida a montante, passando por uma transição para o subúmido no meio do curso, e depois para úmido, próximo a zona costeira. De forma geral, o clima na região estuarina é regulado pela massa de ar Equatorial Atlântica e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

2.2 Influências das usinas hidrelétricas na bacia do rio São Francisco

Ao longo do rio São Francisco, há diversas interferências humanas relacionadas às obras de engenharia, objetivando à geração de energia elétrica, abastecimento de água, a navegação e a proteção contra enchentes. Dentre as obras estabelecidas, as barragens são as mais frequentes e alteram o regime hidrológico do rio, modificando a vazão líquida e sólida à jusante, por meio da retenção de grande parte dos sedimentos (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003a).

As construções dos reservatórios para produção de energia elétrica iniciaram-se a partir da década de 1950, ao longo do curso do rio, de maneira que compõem a bacia do São Francisco os seguintes reservatórios: Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Paulo Afonso, Xingó, de montante para jusante (BANDEIRA et al., 2013), como indicados na figura 3.

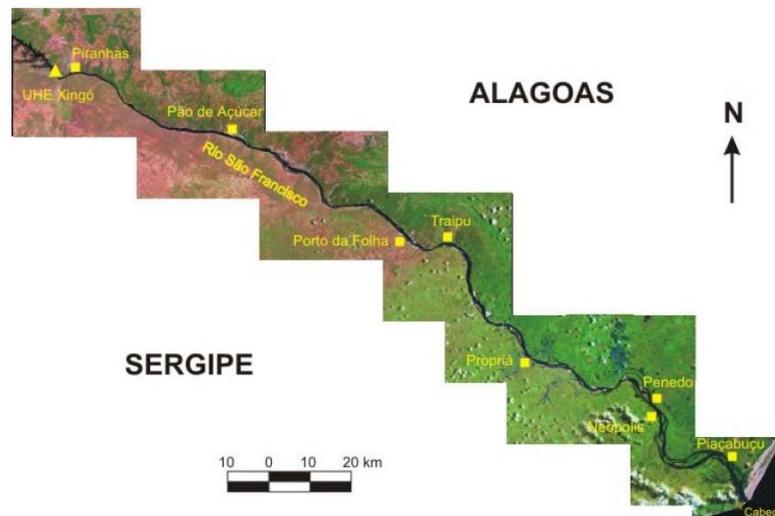
Figura 3 - Barragens e reservatórios na bacia do rio São Francisco.



Fonte: ANEEL *apud* ANA/GEF/PNUMA/OEA (2003).

A Usina Hidrelétrica de Xingó, administrada pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) iniciou sua construção em março de 1987, no ano de 1994 passou a funcionar parcialmente e apenas no ano de 1997 começou efetivamente o seu funcionamento (ARAÚJO et al., 2016). De maneira geral, todas as hidrelétricas interferiram nas condições naturais do rio. Porém, no baixo São Francisco (Figura 4), o pleno funcionamento do reservatório de Xingó foi decisivo para os impactos gerados. Isso se deve ao fato de produzir flutuações artificiais das vazões diárias importantes na dinâmica do rio, pela retenção da contribuição de sedimentos aluviais entre Paulo Afonso-Xingó, ausência de cheias ou picos de vazões após a construção de Xingó no período de 1994-2001(ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003b).

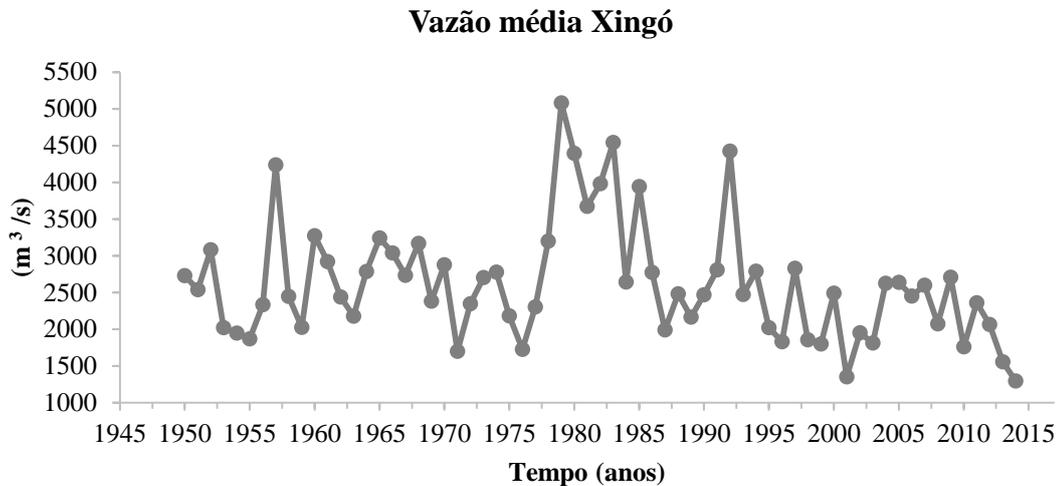
Figura 4- Baixo curso do rio São Francisco desde a UHE Xingó até a região da foz.



Fonte: (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003).

Na figura 5 é possível observar as variações da vazão antes e após o funcionamento da UHE Xingó (período de 1994 até 2014), com dados obtidos pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). Como relatado pela ANA/GEF/PNUMA/OEA (2003b), inicialmente o impacto no baixo curso do rio que mais se destacou foi a erosão marginal pela visibilidade, amplitude, distribuição e consequências econômicas, a qual comprometeu a economia dos estados de Sergipe e Alagoas, diminuindo áreas de produção nos perímetros irrigados. O recuo de linha de costa em que ocasionou a destruição do povoado Cabeço (SE) foi mais um dos indicadores nas mudanças ocorridas na bacia, demonstrando a sensibilidade aos impactos das operações de hidrelétricas, comprometendo o equilíbrio dos processos marinhos costeiros e fluviais. Outras mudanças ambientais foram surgindo sutilmente como a diminuição de nutrientes, mudanças na característica da água, a biodiversidade e seus ciclos reprodutivos, entre outros.

Figura 5- Mudança na vazão do rio São Francisco antes e após o início das operações da UHE Xingó. (Gerado a partir de dados do ONS para a barragem de Xingó).



É perceptível as alterações ocorridas neste ecossistema, visto que os próprios ribeirinhos observam a diminuição de volume do curso d'água, os eventos de cheias que não mais ocorrem, grandes bancos de areia ao longo do rio prejudicando à navegação, onde as embarcações maiores desviam o seu curso, ficando somente para embarcações menores menos prejuízos quanto a navegação (FONTES, 2011; NASCIMENTO et al., 2013; SANTANA et al., 2016). Outros impactos que podem ser citados tais como as grandes quantidades de macrófitas (SANTANA et al., 2016), a substituição de áreas anteriormente cobertas por água são agora áreas de vegetação forrageira, utilizadas para pastagens de animais (SAMPAIO, 2014). São estes alguns exemplos das modificações que ocorreram no Baixo São Francisco decorrentes da regularização dos cursos d'água.

O sistema de represamento de águas remove a turbulência nas seções dos rios e com isso cria corpos d'água tranquilos, desta forma, afeta os fluxos e regimes de temperatura, o transporte de sedimentos e a comunidade de espécies. Após a construção das barragens, há a alteração de um ambiente lótico para lântico, favorecendo na maioria das vezes espécies generalistas sobre espécies especialistas, e altera a assembleia de grupos taxonômicos e colocam espécies endêmicas à um risco particular de extinção, o que acarreta a uma homogeneização biótica (RACHEL, 2000; POFF et al., 2007).

2.3 Importância da bacia do São Francisco

Em detrimento ao desenvolvimento econômico e social das populações, vários insumos são necessários para que sejam desenvolvidas atividades na região, gerando consumo de alimentos, energia e acarretando pressões antrópica que geram impactos às condições naturais

dos ecossistemas (POFF et al., 1997; BUNN & ARTHINGTON, 2002; AGOSTINHO et al., 2005; NILSSON et al., 2005; HAY et al., 2008). Na bacia do São Francisco, esta situação se repete, onde várias atividades interferem na dinâmica do corpo d'água que apresenta sensibilidade às intervenções humanas como verificado nos trabalhos de Holanda, et al. (2009), Cavalcante et al. (2017), entre outros.

Os principais usos do rio São Francisco além da geração de energia elétrica, são o abastecimento humano, irrigação, desenvolvimento de atividades de aquicultura e navegação (GUIMARÃES et al., 2014), além da pesca de subsistência e lazer (ARAÚJO et al., 2016).

Conforme Godinho & Godinho (2003), o rio São Francisco foi uma das maiores fontes brasileiras de pescado, fornecendo condições para a pesca de subsistência e comercialização de outros estados do Nordeste, bem como da região Sudeste do país. Porém, ao longo dos anos, esta situação se modificou e várias causas foram apontadas como poluição, uso inadequado dos solos, sobrepesca, destruição de habitats e o próprio barramento das águas.

Uma alternativa à diminuição de pescados, a piscicultura surge como fonte de renda, ferramenta que garante a demanda de pescados devido ao contínuo aumento populacional e a natureza não prover a quantidade de pescado necessária, além de auxiliar na preservação dos ecossistemas (IZEL et al., 2013).

De acordo com Silva & Fujimoto (2012), esta atividade na região do Baixo São Francisco é uma atividade recente, com menos de 20 anos de produção, sistema de produção familiar semi-intensivo, e a comercialização se dá por vendas diretas ao consumidor em feiras livres, nas portas das pisciculturas ou a atravessadores. Porém, as principais espécies comercializadas são o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e tilápia (*Oreochromis niloticus*), espécies não pertencentes a bacia.

2.4 Trabalhos realizados na bacia do São Francisco

Medeiros et al. (2007), estudando uma região próximo a ponte rodoferroviária entre as cidades de Propriá (SE) e Porto Real do Colégio (AL), abordou neste estudo o impacto de barragens ao longo da bacia do Rio São Francisco, especificamente na carga fluvial e no comportamento do material em suspensão na zona costeira em decorrência das grandes regularizações de vazões imposta a este ecossistema. Foi possível verificar com este estudo que as regularizações das vazões possuem a capacidade de alterar o comportamento hidrodinâmico e sedimentar do rio, influenciando diretamente nas cargas de material particulado em suspensão,

e contribuindo também a este cenário, a influência da sazonalidade da precipitação. Através de análises por imagens de satélites, foi verificado que os principais processos responsáveis pela concentração de materiais na região estuarina foram a ressuspensão e erosão da costa adjacente, visto que as contribuições destes processos incrementam materiais em suspensão ao aporte fluvial do corpo d'água.

Oliveira et al. (2008), ao realizar também estudo na região estuarina do Baixo São Francisco, analisou a relação das correntes de marés e a salinidade para a região e verificou que as maiores introduções da água salina ocorreram nas marés de sizígia e na preamar devido a inversão da corrente junto ao fundo. A intrusão salina além das relações com as marés, é possível novamente relacioná-las com as regularizações da vazão que têm grande influência na dinâmica natural do rio, podendo neste caso favorecer o transporte salino, afetando a captação de água, agricultura e demais atividades, bem como modificar o ambiente e a distribuição de espécies da região.

Para o baixo São Francisco, Medeiros et al. (2015) avaliou o comportamento da turbidez e material em suspensão sobre a influência da vazão e precipitação para os anos de 2001, 2004 e 2007, onde resultou na ausência de correlação entre material em suspensão e turbidez devido ao grande impacto do manejo de barragens ao longo do rio para a máxima eficiência energética. Outra percepção feita foi que em anos de crise energética como o ano de 2001 as vazões foram bastante influenciadas pelas ações das barragens, bem como de eventos climáticos, como precipitações para o ano de 2001 inferiores as médias históricas, e para os anos de 2004 e 2007 obtiveram médias superiores às médias históricas. Neste estudo, os autores observaram também que a vazão além de sofrer influência no manejo das barragens, também é afetada por eventos extremos de precipitação, o que implica no comportamento de material em suspensão e na turbidez. Desta forma, grandes precipitações e maiores vazões geram maior aporte de material em suspensão e maior turbidez para a região estuarina.

Ainda no Baixo São Francisco, Cavalcante (2011), analisou dados de sedimentos, vazão e precipitação com o objetivo de mostrar as alterações morfodinâmicas fluviais e estuarinas ao longo dos anos estudados, bem como a influência das barragens construídas ao longo do rio e suas influências / modificações ocorridas ao ambiente estuarino e fluvial do Baixo São Francisco. De acordo com o estudo, foi possível perceber que as alterações antropogênicas refletiram o comportamento das descargas no Baixo São Francisco, onde o transporte da carga de materiais dissolvidos e suspensos é influenciado pela velocidade do fluxo do rio, pois o seu transporte é feito na mesma velocidade em que as águas do rio fluem. Sendo assim, alterando as características hidrológicas de uma bacia há também alterações nas forçantes físicas,

químicas e biológicas às quais o ambiente estuarino é submetido (ALBER, 2002; SKLAR & BROWDER, 1998; WOLANSKI et al., 2001).

Bandeira et al. (2013), também realizou estudo no baixo São Francisco onde uma das grandes consequências da mudança no curso natural do rio provocado pelas regularizações está a erosão e a retenção de sedimentos, que conseqüentemente acarretou em redução drástica da população de peixes da região. Tal fato se justifica, pois com uma menor contribuição dos sedimentos finos, menor será a disponibilização de nutrientes e matéria orgânica necessária para a manutenção e distribuição dos organismos aquáticos na região da foz do rio São Francisco.

Segundo Araújo et al. (2016), a alteração das vazões do rio teve forte impactos além dos nutrientes, na pesca e na agricultura, visto que grande parte dos ribeirinhos, quando havia as lagoas marginais, trabalhavam na cultura do arroz em período de cheias e aliado a esta cultura da região, havia a obtenção de pescados. Além disso, este mesmo ecossistema funcionava como berçários para várias espécies de peixes nativas do São Francisco, e de modo geral contribuía na manutenção do equilíbrio do ecossistema aquático. Lembrando também que devido a regularizações das vazões outra questão importante foi modificada, as cheias das lagoas marginais, que proporcionavam a migração de espécies na época de verão, período denominado de piracema (momento reprodutivo de espécies).

2.5 Estuário e sua Importância

A origem da palavra estuário vem do latim *aestuarium* que significa maré ou onda abrupta de grande altura. É uma referência ao dinamismo desse ambiente, com mudanças frequentes em resposta a forçantes naturais (MIRANDA et al., 2002). Estuários são corpos de água semifechados onde acontece a diluição mensurável da água do mar pela água doce proveniente da drenagem continental, tendo uma conexão livre com o mar aberto (CAMERON & PRITCHARD, 1963). Esse ambiente pode ser subdividido em três zonas distintas (KJERFVE, 1989):

- Zona de Maré do Rio (ZR) – parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência do represamento da maré;
- Zona de Mistura (ZM) – região onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água do mar;
- Zona Costeira (ZC) – região costeira adjacente que se estende até a fonte da pluma estuarina que delimita a Camada Limite Costeira (CLC).

Os estuários são ambientes submetidos a processos físicos e subsídios de energia, com grande intercâmbio de matérias bióticas e abióticas provenientes de outros ecossistemas, incluindo água, sais minerais, sedimentos, matéria orgânica e organismos (YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1986). Conforme Odum (1971), os estuários tendem a ser caracteristicamente mais produtivos do que qualquer outra área hídrica, quer marinha, quer continental. Os processos de intemperismos e de lixiviação, bem como as ressurgências costeiras são importantes meios de entrada de nutrientes nos estuários e influenciam diretamente na produtividade do ambiente estuarino. Os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar, ou seja, os rios funcionam como canais de escoamento, dentro dos processos aluviais, como: erosão; transporte; e sedimentação (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Tundisi & Matsumara- Tundisi (2008), aponta que devido ao aporte de nutrientes; elevada biomassa; ciclos rápidos e decomposição rápida na coluna d'água/sedimento; cadeias alimentares com várias alternativas, que estimulam a produção de matéria orgânica e a transferência de energia de forma a reciclar rapidamente a matéria orgânica e os nutrientes são as principais causas desta grande produtividade em estuários.

De acordo com Ittekkot et al. (1991), a entrada de nutrientes e da água doce provenientes dos rios influenciam nos processos biogeoquímicos nos mares costeiros e afetam a qualidade e a quantidade dos materiais acumulados em sedimentos marinhos. Em seu trabalho, foi notado que as alterações provocadas na salinidade pela água doce e a introdução de nutrientes derivados de rios promoveram o crescimento do plâncton com carapaças de sílica o que adicionou os fluxos de sílica biogênico e matéria orgânica.

Da mesma forma que o ambiente terrestre é importante para os estuários, a região estuarina (zona de transição entre o continente e o oceano) é de fundamental valor para o oceano, pois é por meio dos estuários onde ocorre a passagem de grande parte de nutrientes para o oceano adjacente que dão suporte a manutenção das cadeias alimentares (TAPPIN, 2002).

Segundo Braga et al. (2000), os ecossistemas estuarinos podem ser distinguidos de outros devido a sua alta produtividade biológica e a presença de ecossistemas economicamente valiosos e atividades humanas intensivas que são capazes de alterar suas funções e propriedades. A importância dos estuários pode ser confirmada pelas diversas atividades que se desenvolvem no entorno da região e ainda pela diversidade de espécies de peixes, crustáceos,

entre outros organismos que utilizam este local para fins de alimentação, proteção e reprodução. Souza & Kjerve (1997), menciona o fato de dois terços das grandes cidades distribuídas em todo mundo estarem localizadas em estuários, ou em sua vizinhança imediata, o que confirma a importância histórica e contínua do estuário ao desenvolvimento das atividades humanas.

Entende-se desta forma que estuários são locais de alta produtividade e diversidade biológica (ASHBY, 2013), apresentando maior produtividade que os rios e oceanos, sendo considerada uma região bastante rica em nutrientes e conseqüentemente de grande produtividade primária (MIRANDA et al., 2002). Além disso, é conferido a estes ecossistemas a denominação de berçários para várias formas de vida e se constituindo como de grande importância ambiental, social e econômica.

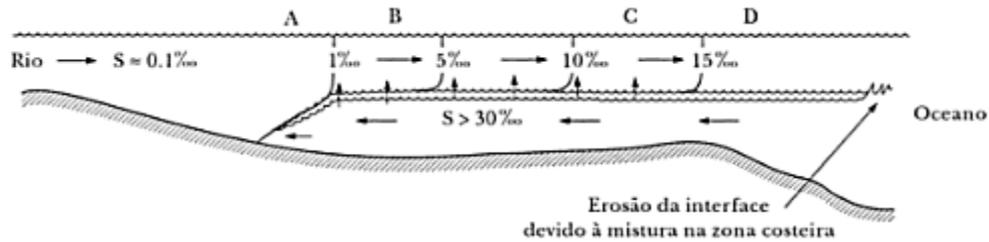
2.6 Classificação dos estuários pela estratificação de salinidade

Segundo Pritchard (1955), a classificação dos estuários de acordo com a distribuição vertical de salinidade é de três tipos: cunha salina, parcialmente misturado, verticalmente homogêneos (lateralmente estratificado e bem misturado).

O estuário do tipo cunha salina são típicos de regiões dominadas pela descarga fluvial e pelo processo de entranhamento, apresentando uma diferença acentuada no perfil vertical de salinidade (STOMMEL, 1953; KJERFVE, 1989).

Na figura 6 é apresentado um estuário de cunha salina, onde o cisalhamento da velocidade entre as camadas gera um transporte de parcelas de água do mar para a parte superior do estuário, por um processo denominado de entranhamento (MIRANDA et al., 2002). Conforme Pinet (2009), em estuários de cunha salina a água doce de baixa densidade flutua sobre uma camada de água salgada de elevada densidade.

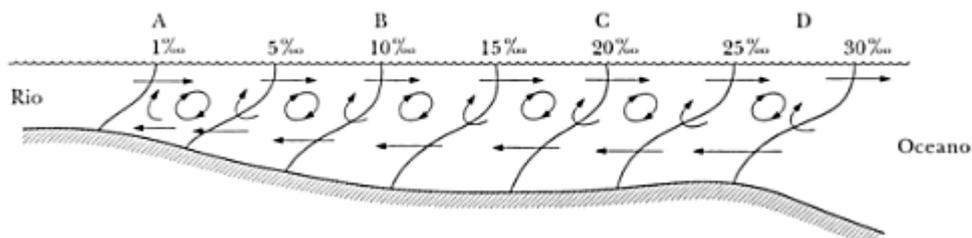
Figura 6- Desenho esquemático de um estuário do tipo cunha salina. As setas em verticais indica o processo de entranhamento.



Fonte: Pritchard (1989)

O estuário parcialmente misturado (Figura 7), apresenta gradientes verticais moderados de salinidade e por isso são denominados como parcialmente misturados. A energia da maré tem grande influência neste tipo de estuário, visto que o principal agente responsável pela mistura é a turbulência. Através dos vórtices turbulentos gerados, ocasionam a erosão dos gradientes verticais de salinidade por meio da mistura entre a água doce e a água do mar (MIRANDA et al., 2002).

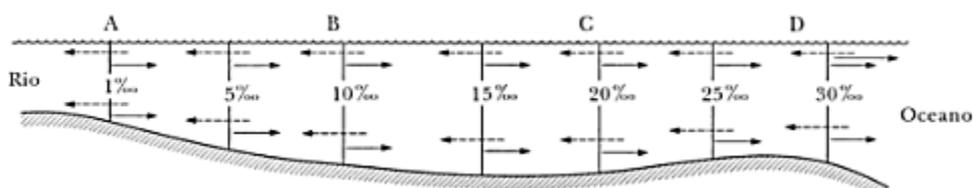
Figura 7- Distribuição longitudinal da salinidade e da circulação num estuário tipo parcialmente misturado.



Fonte: Pritchard (1989)

Estuários verticalmente homogêneos formam-se geralmente em canais rasos e estreitos forçados por pequena descarga fluvial no ambiente. Em condições naturais, estuários deste tipo (Figura 8), apresentam condições homogêneas da superfície ao fundo (o fluxo vertical de sal é desprezível), e o processo de mistura se dá principalmente na direção longitudinal (DYER, 1973), com a salinidade da água crescente em direção à região oceânica (KJERFVE 1989).

Figura 8- Distribuição da salinidade e da circulação num estuário verticalmente homogêneo, com uma breve estratificação lateral.



Fonte: Pritchard (1989)

2.7 Fatores que influenciam a produtividade dos estuários

A produtividade de um ambiente estuarino está intimamente relacionada com as propriedades físico-químicas da água, hidrodinâmica local, bem como dos organismos que habitam esse ambiente (CABEÇADAS et al., 1999; KNOPPERS et al., 2006), pois modificam as condições ambientais em detrimento da assimilação de nutrientes e pela produção de outros por meio de processos de natureza biológica (ESTEVES, 1998).

Outro fator que contribui com a produtividade é a circulação estuarina, fornecendo nutrientes à camada eufótica, como também transporta o plâncton ao longo do corpo do rio, ocasionando distribuição assimétrica da biomassa planctônica no estuário. Os ventos, as correntes de maré e mistura da coluna d'água modulam o padrão de circulação, e esta última cria uma variação de nutrientes e plâncton (GARGETT & DENMAN, 2000)

Day et al. (1989), afirma que os processos de renovação da qualidade da água durante os ciclos de maré, a rápida mineralização e conservação de nutrientes por meio de uma teia trófica complexa (incluindo organismos filtradores e detritívoros) são fatores que interferem na produção estuarina. Porém Vannucci (1969), resumiu os três fatores principais que afetam a produtividade de estuários: a) as características da água-nutrientes: turbidez, concentração de matéria dissolvida; b) as características e profundidades do sedimento: concentração de fósforo, granulometria, relação ferro/fósforo no sedimento; c) a disponibilidade de nutrientes na água e no sedimento e da matéria orgânica em geral, cuja decomposição acelera o processo de produtividade primária e secundária.

2.8 Processos biogeoquímicos em estuários

Biogeoquímica é a parte da ciência que estuda a troca ou circulação de matéria entre componentes vivos e físico-químicos da biosfera (ODUM, 1971). Portanto os elementos promordiais à vida, ou seja, os nutrientes (elementos essenciais disponíveis para os produtores primários de forma molecular ou iônica), através de um ciclo tornam-se disponíveis sob várias formas e são incorporados pelos organismos. Dentre os macronutrientes estão o carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo (BRAGA et al., 2005).

Todos esses nutrientes através dos processos biogeoquímicos são reciclados em decorrência de fatores como tempo de residência das águas, efeito das ondas, correntes e das marés, bem como da relação entre o sedimento e coluna d'água (MCGLATHERY et al., 2001;

HUNG & KUO, 2002; HUNG & HUNG, 2003). Segundo Knoppers et al. (2006), afirma que as mudanças ocorridas no meio aquático como pH, turbidez, atividade fotossintética e respiração atuam diretamente na composição desses materiais.

Os processos biogeoquímicos (físicos e biológicos e as reações químicas) afetam a dinâmica dos nutrientes nos ecossistemas aquáticos, e entre esses processos estão a absorção biológica de nutrientes pelo fitoplâncton, reciclagem da matéria orgânica na coluna de água e no sedimento, adsorção/dessorção, floculação, sedimentação, entre outros (FONSECA et al., 2002; DAVIES & EYRE, 2005).

2.9 Importância dos nutrientes

Os nutrientes de acordo com Chester & Riley (1989), são elementos envolvidos funcionalmente no processo de vida dos organismos, encontram-se dissolvidos na água e são considerados limitantes à produtividade primária. Entre os principais nutrientes inorgânicos dissolvidos presentes em corpos d'água destaca-se o nitrogênio (NID= amônio + nitrito + nitrato), fosfato e silicato, os quais possibilitam o desenvolvimento dos organismos fitoplanctônicos.

Ainda de acordo com Esteves (1998), dentre estes nutrientes, o nitrogênio e o fósforo são limitantes e mais importantes à produtividade primária, visto que no metabolismo dos ecossistemas aquáticos o nitrogênio participa na formação das proteínas e o fósforo devido ao armazenamento de energia e estruturação da membrana celular.

Os nutrientes podem ser considerados como elementos importantes à manutenção da produtividade dos corpos hídricos, porém a origem (natural ou antrópica) e a quantidade de nutrientes carregados pelos rios influenciam na produção do ecossistema podendo acarretar severos processos de eutrofização (TROUSSELLIER et al., 2004).

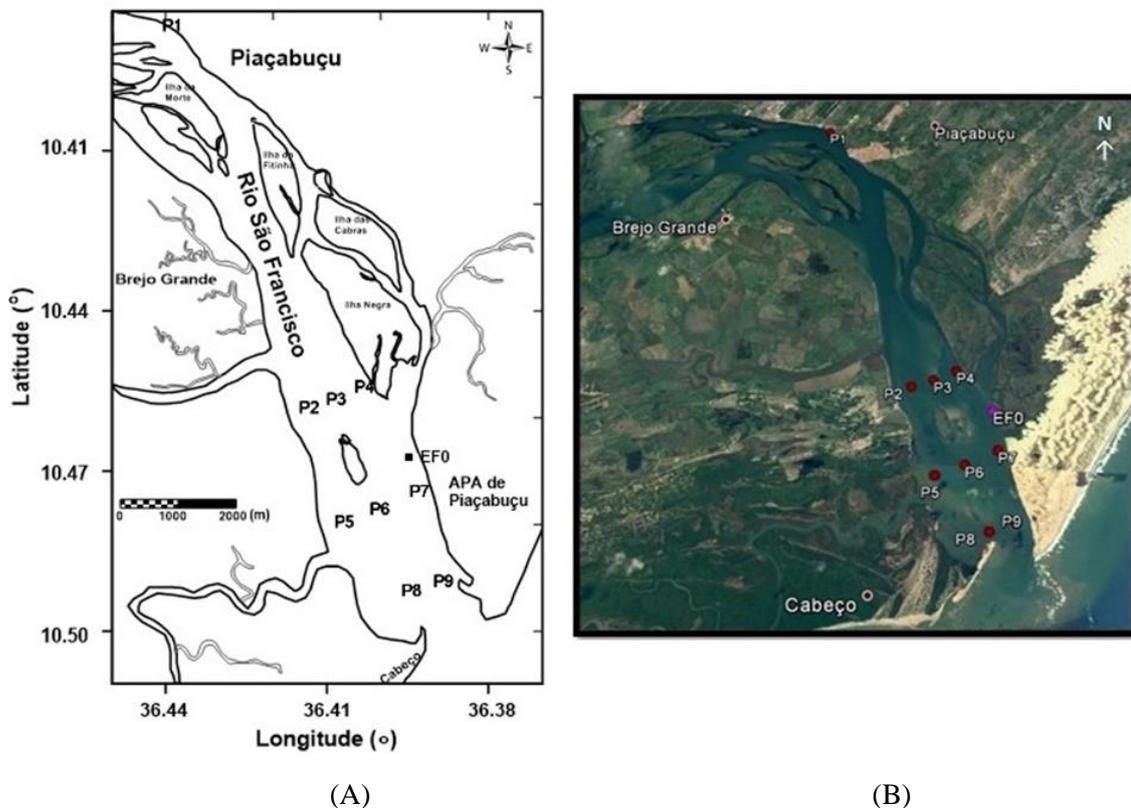
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

As coletas foram realizadas na planície fluviomarinha do rio São Francisco, que ocorre desde o município de Penedo, Alagoas, até o litoral, sendo constituída de superfícies planas, sem desníveis acentuados, formados por sedimentos recentes, aluvionares, eólicos e praias (BRAZ FILHO, 1980; DOMINGUEZ, 1996). Em sua margem direita, próxima à foz, parte da planície costeira é constituída por uma série de ilhas com vegetação típica de manguezal, sob influência de marés (CARVALHO & FONTES, 2006). A região é dominada por mesomarsés, do tipo semidiurna, com marés de sizígia atingindo 2,6 m (MEDEIROS et al., 2007).

