



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE DOUTORADO EM
ASSOCIAÇÃO PLENA EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**



Tese de doutorado

NEUMA RUBIA FIGUEIREDO SANTANA

**HIDRODINÂMICA AMBIENTAL NO BAIXO SÃO FRANCISCO E SUAS
RELAÇÕES ANTRÓPICAS**

SÃO CRISTÓVÃO/SE

JUNHO/2017

NEUMA RUBIA FIGUEIREDO SANTANA

i

**HIDRODINÂMICA AMBIENTAL NO BAIXO SÃO FRANCISCO E SUAS
RELAÇÕES ANTRÓPICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe.

Orientador: Prof. Dr ANTENOR DE OLIVEIRA AGUIAR NETTO

SÃO CRISTÓVÃO/SE

JUNHO/2017

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S232h Santana, Neuma Rubia Figueiredo.
Hidrodinâmica ambiental no baixo São Francisco e suas
relações antrópicas / Neuma Rubia Figueiredo Santana; orientador
Antenor de Oliveira Aguiar Netto . – São Cristóvão, 2017.
XX f. : il.

Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –
Universidade Federal de Sergipe, 2017.

1. Hidrodinâmica. 2. Meio ambiente. 3. Educação ambiental. 4.
Salinização da água . I. Aguiar Netto, Antenor de Oliveira, orient.
II. Título.

CDU 556.536

NEUMA RUBIA FIGUEIREDO SANTANA

**HIDRODINÂMICA AMBIENTAL NO BAIXO SÃO FRANCISCO E SUAS
RELAÇÕES ANTRÓPICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, como requisito final para obtenção do título em Doutor (a) em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe. Aprovado em 19 de junho de 2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Antenor de Oliveira Aguiar Netto

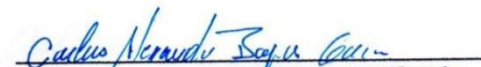
Orientador/Presidente/UFS



Profa. Dra. Allan Cunha Barros
Examinadora/-UFAL



Prof. Dr. Inaja Francisco de Sousa
Examinador/UFS


Profa. Dra. Carlos Alexandre Borges Garcia
Examinador/UFS


**Profa. Dra. Maria Lara Palmeira de Macedo
Arguelho**
Examinador/UFS

“Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos, sobrinhos, tios e avós. Em especial a minha avó Elvira Santana (In memoria)”.

AGRADEDIMENTO

Ao meu Deus que foi mestre, pai e companheiro durante este período de conhecimento. Grata pela bondade, providência, amparo e forças para finalizar esta pesquisa “A ti minha eterna gratidão e adoração”.

Neste trabalho as mãos amigas estiveram presente. Por isso agradeço aos meus pais, irmãos e familiares pelo incentivo, orações, afeto e encorajamento durante a participação nas disciplinas, idas a campo e escrita. Sem vocês acredito que seria bem mais difícil concluir esta etapa acadêmica.

Ao meu orientador Professor Dr Antenor de Oliveira Netto por assumir esse desafio e pelo incentivo constante do saber científico e profissional.

Aos bolsistas Samuel Barreto e José Carlos Benicio pela extrema cooperação nas coletas e na rotina diária da pesquisa: Parabéns pela atuação.

À Coordenadora do Prodema Profa. Dra. Maria José Soares Nascimento e aos professores do núcleo e secretaria.

Aos professores Inajá Francisco de Souza e Carlos Alexandre Borges Garcia por enormes contribuições para o amadurecimento deste trabalho.

Aos pesquisadores do grupo de pesquisa Acqua/UFS Anderson Nascimento do Vasco, Marinoé Gonzaga da Silva, Gregório Guirado Faccioli, Thassio Monteiro M. da Silva e em especial Edson Leal Menezes Neto, Ricardo Castillo Salazar, Carlos Prata, Fábio Brandão Brito, Sérgio Araújo, Jorge Yonuma Hotel Bonga, Kenneth Michael Doll, João Marcos e Crystiano Ayres.

A equipe do projeto Águas do São Francisco em destaque Thadeu Ismerim Silva Santos, Ricardo Rogério da Silva Santos, Érica de Oliveira e Flávia Nunes.

Ao motorista senhor Amaral por viagens tranquilas e provinciais.

Aos amigos de perto Aracaju/SE e de longe Salvador/BA encontrei em vocês apoio e risos.

À professora Carmem Regina Guimarães do departamento de biologia da UFS pelo auxílio nos equipamentos de campo.

Ao grupo de pesquisa Georiomar/UFS em especial ao professor Luiz Fontes e Jonas Ricardo dos Santos.

Ao professor Carlos Alexandre Borges Garcia, que por meio do Laboratório de Química ambiental e estendo a técnica Ana Carla pela atenção e apoio durante as coletas e análise.

A professora Yvonildes Medeiros por permitir a utilização do departamento de recursos hídricos da UFBA para a realização do treinamento SisBahia. Ao mestrando

Tiago Rosário pelo treinamento e acompanhamento na execução do modelo hidrodinâmico.

A secretaria de recursos hídricos de Sergipe

A FAPITEC e CAPES pela concessão da bolsa de doutorado auxílio financeiro durante os trabalhos de pesquisa.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente possibilitaram a finalização desse trabalho. Gratidão