A região estuarina (Figura 7A e 7B) está situada na Área de Proteção Ambiental (APA) de Piaçabuçu, com profundidade variável, chegando a atingir aproximadamente 14 m próximos à foz (MEDEIROS et al., 2007).

Figura 9- Área de estudo na planície fluviomarinha do rio São Francisco com as estações de coletas espaciais (P) e do ponto fixo (EF0).



Fonte: (A) Adaptado de Cavalcante et al. 2017. (B) Mapa elaborado a partir do Google Earth, 2016.

3.2 Procedimentos de campo e em laboratório

3.2.1 Parâmetros físico-químicos

As campanhas foram realizadas nos meses de fevereiro (nos dias 18 e 19) e julho (nos dias 16 e 17) de 2014 em maré de sizígia. Foram amostradas espacialmente nove estações P1 à P9 (Figura 7 A e B), para uma caracterização da distribuição das variáveis físico-químicas e dos nutrientes inorgânicos dissolvidos ao longo do estuário. Posteriormente as medições espaciais, a embarcação ficou fundeada na estação EF0 (Figura 7 A e B) para medições pontuais cobrindo um ciclo completo da maré. As localizações das estações foram georeferenciadas a partir do GPS Garmin GPSmap e as profundidades medidas através do sensor Sonar Digital HawkEye H22PX.

Coletados *in situ* parâmetros físico-químicos com o auxílio de uma sonda multiparamétrica YSI 6600 para amostragem de (temperatura, pH, salinidade e turbidez). As medições realizadas com a sonda multiparamétrica necessitou de um guincho hidrométrico com lastro de 25 Kg devido à forte correnteza no estuário analisado e toda a amostragem efetuada com o emprego de uma embarcação do tipo traineira. A sonda estava localizada na popa da embarcação atrelada ao sistema de guincho, onde se podia controlar a velocidade de descida e conferir a profundidade no medidor do guincho juntamente ao *display*. Para a estimativa da variação temporal do perfil salino e da temperatura foram realizadas medidas a cada 0,5 m da superfície ao fundo, amostradas a cada 30 min durante um período de 25 horas com barco fundeado na estação fixa EF0 (Estação São Francisco “0”) a uma distância de aproximadamente 50 m da margem esquerda do RSF.

Ainda em campo foram obtidos dados dos perfis das correntes (velocidade e direção) determinados com o auxílio do ADCP (Correntômetro Acústico de Efeito Doppler) Sontek River Surveyor de 1500 MHz em barco fundeado na estação fixa EF0 (Estação São Francisco “0”) a aproximadamente 50 m da margem esquerda e a 3,5 km da desembocadura/foz do estuário do RSF. Essas medições foram realizadas a cada 0,5 m ao longo da coluna d’água e amostradas a cada 5 segundos em coletas contínuas por um período de 25 horas. O equipamento estava acoplado a uma bateria para garantir a manutenção do fornecimento de energia e acompanhamento da coleta de dados. A sonda utilizada e o ADCP foram operados com o auxílio de notebook HP.

3.2.2 Nutrientes e Total de Sedimentos em Suspensão (TSS)

A amostragem de água do estuário do rio São Francisco foi feita com uma garrafa do tipo Van Dorn a uma profundidade de subsuperfície (em torno de 40 cm abaixo da linha da água), armazenadas em frascos de polietileno e mantidas no escuro, resfriadas e acondicionadas em caixa térmica e posterior transporte ao laboratório. Em seguida, foram determinadas as concentrações dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (oxigênio, nitrato, nitrito, amônia, fósforo e sílica) de acordo com a metodologia descrita por Carmouze (1994) e definida as concentrações de clorofila e sólidos totais em suspensão (TSS) de acordo com Strickland & Parsons (1972). Com auxílio de GPS Garmin GPSmap foram georreferenciadas todas as estações.

a. TSS

O TSS foi determinado pela técnica de Strickland & Parsons (1972), consistindo na filtração da amostra com volume de água e peso do filtro conhecidos, sendo este lavado para a retirada dos sais, secados e pesado novamente. A filtração se faz importante para a separação do material em suspensão (retidos no filtro) e compostos dissolvidos presentes na amostra. Após a filtração permaneceu congelado até análise, que consiste na secagem em estufa a uma temperatura de 65°C até a obtenção de peso constante. Após serem acondicionados e resfriados em dessecador foram novamente pesados para determinar o material em suspensão. A diferença entre a massa do filtro antes e após a filtração forneceu a massa do material particulado em suspensão para um exato volume filtrado, como pode ser observado na expressão abaixo:

$$\frac{(P2 - P1 + X) \times 10^6}{V} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

P2 (g) é o peso do filtro com material particulado;

P1 (g) é o peso do filtro limpo;

V (ml) é o volume da amostra filtrada;

X é a correção em branco.

b. Clorofila

Para a determinação da concentração de pigmentos fotossintetizantes clorofila *a* foram filtrados volumes conhecidos da amostra em filtros Whatmann GF/C ($\phi = 47$ mm) e acondicionados em envelopes devidamente identificados com etiquetas e armazenados em

freezer até a análise. Os pigmentos foram extraídos em acetona (90%), mantidos no escuro e acondicionados em freezer por um período de aproximadamente 20 horas.

A leitura da concentração de clorofila *a* foi determinada pelo método de Strickland & Parsons (1972) e utilizado o comprimento de onda 665 e 750 nm para leitura das densidades ópticas.

c. Nutrientes inorgânicos

Em laboratório, foram filtradas amostras de água contendo os nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito, nitrato, amônia, fosfato e silicato) em filtros Whatmann GF/F ($\phi = 47$ mm) e congeladas para posteriormente serem analisadas. As concentrações foram determinadas segundo os métodos apresentados por Grasshoff et al (1999), por meio da leitura de absorbâncias, em um comprimento de onda específico (Tabela 1), no espectrofotômetro UV/Visível Perkin Elmer Lambda 45 em cubetas de quartzo de 1 cm. A redução do nitrato a nitrito foi realizada através de uma coluna redutora contendo grãos de cádmio cobertos por cobre (CuSO_4).

Tabela 1 - Comprimento de onda (CO) em nm e limites de detecção (LD) em μM utilizado na análise de nutrientes no espectrofotômetro para uma cubeta de 1 cm.

Nutrientes inorgânicos	CO (nm)	LD (μmol)
Nitrito	543	< 0,02
Nitrato	543	< 0,02
Amônio	630	< 0,06
Fosfato (PO_4^{3-})	885	< 0,04
Fosfato (HPO_4^{2-})	885	< 0,03
Silicato	700	< 0,2

Estabelecida a concentração de cada nutriente e TSS, procedeu-se a quantificação da carga e cálculo dos fluxos. Nesta etapa, houve a necessidade em obter os dados históricos de vazão para a região de estudo fornecidos pela ANA (site HidroWeb, <http://hidroweb.ana.gov.br/>) para a estação de Traipu-AL (49660000) localizada a 120 km à montante da foz e assim os fluxos estimados pela fórmula abaixo como descrito por Medeiros et al. (2007):

$$F_m = Q \times C_i \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

F_m - fluxo momentâneo dos nutrientes

Q - vazão do rio em m³/s

C_i – concentração média dos nutrientes (concentração individual de cada nutriente µg.L⁻¹)

C_i – concentração média do TSS (concentração individual de cada média de sedimento em suspensão em mg.L⁻¹)

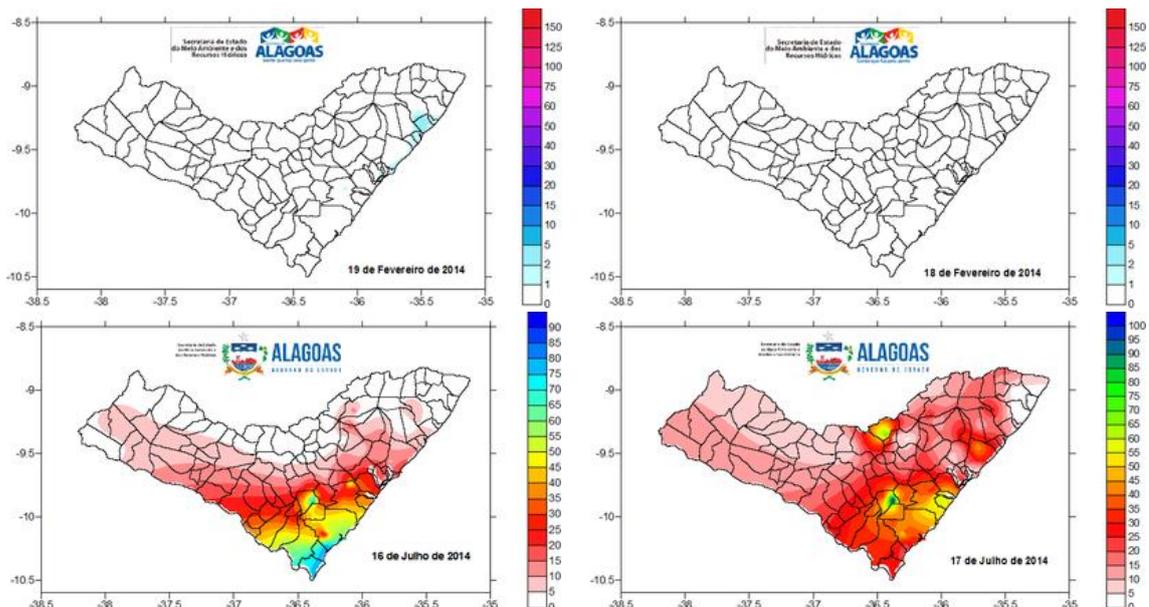
As cargas diárias para cada nutriente foram estimadas assumindo a média mensal para as campanhas do material *m* (toneladas/dia), segundo a expressão abaixo:

$$Q_m = 0,0864 \times C \times Q \quad \text{Equação (3)}$$

Onde Q_m é a carga diária em toneladas e a constante (0,0864) é o fator de conversão para toneladas. A carga total de cada mês foi adquirida multiplicando Q_m pelo número de dias referente aos meses estudados.

Utilizou-se também os dados brutos de precipitação fornecidos pela estação meteorológica automática de Brejo Grande- SE (10 km noroeste da estação de amostragem) e da estação convencional de Propriá – SE (80 km a montante da foz) do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para os meses de fevereiro e julho do ano de 2014, a fim de relacioná-los com os resultados obtidos pela carga/fluxo de nutrientes, bem como os mapas de precipitação acumulada em 24 h (SEMARH- AL) para o ano de 2014 (Figura 10).

Figura 10 - Mapas de precipitação acumulada em 24 h durante o período analisado.



Fonte: SEMARH- AL, 2014.

3.2.3 Elaboração de mapas a partir de dados ERA- Interim

O conjunto de dados usado neste trabalho foi extraído da Reanálise ERA-Interim (Dee et al., 2011), desenvolvido pelo ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast - Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio- Prazo) disponibilizada desde 1979 até os dias atuais, pois é continuamente atualizada em tempo real e está disponível no endereço <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=pl/>. A partir desta reanálise foi utilizado os dados da variável vento no nível de 1000 hPa, tendo resolução temporal de 6 horas (00,6,12 e 18 UTC ou Z) e grid de 1.125x 1.125 para posterior confecção de mapas no software GrADS (Grid Analysis and Display System- Sistema de Visualização e Análise de Dados em Pontos de Grade) para os dias em que foram realizados os procedimentos de campo.

3.2.4. Elaboração de mapas no Surfer

Após a verificação dos dados, foi empregado o software Surfer© versão 9 desenvolvido pela Golden Software TM Inc., escolhida a malha de interpolação, bem como seus limites máximos e mínimos, usado o método de interpolação Kriging, e em seguida gerados mapas de distribuição das variáveis estudadas.

O método de interpolação Kriging, krigagem ou krigeagem se utiliza da geoestatística, levando em consideração as características de autocorrelação de elementos regionalizados. Por meio deste método é possível definir o grau de dependência ou correlação espacial entre as amostras (CRESSIE, 1991), na tentativa de expressar tendências sugeridas pelos dados (MAZZINI & SCHETTINI, 2009).

3.2.5 Análise Estatística

Por meio da utilização do software BioEstat 5.3 (AYRES et al. 2007) foi realizada a análise estatística dos dados, por meio da correlação de Spearman, uma medida de correlação não-paramétrica que determina o grau de associação entre duas variáveis mensuradas, pelo menos, a nível ordinal e dispostas em postos ordenados em duas séries: X e Y. É dado pela seguinte equação:

$$r_s = 1 - (6\sum D_i^2) / N(N^2 - 1) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

D_i: (postos de x_i dentre os valores de x) – (postos de y_i dentre os valores de y)

N: o número de pares (x_i y_i)

O coeficiente de Spearman varia entre -1 e 1. A associação entre as variáveis será maior, quanto mais próximo estiver destes extremos. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, isto é, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável.

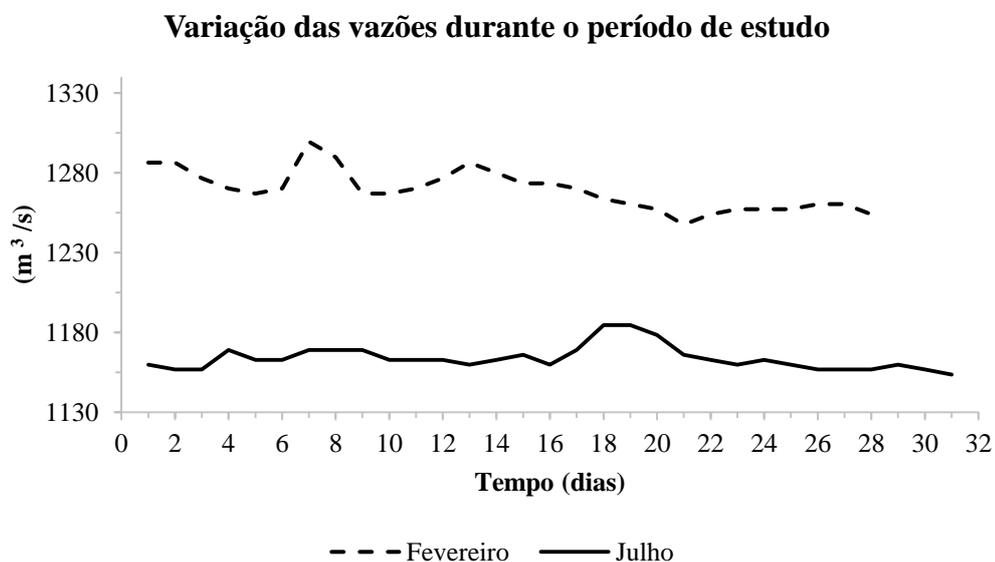
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Vazões e altura das marés durante o período de estudo

De acordo com a ANA (2014), a vazão natural média anual do rio São Francisco é de 2.846 metros cúbicos por segundo, mas ao longo do ano pode variar entre 1.077 m³/s e 5.290 m³/s. A variação da vazão no rio São Francisco para o período é apresentada na figura 11. Para os dias de coleta de cada mês não houve grande variação da vazão. Quando comparados os meses estudados, houve uma pequena alteração da vazão, com menores valores observados em julho correspondendo a aproximadamente 1160 m³/s e em fevereiro valores em torno de 1260 m³/s.

A verificação das modificações da vazão se faz necessário devido a esta variável ser fator que pode influenciar nos fluxos de nutrientes transportados pelo rio e análise da dimensão salina dentro do estuário.

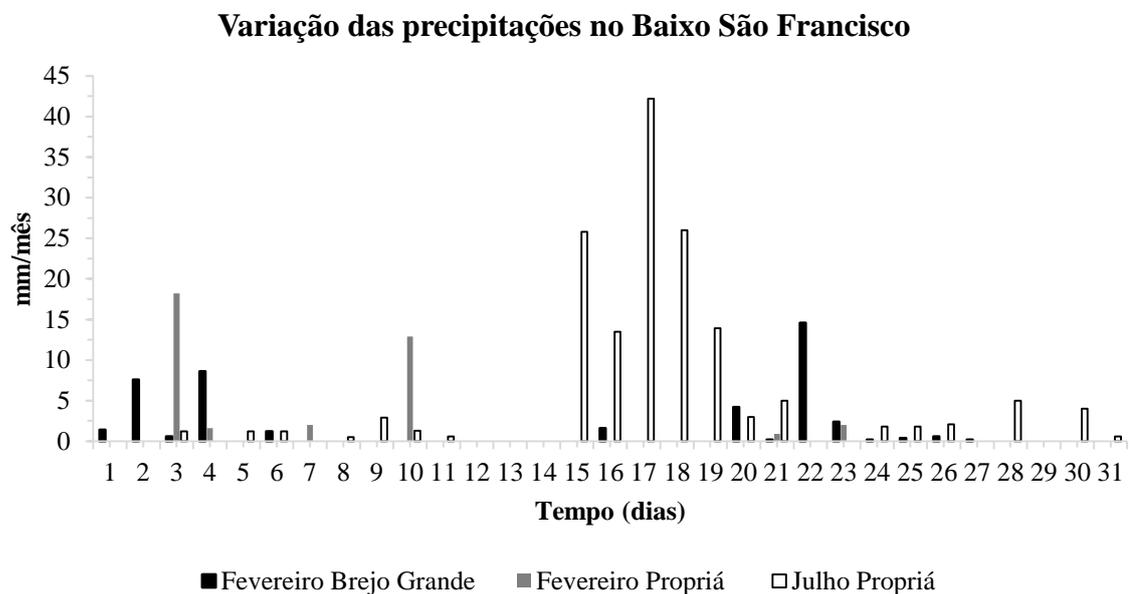
Figura 11 - Variação das vazões para o mês de fevereiro e julho de 2014. (Gerado a partir de dados da ANA para a estação de Traipú- AL)



Na figura 12, é possível analisar a variabilidade diária da precipitação para os meses de fevereiro e julho, por ser uma das variáveis que pode incrementar os valores de nutrientes e sedimentos em suspensão na região em estudo. A estação meteorológica de Brejo Grande registrou em fevereiro precipitação acumulada de 43,8 mm e em julho, devido a falhas decorrente de problemas nos sensores, não foi possível obter valores desta variável durante este mês. Na estação convencional em Propriá, foram registrados em fevereiro 37,60 mm acumulados nas últimas 24 horas e um aumento em julho registrando 153,60 mm.

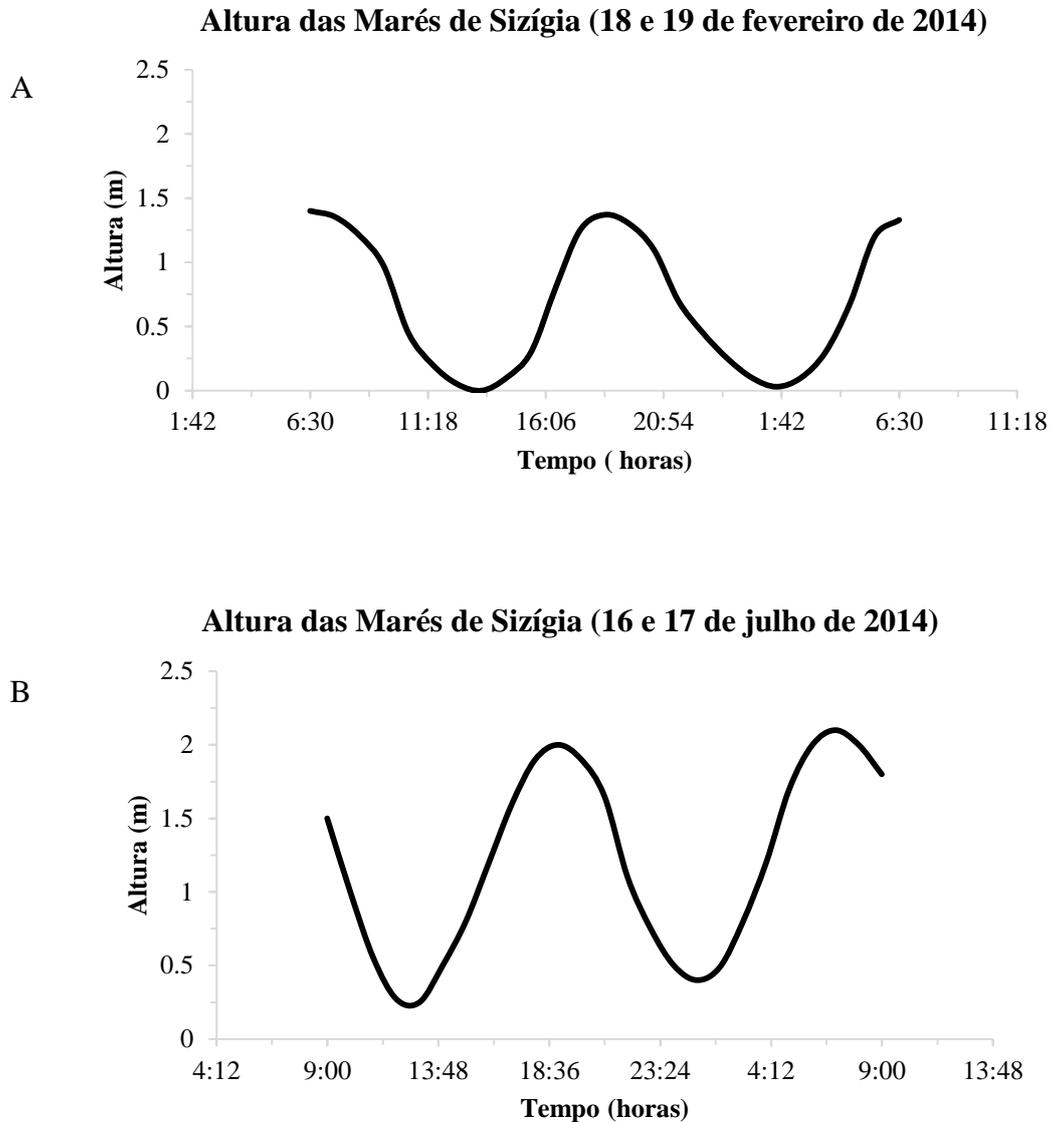
Comparando as descargas fluvial entre os meses, foram observadas que ambos os meses estiveram na mesma faixa, ou seja, condições de descargas muito baixas em decorrência da regularização das vazões pelo sistema de barragens. Com isso, era provável se esperar que a influência da vazão na carga de nutrientes não viria a ser expressiva, devido à pouca variabilidade observada (Figura 11). Por outro lado, as precipitações locais registradas em Brejo Grande e Propriá, revelaram ser mais atuantes na disponibilidade e carga de nutrientes para o período em estudo.

Figura 12 - Variação diária das precipitações para os meses estudados. (Gerado a partir de dados da estação do INMET de Brejo Grande – SE e de Propriá -SE)



Na figura 13A e 13B, são apresentadas as alturas das marés para os meses em estudo. Foi observada uma amplitude de 1,4 m para os dias 18 e 19 de fevereiro e de 1,85 m para os dias 16 e 17 de julho. A maior amplitude registrada em julho pode ser em decorrência da ação de perturbações atmosféricas dos ventos de SE (típico desta época) que ao soprares, produziram um maior acúmulo/aproximação da água superficial oceânica à costa. Em fevereiro, os ventos de NE apresentaram comportamento diferente que refletiu em menores alturas de maré neste período, devido a sua menor energia.

Figura 13- Variação da maré para o período em estudo no estuário do rio São Francisco (nível de superfície livre, em A a partir de dados coletados pelo ADCP e em B gerado a partir da maré prevista para o porto de Maceió, DHN da Marinha do Brasil).



4.2 Ventos de superfície

O vento é uma forçante que promove aeração e a mistura das massas de água estuarina e costeira, tendo também importante papel na geração de ondas e correntes nos estuários com grande área superficial, intensificando assim o processo de mistura vertical.

As figuras a seguir (14 a 17) é uma visualização dos dados do ERA- Interim representando o comportamento do vento em 1000 hPa elaborados a partir do software GrADS para os dias em que foram realizadas as coletas de campo. Como observado nas figuras, o vento

predominantemente para estas datas era o vento típico da região, o vento de nordeste para fevereiro e de sudeste para julho e as magnitudes de vento estiveram na faixa 2 a 10 m.s⁻¹, estando em julho os maiores valores de velocidade.

De modo geral, os ventos predominantes são os ventos alísios de leste e de nordeste na primavera e verão, e ventos de leste e de sudeste mais comuns no outono e inverno, como citado por Oliveira (2009) para região da foz do rio São Francisco.

Figura 14- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 18/02/2014.

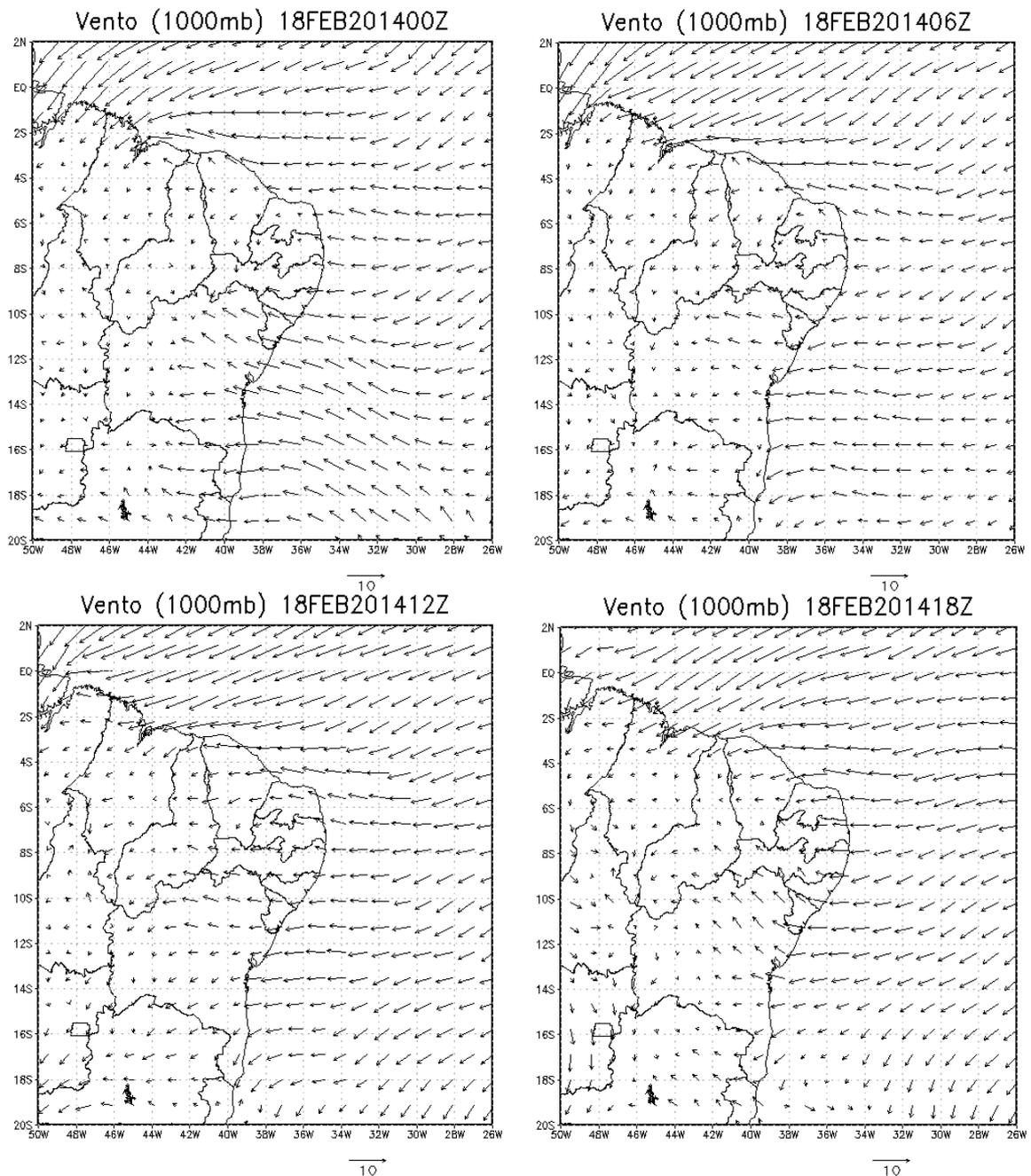


Figura 15- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 19/02/2014.