RESUMO

A hidrodinâmica das águas de um rio que correm para o mar passa a estabelecer importante controle no volume e direção do curso de água, dentre elas a salinidade propriedade físico-química que representa a medida da concentração de sais dissolvidos pela massa de água. Isto porque a água reflete as condições ambientais de um rio. O presente estudo teve como objetivo avaliar a hidrodinâmica da foz e suas relações. A foz do rio São Francisco está localizada entre os estados de Sergipe e Alagoas apresenta uma planície fluviomarina constituída por várzeas e terraços fluviais e marinhos, representa uma área de extrema beleza natural e de relevância econômica para população local e está agregada na divisão geográfica do baixo São Francisco. Com uso de uma embarcação locada no município de Brejo Grande (SE) e com o auxílio de um GPS digital Garmin e-trex, realizou-se o registro das informações de latitude e longitude em UTM para mapear os pontos de coleta de água. Para modelagem ambiental da salinidade e das coórcientes de vazão utilizou-se o programa SiSbahia. Para verificação da qualidade da água e dos processos degradadores foram realizadas identificações dos pontos de amostragem através de medidas com sonda Multiparâmetros HI9828 durante os meses de fevereiro, março, abril, maio, setembro, novembro de 2015 e março de 2017. A sonda registrou salinidade, condutividade elétrica, Turbidez, Oxigênio dissolvido, Sólidos Totais, temperatura e pH. Para água de consumo foram coletas das águas em residências para verificação de pH, sódio e cloretos. Realizou-se entrevistas para verificação da percepção da salinidade com os moradores da região de Brejo Grande/SE e Saramém. Em seguida os dados quantitativos e qualitativos foram tratados através de software estatísticos e comparados com as Resolução CONAMA 357/2005 e Portaria MS 2914/2011. Os resultados apresentados para a modelagem ambiental demonstrou a ação da maré após o município de Penedo/AL, a salinidade registrada pela presença da cunha salina foi percebida a 11 km da foz. O pH variou entre 6,80 a 9,47 sendo que o valor máximo ocorreu no mês de fevereiro de 2015. Os valores de Oxigênio dissolvido na área avaliada oscilaram entre 4,68 a 9,27 ppm. Os valores sólidos totais dissolvidos variaram entre 7,0 mg.L⁻¹ a 7522 mg.L⁻¹. A maior concentração de sólidos totais dissolvidos registrado ocorreu no ponto 1 mês de novembro período seco e com regime de maré de sizígia com elevação do nível de água em 2.2m. Os valores de turbidez registrados foram entre 2,9 NFU e 47,07 NFU. Os valores da Condutividade elétrica variaram entre 10,00 (µS/cm⁻¹) a 13130,00 (µS/cm⁻¹). A concentração média de salinidade variou entre 0,17 a 28,87(‰) sendo que os maiores valores foram registrados a margem do município de Brejo Grande/SE e os pontos 39, 40 e 43 situados sentido Piaçabuçu no estado de Alagoas. O pH na água de consumo entre os municípios de Brejo Grande/SE e o povoado Saramém apresentaram valores médios dentro do limite estabelecido pela Portaria do ministério da saúde 2914/2011. Na avaliação do parâmetro de sódio e cloretos os valores médios obtidos no mês de maio de 2015, apresentaram-se entre 1962,85 mg.L⁻¹ e 2938,62 mg.L⁻¹. Em resposta as entrevistas semiestruturada os moradores informaram que a alteração no sabor da água era percebida durante a maré alta. Conclui-se que as concentrações de salinidade foram significantes e sinalizaram a atuação do período da maré para o aumento da mesma. A salinidade é um fator preocupante por comprometer diretamente os usos da água e afetar diretamente a biota na região. A atividade de educação ambiental possibilitou a percepção dos pescadores sobre os principais tipos de degradação ambiental que atua na região investigada.

Palavras chaves: Hidrodinâmica ambiental. Salinização. Ação antrópica .Educação ambiental.

ABSTRACT

The hydrodynamics of the waters of a river that flow to the sea establishes important control in the volume and direction of the watercourse, among them the physical and chemical salinity that represents the measurement of the concentration of salts dissolved by the water body. This is because water reflects the environmental conditions of a river. The present study had as objective to evaluate the hydrodynamics of the mouth and its relations. The mouth of the São Francisco river is located between the states of Sergipe and Alagoas presents a fluvio-marinha plain consisting of river and river basins and terraces, represents an area of extreme natural beauty and of economic relevance for local population and is aggregated in the geographic division of the low San Francisco. With the use of a boat leased in the municipality of Brejo Grande (SE) and with the aid of a digital GPS Garmin e-trex, the information of latitude and longitude in UTM was recorded to map the points of water collection. For the environmental modeling of the salinity and flow coefficients, the SiSbahia program was used. Sampling point identifications were carried out through measurements with HI9828 Multiparameter probe during the months of February, March, April, May, September, November, 2015 and March, 2017. The probe recorded salinity, Electrical conductivity, turbidity, dissolved oxygen, total solids, temperature and pH. For drinking water, water samples were collected in residences to verify pH, sodium and chlorides. Interviews were conducted to verify the perception of salinity with the residents of Brejo Grande / SE and Saramém. Then the quantitative and qualitative data were treated through statistical software and compared with CONAMA Resolution 357/2005 and Portaria MS 2914/2011. The results presented for the environmental modeling showed the action of the tide after the municipality of Penedo / AL, the salinity was recorded by the presence of the salt wedge reached 11 km of the mouth. The pH ranged from 6.80 to 9.47 and the maximum value occurred in February 2015. The values of dissolved oxygen in the evaluated area ranged from 4.68 to 9.27 ppm. Total dissolved solids ranged from 7.0 mg.L⁻¹ to 7522 mg.L⁻¹. The highest concentration of total dissolved solids occurred in the first month of November, dry period and with tidal regime of sizígia with elevation of the water level in 2.2m. The turbidity values recorded were between 2.9 NFU and 47.07 NFU. The values of electrical conductivity ranged from 10.00 ($\mu\text{S} / \text{cm}^{-1}$) to 13130.00 ($\mu\text{S} / \text{cm}^{-1}$). The mean salinity concentration ranged from 0.17 to 28.87 (‰), with the highest values being recorded in the municipality of Brejo Grande / SE and points 39, 40 and 43 located in Piaçabuçu in the state of Alagoas. The pH in drinking water between the municipalities of Brejo Grande / SE and the village Saramém presented average values within the limit established by the Ministry of Health Ordinance 2914/2011. In the evaluation of the parameter of sodium and chlorides the average values obtained in May of 2015 were between 1962.85 mg.L⁻¹ and 2938.62 mg.L⁻¹. In response to the semi-structured interviews the residents reported that the change in the taste of water was perceived during high tide. It was concluded that salinity concentrations were significant and signaled the performance of the tide period to increase the tidal period. Salinity is a worrying factor for directly compromising water uses and directly affecting biota in the region. The environmental education activity enabled the perception of the fishermen about the main types of environmental degradation that operate in the region investigated.