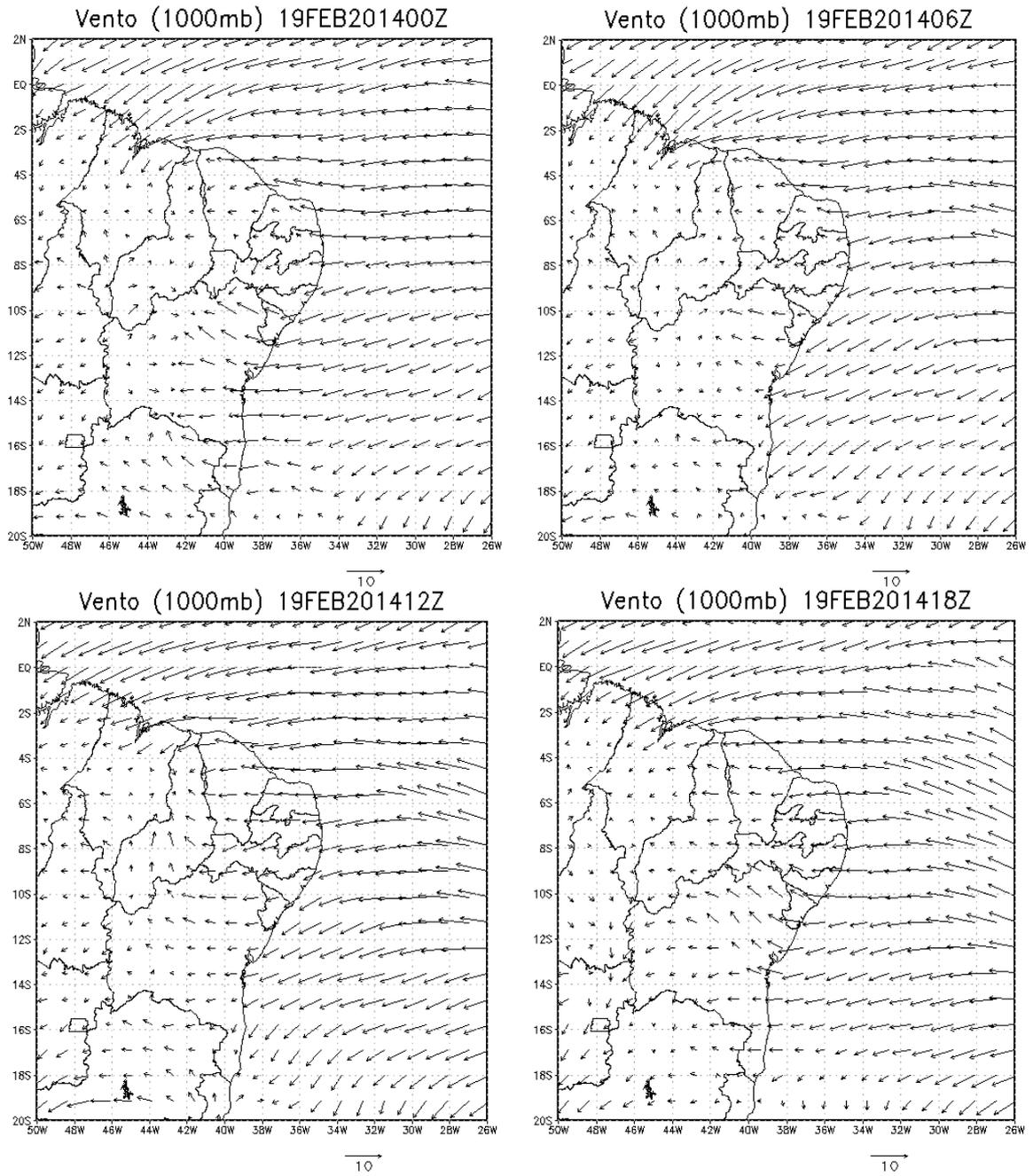


Figura 16- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 16/07/2014.

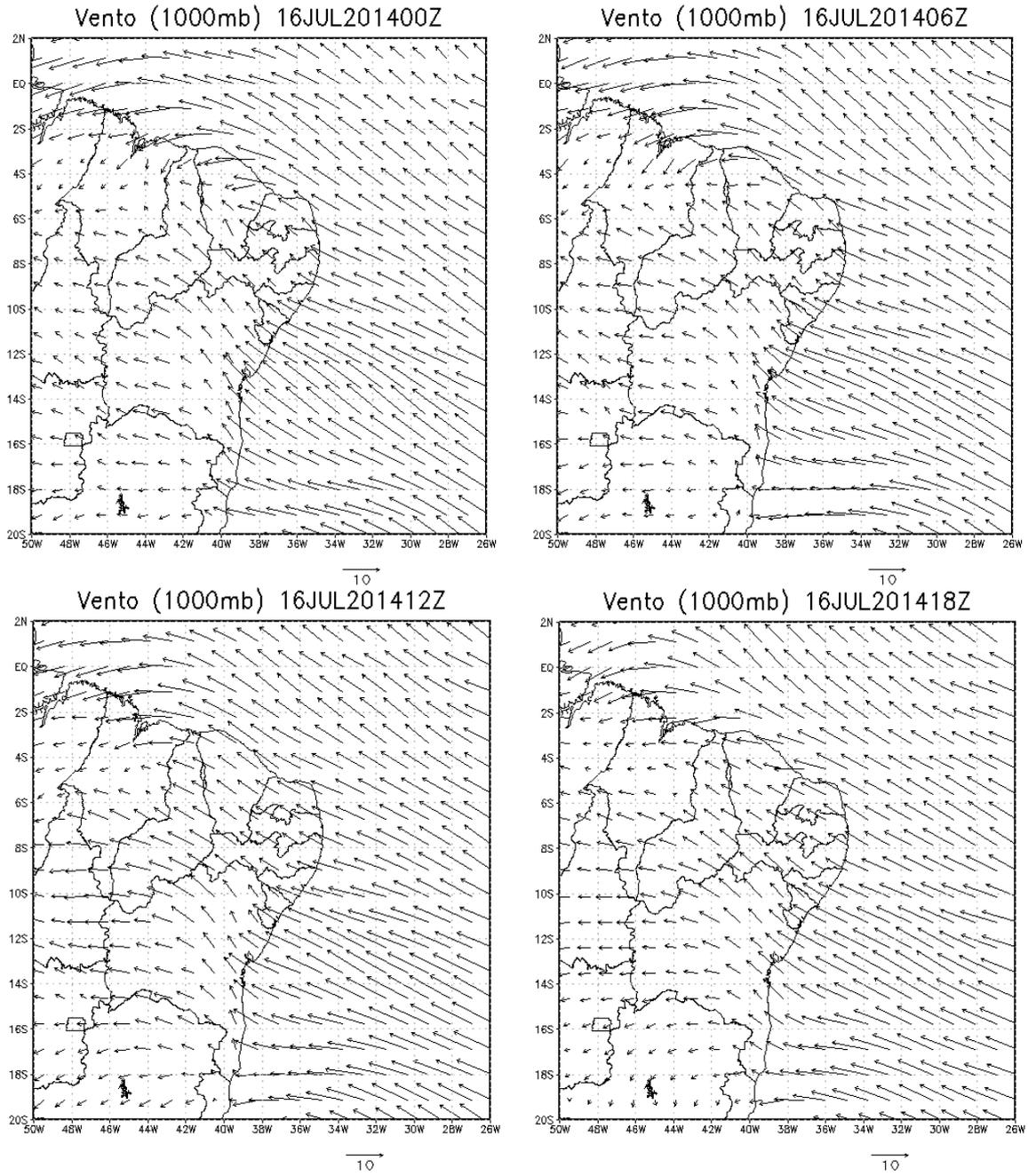
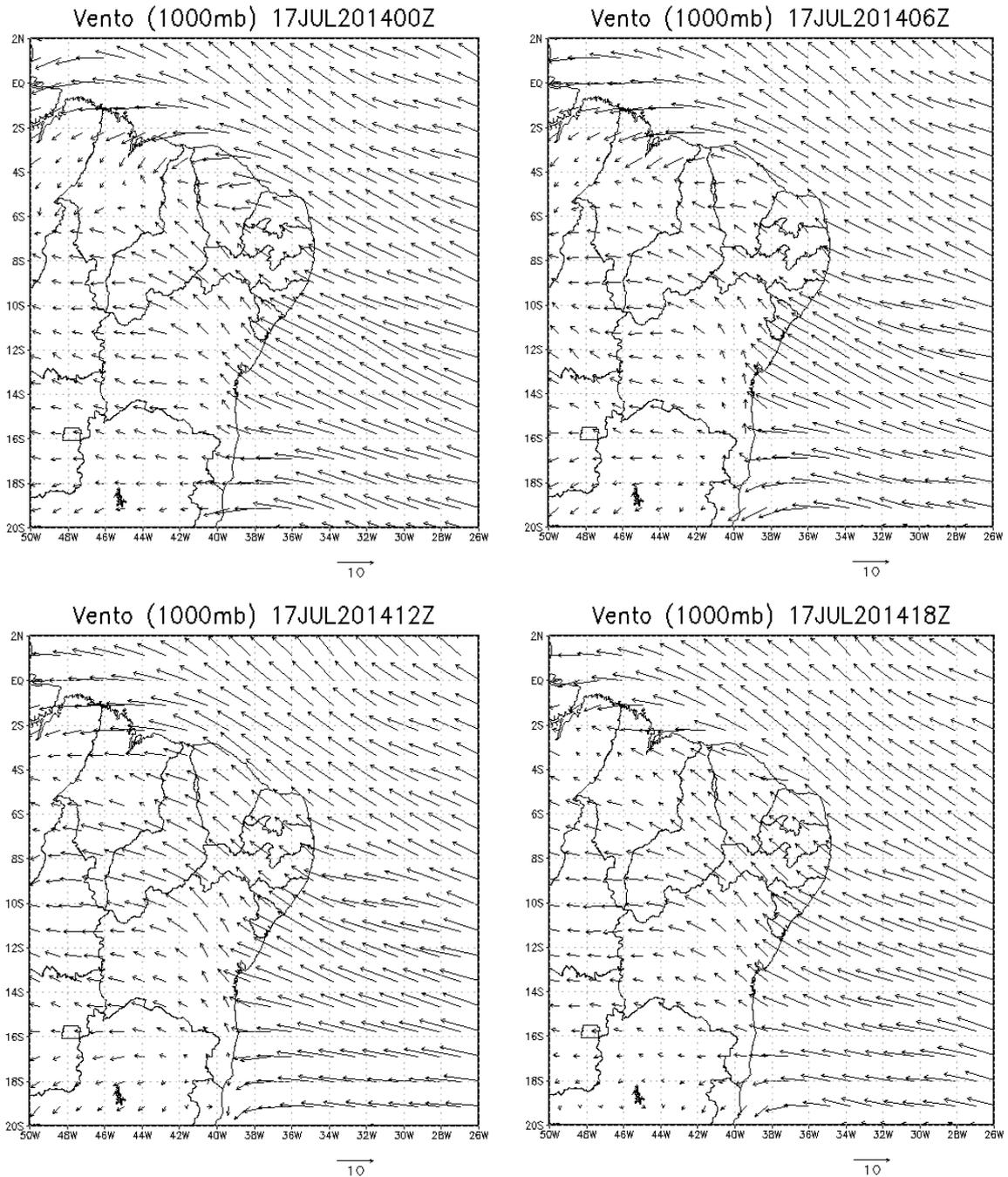


Figura 17- Vento de superfície durante a campanha de sizígia para o dia 17/07/2014.



4.3 Resultados das amostragens ao longo do canal

A coleta espacial ao longo do estuário ocorreu no mês de fevereiro durante o dia 18 e em julho no dia 16 para o ano de 2014 em condições de maré de sizígia. Na tabela 2, é mostrada as concentrações dos nutrientes, temperatura e salinidade nas estações P1 à P9 (Figura 7 A e B).

Todos os nutrientes inorgânicos dissolvidos apresentaram um comportamento não conservativo no estuário do RSF, porém, para este estudo foram encontrados os menores valores quando comparados a trabalhos anteriores para este sistema (SANTOS, 1993, MEDEIROS et al., 2011; 2016)

Tabela 2 – Parâmetros físicos e químicos ao longo do estuário do rio São Francisco.

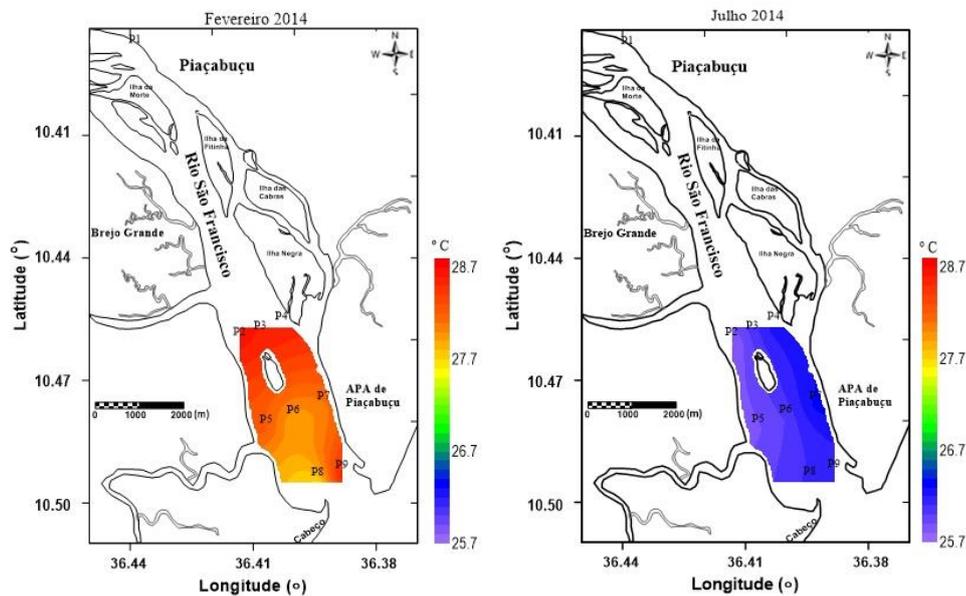
Data	ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM		pH	Turbidez (UNT)	TSS (mg.L ⁻¹)	Clorofila <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	Si.SiO ₂ (mg.L ⁻¹)	P.PO ₄ ³ (µg.L ⁻¹)	P.HPO ₄ ² (µg.L ⁻¹)	N.NH ₄ ⁺ (µg.L ⁻¹)	N.NO ₂ ⁻ (µg.L ⁻¹)	N.NO ₃ ⁻ (µg.L ⁻¹)	NID (µg.L ⁻¹)	N:P	
	Sal	Temperatura (ions g.L ⁻¹)													
18/fev/14	P1	0,01	28,36	7,90	2,80	3,07	1,44	4,18	0,31	9,09	33,60	0,29	3,07	36,96	119,23
18/fev/14	P2	0,92	28,64	7,63	3,50	7,60	1,12	4,26	1,30	9,09	21,00	0,14	1,68	22,82	17,58
18/fev/14	P3	1,13	28,57	7,68	3,60	2,87	0,80	3,96	0,31	13,96	10,96	0,14	0,14	11,24	36,27
18/fev/14	P4	2,06	28,59	7,68	4,80	4,13	0,77	2,97	1,30	9,09	9,80	0,14	3,36	13,30	10,24
18/fev/14	P5	2,93	28,21	7,73	3,50	4,70	1,07	3,86	1,30	10,71	10,96	0,29	1,39	12,64	9,74
18/fev/14	P6	4,65	27,90	7,67	2,90	4,60	1,18	3,90	0,31	9,09	5,60	0,14	0,14	5,88	18,97
18/fev/14	P7	2,76	28,07	7,78	2,90	1,77	1,33	4,61	0,31	7,47	7,00	0,14	0,14	7,28	23,48
18/fev/14	P8	3,01	27,67	7,75	2,70	2,20	1,28	3,19	0,31	10,71	5,06	0,29	2,51	7,86	25,36
18/fev/14	P9	1,62	28,62	7,79	3,10	3,27	1,41	3,49	0,31	10,71	4,22	0,14	3,92	8,28	26,70
17/jul/14	P1	0,79	25,90	7,83	8,00	13,25	1,44	4,05	4,54	17,20	11,20	2,00	62,96	76,16	16,76
17/jul/14	P2	1,77	25,79	7,87	5,00	6,60	1,73	4,15	4,54	10,71	9,80	2,00	75,28	87,08	19,16
17/jul/14	P3	2,24	26,03	7,71	5,70	12,38	1,44	3,73	2,92	12,34	7,00	2,00	64,64	73,64	25,21
17/jul/14	P4	6,56	26,25	7,81	4,90	6,50	1,92	4,05	4,54	10,71	6,75	2,00	73,04	81,79	18,00
17/jul/14	P5	2,83	25,89	7,68	4,60	7,00	6,49	3,85	4,54	9,09	21,00	2,00	74,72	97,72	21,50
17/jul/14	P6	3,83	26,01	7,69	4,30	8,38	1,20	3,71	4,54	12,34	4,22	2,00	59,04	65,26	14,36
17/jul/14	P7	4,01	26,33	7,74	5,00	9,38	1,68	3,66	2,92	10,71	5,60	2,00	69,12	76,72	26,26
17/jul/14	P8	5,58	26,13	7,95	4,90	11,13	3,36	4,01	6,17	15,58	9,28	2,00	67,44	78,72	12,76
17/jul/14	P9	3,55	26,10	7,94	4,80	8,00	1,92	3,88	4,54	13,96	9,28	2,00	64,64	75,92	16,71

a. Temperatura

A temperatura oscilou entre 27,67 a 28,64 °C, com média de 28,29 °C no mês de fevereiro e em julho, a temperatura média de 26,05 °C, e variação entre 25,79 a 26,33 °C (Figura 18).

Assim como também ocorrido na estação EF0, as menores temperaturas em julho estiveram associadas ao transporte de águas oceânicas pelo vento de SE, vento típico desta época do ano.

Figura 18- Variação espacial da temperatura da água ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.

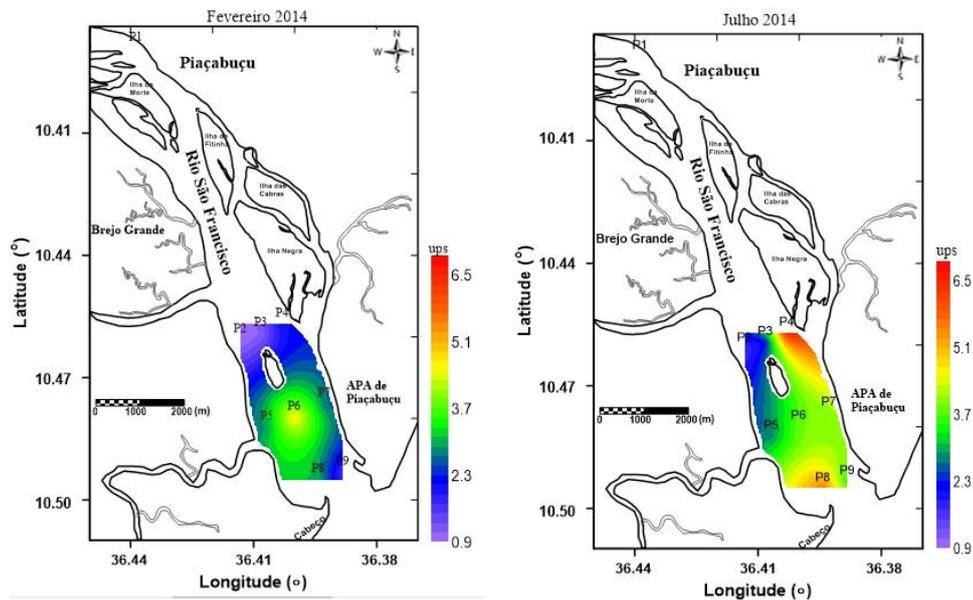


b. Salinidade

A salinidade exibiu valores oscilando entre 0,9 a 4,65 ups e uma média de 2,12 ups para o mês de fevereiro, enquanto que em julho, os valores oscilaram entre 0,79 a 6,56 ups e média de 3,46 ups (Figura 19).

Na figura 19, é possível notar maiores valores de salinidade nas estações mais próximas da foz, no entanto há um avanço de intrusão salina dentro do estuário, causado pela influência marinha ao longo do Rio São Francisco. A entrada de água salgada foi impulsionada pelas forças das correntes oceânicas locais e as diferenças entre os meses evidenciaram período de seca e baixa descarga fluvial. Em fevereiro, nas proximidades da estação 6, estes valores foram superiores sendo isto possível através de processos de mistura e circulação estuarina. No entanto, para julho os maiores valores de salinidade na margem alagoana se devem a entrada da água marinha e na sergipana devido a contribuição do RSF.

Figura 19 - Variação espacial da salinidade ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.

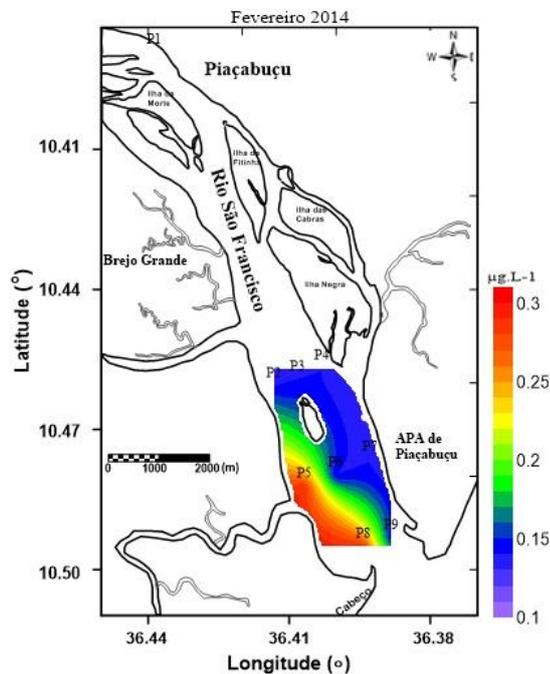


c. Nitrito

As concentrações de nitrito foram as menores dentre os compostos nitrogenados analisados, bem como os observados na estação fixa EF0 (Tabela 2 e 3). A variação entre os períodos estudados, constituíram em concentrações entre 0,14 e 0,29 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o mês de fevereiro (Figura 20) e em julho de 2,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Como em julho, os as concentrações estiveram semelhantes, não foi possível gerar mapas de distribuição para elemento durante este mês.

Longitudinalmente o nitrito apresentou poucas variações, havendo um crescimento deste nutriente próximo à foz. Na margem alagoana foi possível verificar menores concentrações quando comparado com a margem sergipana (Figura 20). A maior concentração na margem sergipana deste nutriente pode estar relacionada a dois fatores: a presença de canal de manguezal e escoamento proveniente do Canal do Funil (canal localizado próximo a estação P5). Quando comparado a trabalhos realizados entre 2001 a 2007 por Medeiros et al. (2016) observaram média de 1,17 a 6,56 $\mu\text{g.L}^{-1}$, comparado ao maior valor deste estudo de 2,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (julho 2014) demonstra a diminuição deste elemento, sugerindo a menor contribuição fluvial.

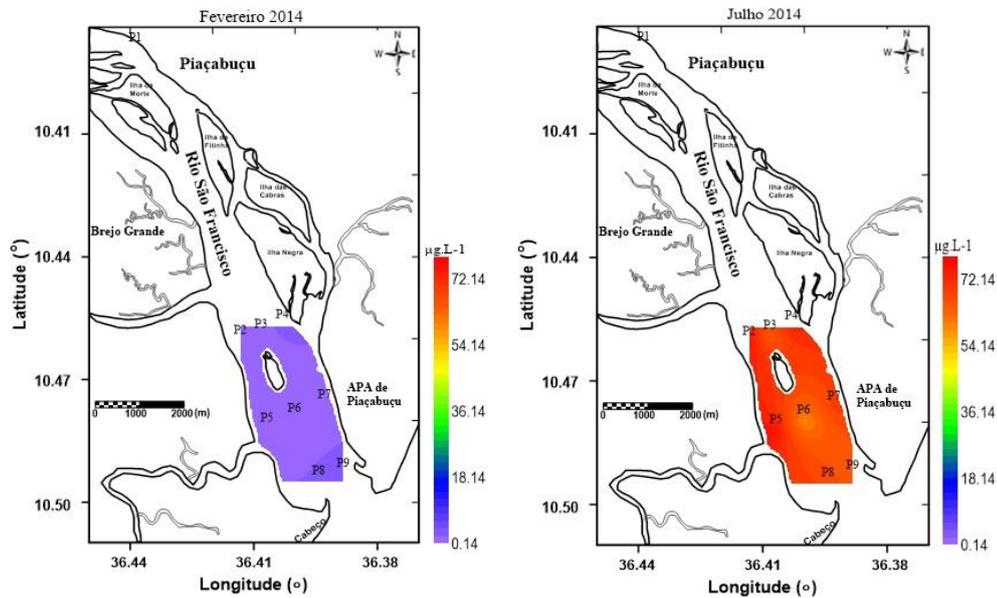
Figura 20- Variação espacial do nitrito ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para o dia 18/02/2014.



d. Nitrato

O nitrato variou entre 0,14 e 3,92 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 1,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em fevereiro e um acréscimo para julho que obteve concentrações entre 59,04 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 75,28 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 67,88 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 21). O comportamento longitudinal deste elemento foi maior em julho, podendo estar relacionado com as maiores precipitações locais ocorridas neste período bem como uma maior contribuição do RSF se comparados com fevereiro, que incrementaram através do escoamento superficial as concentrações deste nutriente no estuário. Em fevereiro, as menores concentrações estiveram relacionadas à menor contribuição fluvial e sugerindo um maior consumo do nutriente por parte dos organismos presentes. Em relação ao nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) a concentração do NO_3 para fevereiro a contribuição foi de 8,3% (desvio padrão=15,2) enquanto que para julho foi de 86% (desvio padrão=4,1) demonstrando a escassez deste elemento em fevereiro, reforçando assim a baixa vazão do RSF para este período estando na faixa reportada por Borges (2014) para o delta do Rio Paraíba do Sul, que encontrou valores variando de 50 a 85%. Quando comparado a trabalhos anteriores do RSF, o mês de fevereiro esteve em torno de 70% menor enquanto que julho esteve na faixa reportada (MEDEIROS et al., 2011; 2016).

Figura 21- Variação espacial do nitrato ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.

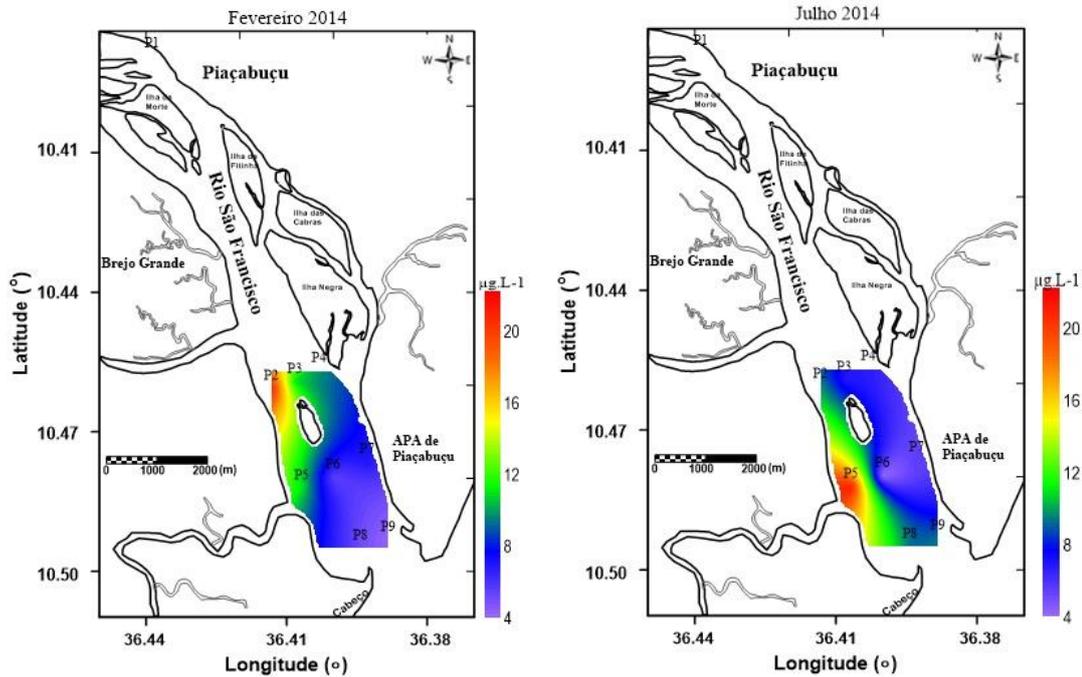


e. Íon amônio

O íon amônio variou entre 4,22 e 33,60 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 12,02 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no mês de fevereiro e um decréscimo em julho, que obteve concentrações entre 4,22 e 21,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 9,35 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 22).

O comportamento longitudinal do íon amônio em fevereiro exibiu menores concentrações na região da foz, podendo este momento estar relacionada a diluição pela maré enchente, as maiores concentrações dentro do estuário ocorreram nas margens sergipana, e possível verificar uma contribuição pelo rio na estação P1 de 33,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 2). Em julho, o íon amônio teve uma maior contribuição do canal de mangue Funil (21,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$), enquanto que na margem alagoana ocorreu uma maior diluição pela água marinha (Figura 22). Em relação ao NID, este elemento contribuiu de aproximadamente 90% em fevereiro sugerindo uma maior concentração e provável contribuição antropogênica da cidade de Piaçabuçu. Enquanto que julho (11,3% do NID) é devido a maior contribuição do NO_3 (86% do NID) devido a maior precipitação, escoamento superficial e contribuição marinha para o estuário.

Figura 22- Variação espacial do íon amônio ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.