Keywords: Environmental hydrodynamics. Salinization. Anthropogenic action. Environmental education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa da Bacia hidrográfica do rio São Francisco, suas regiões fisiográficas em destaque o Baixo São Francisco.	56
Figura 2	Região do Baixo São Francisco, em destaque os municípios de Propriá/SE, Santana de São Francisco, Neópolis/SE, Ilha das Flores/SE, Brejo Grande/SE, Penedo/AL e Piaçabuçu/AL.	56
Figura 3	Baixo São Francisco, em destaque os municípios do estado de Sergipe e a relação com o acesso a água.	63
Figura 4	Baixo São Francisco, em destaque os municípios do estado de Alagoas e a realação com o acesso a água	64
Figura 5	Baixo São Francisco, em destaque os municípios do estado de Sergipe e o número de habitantes	65
Figura 6	Baixo São Francisco, em destaque os municípios do estado de Alagoas e o número de habitantes.	66
Figura 7	Vazões de consumo dos diferentes usos consuntivos na região do baixo São Francisco.	68
Figura 8	Perfil do uso e ocupação do baixo São Francisco em Sergipe	70
Figura 9	Demarcação dos pontos no curso da Foz do rio São Francisco	72
Figura 10	Pontos transversais e ao longo da margem sergipana da Foz do rio São Francisco	74
Figura 11	Pontos transversais e ao longo da margem alagoana da Foz do rio São Francisco.	75
Figura 12	Utilização do ADCP na área da foz do rio São Francisco	77
Figura 13	Perfil transversal do canal da foz do rio São Francisco entre o município de Brejo Grande e Piaçabuçu/AL. A e B: Seção transversal do canal principal da Foz do São Francisco	77
Figura 14	Embarcação com a sonda multiparâmetro e equipamentos para coleta das amostras;	79
Figura 15	Utilização da draga do tipo “Van Veen para coleta do solo	79
Figura 16	Coleta de amostras de água nas residências	80
Figura 17	Coleta de amostras de água nas residências	80
Figura 18	Espécies de macrófitas presentes na região do baixo são Francisco.	83
Figura 19	Gráfico dos valores máximos, médios e mínimos para pH na foz do rio São Francisco durante os períodos de sizígia e quadratura (A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005 (B).	86

Figura 20	Gráficos com a estatística descritiva para a variável oxigênio dissolvido da água na foz do rio São Francisco. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016(A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005.	89
Figura 21	Gráficos com a estatística descritiva para a variável sólidos totais dissolvidos para a água na foz do rio São Francisco. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016(A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005(B).	92
Figura 22	Gráficos com a estatística descritiva para a variável Turbidez da água na foz do rio São Francisco. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016(A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005(B).	92
Figura 23	Valores médios e máximos para salinidade na foz do rio São Francisco durante os períodos de sizígia e quadratura (A). Porcentagem para a salinidade nos dados obtidos(B).	97
Figura 24	Gráfico da estatística descritiva para a variável pH de qualidade da água de consumo no município de Brejo Grande/SE e Povoado Saramém (A) e (B) aceitabilidade pela Portaria do MS 2914/2011.	99
Figura 25	Gráficos dos valores médios do parâmetro Sódio (Na+) e Cloretos (Cl-) (A) e a correlação de Pearson para água de consumo município de Brejo Grande/SE e Saramém(B).	101
Figura 26	Gráficos da correlação de Pearson para água de consumo município de Brejo Grande/SE e Saramém(B).	101
Figura 27	Equação da quantidade de movimento, com aproximação hidrostática, na direção x:	114
Figura 28	Equação da quantidade de movimento, com aproximação hidrostática, na direção y:	114
Figura 29	Batimetria utilizada no domínio de modelagem.	116
Figura 30	Malha de elementos finitos do domínio de modelagem	117
Figura 31	Gráfico das vazões médias mensais no baixo rio São Francisco no período de 1979 a 2016 registrados pela estação fluviométricas no município de Propriá/SE.	118
Figura 32	Mapa com os pontos de vazão avaliados ao longo da foz do rio São Francisco.	119
Figura 33	Análise da correlação entre a velocidade de corrente da água medida e simulada no dia 17/12/2009 das 15:00h as 22:00h	121

Figura 34	Análise da correlação entre a velocidade de corrente da água medida e simulada no dia 18/12/2009 das 01:00h as 10:30h	121
Figura 35	Marés simuladas para o período de 16/09/2015 a 28/09/2015	122
Figura 36	Vazões simuladas no modelo hidrodinâmico região da Ilha Criminosa. (P1).	124
Figura 37	Velocidades simuladas no modelo hidrodinâmico região da Ilha Criminosa. (P1).	124
Figura 38	Simulação da hidrodinâmica da velocidade enchente (A). (B) Velocidade Foz a Piaçabuçu	126
Figura 39	Simulação da hidrodinâmica da velocidade vazante (A). (B) Velocidade Foz a Piaçabuçu	127
Figura 40	Mapa bacia hidrográfica rio São Francisco	132
Figura 41	Batimetria utilizada no domínio de modelagem para hidrodinâmica da foz do rio São Francisco	135
Figura 42	Malha de elementos finitos do domínio de modelagem para hidrodinâmica da foz do rio São Francisco	136
Figura 43	Gráfico das vazões médias mensais no baixo rio São Francisco no período de 1979 a 2016 registrados pela estação fluviométricas no município de Propriá/SE através da ANA	137
Figura 44	Mapa com os pontos de vazão avaliados ao longo da foz do rio São Francisco.	138
Figura 45	Gráfico da salinidade medida e simulada no ponto referência para validação dos dados	140
Figura 46	Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no Ponto 1.	143
Figura 47	Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P2	144
Figura 48	Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P3.	145
Figura 49	Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P4.	148
Figura 50	Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P5.	149