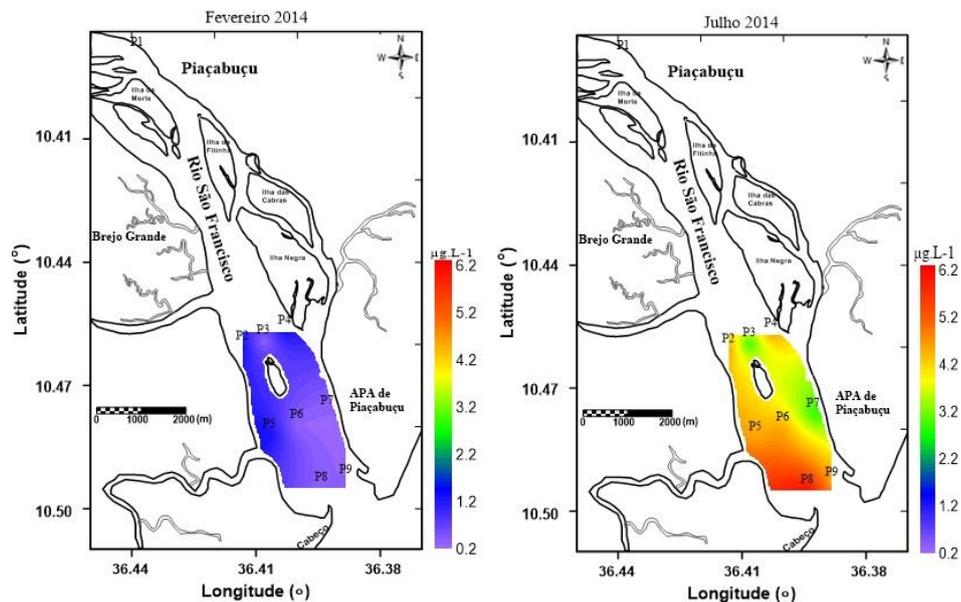


f. Fósforo

O fósforo variou entre 0,30 e 1,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 0,64 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no mês de fevereiro e um acréscimo em julho com concentrações entre 2,92 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 6,17 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 4,36 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para a forma PO_4^{-3} (Figura 23).

Longitudinalmente o fósforo revelou variações entre os meses. Em fevereiro, demonstrou comportamento homogêneo de baixas concentrações em todo estuário sugerindo uma diluição ou um maior consumo pelos organismos. Em julho, próximo da região da foz, o fósforo apresentou maiores concentrações, devido a contribuição do Canal do Funil e manguezais, além de processos biogeoquímicos de ressuspensão (Figura 23). O fósforo inorgânico dissolvido em águas costeiras rasas é rapidamente transformado por processos biogeoquímicos que variam entre adsorção-dessorção ou sorção à partículas e assimilação biológica, estes processos normalmente são desencadeados em salinidade que varia entre 0-5, como verificado por Deborde et al. (2007) no estuário de Gironde na França e por Borges (2014) no delta estuarino do Rio Paraíba do Sul no Brasil.

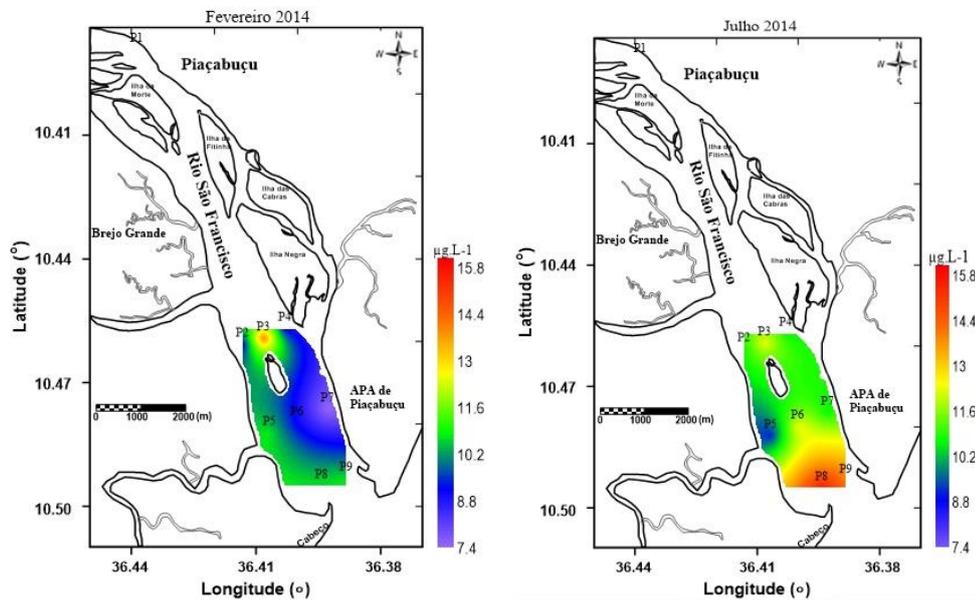
Figura 23- Variação espacial do PO_4^{3-} ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.



Considerando o fósforo total, ou seja, ortofosfato na forma HPO_4^{2-} , houve variação de 7,47 e 13,96 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 9,99 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o mês de fevereiro e em julho variou de 9,09 e 17,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 12,52 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 24).

Longitudinalmente esta forma de fósforo revelou menores concentrações na foz em fevereiro, enquanto que no mês de julho as maiores concentrações foram próximas da região da foz devido aos processos biogeoquímicos e de ressuspensão costeira (Figura 24). Em fevereiro, principalmente na margem alagoana sugere novamente uma contribuição do canal do funil, enquanto nas proximidades da estação 6 ter ocorrido uma diluição estuarina, onde neste mesmo local houve maiores salinidades em fevereiro. Confrontando com trabalhos anteriores no RSF, os valores de fósforo total foram menores que o mencionado na literatura (MEDEIROS et al., 2011).

Figura 24- Variação espacial do HPO_4^{2-} , ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.

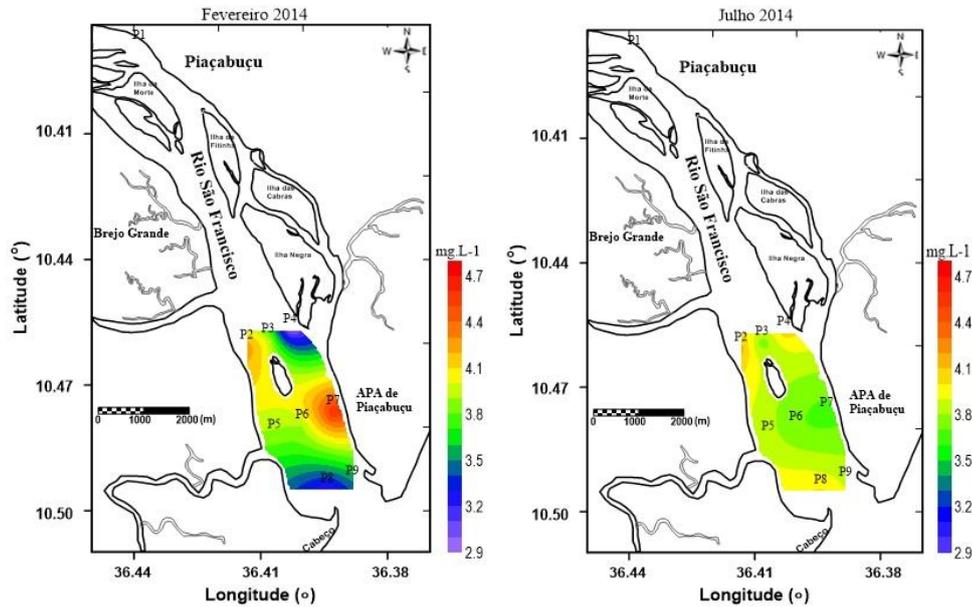


g. Sílica

O silicato variou entre 2,97 e 4,61 mg.L^{-1} , com média de 3,83 mg.L^{-1} no mês de fevereiro e um decréscimo entre 3,66 mg.L^{-1} e 4,15 mg.L^{-1} , com média de 3,90 mg.L^{-1} para o período mais chuvoso em julho (Figura 25).

Para a sílica, os maiores valores foram observados dentro do setor estuarino e principalmente na margem alagoana em fevereiro (Figura 25). Este comportamento em fevereiro pode estar associado a menor remoção ou consumo de sílica pelas microalgas (DARLEY, 1982; SILVA, 2003). Já para julho observou valores semelhantes tanto próximo da foz quanto no estuário (Figura 25), podendo estar relacionados ao maior consumo do nutriente pelas microalgas. Segundo Knoppers et al. (2006) a concentração da SiO_4 diminuiu conforme a descarga fluvial, mas se mantém de forma conservativa, no entanto este elemento manteve-se constante ao longo do tempo quando comparado a trabalhos anteriores. Quando comparado a trabalhos anteriores do RSF, os valores deste estudo estiveram na faixa reportada (MEDEIROS et al., 2011; 2016).

Figura 25- Variação espacial da sílica ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.



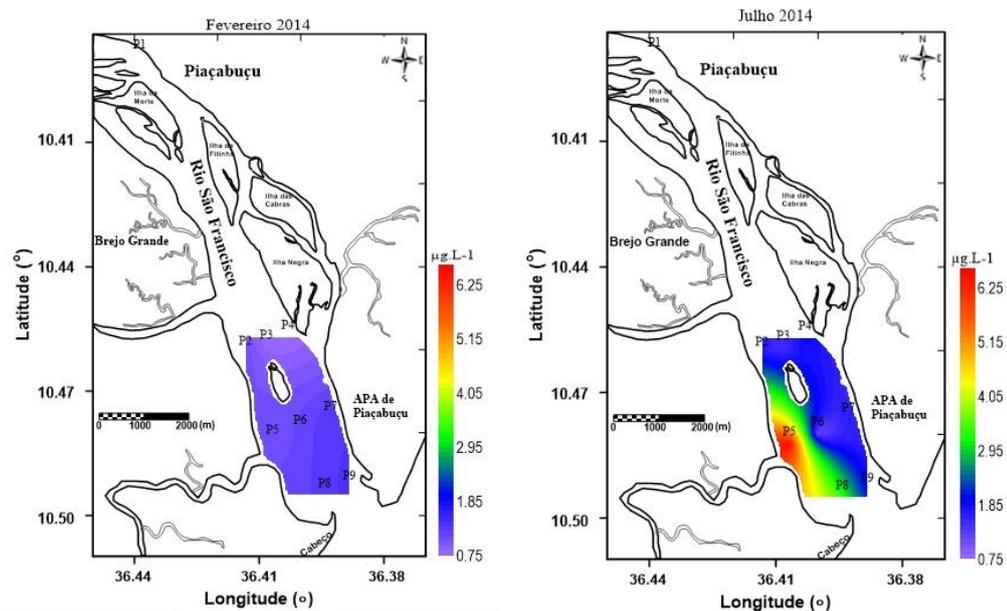
h. Clorofila

A clorofila variou entre 0,77 e 1,44 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 1,16 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em fevereiro e um acréscimo entre 1,20 e 6,49 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 2,35 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o período de julho (Figura 26).

O comportamento longitudinal da clorofila em fevereiro exibiu comportamento homogêneo dentro do estuário e próximo a região da foz que podem ser decorrentes da menor disponibilidade de nutrientes, causando estas limitações de produção aquática. Em julho, a clorofila apresentou maiores concentrações em relação a fevereiro, com maior contribuição do canal do Funil na margem Sergipana, havendo um crescimento próximo à foz (Figura 26).

A concentração de clorofila está dentro da faixa reportada pela literatura para o estuário do RSF (KNOPPERS et al., 2006; LIMA & SEVERI, 2014; MEDEIROS et al., 2016). Segundo Knoppers et al. (2006) verificou em seu trabalho que a baixa produtividade no estuário esteve relacionada as baixas concentrações de NID e PO_4^{-3} e não pela sílica.

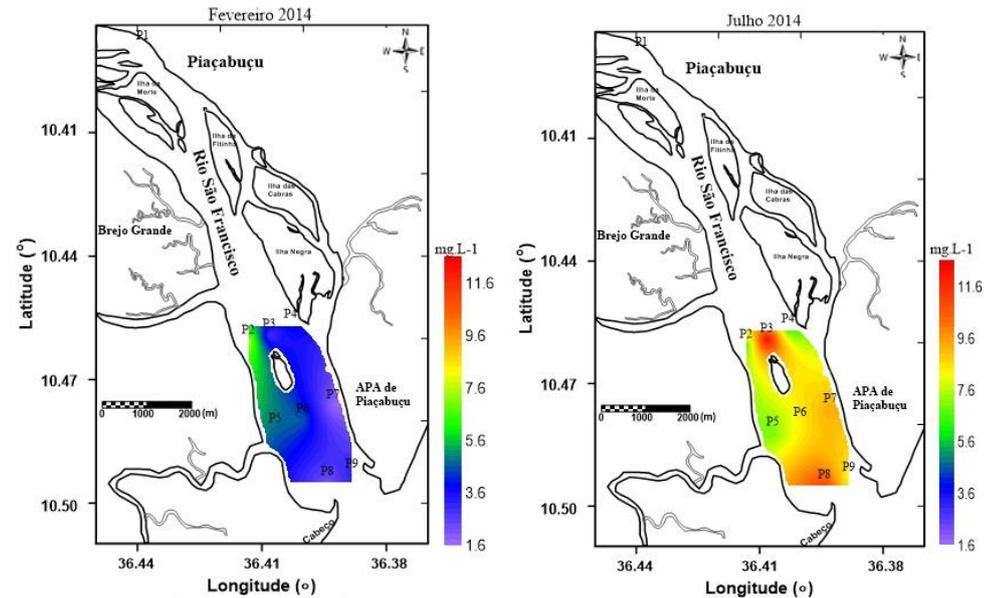
Figura 26- Variação espacial da clorofila ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.



i. TSS

O TSS variou entre 1,77 e 7,60 mg.L^{-1} , com média de 3,80 mg.L^{-1} no período de fevereiro e um acréscimo entre 6,50 mg.L^{-1} e 13,25 mg.L^{-1} com média de 9,18 mg.L^{-1} em julho (Figura 27). Longitudinalmente o TSS obteve maiores variações em julho e menores em fevereiro (Figura 27). As baixas concentrações na região da foz foram consequências dos baixos fluxos transportados pelo rio no mês de fevereiro. Em julho foi observado uma maior concentração na foz devido à eventos de lixiviação ou ressuspensão costeira que transportou maior quantidade de TSS para o interior do estuário principalmente em mares de enchente. Segundo Medeiros et al. (2015) verificou concentração média que variou entre 4,8 a 72 mg.L^{-1} para os anos hidrológicos de 2001, 2004 e 2007.

Figura 27- Variação espacial do TSS ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.



j. Turbidez

A turbidez variou entre 2,70 e 4,80 UNT, com média de 3,31 UNT no mês de fevereiro e um acréscimo entre 4,30 UNT e 8,00 UNT, com média de 5,24 UNT para julho (Figura 28).

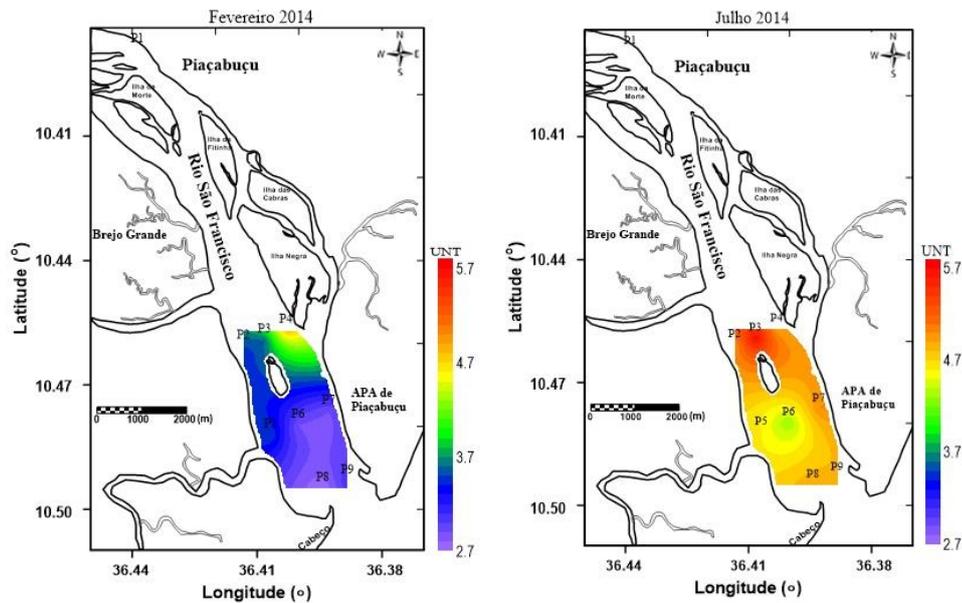
Longitudinalmente, a turbidez obteve um comportamento crescente da foz até o setor superior do estuário para ambos os meses. Os baixos valores de turbidez comprovaram a eliminação da variabilidade da descarga fluvial, com águas menos túrbidas, alterando a dinâmica natural estuarina. Além destas causas podem ser somadas a maior precipitação em julho, ocasionando maior turbidez; degradação da matéria orgânica; processos de adsorção, dessorção e floculação.

Como o total de sedimentos em suspensão obteve maiores concentrações no período chuvoso era de se esperar que o mesmo acontecesse com a turbidez. Uma vez que grandes quantidades de partículas suspensas irão influenciar na transparência no rio, isto irá gerar um aspecto túrbido ou barrento ao rio. Como as coletas ocorreram em marés de sizígia, a turbidez tende a ser influenciada pela maior amplitude de maré gerando maior turbulência neste período, ocasionando maior ressuspensão de sedimentos.

Comparando o trabalho de Medeiros et al. (2015) com os quatro setores do RSF, estes autores obtiveram resultados de turbidez semelhantes ao do presente estudo, na campanha de

2001. Já nas campanhas realizadas no ano de 2004 e 2007 os valores superaram aos encontrados neste estudo. No ano de 2001 apresentou menores valores de turbidez, a média ficou em torno de $2,7 \pm 2,0$ NTU em relação ao ano de 2007 que obteve média de $17,0 \pm 22,7$ NTU. O maior valor médio anual de turbidez ocorreu no ano de 2004, sendo de $101,0 \pm 146,0$ NTU. O incremento da turbidez foi associado segundo os autores com precipitações pluviométricas que ocorreram nas porções inferiores da bacia hidrográfica do RSF, determinante nas elevadas concentrações de turbidez na região fisiográfica do Baixo São Francisco, sendo mais importante que a intensidade total da precipitação.

Figura 28- Variação espacial da turbidez ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.



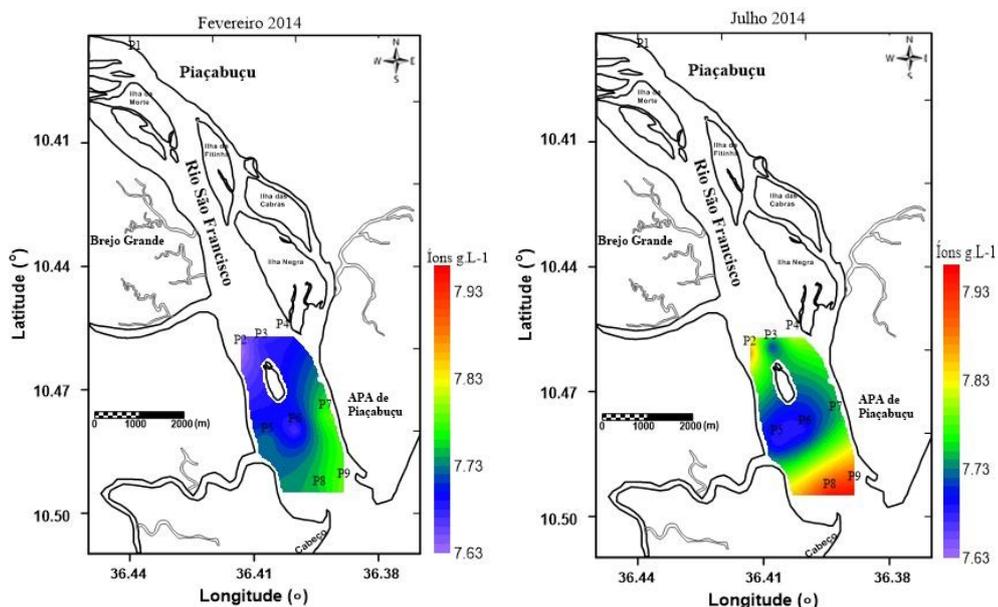
k. pH

O pH variou entre 7,63 e 7,90 íons g.L^{-1} , com média de 7,73 íons g.L^{-1} em fevereiro e um acréscimo entre 7,68 e 7,95 íons g.L^{-1} , com média de 7,80 íons g.L^{-1} para o mês de julho (Figura 29).

Na figura 29 é possível notar que os valores de pH apresentaram um leve aumento em direção à foz, porém de pequena escala. No caso de julho, há maior ampliação nos valores de pH foi provavelmente devido a influência da água marinha.

Os valores de pH demonstram uma condição básica para o estuário do rio São Francisco não sendo observado grandes diferenças entre os meses de fevereiro e julho. Estes valores estão dentro do esperado, visto que em estuários, o pH diminui devido a intensa decomposição e tem a tendência de aumentar quando se aproxima do mar. De acordo com Esteves (1998), pH variando de 6 a 8 são valores típicos de corpos d'água continentais e que estão de acordo com os observados neste estudo.

Figura 29- Variação espacial do pH ao longo do canal principal do estuário do rio São Francisco para os dias 18/02/2014 e 16/07/2014.



Os nutrientes inorgânicos dissolvidos na distribuição espacial, principalmente nas formas nitrogenadas e fosfatadas, em algumas circunstâncias revelaram maiores concentrações dentro do estuário em relação a foz, demonstrando por um lado a contribuição da drenagem continental e por outro provocada pela maior influência da água marinhas mais salgadas, promovendo uma diluição caracterizando um ambiente oligotrófico, ou seja, pobre em nutrientes (MIRANDA et al., 2002; QUINLAN & PHLIPS, 2007). Quando ocorre o comportamento inverso, é devido a influência da descarga fluvial, rica em nutrientes (MIRANDA et al., op.cit.; QUINLAN & PHLIPS, op.cit.) transportando estes e partículas ao longo do rio e conseqüentemente para o mar.

Segundo Borges (2014) para o estuário do Rio Paraíba do Sul, observou-se que as águas do rio ao atingir a desembocadura do sistema ($\text{sal} \pm 30$) ocorre a diminuição das concentrações

de nutrientes (PID e NID). Segundo este mesmo autor, isto pode ser explicado através da diluição das águas da pluma costeira e pela dispersão por meio de processos advectivos gerados pelas correntes costeiras.

Quando comparamos à relação N:P molar de 16:1 (REDFIELD, 1958), que descreve a composição elementar e a demanda ideal da produtividade do fitoplâncton, observou-se que as baixas relações no mês de julho (mínimo 12:1 e máximo 26:1, média 18:1 desvio padrão=4,3), foi decorrente da elevada concentração de PO_4^{3-} , apesar de ter um NID médio de $76,7 \mu\text{g.L}^{-1}$, ou seja, para este mês, o sistema foi limitado pelas formas nitrogenadas. No entanto a relação N:P para o mês de fevereiro variou entre 9:1 a 36:1 atingindo 119:1 na estação P1, demonstrando uma limitação principalmente pelo fósforo e uma baixa concentração do NID com média em torno de $11 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 2). Outros processos associados podem afetar a distribuição de compostos nitrogenados e fosfatados seriam: mistura vertical produzida pelos ventos; sedimentação de compostos fosfatados em associação com outros compostos; remineralização da matéria orgânica (WOLLAST, 1993; FEITOSA, 1997; DEBORDE et al., 2007).

4.4 Hidrodinâmica no estuário do Rio São Francisco (EF0)

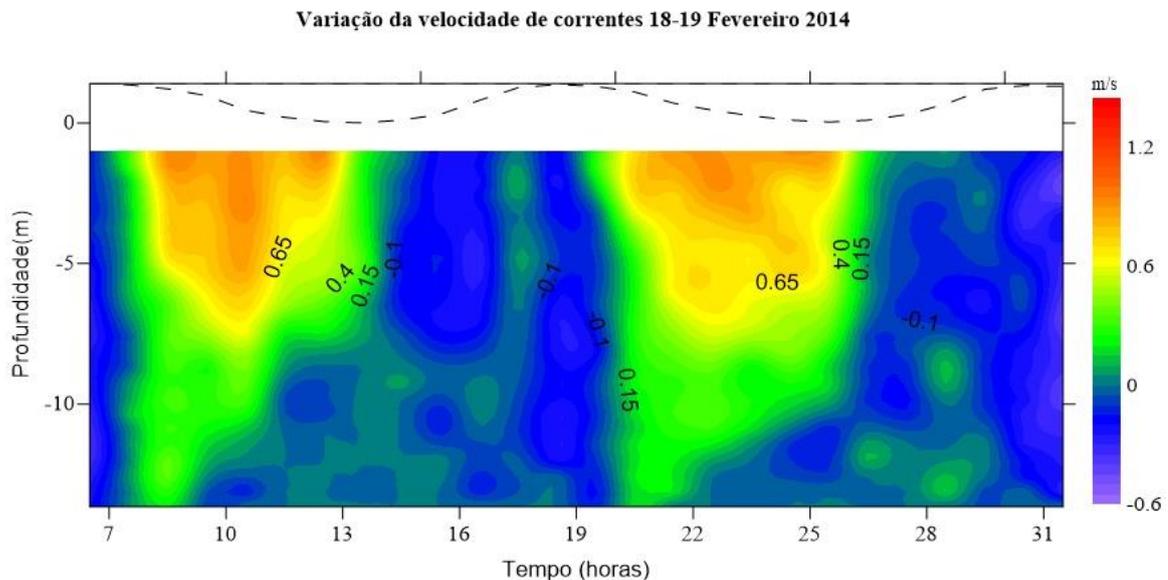
4.4.1 Variação espaço/temporal das correntes

O estuário do rio São Francisco é controlado principalmente pelas ações da descarga fluvial e das oscilações das marés que incidem na região e de acordo com a estratificação vertical de salinidade é classificada como parcialmente misturado com alta estratificação (CAVALCANTE et al., 2017).

As medições das correntes foram obtidas em períodos contínuos de 25 horas, sendo iniciadas às 06:30 em fevereiro e às 09:00 h em julho de 2014.

A figura 30 exibe a variação horária da velocidade de correntes (m/s), onde observou-se valores positivos (+) relacionados a vazante da maré e os negativos (-) relacionados a enchente de maré. Pôde-se verificar um agrupamento de valores positivos até a baixamar, onde as velocidades de corrente em direção ao mar são maiores; e após a estufa de maré, estas velocidades tendem a diminuir até a preamar.

Figura 30- Variação horária dos perfis da velocidade da corrente na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas. A linha tracejada indica a maré prevista.

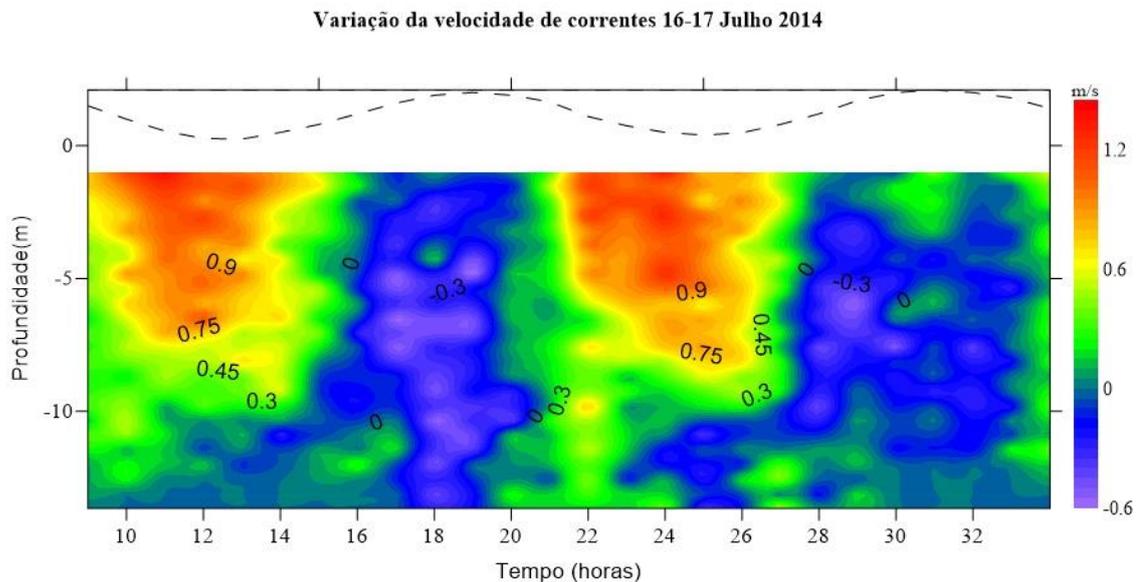


Os perfis verticais de corrente coletados durante os dias 18 e 19 de fevereiro de 2014, indicaram uma forte assimetria entre as velocidades de enchente e vazante, sendo registrado as maiores intensidades da corrente no período da maré vazante as 10:00 h (fluxo positivo) do que na enchente as 18:00 (fluxo negativo), com máximos variando entre -0,5 m/s (enchente) e 1,1 m/s (vazante).

Esta assimetria de corrente com fluxo mais intenso estuário abaixo, gerou em diversos instantes, inversões das correntes nas camadas mais profundas, apresentando características de fluxos bidirecionais, movendo-se na direção do oceano nas camadas superiores, e para o interior do estuário nas camadas próximas ao fundo do canal principal.

Na figura 31 é apresentada a variação horária da velocidade de correntes apresentando acúmulo de valores positivos na baixamar e negativos na preamar.

Figura 31- Variação horária dos perfis da velocidade da corrente na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas. A linha tracejada indica a maré prevista.