Figura 51	Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P3.	150
Figura 52	Simulação da hidrodinâmica da velocidade enchente (A). (B) Velocidade acima do município de Saúde e abaixo do município de Propriá/SE 26.09 as 14:30h 2.2m	151
Figura 53	Localização geográfica da área da foz do rio São Francisco	159
Figura 54	Imagens das macrófitas aquáticas utilizada como recurso visual nas entrevistas com os pescadores (A) e atividade com grupo focal(B).	160
Figura 55	Nível de escolaridade (A) e renda dos entrevistados no município de Brejo Grande/SE(B).	162
Figura 56	Atividade de renda (A) e causas da degradação na área da foz do São Francisco (B).	162
Figura 57	Perfil das respostas dos entrevistados sobre as espécies de macrófitas que prejudicam a navegação	166
Figura 58	Imagens das macrófitas aquáticas <i>Eichhornia crassipes</i> (A) e <i>Egeria densa</i> (B) na área da foz do rio São Francisco, município de Brejo Grande/SE	167
Figura 59	Captura de raia entre os pescados na área da foz do rio São Francisco	168
Figura 60	Atividade de educação ambiental na colônia de pescadores no município de Brejo Grande/SE	168

LISTA DE QUADRO

Quadro 1	Principais características socioeconômicas da região do baixo São Francisco.	66
Quadro 2	Informações sobre as datas, tipo de maré e período utilizadas na foz do rio São Francisco.	78
Quadro 3	Previsão de Maré de Sizígia na área da foz do São Francisco, com ciclo de 24 horas.	79
Quadro 4	Classificação da salinidade no meio aquático	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Coordenadas dos pontos localizados no município de Brejo Grande/SE	72
Tabela 2	Coordenadas dos pontos localizados no município de Piaçabuçu/AL	73
Tabela 3	Metodologia analítica adotada nas determinações dos parâmetros físico químicos das águas coletadas na área da foz do rio São Francisco	81
Tabela 4	Estatística descritiva para as variáveis de pH da água na foz do rio São Francisco coluna d'água Alagoas. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.	85
Tabela 5	Estatística descritiva para as variáveis de pH da água na foz do rio São Francisco coluna d'água Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.	86
Tabela 6	Estatística descritiva para a variável oxigênio para a água na foz do rio São Francisco coluna Alagoas. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.	88
Tabela 7	Estatística descritiva para a variável oxigênio para a água na foz do rio São Francisco coluna Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.	88
Tabela 8	Estatística descritiva para a variável sólidos totais dissolvidos e turbidez para a água na foz do rio São Francisco coluna Alagoas. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.	91
Tabela 9	Estatística descritiva para variável sólidos totais dissolvidos e turbidez para a água na foz do rio São Francisco coluna Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.	91
Tabela 10	Estatística descritiva para as variáveis condutividade elétrica, salinidade e temperatura para a água na foz do rio São Francisco coluna Alagoas. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.	96
Tabela 11	Estatística descritiva para as variáveis condutividades elétrica, salinidade e temperatura da água na foz do rio São Francisco coluna Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016	96
Tabela 12	Estatística descritiva para a variável pH de qualidade da água de consumo no município de Brejo Grande/SE e Povoado Saramém.	98

Tabela 13	Estatística descritiva para as variáveis Sódio(Na+) e Cloreto (Cl-) de qualidade da água de consumo no município de Brejo Grande/SE e Povoado Saramém.	101
Tabela 14	Avaliação estatística qualitativa sobre alteração do sabor da água de consumo no Povoado Saramém e Brejo Grande/SE.	102
Tabela 15	Valores de salinidade medido e simulado no ponto de referência	140
Tabela 16	Percepção dos pescadores sobre a degradação na área da foz do rio São Francisco.	163
Tabela 17	Percepção dos pescadores sobre a conservação do rio São Francisco.	163

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ADCP	Perfilador Acústico de Correntes pelo Efeito Doppler
ANEEL	Agência Nacional de energia elétrica
BHSF	Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CE	Condutividade elétrica
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CL-	Cloreto
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de pesquisa e de recursos minerais
LQA	Laboratório de Química Ambiental
pH	Potencial hidrogênico
PNRH	Plano nacional de recursos hídricos
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Sergipe
UHE	Usinas hidrelétricas

SUMÁRIO

Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras	ix-xii
Lista de Quadros	xiii
Lista de tabelas	xiv-xv
Lista de siglas	xvi
INTRODUÇÃO GERAL	20
OBJETIVO	21
ORGANIZAÇÃO DA TESE	22
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
1.1. Desenvolvimento sustentável e Recursos Hídricos	23
1.2 Bacia hidrográfica do rio São Francisco	27
1.3 Modelagem e Hidrodinâmica ambiental	31
1.4 Qualidade da água	36
Referências	
CAPÍTULO 2 QUALIDADE DA ÁGUA NA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO	49
Resumo	49
Abstract	50
2.1 Introdução	51
2.2 Metodologia	52
2.2.1 Caracterização da área de estudo	52
2.2.2 Características abióticas da área de estudo	56
2.2.3 Características bióticas da área de estudo	58
2.2.4 Características sócio econômicas da área de estudo	61
2.2.5 Impactos ambientais	66
2.2.6 Distintos olhares na região avaliada	68
2.2.7 Caracterização do regime hidrológico	70
2.2.8 Plotagem dos pontos de coleta	70
2.2.9 Caracterização do perfil estuarino	76
2.2.10 coleta das amostras e medição com sonda	78
2.2.11 Análise socioambiental	81
2.2.12 Análise estatística	84
2.3. Resultados e discussão	84
2.3.1 Qualidade da água na foz do rio São Francisco	84
2.3.2 Qualidade da água de consumo captada da foz do rio São Francisco.	97
2.4 Conclusão	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

CAPÍTULO 3: HIDRODINÂMICA DA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO COM USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

Resumo	109
Abstract	109
3.1 Introdução	110
3.2 Metodologia	111
3.2.1 Área de estudo	113
3.2.2 Modelo hidrodinâmico	115
3.2.3 Dados iniciais para modelagem	118
3.2.4 Forçantes do Modelo	118
3.2.5 Simulações dos cenários	119
3.3 Resultados e discussão	120
3.3.1 Calibração do modelo hidrodinâmico	120
3.3.2 Cenário hidrodinâmico na foz do rio São Francisco	122
3.4 Conclusão	124
REFERENCIAS	

CAPÍTULO 4: SALINIDADE NA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO COM USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

Resumo	129
Abstract	129
4.1 Introdução	130
4.2 Metodologia	131
4.2.1 Área de estudo	131
4.2.2 Modelo hidrodinâmico e 2DH	132
4.2.3 Dados iniciais para modelagem	134
4.2.4 Forçantes do Modelo	136
4.2.5 Simulações dos cenários	137
4.3 Resultados e discussão	139
4.3.1 Validação do modelo de salinidade para a área da foz do rio São Francisco	139
4.3.2 Cenários da salinidade na foz do rio São Francisco: Maré de sizígia/vazão período cheia e Maré de sizígia/vazão período vazante.	145
4.4 Conclusão	154
REFERENCIAS	

CAPÍTULO 5. ATIVIDADE DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO DA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO: PERFIL SOCIOECONOMICO DOS PESCADORES E DEGRADAÇÃO DO

Resumo	156
Abstract	156
5.1 Introdução	157
5.2. Material e métodos	158

5.2.1 Área de estudo	158
5.2.3 Coleta de dados	159
5.3 Resultados e discussão	161
5.3.1 Perfil profissiográfico e a percepção ambiental dos pescadores sobre a degradação na área da foz do rio São Francisco	161
5.4 Conclusão	169
REFERÊNCIAS	
APÊNDICES	172
ANEXOS	177

INTRODUÇÃO GERAL

Os rios são fundamentais para a população e equilíbrio dos recursos naturais, porém atualmente boa parte de seus tributários passam por fortes efeitos das ações antrópicas, dos quais sinalizam o avanço da degradação ambiental nesses ecossistemas. Estas alterações comprometem a sustentabilidade de grandes rios, entre estes podemos citar a bacia hidrográfica do rio São Francisco, que atualmente apresenta boa parte de seus afluentes em condições de risco. O rio São Francisco, passou por um período de construções de barragens das quais foram responsáveis por modificações naturais e sociais neste espaço, reflexo da ausência de estudos aprofundados do ambiente no período da instalação.

Para Medeiros et al (2007) uma das modificações mais notáveis da construção de barragens em rios é a regularização da vazão, objetivando um suprimento de água necessário à geração da energia hidroelétrica, causando grande redução na vazão natural, provocando um desequilíbrio de energia entre o rio e o mar. Conseqüentemente, essas alterações afetam a distribuição de água para consumo e modifica o ecossistema aquático, mediante a recarga de aporte de sedimentos, nutrientes e a salinidade.

Para Souza (2006), a salinidade é um importante indicador da qualidade da água e o aumento da intrusão salina em um rio pode ter efeitos adversos no sistema ambiental aquático. Além disso a salinidade é uma das variáveis que norteia os possíveis usos dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica tornando-se um desafio para os gestores (SANTOS, 2014). Oliveira et al. (2008) ainda destacam que a salinização pode trazer prejuízos ao abastecimento doméstico e a agricultura da região.

Segundo Aguiar Netto et al (2011) estes impactos podem também comprometer a economia e gerar problemas sociais para a população ribeirinha e aos centros urbanos. Ferreira et al (2011) destaca a relevância social e econômica na região do baixo curso do rio São Francisco, a qual atende a uma demanda de usos tais como: abastecimento das populações

ribeirinhas, irrigação, aquicultura, desenvolvimento de ecoturismo e navegação.

Dessa maneira o recurso hídrico é um bem precioso e deve ser mantido em condições adequadas ao uso e a manutenção de toda forma de vida na terra. Assegurar a qualidade dos rios é o desafio do século atual. Partindo destes pontos, as realizações de monitoramento de parâmetros, físicos, químicos e biológicos são essenciais ao processo de gestão das bacias, tais informações são fundamentais para a elaboração de planos e políticas que possam garantir o fornecimento de água, atendendo de forma adequada aos múltiplos usos (AGUIAR NETTO et al. 2011).

OBJETIVOS

GERAL: Caracterizar a hidrodinâmica ambiental e as ações antrópicas na foz do rio São Francisco.

ESPECIFICOS:

- ✓ Realizar o monitoramento qualitativo da água em áreas da foz do rio São Francisco.
- ✓ Modelar e simular o comportamento da hidrodinâmica com modelo computacional SisBahia na foz do rio São Francisco e elaborar cenários das velocidades da maré de enchente e vazante na região em estudo.
- ✓ Modelar e simular o comportamento da salinidade com modelo computacional SisBahia na foz do rio São Francisco e elaborar cenários sobre a distribuição da salinidade na região em estudo.
- ✓ Verificar os impactos sócio ambientais por meio de atividades de Educação ambiental em áreas da foz do rio São Francisco.

ORGANIZAÇÃO DA TESE

A tese apresentará a sua estrutura em capítulos dos quais serão direcionados conforme a seguir:

- ✓ No capítulo 01 será discorrida a fundamentação teórica com os principais temas: Desenvolvimento sustentável; Bacias Hidrográficas do rio São Francisco; Modelagem e hidrodinâmica ambiental e Qualidade de água.
- ✓ No capítulo 02 Avaliação da qualidade da água na foz do rio São Francisco
- ✓ No Capítulo 03 Salinidade na foz do rio São Francisco com uso de modelagem computacional.
- ✓ No Capítulo 04 Hidrodinâmica na foz do rio São Francisco com uso de modelagem computacional
- ✓ No Capítulo 05 Atividade de educação ambiental na região da foz do rio São Francisco: perfil socioeconômico dos pescadores e degradação do ambiente

Por último as considerações finais, referências bibliográficas, Apêndices e Anexos.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Desenvolvimento sustentável e recursos hídricos

O desenvolvimento sustentável é a base para utilização de qualquer recurso natural e necessariamente ao recurso hídrico, por ser este responsável pela manutenção da vida no planeta e um dos meios para o desempenho satisfatório do desenvolvimento urbano e rural. Silva e Mendes (2005) informam que, o conceito de desenvolvimento sustentável está vinculado ao acréscimo da preocupação com a manutenção e existência de recursos naturais e um ambiente adequado para a continuidade das futuras gerações.