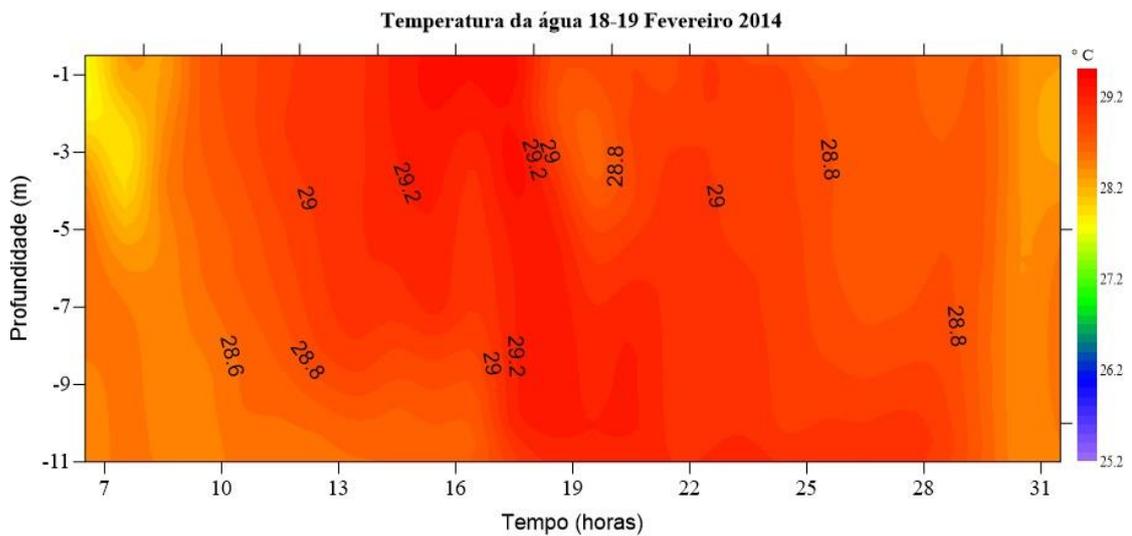
Nos perfis verticais de corrente coletados para os dias 16 e 17 de julho de 2014, foram registradas as maiores intensidades da corrente no período de maré vazante às 11:00 h (fluxo positivo) do que na maré enchente às 05:30 h (fluxo negativo), com máximos variando entre - 0,9 m/s (enchente) e 1,4 m/s (vazante). A variação da velocidade da superfície ao fundo foi maior do que para o mês de fevereiro. Observou-se maiores velocidades de corrente para o mês de julho do ano de 2014, bem como maiores valores referentes as marés obtidas.

Aspecto similar aos resultados encontrados, com relação às correntes, foi observado por Schettini & Miranda (2010) em condições de maré de sizígia no Estuário de Caravelas - BA, apresentando correntes assimétricas com domínio das correntes de vazante.

4.4.2 Temperatura

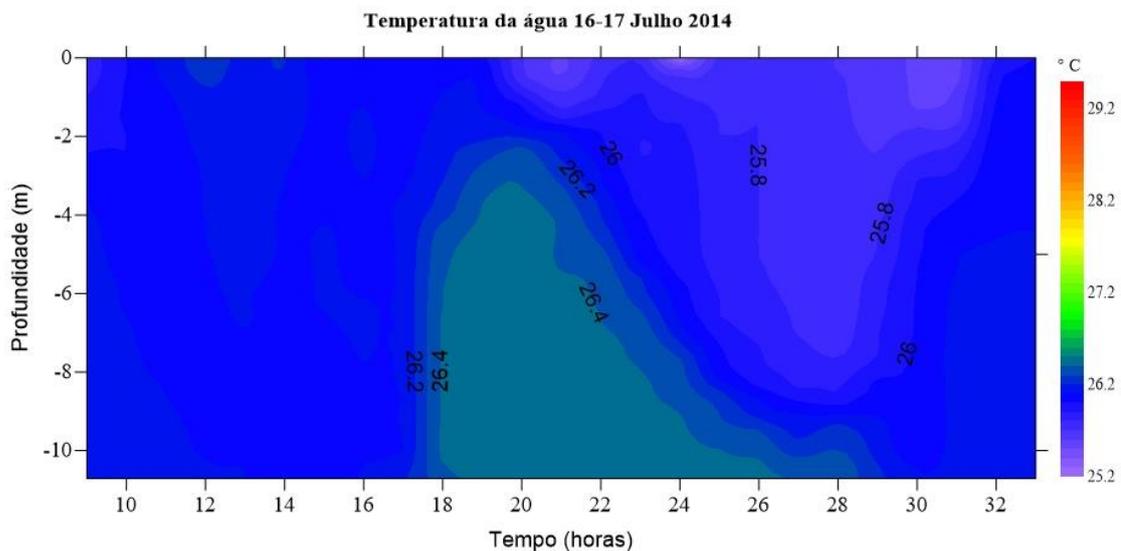
As medições das temperaturas da água para o mês de fevereiro iniciaram-se às 06:30 h num período de 25 horas contínuas, em condições de maré de sizígia e enchente com altura em torno de 1,5 metros. O comportamento da temperatura durante a coleta apresentou uma média de 28,8 °C, com oscilações entre 27,7 a 29,4 °C (Figura 32) e amplitude térmica de 1,7 °C.

Figura 32- Distribuição vertical das temperaturas em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.



As medições das temperaturas para o mês de julho iniciaram-se às 09:00 h num período de 25 horas contínuas, em condições de maré de sizígia na enchente com altura de 1,5 metros. A temperatura apresentou uma média de 26 °C, possuindo oscilações entre 25,2 a 26,5 °C (Figura 33) e amplitude térmica de 1,3 °C.

Figura 33- Distribuição vertical das temperaturas em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0- latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.



Foi observado que em julho houve um resfriamento das águas estuarinas, podendo estar relacionado à estação mais propícia a chuvas na região de estudo e uma leve estratificação para os meses estudados. Não houve diferenças expressivas durante os meses estudados, visto que pelo estuário ser raso, a radiação incidente podendo ser bem distribuídas entre superfície e fundo. Porém o fator que pode ter contribuído mais expressivamente para os menores valores na temperatura da água em julho, poderiam estar associadas ao transporte de águas oceânicas pelo vento de SE, conduzindo uma corrente de superfície com águas mais frias para o estuário.

Semelhantes resultados foram encontrados por Cavalcante et al. (2017), para campanhas em maré sizígia e quadratura realizadas em fevereiro de 2014, onde observaram valores entre 27,8 - 29,6 ° C, demonstrando pouca variação da superfície ao fundo.

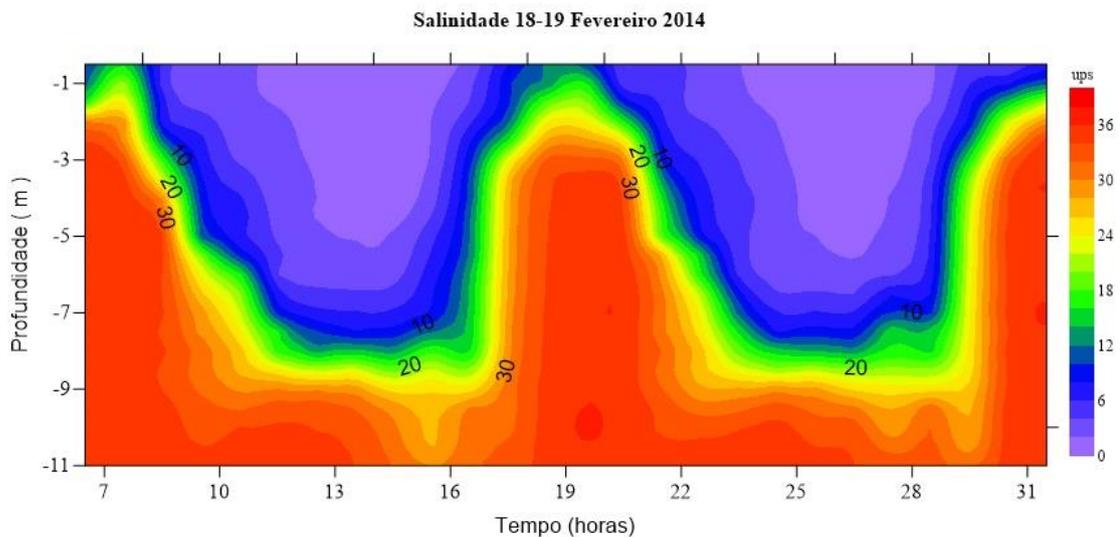
Medeiros et al. (2016), observou temperaturas da ordem de 27,21 °C ± 0,76 °C (ano de 2001), 26,79 °C ± 1,10 (ano de 2004) e 27,9 °C ± 1,47 °C (ano de 2007), resultados para anos de condições hidrológicas distintas (seca em 2001 e chuvosa para os dois anos citados posteriormente), mas que apresentaram ser semelhantes ao encontrado no presente trabalho.

4.4.3 Salinidade

Semelhante à temperatura, as medições de salinidade para o mês de fevereiro iniciaram-se às 06:30 h em maré de sizígia, condições de enchente com altura em torno de 1,5 metros e sob forte estratificação. A salinidade superficial nas primeiras horas de coleta exibiu valores oscilando entre 4 a 18 ups (unidade prática de salinidade), atingindo até valores acima de 30 ups em 2 metros de profundidade (Figura 34).

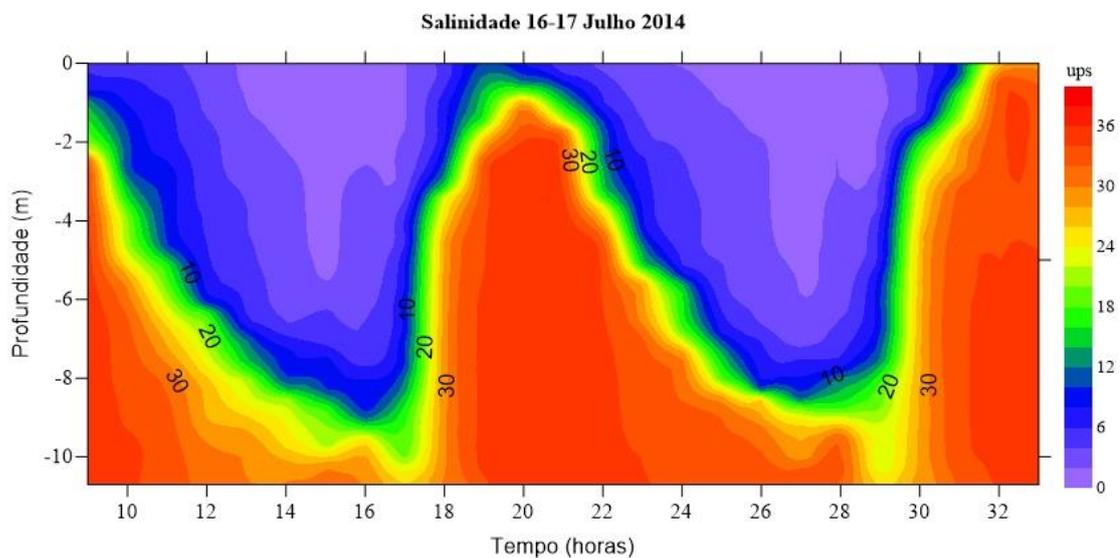
Ao longo do período das medições, foi possível observar o mesmo comportamento de alta estratificação, como verificado nas primeiras horas de coleta ao longo da coluna d'água, sendo observado que as águas mais salinas estiveram nas camadas mais profundas como verificado por Cavalcante et al., 2017.

Figura 34- Distribuição vertical das salinidades em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.



Já para o mês de julho, as medições iniciaram-se às 09:00 h em maré de sizígia, condições de enchente com altura de 1,5 metros. A salinidade superficial nas primeiras horas de coleta exibiu valores oscilando entre 10 a 20 ups, atingindo até valores acima de 30 ups em 2 metros de profundidade (Figura 35).

Figura 35- Distribuição vertical das salinidades em circunstância de maré de sizígia na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 25 horas.



Analisando os dados da salinidade x marés, não foi observado valores significativos para ambas as campanhas ($r_s = 0,9265$, $p = < 0,0001$ em fevereiro e $r_s = 0,678$, $p = 0,0002$ em julho).

Através dos índices de salinidade, foi possível notar que o estuário em estudo é altamente estratificado, apresentando águas que variam de doce, oligohalinas, mesohalinas e próximos de valores de corpos d'água eurihalinos (SMAYDA, 1983). É possível sugerir que devido a regularização das vazões os padrões de salinidade foram similares entre os meses estudados, ou seja, houve pouca variabilidade da descarga fluvial como também verificado por Medeiros et al., 2014.

Relacionando os meses estudados, esperava-se que em julho os valores de salinidade fossem menores, pois conforme Dias (2007), sugere que com o aumento das precipitações elevaria as descargas fluviais e com isso uma variação na salinidade, por outro lado, com as entradas das correntes e ventos promovem processos turbulentos que misturam a água doce e a marinha, evidenciando mais uma vez que a regularização das UHE esteja influenciando na dinâmica natural do rio.

No presente trabalho, foi observado valores de salinidade variando de 0,02 a 36,31 ups (fevereiro) e 0,07 a 35,42 ups (julho) da superfície ao fundo. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Cavalcante et al. (2014) para o mês de fevereiro, onde os valores para salinidade estiveram de 0,02 a 39 ups. Cavalcante et al. (2017), observou valores de salinidade com variações de 0 a 35, semelhantes ao do presente estudo, também em condições de maré de sizígia em fevereiro de 2014.

Melo-Magalhães et al. (2011), em seus resultados para os anos de 2006 e 2007 notou que como os fluxos de água permaneceram constantemente altos, as variações de marés não conseguiram aumentar os níveis de salinidade para a região estuarina do Baixo São Francisco. Porém quando ocorreu maior controle das vazões com fluxo de aproximadamente $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ (na estação chuvosa), aumentaram os níveis de salinidade devido a intrusão de água do mar no estuário.

4.4.4 Nutrientes

As concentrações das variáveis analisadas estão indicadas na tabela 3 para o período em estudo. Foram realizadas médias, desvios e análise do comportamento do nutriente em relação a maré e a velocidade das correntes. Por meio do coeficiente de Spearman foi obtida uma análise

de correlação entre demais variáveis e clorofila (Tabela 4) e correlação entre os demais nutrientes e salinidade (Tabela 5).

Tabela 3- Médias, desvios-padrões, mínimos e máximos das variáveis estudadas referente aos fundeios realizados nos meses de fevereiro e julho de 2014.

Mês	Variáveis	Máximo	Mínimo	Média	Desvio padrão
FEVEREIRO	TSS (mg.L ⁻¹)	10,93	1,80	4,32	1,99
	Cl-a (µg L ⁻¹)	1,79	0,13	1,03	0,41
	Si-SiO ₄ (mg.L ⁻¹)	4,99	2,67	4,20	0,67
	P-PO ₄ ³⁻ (µg L ⁻¹)	7,99	0,31	1,38	1,66
	P- HPO ₄ ²⁻ (µg L ⁻¹)	55,80	4,22	13,29	9,95
	N-NH ₄ (µg L ⁻¹)	29,40	0,14	13,48	8,51
	N-NO ₂ (µg L ⁻¹)	0,57	0,14	0,19	0,12
	N-NO ₃ (µg L ⁻¹)	153,99	0,14	17,03	30,18
JULHO	TSS (mg.L ⁻¹)	57,00	4,75	11,57	10,49
	Cl-a (µg L ⁻¹)	2,35	0,38	1,51	0,50
	Si-SiO ₄ (mg.L ⁻¹)	4,37	3,00	3,59	0,37
	P-PO ₄ ³⁻ (µg L ⁻¹)	7,79	1,30	3,70	1,60
	P- HPO ₄ ²⁻ (µg L ⁻¹)	33,43	7,47	14,72	6,06
	N-NH ₄ (µg L ⁻¹)	55,66	5,06	17,38	11,52
	N-NO ₂ (µg L ⁻¹)	-	2,00	-	-
	N-NO ₃ (µg L ⁻¹)	87,60	36,64	64,26	14,18

Tabela 4- Análise de correlação de Spearman (rs), nível de significância (p) e número de observações (n) entre a clorofila e as variáveis analisadas.

Variáveis	Fevereiro			Julho		
	rs	P	N	rs	p	n
N-NH₄	0,2497	0,2286	25	-0,3384	0,0979	25
N-NO₂	-0,389	0,0546	25	-	-	25
N-NO₃	-0,3329	0,1039	25	0,4981	0,0112	25
P- PO₄³⁻	0,0859	0,6832	25	-0,2083	0,3175	25
P- HPO₄²⁻	-0,1258	0,5489	25	-0,4735	0,0168	25
Si-SiO₄	0,3988	0,0482	25	-0,1084	0,6061	25
TSS	0,2992	0,1461	25	-0,4624	0,0199	25
Turbidez	0,3221	0,1163	25	-0,4575	0,0214	25
Temperatura	0,0488	0,817	25	-0,0514	0,8074	25

Tabela 5- Análise de correlação de Spearman (rs), nível de significância (p) e número de observações (n) entre a salinidade e as variáveis.

Variáveis	Fevereiro			Julho		
	rs	p	n	rs	p	n
N-NH ₄	0,0809	0,7006	25	0,4559	0,0219	25
N-NO ₂	0,654	0,0004	25	-	-	25
N-NO ₃	0,0739	0,7255	25	-0,817	< 0,0001	25
P-PO ₄ ⁻³	-0,2909	0,1582	25	0,3006	0,1441	25
P-HPO ₄ ⁻²	0,1986	0,3413	25	0,7394	< 0,0001	25
Si-SiO ₄	-0,5487	0,0045	25	-0,1139	0,5876	25
TSS	0,3147	0,1254	25	0,8496	< 0,0001	25
Turbidez	0,2334	0,2615	25	0,694	0,0001	25
Clorofila	-0,2021	0,3325	25	-0,6709	0,0002	25
pH	0,6777	0,0002	25	0,4091	0,0422	25
Maré	0,9265	< 0,0001	25	0,678	0,0002	25
Vel. Corrente	-0,2078	0,3187	25	-0,2809	0,1737	25

Relacionadas as concentrações de cada parâmetro x maré x velocidade das correntes, foi observado variações distintas entre os meses estudados e que nem sempre seguem um padrão específico. Lembrando que ao analisar as figuras abaixo, o fluxo (m/s) negativo (-) é referente a maré de enchente enquanto que o fluxo positivo (+) está relacionado as marés de vazante, ou seja, água do rio sendo exportado para o oceano.

a. Nitrito (NO₂)

As concentrações de nitrito foram as menores dentre os compostos nitrogenados analisados e não variaram expressivamente entre os períodos estudados (fevereiro e julho), com concentrações entre 0,14 e 0,57 µg.L⁻¹ para o mês de fevereiro (período menos chuvoso) e para o mês de julho (período propício a mais chuvas) foram observadas concentrações de 2,00 µg.L⁻¹. Este comportamento para o mês de julho ocorreu devido a menor concentração deste elemento, atingindo o limite de detecção do aparelho (LD= <0,02 uM).

No mês de fevereiro, comparando o comportamento do NO₂ x maré, foi observado uma correlação não significativa positiva (rs = 0,6337; p = 0,0007), e uma correlação não significativa negativa com NO₂ x velocidade da corrente (rs = - 0,3057; p = 0,1371). Já para NO₂ x salinidade, foi notada uma correlação positiva não significativa (rs = 0,654; p = 0,0004).

Devido às concentrações desse nutriente serem detectadas como iguais durante o mês de julho, não foi possível estabelecer correlações com os dados de maré, velocidade da corrente,

salinidade, temperatura, porém as maiores concentrações foram obtidas em julho, estando mais concentrado no período de maior precipitação.

Os baixos valores de nitrito podem estar relacionados aos diversos processos que ocorrem para a transformação do nitrogênio em reservatórios devido ao rápido consumo deste nutriente nos processos de nitrificação, desnitrificação bem como o anamox (ESTEVEZ, 1988).

Os resultados obtidos para nitrito estiveram muito abaixo das concentrações observadas por Medeiros et al. (2016), onde os mesmos observaram maiores valores deste nutriente em 2004 ($6,56 \pm 3,84 \mu\text{g L}^{-1}$) com condições hidrológicas influenciadas por eventos climáticos extremos de precipitação e inferiores em 2001, correspondendo a $1,17 \pm 1,12 \mu\text{g L}^{-1}$, relacionadas com a baixa pluviosidade e intenso controle da vazão do rio para eficiência energética. Verificando os valores do presente trabalho com os de Medeiros et al. (2016), pode-se sugerir além dos processos de nitrificação e desnitrificação, bem como a regularização das vazões pelas UHE's.

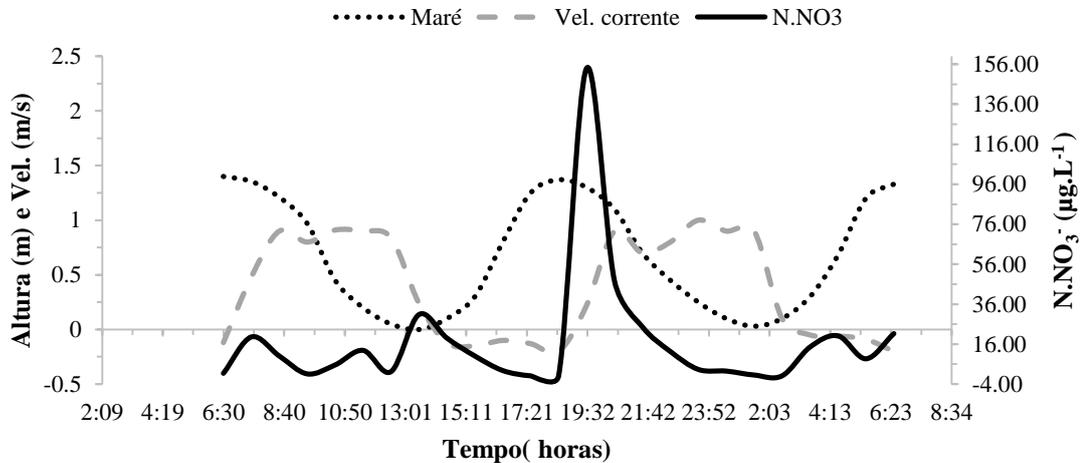
b. Nitrato (NO_3)

O nitrato variou entre 0,14 e $153,99 \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $17,03 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período menos chuvoso (fevereiro) e um acréscimo para o período mais chuvoso (julho) que obteve concentrações entre $36,64 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $87,60 \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $64,26 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Para o mês de fevereiro quando comparado o comportamento do NO_3 x marés, apresentando uma correlação forte ($r_s = 0,0565$; $p = 0,7886$), e uma correlação altamente significativa entre NO_3 x velocidade da corrente ($r_s = 0,0476$; $p = 0,8214$). Em relação ao NO_3 x salinidade, também apresentou uma correlação forte e significativa ($r_s = 0,0739$; $p = 0,7255$).

Para verificar as informações obtidas nas correlações em fevereiro, é apresentada na figura 36, o comportamento do NO_3 , onde o mesmo apresentou maiores concentrações no horário das 13:30 h ($30,80 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente 0,24 m/s e altura da maré 0 m) na estufa da maré baixa. Já às 19:32 h ($153,99 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente 0,22 m/s e altura da maré de 1,3 m) a maior concentração relacionado a maré alta e início da vazante associado ao aumento da velocidade da corrente.

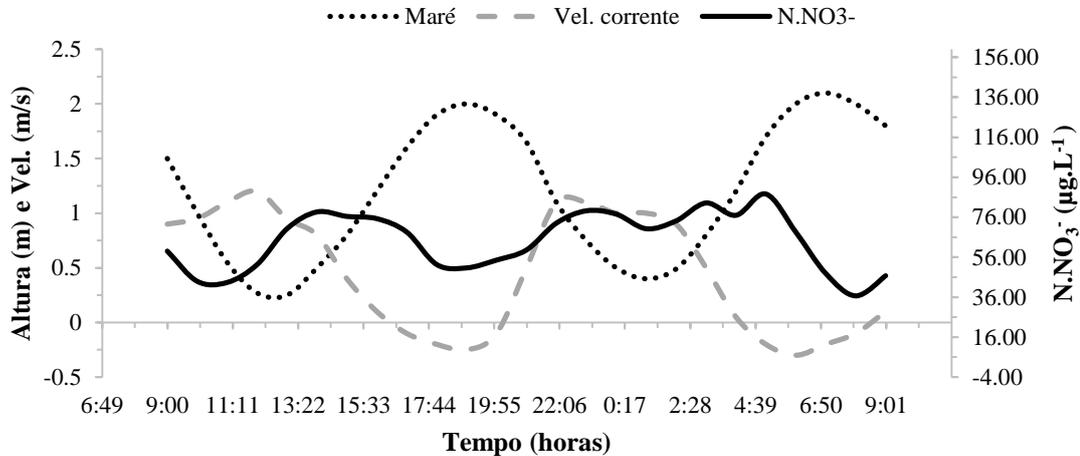
Figura 36- Variação da concentração do nitrato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02/2014.



Em julho, foram observadas significâncias para o NO₃ x maré ($r_s = -0,4072$; $p = 0,0433$), bem como NO₃ x velocidade da corrente ($r_s = 0,1359$; $p = 0,5171$) e para o NO₃ x salinidade observada correlações ($r_s = -0,817$; $p = <0,0001$).

Analisando a figura 37, os maiores valores do NO₃ estiveram nos horários de 14:00 h (78,64 µg.L⁻¹; velocidade da corrente 0,8 m/s e altura da maré de 0,5m), 23:00 h (79,20 µg.L⁻¹; velocidade da corrente 1,1 m/s e altura da maré de 0,75m) e as 5:00 h (87,60 µg.L⁻¹; velocidade da corrente -0,2 m/s e altura da maré de 1,7 m) coincidindo com início de maré enchente, final de vazante e aumento da velocidade (Figura 37). Enquanto que os menores valores ocorreram nos horários das 19:00 h (50,64 µg.L⁻¹; velocidade da corrente -0,25 m/s e altura da maré de 2 m), 11:00 h (43,36 µg.L⁻¹; velocidade da corrente 1,1 m/s e altura da maré 0,55 m) e as 8:00 h (36,64 µg.L⁻¹; velocidade da corrente -0,1 m/s e altura da maré de 2 m) combinando principalmente com as altas marés (Figura 37). Estes valores observados estão representados pelas significâncias, onde a velocidade da corrente predominou sobre a disponibilidade deste elemento.

Figura 37-Variação do nitrato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



As diferenças que ocorreram entre os meses podem estar relacionadas a uma maior assimilação deste nutriente por parte dos produtores primários, pois fevereiro estiveram presentes os menores valores de NO_3 e clorofila (Figura 46).

Estabelecendo uma comparação com o trabalho de Medeiros et al. (2016), o NO_3 apresentou concentrações superiores ao deste estudo (2004 correspondendo a $181,57 \pm 166,61 \mu\text{g L}^{-1}$ e 2007 obteve $44,16 \pm 68,70 \mu\text{g L}^{-1}$), o qual sugere que o armazenamento de água e controle da vazão podem estar interferindo na disponibilidade deste nutriente, visto que os anos de 2004 e 2007 foram anos com maior vazão do rio, associadas também maior incidência de chuvas.

c. Íon amônio (NH_4)

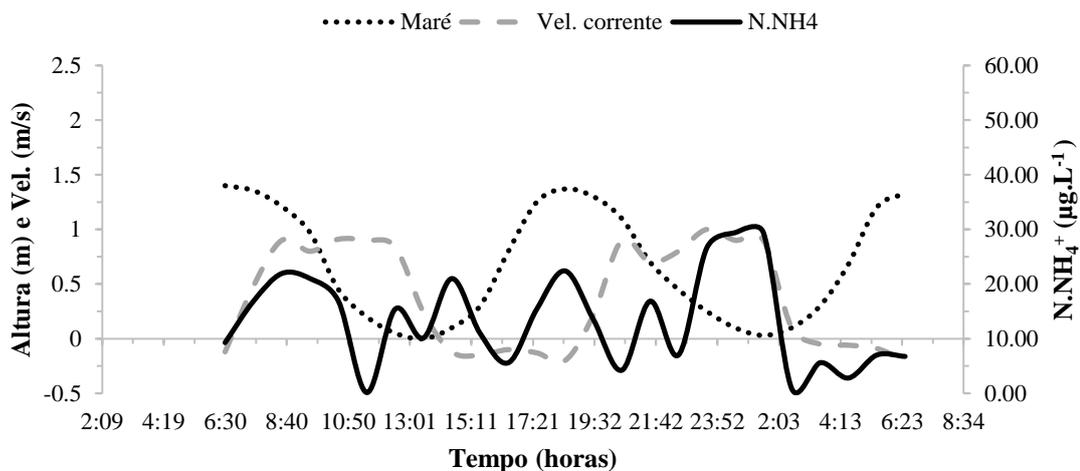
O amônio variou entre $0,14$ e $29,40 \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $13,48 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período menos chuvoso (fevereiro) e um acréscimo para o período mais chuvoso (julho) que obtiveram concentrações entre $5,06 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $55,66 \mu\text{g.L}^{-1}$, e média de $17,38 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Para o mês de fevereiro foram obtidas correlações entre NH_4 x maré ($r_s = -0,049$, $p = 0,8161$), fraca correlação com NH_4 x velocidade das correntes ($r_s = 0,2773$, $p = 0,1795$) e altas correlações entre NH_4 x salinidade ($r_s = 0,0809$, $p = 0,7006$).

Para verificar as informações obtidas nas correlações no mês de fevereiro, é apresentada na figura 38 o comportamento do NH_4 , onde o mesmo acompanhou na maioria das vezes de

forma inversa o comportamento da velocidade das correntes, onde as maiores concentrações foram verificadas às 18:30 h ($22,40 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $-0,2 \text{ m/s}$ e altura da maré $1,37 \text{ m}$) concordando com o comportamento da altura maré e diminuição da velocidade das correntes, e às 01:30 h ($29,40 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $0,9 \text{ m/s}$ e altura da maré de $0,03 \text{ m}$) correspondendo a diminuição da maré e aumento da velocidade da corrente. A menor concentração observada às 11:30 h ($0,14 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $-0,9 \text{ m/s}$ e altura da maré $0,2 \text{ m}$) esteve relacionada a maré vazante. De acordo com Fonseca (2005) este evento pode estar relacionado com os processos de adsorção dos compostos dissolvido e particulado geralmente entre salinidade variando entre 8 a 12 existentes em águas estuarinas durante os períodos de maré vazante.