De forma conceitual, a intenção é que o desenvolvimento sustentável estabeleça fios condutores nos principais processos necessários à atividade humana, porém, sem esquecer a conservação e o limite de usos dos recursos naturais. Para Setti e Bógus (2010), essa relação aponta uma preocupação na relação do homem e natureza nas últimas décadas, levantando debates no âmbito das avaliações dos efeitos perversos do modelo do desenvolvimento econômico no mundo inteiro.

A elevação destes debates tomou força a partir da conferência de Estocolmo em 1972. A partir desses diálogos, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente considerou a necessidade de uma visão e princípio comuns para guiar a humanidade na conservação e melhoria do ambiente humano (UNEP/United Nations Environment Programme, 2016). A consolidação deste argumento se dá ao proclamar em declaração que o homem é ao mesmo tempo obra e construtor do meio ambiente em que vive, o qual lhe dá sustento material e ao mesmo tempo oferece oportunidade para desenvolver-se intelectual, moral, social e espiritualmente (UNEP, 2016).

Lago (2006) destaca este evento como um movimento de libertação para livrar o homem da ameaça de sua escravidão, diante dos perigos que ele próprio criou para o meio em que vive. O autor ainda reforça que esse momento constituiu etapa histórica para a evolução do tratamento das questões ligadas ao meio ambiente no plano internacional. Porém, o tema ao ganhar crescente legitimidade internacional, passou a ser discutido cada vez

menos do ponto de vista científico, e cada vez mais no contexto político e econômico (LAGO, 2006).

Na perspectiva de desenvolvimento sustentável em caráter global, a Comissão Mundial sobre meio ambiente (CMAMD), em 1987, apresenta um relatório intitulado de *Nosso futuro comum*, o qual representa um dos primeiros esforços globais para compor uma agenda global para a mudança de paradigma no modelo de desenvolvimento humano (MADEIRA, 2014).

Este relatório aponta que a preocupação com o meio ambiente pode ser conduzida em uma cooperação entre países em desenvolvimento, e entre os países em diferentes estágios de desenvolvimento econômico e social, levando a realização de objetivos comuns e de apoio mútuo que tenham em conta as Inter-relações entre as pessoas, recursos, meio ambientes e desenvolvimento (BRUNDTLAND, 1987).

Gallo e Setti (2012) relatam que a sustentabilidade norteia diretrizes tanto para uma racionalidade que garanta a solidariedade e a cooperação mundial, quanto, para a continuidade do desenvolvimento e da própria vida para as gerações futuras. Setti e Bógus (2010), também explicitam que, os problemas ambientais, sociais e econômicos a serem enfrentados inserem a ideia de "desenvolvimento sustentável" como estratégia para reverter o quadro de pobreza, desmatamento e desigualdade social presente no mundo.

Neste sentido, iniciam-se fundamentos para a construção de uma sociedade global, no qual possam estabelecer a equidade justa e um conceito claro de desenvolvimento ambiental. O primeiro marco dá-se no documento intitulado "*A carta da terra*", compromisso idealizado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992. Esse documento foi redigido na década de 90, através de consulta aberta e participativa, afirmando uma pedagogia da sustentabilidade, onde reconhece que a proteção ambiental, o desenvolvimento humano, os direitos humanos e a paz são componentes interligados para harmonia entre a sociedade e o meio ambiente (SILVA, 2011).

Rattner (1999), afirma que um dos resultados mais perceptíveis das conferências internacionais nas últimas décadas, foi a incorporação da sustentabilidade nos debates sobre desenvolvimento. Contudo, o conceito de sustentabilidade transcende o exercício analítico de explicar a realidade e exige

o teste de coerência lógica em aplicações práticas. A fim de desincorporar a fórmula atualmente usada nos discursos políticos e científicos, “economicamente viável, socialmente equitativo e ecologicamente sustentável”, visto que, não levam as formas e meios de combinar e integrar metas sobre progresso técnico e produtividade com a proteção e conservação dos recursos naturais e do meio ambiente (RATTNER, 1999).

Incorporar sustentabilidade faz-se necessário, o uso da interdisciplinaridade contexto extremamente complexo quanto à aplicação. Foladori (1999) descreve que as variáveis econômicas, ambiental e social são aplicadas em suas próprias metodologias. Ou seja, o conceito de desenvolvimento sustentável não pode apenas proporcionar às gerações futuras um mundo material (bióticos e abióticos) igual no presente e no futuro, mas também deve relacionar uma equidade nas relações sociais possibilitando interligação.

Essa interligação na origem significa uma mudança de paradigma onde o esforço está representado na unidade homem e natureza. Sparemberger e Marques (2015) atentam um planejamento de desenvolvimento e julgam ser essencial que a sustentabilidade social, constrísse uma sociedade do ‘ser’, na qual houvesse a distribuição do ‘ter’, de modo, a melhorar as condições e os direitos da população.

Nascimento (2012), afirma que uma sociedade sustentável julga que todos os cidadãos tenham o mínimo necessário para uma vida digna e que ninguém absorva bens, recursos naturais e energéticos que sejam prejudiciais aos outros. Portanto, remetendo esses princípios à gestão do recurso hídrico, a água e os recursos correlacionados devem ser geridos em função do bem-estar humano, contribuir para a redução da pobreza e crescimento econômico (WWDR, 2015).