Figura 38-Variação do íon amônio em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude $10^{\circ}28'17''$; Longitude $036^{\circ}24'01''$) durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.

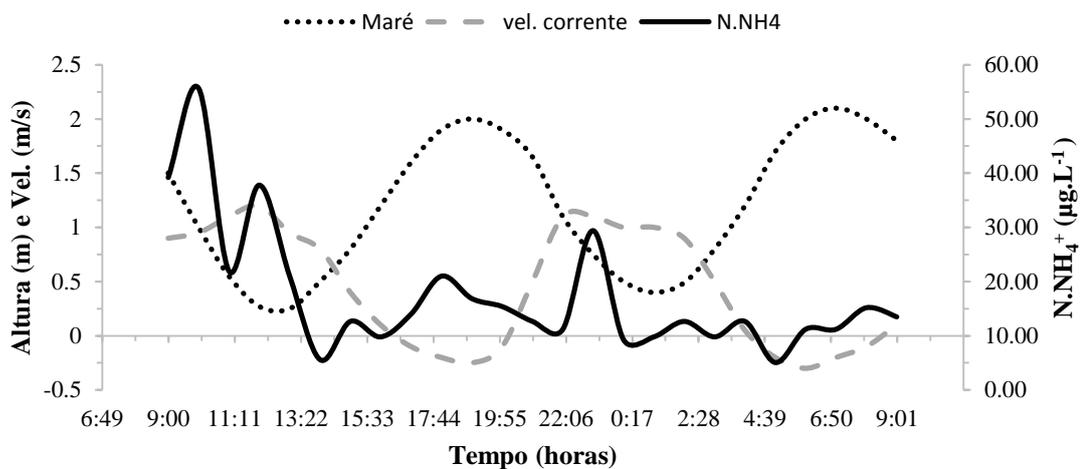


No mês de julho foi observada correlação com NH_4 x maré ($r_s = -0,0029$, $p = 0,989$), entre NH_4 x velocidade das correntes ($r_s = 0,2198$, $p = 0,2911$) e para NH_4 x salinidade ($r_s = 0,4559$, $p = 0,0219$).

Averiguando as informações das correlações, foi analisado através da figura 39 o comportamento do íon amônio, que indicou comportamento semelhante a fevereiro em relação a maré, obtendo maior valor às 10:00 h ($55,66 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $0,95 \text{ m/s}$ e altura da maré de $1,0 \text{ m}$) correspondendo a valores de maré baixa e aumento da velocidade da corrente, além de outros valores como às 12:00 h ($37,80 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $1,2 \text{ m/s}$ e altura

da maré 0,27 m) e 23:00 h (29,40 $\mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente 1,1 m/s e altura da maré 0,75 m). Porém, às 18:00h (21,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) do dia 16/07 e às 08:00h (15,18 $\mu\text{g.L}^{-1}$) do dia 17/07 os valores estiveram relacionados com a diminuição da velocidade da corrente (Figura 39).

Figura 39- Variação do íon amônio em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude $10^{\circ}28'17''$; Longitude $036^{\circ}24'01''$) durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



Em relação aos períodos estudados, percebeu-se que houve um aumento das concentrações de amônio no período mais chuvoso (julho), indicativo de entrada deste constituinte pelos rios, precipitação ou até mesmo pela lavagem superficial local. Comparando tais concentrações com o nitrato, estas são menores, pois o íon amônio nas camadas onde se encontram o fitoplâncton é geralmente baixa e pela viabilidade energética destes organismos em absorvê-lo mais rapidamente (ESTEVES, 1998).

O íon amônio obteve menores concentrações quando comparados aos de Medeiros et al. (2016), novamente reforçando a sugestão da atuação do sistema de barragens em cascata, retendo grande quantidade de nutrientes que naturalmente seriam transportados ao longo do curso do rio e ao oceano.

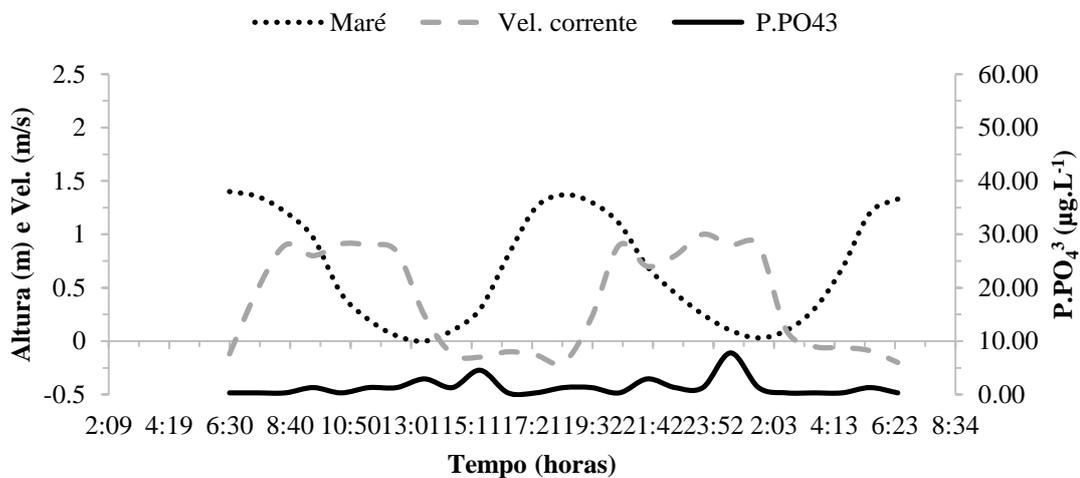
d. Fosfato

P-Ortofosfato (PO_4^{-3})

Para este elemento foram observadas a principal forma de fósforo, P-ortofosfato (PO_4^{-3}) assimilada pelo fitoplâncton, sendo que este íon ortofosfato também esteve presente na sua forma (HPO_4^{-2}). O fósforo dissolvido (PO_4^{-3}) variou entre 0,31 e 7,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 1,38 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período seco (fevereiro) totalizando em torno de 11% da forma total (HPO_4^{-2}) e um acréscimo para o período chuvoso (julho) com concentrações entre 1,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 7,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e média de 3,70 $\mu\text{g.L}^{-1}$ chegando em média 27% da sua forma total.

Em relação ao mês de fevereiro, foram obtidas correlações do comportamento de PO_4^{-3} x marés ($r_s = -0,458$; $p = 0,0213$), entre PO_4^{-3} x velocidade da corrente ($r_s = 0,1361$; $p = 0,5166$) e para PO_4^{-3} x salinidade ($r_s = -0,2909$; $p = 0,1582$). Para constatar as informações obtidas nas correlações, foi analisado na figura 40 o comportamento do PO_4^{-3} , que apresentou maiores concentrações às 15:30 h (4,54 $\mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente -0,15 m/s e altura da maré 0,3 m) relacionada com valores de corrente diminuindo e acréscimo nos valores de maré; e às 00:30 h (7,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente 0,9 m/s e altura da maré de 0,1 m) apresentando valores de maré baixa e uma leve diminuição da velocidade de correntes.

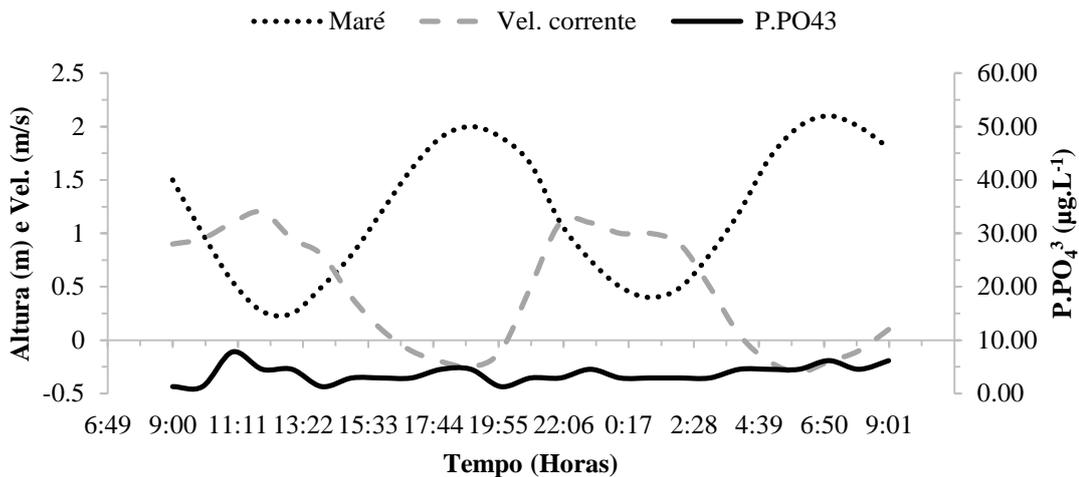
Figura 40 -Variação do fósforo (PO_4^{-3}) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude $10^{\circ}28'17''$; Longitude $036^{\circ}24'01''$) durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.



Para o mês de julho foram obtidas correlações com PO_4^{-3} x marés ($r_s = 0,2432$; $p = 0,2414$), entre PO_4^{-3} x velocidade ($r_s = -0,2036$; $p = 0,3289$) e para PO_4^{-3} x salinidade ($r_s = 0,3006$; $p = 0,1441$).

Para verificar as correlações obtidas em julho, foi analisado o comportamento do PO_4^{-3} , como mostrado na figura 41, que apresentou maior valor às 11:00 h ($7,79 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente 1,1 m/s e altura da maré 0,55 m) e às 07:00 h e às 09:00 h o segundo maior valor correspondendo a $6,17 \mu\text{g.L}^{-1}$, ambos momentos que apresentaram diminuição da velocidade das correntes e aumento da altura da maré (Figura 41).

Figura 41- Variação do fósforo (PO_4^{-3}) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude $10^{\circ}28'17''$; Longitude $036^{\circ}24'01''$) durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



Fosfato Total (HPO_4^{-2})

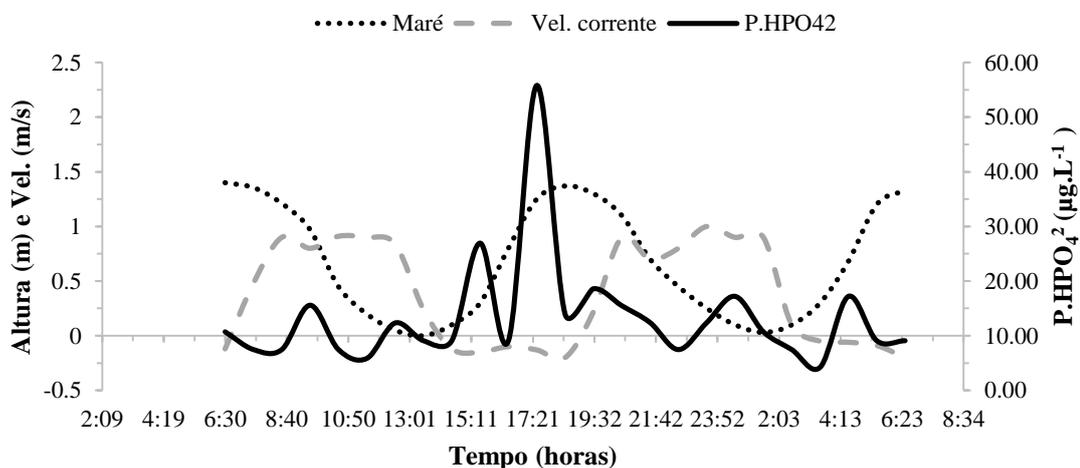
Para o fosfato total (HPO_4^{-2}), houve variação de 4,22 e $55,80 \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $13,29 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o mês de fevereiro e de 7,47 e $33,43 \mu\text{g.L}^{-1}$ em julho, com média de $14,72 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Semelhante à forma dissolvida do fósforo, para o mês fevereiro, o fosforo total não apresentou correlação entre HPO_4^{-2} x marés ($r_s = 0,1755$; $p = 0,4012$), o mesmo para a HPO_4^{-2} x velocidade da corrente ($r_s = -0,1851$; $p = 0,3758$). Do mesmo modo HPO_4^{-2} x salinidade ($r_s = 0,1986$; $p = 0,3413$) apresentou correlação não significativa.

Diante disto, foi observado que apesar da não significância estatística, o fósforo varia de acordo com as marés e correntes, como é mostrado na figura 42. Observou-se um maior valor de HPO_4^{2-} às 15:30 h ($26,94 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $-0,15 \text{ m/s}$ e altura da maré de $0,3 \text{ m}$) e às 17:30 h ($55,80 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $-0,13 \text{ m/s}$ e altura da maré $1,25 \text{ m}$), relacionada com a diminuição da velocidade das correntes e aumento dos valores de maré. Já às 00:30 h ($17,20 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $0,9 \text{ m/s}$ e altura da maré de $0,1 \text{ m}$) esteve associada com a diminuição da maré e das correntes (Figura 42).

O aumento de fósforo total às 00:30 h durante a redução da maré pode estar relacionado ao processo de ressuspensão de materiais do fundo, que pode ocorrer devido a ação desta maré, similar ao observado por Ovalle et al. (1990). Tal redução da maré, aliada a ação da diminuição da velocidade das correntes pode ocasionar uma maior concentração deste nutriente, visto que a dispersão hidrodinâmica foi reduzida. Em marés mais baixas é esperado uma maior influência fluvial.

Figura 42- Variação do fósforo (HPO_4^{2-}) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude $10^\circ 28' 17''$; Longitude $036^\circ 24' 01''$) durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.

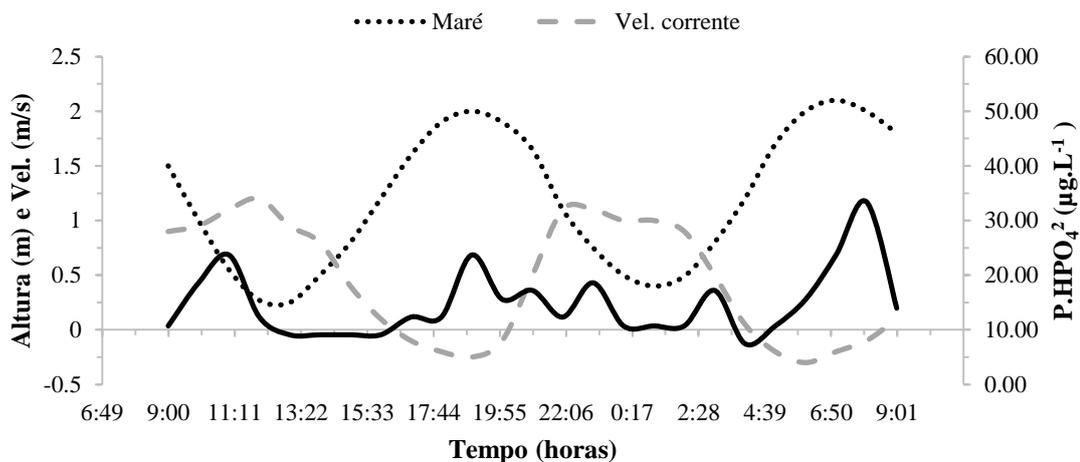


Em julho, o fósforo total apresentou correlação entre HPO_4^{2-} x marés ($r_s = 0,4739$; $p = 0,0167$), para HPO_4^{2-} x velocidade da corrente ($r_s = -0,1377$; $p = 0,5117$) e com o HPO_4^{2-} x salinidade ($r_s = 0,7394$; $p < 0,0001$).

Apesar dos resultados da análise estatística, no mês de julho o HPO_4^{2-} esteve relacionado ao padrão de diminuição da velocidade das correntes e aumento do nível da maré, como observados nos horários de 19:00 h ($23,70 \mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente $-0,25 \text{ m/s}$ e altura da

maré de 2 m) e às 08:00 h do dia 17/07 com maior valor (33,43 $\mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente -0,1 m/s e altura da maré de 2,0 m), porém às 11:00 h a demonstrou um comportamento inverso ao descrito nos horários anteriores (23,70 $\mu\text{g.L}^{-1}$; velocidade da corrente 1,1 m/s e altura da maré de 0,55 m) (Figura 43).

Figura 43- Variação do fósforo (HPO_4^{2-}) em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude $10^{\circ}28'17''$; Longitude $036^{\circ}24'01''$) durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



O fosfato na forma (PO_4^{3-}) apresentou menores valores, podendo estar relacionado com a atividade fitoplâncton que podem assimilar grandes quantidades deste íon fosfato durante a fotossíntese principalmente para fevereiro. Outra suposição para que o íon acima citado estivesse em menores concentrações pode ser reflexo do pH (ESTEVEZ, 1998). Segundo o autor, o pH variando de 6 a 8 são valores típicos de corpos d'água continentais e desta forma a forma iônica predominante tende a ser a (HPO_4^{2-}).

Porém, segundo Spencer (1975), em ambientes naturais, a água doce que normalmente contém altas concentrações de material em suspensão, tem uma elevada capacidade de adsorção. Com isso, parte do (PO_4^{3-}) é provavelmente transferida do compartimento dissolvido para o particulado na coluna de água, e permanece no modo dissolvido apenas durante período limitado.

Em outros trabalhos como o de Tundisi et al. (1998), já havia sido encontrado baixos valores para o fósforo no reservatório de Xingó, estando ligados à condições oligotróficas do baixo RSF, e mais uma vez comprovando que com o início das operações da barragem de Xingó trouxe vários impactos ao ecossistema.

Já em Medeiros et al. (2016) para a mesma região estuarina, maiores concentrações de fósforo foram encontradas, semelhante à este estudo, onde observaram valores de $381,93 \pm 312,35 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o ano 2004; em 2007 com $5,29 \pm 3,29 \mu\text{g.L}^{-1}$ (períodos de maiores precipitações e conseqüentemente liberação de maior vazão ao rio), e $4,70 \pm 4,88$ correspondentes ao ano de 2001 com condições hidrológicas de precipitações inferiores à média histórica, e suas vazões fortemente controladas pelos sistemas de barragens.

Os baixos valores de fósforo encontrados principalmente em fevereiro, período de pouca chuva, podem ser decorrentes de ações de intemperismo e lixiviação de solos e de rochas, bem como de processos hidrodinâmicos e geoquímicos, visto que com a regularização das vazões, há a retenção de nutrientes. Conforme Fonseca (2009), quando há um incremento na vazão, o fósforo tende a aumentar suas concentrações acompanhando o aumento proporcionado pelas correntes. Não ocorrendo esse aumento nas vazões, o fósforo diminui suas concentrações na coluna d'água principalmente se for assimilado pelo fitoplâncton o que é observado pelas baixas razões N:P como nas amostragens espaciais deste trabalho bem como em trabalhos anteriores (KNOPPERS et al., 2006; MEDEIROS et al., 2016).

e. Sílica (SiO_4)

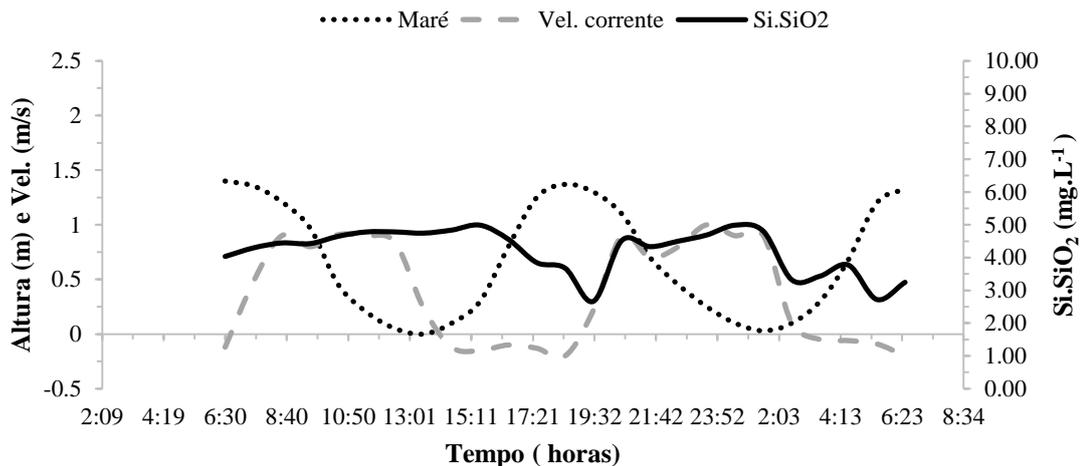
O silicato variou entre 2,67 e 4,99 mg.L^{-1} , com média de 4,20 mg.L^{-1} no período menos chuvoso (fevereiro) e um decréscimo para o período mais chuvoso (julho) entre 3,00 mg.L^{-1} e 4,37 mg.L^{-1} , com média de 3,59 mg.L^{-1} .

Comparando o comportamento do SiO_4 x marés, não foi observado correlação significativa em fevereiro ($r_s = -0,6608$; $p = 0,0003$), bem como para SiO_4 x velocidade da corrente ($r_s = 0,4406,44$; $p = 0,0274$) e para SiO_4 x salinidade apresentou correlação ($r_s = -0,5487$; $p = 0,0045$).

Para melhor visualizar as informações das correlações, foi relacionado as velocidades das correntes e marés com o SiO_4 para fevereiro (Figura 44), e verificado maiores valores de sílica às 15:30 h (4,99 mg.L^{-1} ; velocidade da corrente -0,15 m/s e altura da maré 0,3 m) relacionados com a maré baixa. Esse mesmo valor também foi encontrado às 00:30 h do dia 19/02 também com a diminuição do valor da maré. Menor valor encontrado às 05:30 h (2,72 mg.L^{-1} ; velocidade da corrente -0,09 m/s e altura da maré de 1,2 m) relacionados com o

comportamento inverso já descrito acima, isto é, aumento nos valores dos dados de maré acompanhados da diminuição da velocidade da corrente (Figura 44).

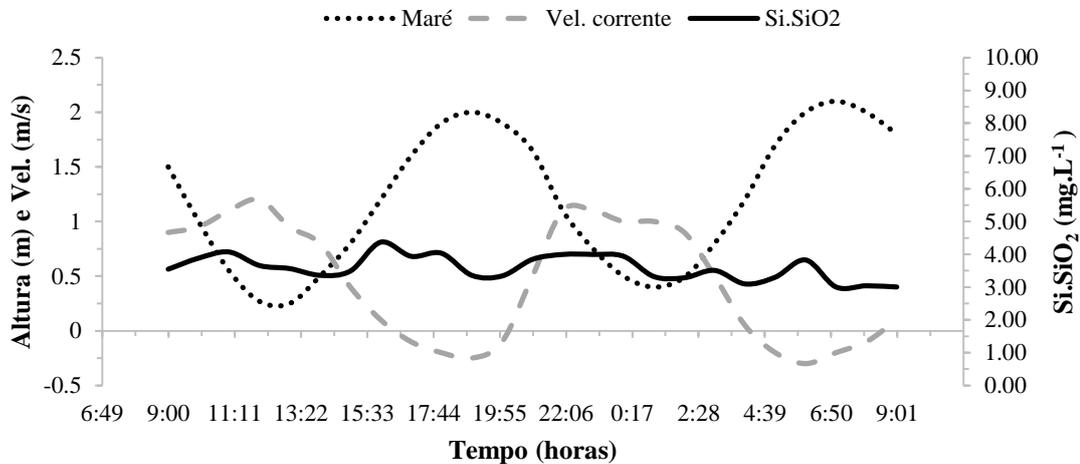
Figura 44- Variação do silicato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.



As correlações para SiO₄ x marés no mês de julho, apresentaram fraca correlação ($r_s = -0,2417$; $p = 0,2443$), ou seja, apresentou um comportamento inverso deste elemento com a maré. Para SiO₄ x velocidade da corrente observou-se correlações não significativas ($r_s = 0,3661$; $p = 0,0718$) e para SiO₄ x salinidade ($r_s = -0,1139$; $p = 0,5876$).

Diante disso, apesar das significâncias estatísticas, em julho, maiores valores foram observados às 11:00 h (4,07 mg.L⁻¹; velocidade da corrente 1,1 m/s e altura da maré de 0,55 m) e 16:00 h (4,37 mg.L⁻¹; velocidade da corrente 0,1 m/s e altura da maré de 1,2 m). Para o primeiro momento se deve à valores da maré baixa e no segundo diminuição da velocidade das correntes. Ao mesmo tempo em que foi obtido menores valores no horário das 07:00 h e 08:00 h (3,00 mg.L⁻¹) do dia 17/07 quando as concentrações sofreram a influência do aumento dos valores de maré (Figura 45).

Figura 45- Variação do silicato em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28' 17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



O comportamento de silicato observado no estuário do rio São Francisco esteve com maiores concentrações durante o período menos chuvoso (fevereiro de 2014).

O silicato, devido a sua origem terrígena, é o nutriente inorgânico com maiores concentrações nos estuários, sendo utilizado pelas microalgas do grupo das diatomáceas e dos silicoflagelados para formação das suas frústulas (FERNANDES, 1994). Porém, como sugerido por Santos (1993) e Medeiros et al. (2011), esse não é um sistema efetivo de controle de silicatos no RSF, tendo sido insignificante para o controle de silicatos rio abaixo para o estuário. Ainda de acordo com estes autores, os altos valores de silício encontrados indicaram que esse nutriente ultrapassou os reservatórios sem sofrer grandes transformações internas.

Embora as expressivas concentrações desse nutriente possam estar ligadas à processos físicos de diluição das águas fluviais, normalmente seriam esperadas elevadas concentrações de silicato nas águas estuarinas do rio São Francisco durante o período chuvoso, ocasionado pela intensa lixiviação dos sedimentos através do intemperismo nas margens do estuário (BERRÊDO et al., 2008), e desta forma, considerado como não limitante nos ecossistemas lacustres devido a sua abundância nos solos (ESTEVEZ, 1998). No entanto, os maiores valores de silicato observados durante o período seco (fevereiro) em relação aos menores valores de clorofila, demonstra mais uma vez, de que a produtividade está limitada pelo PO_4^{-3} e NID e não pela sílica. O fato da sílica estar em concentração levemente menor no período chuvoso está relacionado as maiores velocidades de correntes e marés, ou seja, o fator predominante seria a

uma maior diluição pelas águas marinhas bem como uma assimilação pelo fitoplâncton uma vez que neste período houve maior concentração de clorofila.

Os dados do presente estudo mostraram menores valores para silicato se comparados com os de Medeiros et al. (2016), que obtiveram valores de $10,3 \pm 3,06$ no ano de 2001, e semelhantes quando comparados as médias de $3,79 \pm 0,85 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2004 e $2,48 \pm 1,29 \text{ mg.L}^{-1}$ para 2007. Porém, Medeiros et al. (2011) encontrou para os anos de 2000-2002, valores também elevados. Os altos valores em Medeiros et al. (2011) estiveram relacionados à presença deste nutriente nos solos e processos de lixiviação, desta forma, explicando as grandes concentrações de silicatos no estuário do RSF, apesar do controle de vazões sucessivas.

f. Clorofila

A clorofila variou entre 0,13 e $1,79 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $1,03 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ no período menos chuvoso (fevereiro) e um acréscimo entre 0,38 e $2,35 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ para o período mais chuvoso (julho), com média de $1,51 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$.

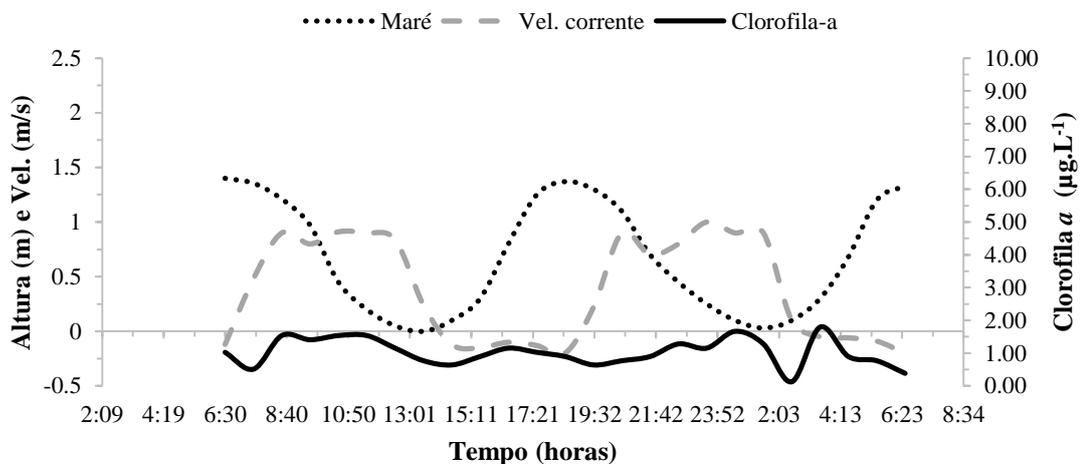
As correlações dos nutrientes x clorofila, demonstraram que para o mês de fevereiro somente para PO_4^{3-} apresentou valores significativo ($r_s = 0,0859$; e $p = 0,6832$), para o NH_4 foi levemente fraca ($r_s = 0,2497$; $p = 0,2286$). Por outro lado, para o mês de julho a correlação foi significativa para a SiO_4 ($r_s = -0,1084$; $p = 0,6061$) e fraca para PO_4^{3-} ($r_s = -0,2083$; $p = 0,3175$). As correlações demonstram mais uma vez que a produtividade primária do sistema está limitada pela baixa concentração dos nutrientes o vem caracterizar que o RSF se encontra em estado de oligotrofia como já mencionados em trabalhos anteriores (TUNDISI et al., 1998; KNOPPERS et al., 2006; SANTOS et al., 2013; MEDEIROS et al., 2016).