Castro e Scariot (2008) apontam que o acesso à água já é um dos fatores limitantes para o desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões. Ainda afirmam que, a ausência ou contaminação dos corpos hídricos, levam as reduções dos espaços de vida, e ocasionam, além de imensos custos humanos, uma perda global de produtividade social, ocasionando competições para seus diversos usos.

Atualmente no Brasil, os recursos hídricos têm sua gestão estabelecida por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados (PORTO e PORTO, 2008). As bacias hidrográficas, segundo Santana (2003), referem-se a uma compartimentação, geográfica natural delimitada por divisores de água. Esse compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes. De maneira geral, pode-se conceituar bacia hidrográfica como uma área geográfica natural, delimitada pelos pontos mais altos do relevo, dentro (dentre os) dos quais a água proveniente das chuvas é drenada, superficialmente, por um curso d'água principal até sua saída da bacia, no local mais baixo do relevo, que corresponde a foz desse curso d'água.

Do ponto de vista hidrológico, esses conceitos precitados abordados, trazem a definição de uma bacia hidrográfica, baseado nos fenômenos naturais encontrados no ciclo hidrológico, como a precipitação, evaporação, infiltração e escoamento. Entretanto, a bacia hidrográfica não deve apenas, ser compreendida como receptora e dispersora de águas (TUCCI, 2005), devem ser destacadas as condições atuais de disponibilidade hídrica e demanda desse recurso natural. Observando as condições climáticas, uso do solo, os usos preponderantes e suas prioridades, além do estabelecimento de pontos de monitoramento da qualidade e quantidade da água para seus determinados fins e manutenção dos ambientes.

Segundo Tucci, Hespanhol e Cordeiro Netto (2000), o Nordeste brasileiro apresentam condições hídricas desfavoráveis que combinam: evapotranspiração alta durante todo ano, baixa precipitação, subsolo desfavorável em muitas regiões (água salobra ou formação cristalino) e baixo desenvolvimento econômico social.

A região do baixo rio São Francisco está inserida na área do Nordeste brasileiro, e atualmente enfrenta grandes problemas ambientais, que para Ferreira et al. (2011), são mudanças significativas na dinâmica do rio, perda da fauna e flora, além de processos erosivos em suas margens promovendo assoreamento em seu leito.

Santos (2009) ainda destaca outros impactos socioambientais ocorridos no baixo curso do rio São Francisco, como a extinção do ciclo natural de enchentes do rio São Francisco mesmo, a supressão da exuberante hidrófila

de várzea e o rebaixamento do lençol freático que existiram no lugar enquanto durou a vazão natural do rio, e devido à falta dessa vazão aconteceu a extinção do ciclo da cultura arrozeira do qual a comunidade dependia para sobreviver.

Outra alteração significativa foi à diminuição da pesca artesanal em favor da pesca industrial. Para Pacheco e Lira (2004), a prática da pesca artesanal era muito utilizada na época de cheias quando as margens estavam invadidas pelas águas, alimentando as várzeas e pequenas lagoas marinhas de matéria orgânica, e diversas espécies de peixes e camarões, os quais eram criados extensivamente com ração complementar, feita de subproduto agrícola, sobretudo, derivado de arroz. Entretanto, o autor complementa que a ação dos barramentos de vários trechos do rio, alteraram as inundações periódicas as quais foram substituídas pelo controle da vazão de água, afetando a reprodução de peixes na região.

Estes cenários comprometem a sustentabilidade dos recursos hídricos desta região, além da qualidade sócio econômica da população. Visto que, fatores como a salinidade de suas águas, descarga de nutrientes provenientes dos resíduos da aquicultura industrial, ausência de saneamento básico e erosão ao longo da margem do rio, afetam drasticamente o equilíbrio ecológico e a saúde ambiental das localidades inseridas na Foz do rio São Francisco.

1.2 Bacia hidrográfica do rio São Francisco

Tucci (2007) considera a bacia hidrográfica como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitada, e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se as perdas intermediárias, os volumes evaporados e transpirados e também infiltrados profundamente.

Entretanto, Santana (2003), relata que o termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água. Esse compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes. De maneira geral, pode-se conceituar bacia hidrográfica como uma área geográfica natural, delimitada pelos pontos mais altos do relevo, dentro dos quais a água proveniente das chuvas é drenada

superficialmente por um curso d'água principal até sua saída da bacia, no local mais baixo do relevo, que corresponde à foz desse curso d'água.

Araújo (2010) reforça que são indispensáveis as pesquisas que analisam as bacias hidrográficas como unidade de estudo, uma vez que a mesma se constitui de uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista da integração, como da funcionalidade dos seus componentes, e que a análise do meio ambiente a partir do estudo das bacias hidrográficas, constituem uma forte ferramenta para o desenvolvimento de uma concepção no tratamento das questões sócio ambientais, permitindo que o pesquisador verifique as possíveis alterações provocadas pelas comunidades.

Nesse sentido, Cardoso et al. (2006) apontam que para avaliar o efeito que teria qualquer perturbação em uma bacia hidrográfica, é necessário antes conhecer muito bem as características hidrológicas do ecossistema natural, para posteriormente fazer a comparação com aqueles em que houve intervenções antrópicas. Por esse motivo, Botelho e Silva (2004), resume que a bacia hidrográfica poderia ser considerada um espaço privilegiado onde ocorrem as mais importantes interações ambientais, através da interação da água com os outros elementos naturais, e com as atividades antrópicas, podendo ser apontada como a unidade territorial mais adequada para a gestão não só dos recursos hídricos, mas de uma gestão ambiental integrada que tenha por objetivo final práticas sustentáveis.

Nascimento e Vilaça (2008) reforçam ainda que as bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos. E, o comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo do tempo ocorre por dois fatores, sendo eles, de ordem natural, responsáveis pela pré-disposição do meio a degradação ambiental, e antrópicos onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia.

Por esse motivo, o planejamento de bacias hidrográficas tem se desenvolvido em face às novas exigências demandadas pela sociedade ou pelo crescimento econômico, nos quais requerem água com qualidade para seus diversos usos. No contexto histórico, as bacias hidrográficas são áreas consideradas privilegiadas para a promoção do desenvolvimento regional, por

apresentar intensa diversidade de recursos naturais renováveis e não renováveis (ANA, 2014).