Em relação aos parâmetros físicos, para o mês de fevereiro, as correlações de clorofila x marés foram não significativas ($r_s = -0,253$; $p = 0,2222$), bem como para clorofila x correntes, ($r_s = 0,5132$; $p = 0,0087$ em fevereiro) e para clorofila x salinidade ($r_s = -0,2021$; $p = 0,3325$).

Para constatar as informações obtidas por meio das correlações, é apresentada na figura 46, os maiores valores de clorofila variando entre $1,54 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ às 08:30 h para fevereiro (velocidade da corrente $0,9 \text{ m/s}$ e altura da maré de $1,21 \text{ m}$), relacionados ao início da redução da maré, e de $1,15 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ devido ao aumento da maré e redução da velocidade das correntes às 16:30 h (velocidade da corrente $-0,1 \text{ m/s}$ e altura da maré $0,8 \text{ m}$). Às 03:30 h do dia 19/02 observou-se valores em torno de $1,79 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ (velocidade da corrente $-0,05 \text{ m/s}$ e altura da maré

de 0,3 m) ligados a baixa mar e diminuição da velocidade das correntes. O menor valor encontrado de $0,13 \mu\text{g.L}^{-1}$ no horário das 02:30 h do dia 19/02 (velocidade da corrente 0,1 m/s e altura da maré 0,1 m) está relacionado a maré baixa e diminuição da velocidade das correntes (Figura 46).

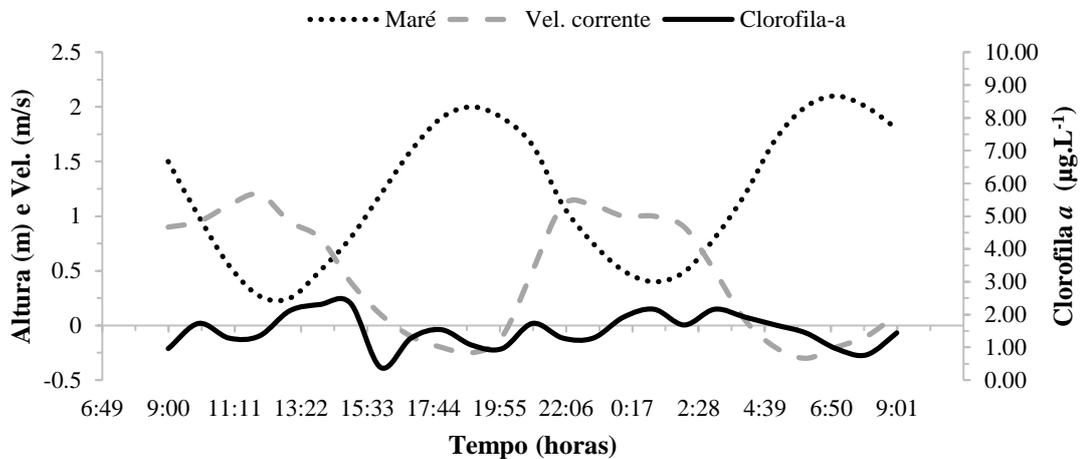
Figura 46- Variação da clorofila em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude $10^{\circ}28'17''$; Longitude $036^{\circ}24'01''$) durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.



Em julho, a clorofila apresentou correlação entre os parâmetros físicos, clorofila x marés ($r_s = -0,5511$; $p = 0,0043$), para clorofila x correntes também não foram observadas correlações significativas ($r_s = 0,2392$; $p = 0,2495$) e entre clorofila x salinidade ($r_s = -0,6709$; $p = 0,0002$).

Diante disso, apesar das significâncias estatísticas, em julho, a concentração de $2,11 \mu\text{g.L}^{-1}$ às 13:00 h (velocidade da corrente 0,95 m/s e altura da maré de 0,25 m) esteve relacionada à diminuição da maré, e às 15:00 h, com a diminuição da velocidade da corrente o valor observado foi de $2,35 \mu\text{g.L}^{-1}$ (velocidade da corrente 0,4 m/s e altura da maré 0,8 m). No entanto, às 16:00 h foi observado um menor valor de $0,38 \mu\text{g.L}^{-1}$ (velocidade da corrente 0,1 m/s e altura da maré 1,2 m) devido ao aumento da maré. No dia 19/02 às 01:00 h o valor encontrado foi de $2,16 \mu\text{g.L}^{-1}$ (velocidade da corrente 1 m/s e altura da maré 0,4 m) devido à baixa da maré e às 05:00 h do dia 17/07 obteve-se um valor de $1,68 \mu\text{g.L}^{-1}$ (velocidade da corrente -0,2 m/s e altura da maré 1,7 m) o que pode estar relacionado com diminuição da corrente e subida da maré (Figura 47).

Figura 47- Variação da clorofila em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



Em julho, por ser mais propício às chuvas houve uma maior lixiviação nas proximidades da área estudada e desta forma transportando nutrientes e partículas ao estuário elevando levemente os valores de clorofila. De acordo com Koenig (1997), em estudo no estuário do Rio Formoso, os elevados valores de clorofila no período chuvoso estiveram relacionados a maior produção de cloroplastos (que contém pigmentação de clorofila) pelo fitoplâncton.

A temperatura pode ser outro fator que pode ter refletido nos valores de clorofila, gerando uma pequena variação entre os meses, e podendo também ter influenciado na produtividade biológica. Isto é confirmado por Passavante (1979), quando afirma que a temperatura tem importante papel na alteração da taxa de fotossíntese e respiração das algas, e suas modificações possuem efeitos nos processos químicos, no entanto para o estuário do RSF o fator predominante é a disponibilidade de nutrientes que interfere na produtividade.

Os resultados obtidos para a clorofila estiveram semelhantes aos de Lima & Severi (2014), onde os mesmos observaram valores entre 0,1 e 1,76 µg.L, verificando que ao longo da barragem em cascata as concentrações de clorofila tendem a diminuir. Medeiros et al. (2016) também observou valores de clorofila semelhantes, com valores de 1,55±1,12 (em 2001), 1,68±1,62 (em 2004) e 1,26±0,87 (em 2007). Tendo por base os valores do presente estudo, e dos de Lima & Severi (2014) e Medeiros et al. (2016) é possível sugerir que os baixos valores de clorofila encontrados em ambos estudos estão relacionados às condições oligotróficas do RSF.

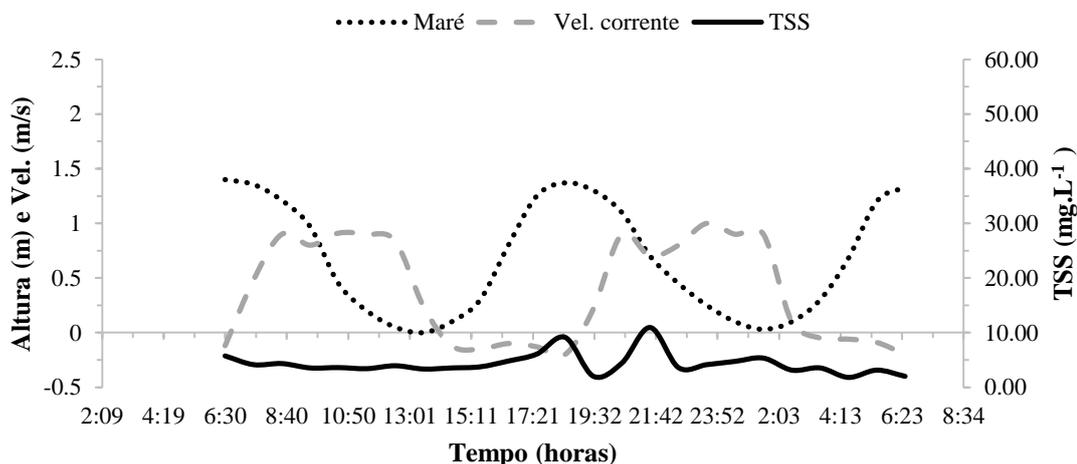
g. Total de Sólidos em Suspensão (TSS)

O TSS variou entre 1,80 e 10,93 mg.L⁻¹, com média de 4,32 mg.L⁻¹ no período menos chuvoso (fevereiro) e acréscimo para o período mais chuvoso (julho) entre 4,75 mg.L⁻¹ e 57 mg.L⁻¹ com média de 11,57 mg.L⁻¹.

No que se refere aos parâmetros físicos em fevereiro, foram obtidas correlações entre TSS x maré ($r_s = 0,1859$; $p = 0,3736$), para TSS x velocidade da corrente ($r_s = 0,0902$; $p = 0,6682$) e em relação ao TSS x salinidade ($r_s = 0,3147$; $p = 0,1254$).

Para constatar as informações obtidas pelas correlações, é mostrada na figura 48, a variação de TSS em relação à velocidade de corrente e maré. No mês de fevereiro, obteve-se comportamento inverso ao da maré, como observado às 21:30 com valor de 10,93 mg.L⁻¹ (velocidade da corrente 0,7 m/s e altura da maré de 0,7 m) durante diminuição da maré. O segundo maior valor de 9,13 mg.L⁻¹ às 18:30 h (velocidade da corrente -0,2 m/s e altura da maré 1,37 m) foi devido a diminuição da velocidade da corrente e da elevação da maré (Figura 48).

Figura 48- Variação do TSS em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.

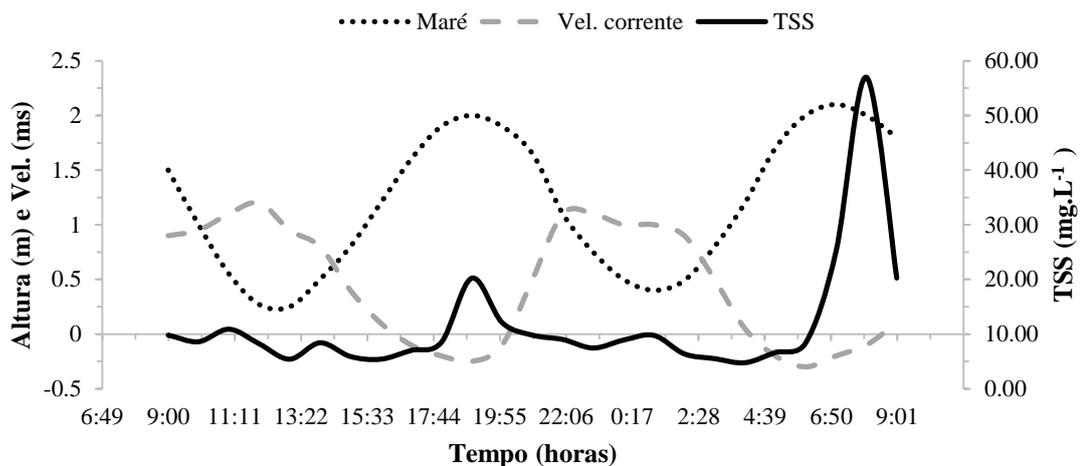


Para o mês de julho, foram observadas correlações entre dados de TSS x maré ($r_s = 0,4823$; $p = 0,0146$), para TSS x velocidade da corrente ($r_s = -0,1119$; $p = 0,5942$) bem como para TSS x salinidade apresentou correlação ($r_s = 0,8496$; $p = < 0,0001$).

Para verificar as correlações obtidas em julho, é mostrada na figura 49 a variação do TSS que indicou comportamento semelhante ao da maré, com maiores valores de 20,22 mg.L⁻¹

¹ às 19:00 h (velocidade da corrente -0,25 m/s e altura da maré 2 m), 25,13 mg.L⁻¹ às 07:00 h (velocidade da corrente -0,2 m/s e altura da maré 2,1 m) e de 57 mg.L⁻¹ às 08:00 h (velocidade da corrente -0,1 m/s e altura da maré de 2 m) que também esteve relacionado a maré alta (Figura 49).

Figura 49- Variação do TSS em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



O total de sedimentos em suspensão obteve maiores concentrações no período chuvoso (julho) e pode estar relacionada a maior incidência de chuvas neste mês, causando um aspecto mais barrento no rio como consequência da contribuição terrestre, pelo escoamento superficial. Porém de acordo com Restrepo & Kjerfve (2001), a vazão também tem forte influência sobre a concentração de MPS em condições naturais. Apesar da leve diminuição da vazão em julho, maiores valores para esta variável foram observados neste período. No entanto, estes valores poderiam ser superiores, porém com a regularização das vazões, há também maior retenção de material implicando no seu transporte, pois com a diminuição da vazão haverá menor velocidade e capacidade de transporte de material particulado pelo rio (KNOPPERS et al., 2006; MEDEIROS et al., 2007, 2011; 2014). Sendo assim, as marés e os ventos são forçantes que poderiam atuar no controle de total de sedimentos em suspensão aliados a erosão das margens e das chuvas ocorridas.

Comparando os resultados do presente trabalho com os de Medeiros et al. (2015), mesmo para valores anuais, percebeu-se que os anos de 2001 e 2007 não apresentaram grandes diferenças em relação ao presente estudo, divergindo apenas para o ano de 2004. Os maiores valores médios anuais de material em suspensão ocorreram no ano de 2004, sendo de 72±148,9 mg/L e menores concentrações com média em torno de 4,8±2,1 mg/L (2001) e 8,4±8,5 mg/L

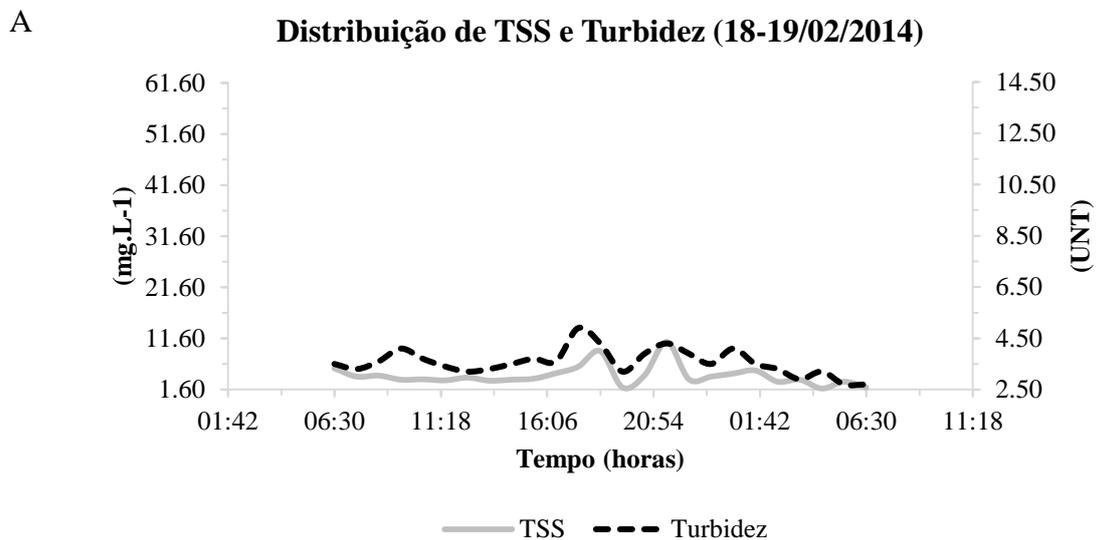
(2007). Os autores explicam que a influência nos valores de 2001 estão relacionados a baixa pluviosidade e a forte ação do sistema de controle de vazões. No ano de 2007, o aumento nas concentrações esteve relacionado as cheias prolongadas que promoveram vazões elevadas para a foz durante o período de janeiro à julho. Já para 2004, as maiores concentrações de MPS estão relacionadas à localização geográfica das precipitações, as quais ocorreram nas porções mais inferiores da bacia hidrográfica.

h. Turbidez

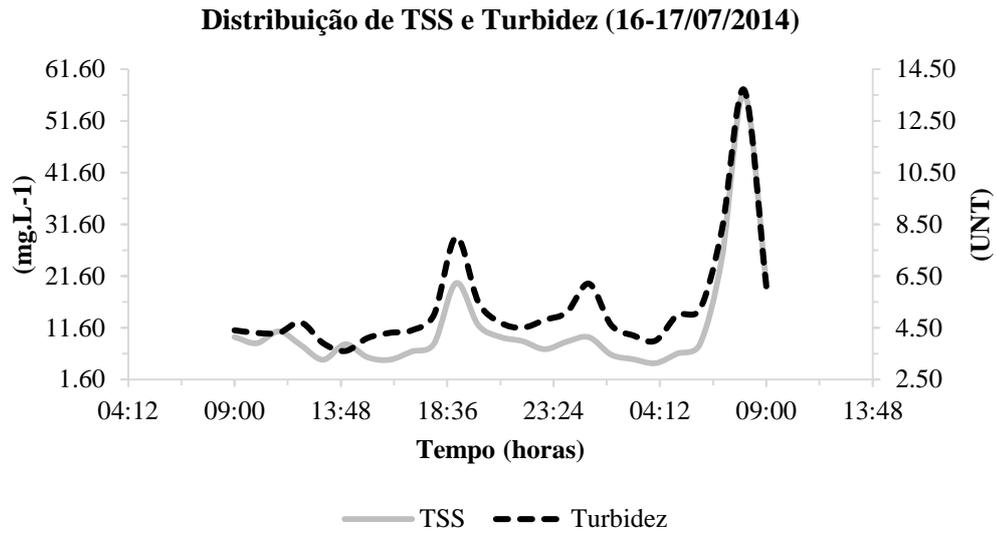
A turbidez variou entre 2,70 e 4,90 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), com média de 3,57 UNT no período menos chuvoso e entre 3,60 UNT e 13,70 UNT, com média de 5,32 UNT para o período mais chuvoso.

Foram obtidas correlações não significativas entre Turbidez x TSS para os meses em estudo ($r_s = 0,7181$; $p = <0,0001$ em fevereiro) e ($r_s = 0,6958$; $p = 0,0001$ em julho). Contudo, é perceptível que a turbidez pode indicar a concentração do material em suspensão, como pode ser observado nas figuras 50 A (para o mês de fevereiro) e B (para o mês de julho).

Figura 50- Variação de TSS e turbidez para os meses em estudo.



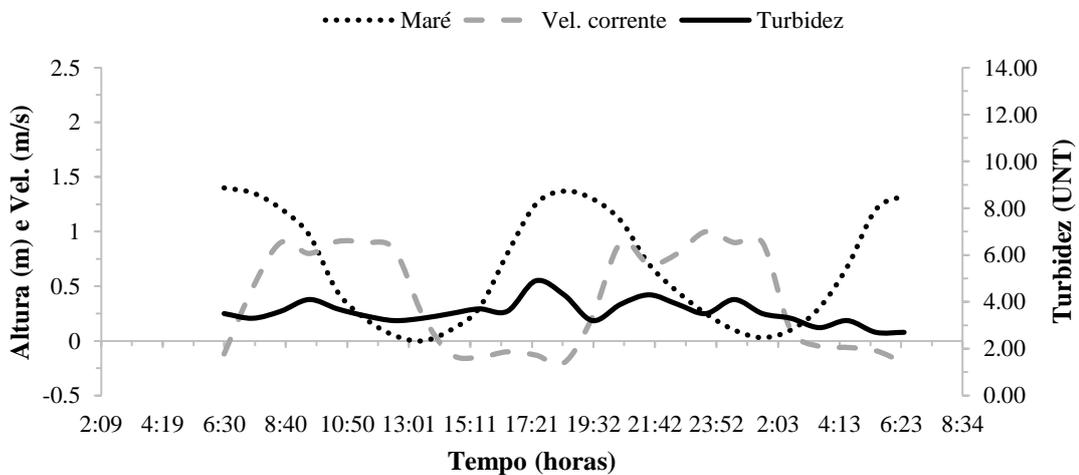
B



Em relação aos parâmetros físicos em fevereiro, foram obtidas correlações entre turbidez x maré ($r_s = 0,1124$; $p = 0,5928$), para turbidez x velocidade da corrente ($r_s = 0,1339$; $p = 0,5234$) e para turbidez x salinidade correlação não significativa ($r_s = 0,2334$; $p = 0,2615$).

Para melhor visualização das informações obtidas por meio das correlações, é indicada na figura 51 as variações de turbidez em relação a maré e correntes. Em fevereiro, o comportamento dependente dos padrões de velocidade e maré: picos observados com maré baixa e velocidade de corrente alta como às 00:30 h (4,10 UNT; velocidade da corrente 0,9 m/s e altura da maré 0,1 m) ou maré alta e velocidade baixa, como às 17:30 h (4,90 UNT; velocidade da corrente -0,13 m/s e altura da maré 1,25 m) (maior valor).

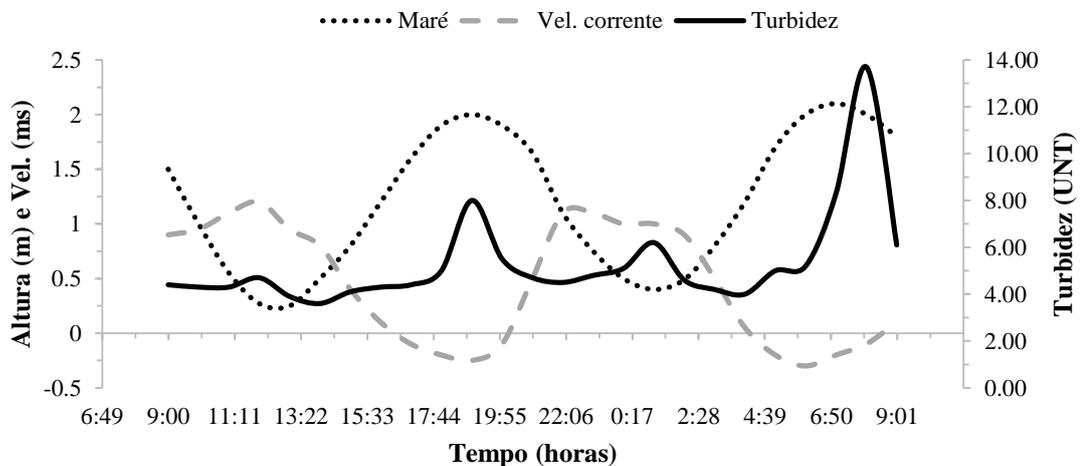
Figura 51- Variação da turbidez em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 18 e 19/02.



Em julho, foram observadas correlações não significativas entre turbidez x maré ($r_s = -0,5634$; $p = 0,0033$), turbidez x velocidade da corrente ($r_s = -0,3702$; $p = 0,0685$) e para turbidez x salinidade ($r_s = 0,694$; $p = 0,0001$).

Apesar das significâncias estatísticas, em julho, os maiores valores da turbidez estiveram associados ao aumento da velocidade de corrente e baixa da maré como às 12:00 h (4,70 UNT; velocidade da corrente 1,2 m/s e altura da maré 0,27 m), bem como para às 01:00 h do dia 17/07 (6,20 UNT; velocidade da corrente 1 m/s e altura da maré 0,4 m). Já às 19:00 h do dia 16/07 os maiores valores estiveram aliados a diminuição da velocidade da corrente e aumento maré (8,00 UNT; velocidade da corrente -0,25 m/s e altura da maré 2 m) assim como às 08:00 h do dia 17/07 (13,70 UNT; velocidade da corrente -0,1 m/s e altura da maré 2 m) (Figura 52).

Figura 52- Variação da turbidez em relação a maré e velocidade das correntes na estação fixa (ESF 0 – Latitude 10°28'17"; Longitude 036°24'01") durante o período contínuo de 24 horas para os dias 16 e 17/07.



Os maiores valores de turbidez observados no estuário do rio São Francisco estiveram no período chuvoso (julho), semelhante ao comportamento observado para o TSS. A diferença entre os meses estudados indica que as precipitações locais seriam responsáveis pelo incremento da turbidez no Baixo São Francisco.

Os dados do presente estudo mostraram valores semelhantes para turbidez se comparados aos de Medeiros et al. (2015), que obtiveram uma média de $2,7 \pm 2,0$ NTU no ano

de 2001 e inferiores quando comparados aos anos de 2004 e 2007. Conforme Medeiros et al. (2015), os maiores valores de turbidez estiveram associados à presença de precipitações pluviométricas que ocorreram nas porções inferiores da bacia hidrográfica do RSF, apesar do controle de vazões sucessivas.

i. pH

O pH variou entre 7,45 e 8,17 íons g.L^{-1} , com média de 7,71 íons g.L^{-1} no período menos chuvoso e um acréscimo entre 7,10 e 8,29 íons g.L^{-1} , com média de 7,61 íons g.L^{-1} para o período mais chuvoso.

As correlações entre dados de pH x maré apresentaram-se fracas e não significativas em fevereiro ($r_s = 0,5756$; $p = 0,0026$) e em julho ($r_s = 0,2677$; $p = 0,1957$). Correlacionando com a pH x velocidade da corrente, foram observadas correlações significativas para os dois meses ($r_s = -0,1365$; $p = 0,5154$ em fevereiro e para julho $r_s = -0,1012$; $p = 0,6304$). Já o pH x salinidade apresentou correlação não significativas em fevereiro ($r_s = 0,6777$; $p = 0,0002$) e em julho correlação ($r_s = 0,4191$; $p = 0,0422$).

Medeiros et al. (2016), observou que para anos com maiores precipitações, gera-se maior lixiviação, levando aumento nos valores de pH, e conseqüentemente mais hidróxidos são transportados para jusante. Possivelmente, o pequeno aumento nesta variável observado em julho pode estar relacionado a uma maior precipitação neste mês se comparados com fevereiro, e uma possível redução na atividade fotossintética.

4.4.5. Fluxos de nutrientes

Os fluxos mensais de TSS, sílica, fósforo e nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), foram calculados conforme a equação 1 e descrito na metodologia. A tabela 6 indica os fluxos dos nutrientes obtidos no presente estudo.

Tabela 6- Dados de vazões e carga de nutrientes no Baixo São Francisco para os meses de fevereiro e julho de 2014 nas marés de sizígia na estação fixa (EF0).

Mês	Nutrientes	Concentração média	Vazão média mensal (m ³ /s)	Carga diária (T/dia)	Carga Mensal (T/Mês)
FEVEREIRO	TSS	4,32 mg.L ⁻¹		471,06	13189,70
	SiO ₄	4,20 mg.L ⁻¹		458,26	12831,37
	PO ₄ ⁻³	1,38 µg L ⁻¹	1262,06	0,15	4,22
	HPO ₄ ⁻²	13,29 µg L ⁻¹		1,45	40,57
	NID	30,70 µg L ⁻¹		3,35	93,73
JULHO	TSS	11,57 mg.L ⁻¹		1164,15	36088,56
	SiO ₄	3,59 mg.L ⁻¹		361,28	11199,71
	PO ₄ ⁻³	3,70 µg L ⁻¹	1164,00	0,37	11,54
	HPO ₄ ⁻²	14,72 µg L ⁻¹		1,48	45,90
	NID	83,64 µg L ⁻¹		8,41	260,84

O fluxo do total de sedimentos em suspensão obteve maior valor no período chuvoso (julho) e pode estar associado a erosões e maior incidência de chuvas neste mês, carreando matérias do solo para o estuário pelo escoamento superficial. Comparando os fluxos de TSS observados no presente estudo com o reportado por Medeiros et al. (2007), foram observados valores mensais semelhantes quando relacionados aos períodos de maior operação da UHE Xingó (devido à crise de energia elétrica). Mas, se relacionados com os meses de pré-crise (abril de 2001) e recuperação do sistema elétrico (fevereiro a março de 2002), os fluxos de total de sólidos em suspensão do estudo atual foram inferiores.

Com relação à sílica, ao contrário do demais nutrientes, os maiores fluxos foram observados no período de estiagem (fevereiro), possivelmente associada à erosão das margens, ao processo de lixiviação e menor consumo pelas diatomáceas. Quando comparado a trabalhos anteriores do RSF, os valores dos fluxos de silicato deste estudo estiveram abaixo da faixa reportada por Medeiros et al. (2011) que obtiveram valores compreendendo de 25.000 t/mês e máximo de 68.000 t/mês.

Em relação ao fósforo PO₄⁻³, fósforo total e NID foram encontrados valores semelhantes ao atribuídos por Medeiros et al. (2011). No entanto, no período de estudo destes autores

(novembro de 2000 a março de 2002) também estiveram reportados maiores valores destes nutrientes.

Devido à pouca variabilidade observada nas descargas fluviais entre os meses não foi possível estabelecer uma relação entre as vazões e as cargas de nutrientes no período estudado. Porém, é perceptível que com a regularização houve alterações no poder de transporte do rio e desta forma, as diferenças dos fluxos entre os meses de fevereiro e julho atribuído a atuação das precipitações locais no Baixo São Francisco.

No Baixo São Francisco, por não sofrer com influências industriais e agrícolas (CAVALCANTE SEGUNDO, 2001), uma outra possível contribuição tanto para o sedimento em suspensão como para os demais nutrientes seria o desenvolvimento das atividades de piscicultura que vêm sendo crescente na região do Baixo São Francisco, principalmente em tanques rede ou em viveiros escavados (ARAÚJO & PEREIRA DE SÁ, 2008; RIBEIRO et al. 2015; RIBEIRO-NETO et al., 2016), incrementando maiores cargas de nutrientes devido ao efluente gerado a partir destes cultivos (GUO & LI, 2003).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A salinidade média no período observado não atingiu valores próximos de 0 ups por ser o estuário do rio São Francisco um ecossistema altamente estratificado, com grande influência da água marinha, resultante da pouca variabilidade da descarga fluvial que reduziu a capacidade da região estuarina em dispersar a água salina.

Contribuições dessa intrusão salina também estiveram relacionadas com as amplitudes de maré e com as correntes de enchente, forçando a entrada da água marinha dentro do compartimento estuarino, atingindo salinidade média de 18 ups.

A temperatura média exibiu valores de 28 e 26°C para fevereiro e julho respectivamente, estando a pouca diferença entre os meses associada ao transporte de águas oceânicas pelo vento de SE em julho, conduzindo uma corrente de superfície com águas mais frias para o estuário.

Os fluxos de nutrientes estiveram associados ao escoamento superficial por meio das precipitações locais e com menor influência da vazão liberada pelas usinas hidrelétricas a montante do estuário do Rio São Francisco.

De modo geral, as cargas de nutrientes foram reduzidas expressivamente, produzindo menores fluxos transportados para a região oceânica em decorrência das regularizações das vazões que eliminaram a variabilidade natural do rio. Com pouca variação da descarga fluvial houve maior influência da água marinha, pobre em nutrientes.

O total de sedimentos em suspensão (TSS), representou bem a ação das barragens na retenção de sedimentos, pois em ambos os meses de estudo houve pouca variação na vazão média mensal e mesmo assim maior fluxo encontrado em julho decorrente da contribuição terrestre.

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos apresentaram comportamento similar ao TSS, obtendo além da contribuição terrestre por meio das precipitações e erosões, variações entre os meses através de processos geoquímicos ocorridos neste estuário.

Os baixos valores de clorofila nos meses de fevereiro e julho de 2014 demonstram a condição oligotrófica do RSF e a limitação da produtividade no estuário do rio São Francisco por fósforo e NID, como já mencionado em trabalhos anteriores.

As alterações na variabilidade sazonal da vazão têm reflexos na produtividade primária ao longo do rio, podendo ocasionar várias modificações e adaptações das comunidades

aquáticas. Porém faz-se necessário estudos das adaptações destas comunidades decorrentes dos impactos causados pela atuação das barragens, com a finalidade de monitorar o desenvolvimento destes organismos e sugerir melhorias na gestão de controle das vazões.

6. REFERÊNCIAS

ALBER, M. A Conceptual Model of Estuarine Freshwater Inflow Management. **Estuaries**, Vol. 25, n.6B, p.1246-1261, 2002.

AGOSTINHO, A. A., THOMAZ, S. M. & GOMES, L. C. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade**, Vol. 1, n.1, p.70- 78, 2005.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> >. Acesso em março de 2016.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica do São Francisco: águas que contribuem para o desenvolvimento de 521 municípios**. Disponível em: < <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx> >. Acesso em janeiro de 2017.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica do São Francisco: águas que contribuem para o desenvolvimento de 521 municípios**. Disponível em: < <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx> >. Acesso em janeiro de 2014.

ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Estudo Hidrodinâmico – Sedimentológico do Baixo São Francisco, Estuário e Zona Costeira adjacente- AL/SE**. In: Resumo Executivo do Relatório Final do projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA. Maceió-AL, 2003 a, 35 p.

ANA/GEF/PNUMA/OEA . **Estudo do processo erosivo das margens do Baixo São Francisco e seus efeitos na dinâmica de sedimentação do rio**. In: Resumo Executivo do Relatório Final do projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA. Aracaju-SE, 2003 b,81p.

ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Formulação de um Programa de Gerenciamento Integrado da Bacia do rio São Francisco e da sua Zona Costeira**. In: Resumo Executivo do Relatório Final do projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA. Brasília -DF, 2003, 140 p.

ARAÚJO, J.S. & PEREIRA DE SÁ, M.F. Sustentabilidade da piscicultura no baixo São Francisco alagoano: condicionantes socioeconômicos. **Ambiente & Sociedade**, v. XI, n.2, p.405-424, 2008.

ARAÚJO, S.S.; Aguiar Netto, A.O.; SALES, J.M.J. 2016. O peixe, o pescador e a barragem de Xingó no baixo São Francisco em Sergipe e Alagoas no Brasil. **RevIPI**, São Cristóvão, Vol. 2, 011701, n.1,2016.

ASHBY, M.F. 2013. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. In: CALIJURI, M.do C.& CUNHA, D.G.F. (coordenadores). Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. ISBN: 978-85-352-5954-4.

AYRES, M. et al. **BIOESTAT** - Aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Bio-Médicas. Mamirauá. Belém, PA. 2007.

BLABER, S. J. M. **Tropical estuarine fishes: ecology, exploitation and conservation.** Queensland, Blackwell Science, London, 372 p, 2000.

BANDEIRA, J. V. et al. Resposta morfológica da foz do Rio São Francisco, devido à retenção de sedimentos nos reservatórios. **VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, Rio Grande, v. 23, n. 1, p. 5-17, 2013.

BERNARDES L.M.C. 1951. Notas sobre o clima da bacia do Rio São Francisco. In: MEDEIROS, P. R. P. et al. Características Ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): Efeitos de Barragens no Transporte de Materiais na Interface Continente-Oceano. **Geochimica Brasiliensis**, 2014, v. 28, p. 65-78.

BRAGA et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** 2ª edição, São Paulo; Pearson Prentice Hall, 2005. ISBN:978-85-7605-041-4.

BRAGA, E. S. et al. Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System-Brazil. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 40, n.2, p.165-173, 2000.

BRAZ FILHO, P.A. **Prospecto turfa (Baixo Rio São Francisco).** Salvador, CPRM/SUREG. (Relatório C.C. 2606/010), 27p, 1980.

BERRÊDO, J.F.; COSTA, M.L., PROGENE, M.P.S. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. **Acta amazônica**, vol. 38, n.3, p.473 – 482, 2008.

BORGES, P.S.P. **Índices e modelos biogeoquímicos para definição do estado trófico, suscetibilidade à eutrofização e metabolismo do estuário do Paraíba do Sul, RJ.** 2014. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

BUNN, S. E. & ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental Management** vol.30, n.4, p.492-507, 2002.

CABEÇADAS, G., NOGUEIRA, M., BROGUEIRA, M.J. Nutrient dynamics and productivity in three European estuaries. **Marine Pollution Bulletin** vol. 38 n.12, p.1092-1096, 1999.

CAMERON, W.M.; PRITCHARD, D.W. (1963). Estuaries. In: MIRANDA, Luiz Bruner de; CASTRO, Belmiro Mendes de; KJERFVE, Björn (2002). **Princípio de Oceanografia Física de Estuários.** São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2002. p.34.

CARMOUZE, J.P. **O metabolismo de ecossistemas aquáticos.** São Paulo: Edgard Blucher/FAPESP, 1994.

CARVALHO, M.E.S.; FONTES, A.L. Caracterização geomorfológica da zona costeira do estado de Sergipe. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology, 6, 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Internacional Association of Geomorphologists, 2006.

CAVALCANTE, G.; MIRANDA, L.B.; MEDEIROS, P.R.P. Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 22, e 31, 2017.ISSN 2318-0331.

CAVALCANTE SEGUNDO, G. H. **Caracterização Hidrodinâmica-Sedimentológica do Estuário e Delta do Rio São Francisco**. 2001.127f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2001.

CAVALCANTE, A. J. B. D. **Impactos nos processos morfológicos do baixo curso do Rio São Francisco, decorrentes da construção de barragens**. 2011.162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CAVALCANTE, G., MEDEIROS, P. R. P., SOUZA, R. M. G. Circulation and salt intrusion under low river discharge conditions, São Francisco River Estuary (NE Brazil). In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA,7, 2014, Itajaí. **Anais ...** Itajaí: Associação Brasileira de Oceanografia, 2014.

CHESTER, R.; RILEY, J.P. *Introducción a la química marina*. Editora A.G.T. Editor S.A.- México: 457 p. 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 1980. In: ASSIS, A.Q.S. **Análise da dinâmica fluvial do rio Cachoeira (Antonina/PR) entre os anos de 1954 e 2005**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CRESSIE, N. 1991. *Statistics for spatial data*. John Wiley and Sons Inc., New York, 900p.

DA SILVA, B.C. **Previsão Hidroclimática de Vazão para a Bacia do rio São Francisco**. 2005. 228p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

DARLEY, W.M. *Algal Biology: a physiological approach*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1982.168p.(Basic Microbiology).

DAVIES P. L.; EYRE B. D. Estuarine Modification of Nutrient and Sediment Exports to the Great Barrier Reef Marine Park from the Daintree and Annan River Catchments. **Marine Pollution Bulletin**, 51, 2005, p. 174–185.

DAVIS Jr., RICHARD A. **“Coastal Sedimentary Environment”**. 2n Edition. Springer-Verlag, 1985. 716 p.

DAY, J. W., HALL, C. A. S., KEMP, W. M.; YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. **Estuarine Ecology**. John Wiley & Sons, Inc., (eds). New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1989, 558 p.

DEBORDE, J. et al. The dynamics of phosphorus in turbid estuarine systems: Example the Gironde estuary (France). *Limnology and Oceanography*. v.52, p.862-872, 2007.

DEE, D.P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 137, 2011, p. 553-597.

DIAS, F.J. Da S. **Hidrodinâmica das descargas fluviais para o estuário do rio Jaguaribe (CE)**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

DOMINGUEZ, J.M.L. (1996) The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas. In: *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. Eds. Geological Society Special Publication 117, p. 217-231.

DYER, K. R. **Estuaries: A Physical Introduction**, John Wiley, London, 1973, 140 p.

ELLIOTT, A J. 1982. Wind-driven flow in a shallow estuary. **Oceanologica Acta**, vol. 5, n.1 p. 7-10.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 602p.

FEITOSA, A.N. **Estrutura e produtividade da comunidade fitoplanctônica correlacionados com parâmetros abióticos no sistema estuarino do Rio Goiana (Pernambuco- Brasil)**. 1997. 260 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade de São Paulo, 1997.

FERNANDES, G.L. Sub-projeto fitoplâncton. 1994. In: LOPES, M.J.S.; FERNANDES, G.L.; MELO, O.T. **Estudos do plâncton (fito e zooplâncton) e de fatores físicos e químicos na região estuarina dos rios Anil e Bacanga**. São Luís: UFPA. FAPEMA, 1994. p. 37-56.

FONSECA, A.O; BRAGA, E. S.; EICHLER B. B. Distribuição Espacial dos Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos e da Biomassa Fitoplanctônica no Sistema Pelágico da Lagoa da Conceição, Santa Catarina, Brasil (Setembro 2000). **Atlântica, Rio Grande**, vol. 24, n. 2, 2002, p. 69-83.

FONSECA, F.R. **Análise da viabilidade da utilização de informações a respeito da comunidade de peixes e de variáveis ambientais no monitoramento da qualidade da água em canais de manguezal do estuário da Baía de Vitória**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

FONSECA, L.V.DA. **Capacidade de retenção de fósforo e material particulado em suspensão por manguezal de área impactada por efluentes da carcinicultura**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

FONTES, L.C. da S. **O rio São Francisco após as grandes barragens o rio São Francisco após as grandes barragens: Mudanças recentes no regime hidrosedimentológico e na dinâmica fluvial do baixo curso**. In: LUCAS, A.A.T.; AGUIAR NETO, A. de O (editores). *Águas do São Francisco*. São Cristóvão: Editora UFS, 312 p, 2011. ISBN. 978-85-7822-188-1.

GARGETT, M.L.A.; DENMAN, K. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000. In: BRANCO, E.S. **Influência das variáveis ambientais na comunidade fitoplanctônica estuarina**. Recife, Ed. Universitária da UFPE, 2008, 266 p. ISBN: 978-85-7315-470-2.

GODINHO, H.P.; GODINHO, A.L. **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Editora PUC Minas, Belo Horizonte, 2003. 468 p. ISBN 85-86480-14-2.

- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of Seawater Analysis**. 3 ed. Velarg Chemie: Weinheim, 1999.
- GUIMARÃES, D.P.; LANDAU, E.C.; SOUZA, D.L. Agricultura irrigada e estiagem na bacia do Rio São Francisco, 7, 2014, Aracaju. **Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – GEONORDESTE**. Aracaju: UFS, 2014.
- GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. **Aquaculture**, Vol. 226, p. 201–212, 2003.
- HAY, C. H. et al. Macroinvertebrate drift density in relation to abiotic factors in the Missouri River. **Hydrobiologia**, vol. 598, p.175-189, 2008.
- HOLANDA, F.S.R. et al. 2005. Riparian vegetation affected by bank erosion in the lower São Francisco River, northeastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.327-336, 2005.
- HOLANDA, F.S.R. et al. Environmental Perception of the São Francisco Riverine Population in Regards to Flood Impact. **Journal of Human Ecology**, vol. 28, n.1, p. 37-46,2009.
- HUNG, J.-J.; HUNG, P.-Y. Carbon and nutrient dynamics in a hypertrophic lagoon in southwestern Taiwan. **Journal of Marine Systems**, v. 42, n. 3, p. 97-114, 2003.
- HUNG, J.-J.; KUO, F. Temporal variability of carbon and nutrient budgets from a tropical lagoon in Chiku, Southwestern Taiwan. **Estuarine, coastal and shelf science**, v. 54, n. 5, p. 887-900, 2002.
- ITTEKKOT, V. et al. Enhanced particle fluxes in Bay of Bengal induced by injection of fresh water.1991. In: JENNERJAHN, T.C.; ITTEKKOT, V.; CARVALHO, C.E.V. Preliminary data on particle flux off the São Francisco river, eastern Brazil. Particle flux in the ocean. John Wiley & Sons, 1996.p.215-222.
- IZEL, A.C.U. et al. **Produção intensiva de tabaqui em tanques escavados com aeração**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2013, 4 p. ISSN: 1517-2449.
- KJERFVE, B. 1989. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY Jr.; HALL, C.A.S.; KEMP, W.M.; YÁNEZ-ARANCIBA, A. (eds.). **Estuarine Ecology**. New York, JONH WILLEY & SONS A. Wiley, Interscience Publication, 1989. 558p. Capítulo 2, p.47-78.
- KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P. R. P.; SOUZA, W. F. L.; JENNERJAHN, T.2005. **The São Francisco estuary, Brazil**. In: WANGERSKY, P. (Ed). The handbook of environmental chemistry. v. 5 – Water Pollution: estuaries. Berlin: Springer Verlag, 2006. p. 51-70.
- KOENING, ML. Ecologia e dinâmica do fitoplâncton no estuário do rio Ipojuca, após a implementação do Porto de Suape (PE, Brasil), 1997.In: DA SILVA, M.H. 2003. **Fitoplâncton do estuário do Rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil); Biomassa, taxonomia e ecologia**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica). Universidade Federal de Pernambuco, Recife,2003,132p.

- LIMA, A.E.; SEVERI, W. Estado trófico na cascata de reservatórios de um rio no semiárido brasileiro. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 2014, vol.9, n. 1, p.124-133.
- MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.
- MCGLATHERY, K. J.; ANDERSON, I. C.; TYLER, A. C. Magnitude and variability of benthic and pelagic metabolism in a temperate coastal lagoon. **Marine ecology progress series**, v. 216, p. 1-15, 2001.
- MEDEIROS, P. R. P. et al. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p. 212 - 231, 2007.
- MEDEIROS, P. R. P. et al. Características Ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): Efeitos de Barragens no Transporte de Materiais na Interface Continente-Oceano. **Geochimica Brasiliensis**, 2014, v. 28, p. 65-78.
- MEDEIROS, P. R. P. et al. Changes in nutrient loads (N, P and Si) in the São Francisco estuary after the construction of dams. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 54, n. 2, p. 387-397, 2011.
- MEDEIROS, P.R.P. et al. Inter-annual variability on the water quality in the Lower São Francisco River (NE-Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, 2016, vol. 28, e5.
- MEDEIROS, P.R.P.; CAVALCANTE-SEGUNDO, G.H.; MELO-MAGALHÃES, E.M. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, vol.29, n.1, pág. 35-44, 2015.
- MELO-MAGALHÃES, E. M. et al. Phytoplankton of the São Francisco river estuarine region (Northeastern Brazil): a study of its diversity. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, vol. 15, n.1, p. 95-105, 2011.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípio de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo, Edusp- Editora da Universidade de São Paulo, 411p., 2002.
- MMA. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco** / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006, 148 p.
- NASCIMENTO, M. C.; RIBEIRO JÚNIOR, C.E.; AGUIAR NETTO, A.O. **Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco**. CBHSF, Maceió, AL, 175p, 2013.
- NILSSON, C. et al. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. **Science**, vol. 308, p.405-408, 2005.
- ODUM, E.P. **Fundamentals of ecology**. 3 ed. Philadelphia, Saunders, 1971, 574 p.

OLIVEIRA, A. M. et al. Dinâmica da formação da cunha salina no estuário do rio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3, 2008, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza, Associação Brasileira de Oceanografia, 2008.

OLIVEIRA, A.F.; BEMVENUTI, M.A. O ciclo de vida de alguns peixes do estuário da Lagoa dos Patos, RS, informações para o ensino fundamental e médio. **Cadernos de Ecologia Aquática**, vol. 1, n. (2), p.16-29, ago –dez 2006.

OLIVEIRA, E.N. 2009. **Impacto de barragens sobre a dispersão de matéria e a sustentabilidade da pluma costeira do Rio São Francisco (AL/SE): Análise espacial e temporal por sensoriamento remoto**. 2009,159 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Niterói 2009.

OVALLE, A. R. C. et al. Factors affecting the hydrochemistry of a mangrove tidal creek, Setepiba Bay, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 31, n. 5, p. 639-650, 1990.

PASSAVANTE, J.Z. de O. **Produção primária do fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-PE)**. 1979.171 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

PIHL, L. et al. Habitat Use by Fishes in Estuaries and Other Brackish Areas, Capítulo 2. In: ELLIOTT, M. & HEMINGWAY, K. L. (Eds.). **Fishes in Estuaries**. Blackwell Science, Oxford, 2002,636 p.

PINET, P.R. **Invitation to Oceanography**. USA: Jones and Bartlett Publishers, LLC.2009. 5ª edição, 626 p, ISBN: 978-0-7637-5993-3.

POFF, N. L., et al.The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. **BioScience**, vol. 47, n.11, p.769-784, 1997.

POFF, N.L.et al. Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 104, n. 14, p. 5732–5737, 2007.

PRITCHARD, D. W. **Estuarine Circulation Patterns**. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1955, 87:717:1-11.

PRITCHARD, D. W. Estuarine Classification – A Help or Hindrance. In: NEILSON, B. J.; KUO, A.; BRUBAKA, J. (Eds). **Estuarine Circulation**. Clifton, Humana Press,1989, p. 1-38.

QUINLAN,E.L.; PHILIPS,E.J. Phytoplankton assemblages across the marine to low-salinity transition zone in a blackwater dominated estuary. **Journal of Plankton Research**, v. 29, n. 5, p. 401-416, 2007.

RAHEL, F.J. 2000. Homogenization of fish faunas across the United States. Science 288: 854–856.In: LIERMANN, C. R. et al. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. **BioScience**, v. 62, n. 6, 2012, p. 539-548.

REDFIELD, A. The biological control of chemical factors in the environment. **Am.Sci**. v. 46, p. 205 – 221, 1958.

- RESTREPO, D.J.; KJERFE, B. Water discharge and sediment loads from the western slopes of the Colombian Andes with focus on rio San Juan. **Journal of Geology** vol. 108, p. 17- 33, 2001.
- RIBEIRO- NETO, T.F. et al. 2016. Piscicultura familiar extensiva no baixo São Francisco, estado de Sergipe, Brasil. **Acta Fish. Aquat. Res.**, vol.4, n.1, p. 62-69, 2016.
- RIBEIRO, M.R.F. et al. A piscicultura nos reservatórios hidrelétricos do sub-médio e baixo São Francisco, região semiárida do nordeste do Brasil. **Acta Fish. Aquat. Res.**, vol.3, n.1, p. 91-108, 2015.
- SANTANA, N.R.F. et al. 2016. Macrófitas aquáticas nas águas da foz do rio São Francisco e os impactos socioambientais. In: XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, 2016, Aracaju. **Anais ...** Aracaju: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2016.
- SANTOS, C. M. M. (1993). **Geoquímica do carbono e nitrogênio orgânico particulado transportados durante um ano hidrológico (1984-1985) pelo rio São Francisco, Brasil, e transferidos ao seu estuário.** 1993, 70 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1993.
- SANTOS, E. S. et al. Origem da matéria orgânica sedimentar no delta - estuarino do rio São Francisco, AL/SE, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 37-48, 2013.
- SAMPAIO, A. **SEGUE A SECA DE NORTE A SUL.** SALVADOR, SECOVIBA, Ano 6, 11^a edição, dezembro de 2014.
- SCHETTINI, C.A.F.; MIRANDA, L.B. Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas estuary, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, vol.58, n.1, 2010, p.1–11.
- SILVA, C.A.; FUJIMOTO, R.Y. **A piscicultura familiar do tambaqui na região do Baixo São Francisco.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 16 p, ISSN 1517-1329; 169.
- SILVA, M. H. da. **Fitoplâncton do estuário do Rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil): biomassa, taxonomia e ecologia.** 2003. 132 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- SKLAR F.H., BROWDER, J.A. Coastal Environmental Impacts Brought About by Alterations to Freshwater Flow in the Gulf of Mexico. **Environmental Management**, vol. 22, n.4, p. 547-562, 1998.
- SMAYDA, T.J. 1983. In: KETCHUM, B.H. **Ecosystems of the world: Estuaries and Enclosed Seas.** Elsevier Scientific Publishing Company.
- SOUZA C.R.G., SUGUIO K., OLIVEIRA A.M.S., OLIVEIRA P.E. **"Quaternário do Brasil"**. Holos Ed., 2005, 378 p.
- SOUZA, R. C.; KJERVE, B. Fundamentos da Maré e sua predição, 1997. In: FRAGOSO JÚNIOR; C.R. et al. Uma Análise na Dragagem do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú/Mangaba em Alagoas através de um Modelo Numérico Hidrodinâmico

Bidimensional –resultados preliminares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 9, n. 4, 2004, p. 21-31. ISSN 2318-0331.

SPENCER, C. P. The Micronutrients Elements, 1975. In: PEREIRA-FILHO, J.; SCHETTINI, C.A.F.; RÖRIG, L.; SIEGLE, E. Intratidal Variation and Net Transport of Dissolved Inorganic Nutrients, POC and Chlorophyll *a* in the Camboriú River Estuary, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 53, n. 2, 2001, p. 249–257.

STOMMEL, H. The role of density currents in estuaries. Proc. Minnesota International Hydraulics Convention, Minneapolis, University of Minnesota, 1953, p. 305-312.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. A practical handbook of seawater analysis. Ottawa: **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, 1972, 167 p.

TAPPIN, A. D. 2002. An Examination of the Fluxes of Nitrogen and Phosphorus in Temperate and Tropical Estuaries: Current Estimates and Uncertainties. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol.55, p. 885–901, 2002.

TROUSSELLIER, M. et al. Water quality and health status of the Senegal River estuary. **Marine Pollution Bulletin**, vol.48, p. 852–862, 2004.

TRUCCOLO, E. C. & SCHETTINI, C. A. F. 2009. **Condições meteo-oceanográficas costeiras na região do estuário o Rio Itajaí-Açú**. In: BRANCO, J.O.; LUNARDON-BRANCO, M. J. & BELLOTTO, V.R. (Org.). Estuário do Rio Itajaí-Açú, Santa Catarina: caracterização ambiental e alterações antrópicas. Editora UNIVALI, Itajaí, SC, p.75-90.

TUNDISI, J.G. et al. Reservoir management in South America. **World Water Dev**, **14**, 1998, p. 141-145.

TUNDISI, J.G.; MATSUMARA- TUNDISI, T. **Limnologia**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008. ISBN: 978-85-86238-66-6.

VANNUCCI, M. 1969. **Catalogue of marine larvae**. In: TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008. ISBN:978-85-86238-66-6.

VÖRÖSMARTY C.J., et al. 1997. The potential impact of neo-Castorization on sediment transport by the global network of rivers. In: MEDEIROS et al 2014. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, vol. 28, n.1, 2014, p.65-78.

WANG, D.P. 1979. Wind-driven circulation in the Chesapeake Bay, winter 1975. **Jour of Physical Oceanography**, vol. 9, p. 564-572.

WOLANSKI, E., MOORE, K., SPAGNOL, S., D´ADAMO, N., PATTIARATCHI, C. Rapid, Human- Induced Siltation of the Macro-Tidal Ord River Estuary, Western Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 53, p.717-732, 2001.

WOLLAST, R. Interactions of carbon and nitrogen cycles in the coastal zone. In: WOLLAST, R.; MACKENZIE, F.T.; CHOU, L. **Interactions of C, N, P and S Biogeochemical cycles and global change**. Berlin Heidelberg: Springer- Verlag, 1993. v.4p. 195-21. (NATO ASI Series 1: Global Environmental Change).

YÁÑEZ -ARANCIBIA, A. **Ecología de la zona costera: analisis de siete tópicos**. México: AGT, 1986. 189 p.

7. ANEXOS

A seguir são apresentados o registro fotográfico dos equipamentos utilizados durante a realização das coletas no estuário do Rio São Francisco durante o período em estudo. As imagens a seguir, são provenientes do LOCF (Laboratório de Oceanografia Física).



Foto 1: Sonda multiparamétrica para amostragem da salinidade e temperatura da água.



Foto 2: Display YSI acoplado a sonda multiparamétrica.

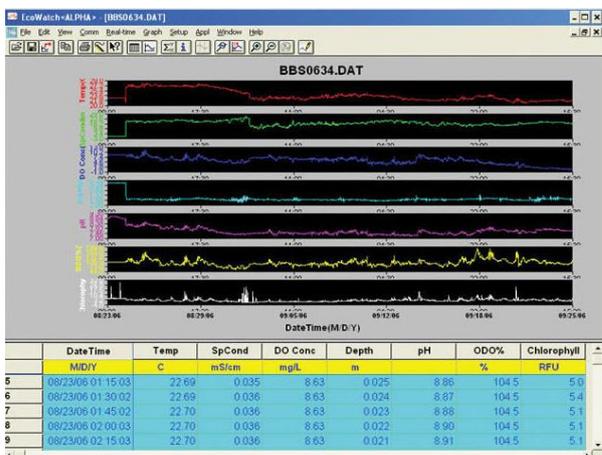


Foto 3: Visualização dos dados da sonda multiparamétrica para controle de qualidade durante o processo de amostragem.

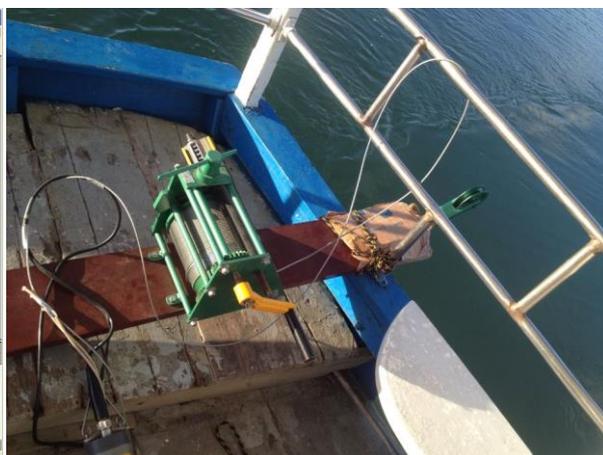


Foto 4: Guincho manual utilizado para descer a sonda multiparamétrica.



Foto 5: ADCP utilizado para medição da velocidade e direção da corrente.



Foto 6: Mesa de trabalho utilizada para programação dos instrumentos.

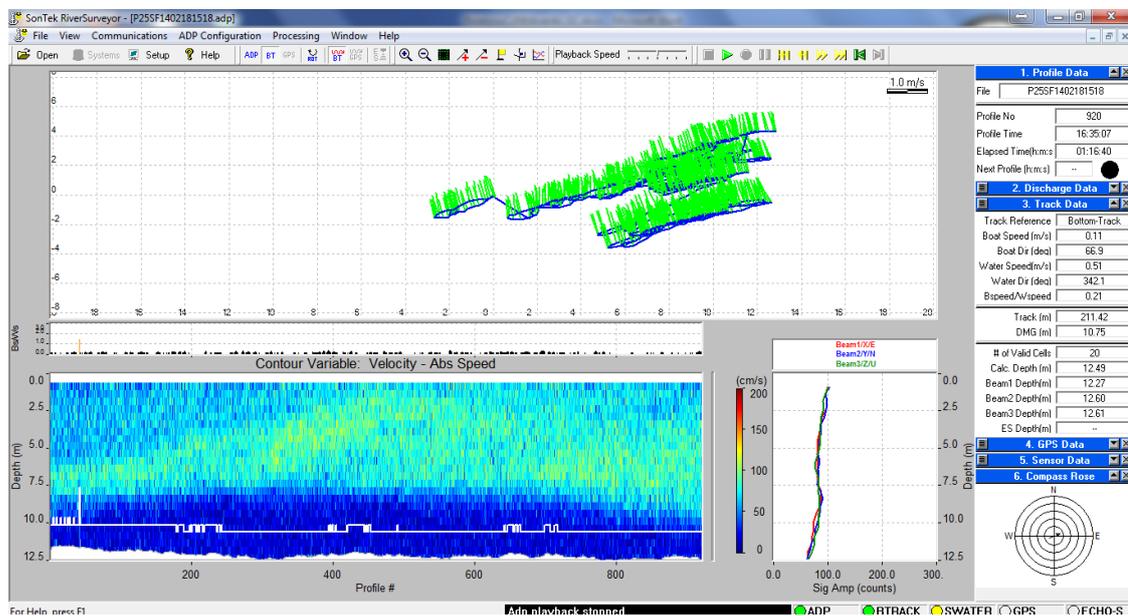


Foto 7: Visualização dos dados do ADCP para controle de qualidade durante o processo de amostragem.