A bacia hidrográfica do rio São Francisco possui essas características além de agregar uma integralização entre estados, apresenta uma larga oferta de bens e serviços naturais, e se for tratada de maneira sustentável contribui para o equilíbrio econômico e dos ecossistemas do país (ANA, 2014).

Com a chegada dos primeiros europeus ao Brasil, o rio São Francisco possibilitou o meio de contato mais fácil e rápido entre as colônias. Isto porque, as colônias portuguesas estabeleceram-se em pontos separados, e o contato por terra era bastante difícil, devido à densidade da mata e presença de indígenas hostis possibilitando riscos durante a viagem (PIERSON, 1972). Logo em seguida, esse rio que banha os estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco, Sergipe, Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, foi considerado como o rio da 'integração nacional', deixando o legado sobre importância desse recurso hídrico para o povo brasileiro.

De acordo com Ramina (2014) o aproveitamento hidrelétrico do rio São Francisco iniciou-se por volta dos anos 50 e 60, em um ambiente demográfico, econômico, político e institucional muito diferente do atual. Gonçalves e Oliveira (2009) dialogam que boa parte no uso das águas do rio São Francisco está associada tanto à necessidade de aumento da capacidade energética, pela via da hidroeletricidade com a construção e grandes reservatórios, como aos grandes projetos de irrigação.

Embora, a geração de energia elétrica e a irrigação tenham forte importância econômica para o país, cabe destacar que a vazão do rio São Francisco está diminuindo, e já despontam vários problemas socioambientais em toda a sua dimensão, porém, hoje mais evidenciados na área da Foz entre os estados de Alagoas e Sergipe. Medeiros et al. (2011), destacam que o aproveitamento hidroelétrico está entre as principais causas dos impactos na bacia do rio São Francisco.

Ao todo, são nove hidroelétricas ao longo do rio São Francisco, responsáveis por alterações visíveis e drásticas ao ecossistema do rio, provocando imenso impacto social, alterando os regimes de cheias e vazantes

e comprometendo a reprodução de espécies (ZELLHUBER e SIQUEIRA, 2007). Os autores citados complementam que estas mudanças começaram a ocorrer por que o fluxo das águas passou a ser estabelecido pelas usinas hidroelétricas, modificando completamente seus regimes de cheias na estação chuvosa.

A existência desses problemas ocasiona uma pressão antrópica gerando um processo contínuo de degradação da bacia. Sabe-se que, a vazão específica média de longa duração, diminuem da nascente até a foz do rio o que acarreta, ainda mais, a disponibilidade de água para atender aos usos inseridos na bacia do rio São Francisco (KOSMINSKY e ZUFFO, 2009).

Cabe relatar, que o plano decenal de recursos hídricos da bacia do rio São Francisco (PHBSF), indica que a manutenção do ecossistema aquático requer vazões nunca inferiores a 30% da vazão média, porém a irrigação corresponde a 86% da vazão consumida e alguns conflitos entre os usos da água que já estão estabelecidos (KOSMINSKY e ZUFFO, 2009).

Para mediação destes conflitos, Martins et al. (2011), sugere a utilização da análise sobre disponibilidade hídrica ao longo do tempo, em rios que apresentem modificações no regime de vazões em decorrência da intervenções antrópicas como é caso do rio São Francisco, tornando-se essencial para a garantia de exploração duradoura do recurso. Vale ressaltar que inicialmente o uso principal no curso do rio São Francisco era a navegação, o qual servia como via de comunicação para o escoamento da produção regional, porém, é essencial a atenção aos demais usos tais como: o abastecimento humano, agricultura, pesca e pecuária, (RAMINA, 2014).

Do ponto de vista em extensão e diversidade, a área do rio São Francisco, está dividida em quatro unidades fisiográficas, o alto São Francisco que abrange a nascente até a cidade de Pirapora (MG); o Médio São Francisco, que se estende da cidade de Pirapora até Remanso (BA); o Submédio São Francisco, que percorre a Remanso até a cidade de Paulo Afonso (BA); e por fim, o baixo São Francisco, que está delimitado entre Paulo Afonso até a foz (PEREIRA et al. 2007).

Embora a geração de energia elétrica e a irrigação tenham forte importância econômica para o país, cabe destacar que a vazão do rio São Francisco está diminuindo, e já despontam vários problemas socioambientais. Estes problemas são reflexos da ausência de uma análise cuidadosa dos possíveis impactos ecológicos, isto agregado a um programa de modernização agrícola com aspectos dominantes econômicos, dando pequena importância aos impactos ambientais e sociais (ANDRADE, 1984).

1.3 Modelagem e hidrodinâmica ambiental

Um modelo é algo que serve para ser reproduzido, é uma representação em escala reduzida de um ambiente atual o qual comportam projeções futuras. A necessidade de simulações de cenários iniciou-se na medida em que a degradação ambiental ameaçava a qualidade e disponibilidade dos recursos naturais.

As degradações ambientais ameaçam o equilíbrio global dos compartimentos naturais, então, a previsão por dados matemático e computacional destes fenômenos são capazes de gerar modelos que podem ser utilizados em programas de monitoramentos e gestão ambiental.

Os modelos são ferramentas integradoras que apresentam uma visão dinâmica dos processos em sistemas ambientais complexos (SAMPAIO 2010). Para Santos (2007) as complexidades dos sistemas ambientais estão ligadas ao grande número de interações entre os fenômenos físicos, químicos e biológicos, e as equações matemáticas que os regem. Em geral, não são lineares e necessitam de poderosos softwares para uma modelagem mais adequada, por esse motivo o uso de modelos difundiu-se significativamente nas últimas décadas.

As vantagens do uso da modelagem em termos de pesquisa podem ser verificadas nos avanços obtidos em várias áreas do conhecimento, dentre elas a física, a química e a biologia entre outros, pressupondo a multidisciplinaridade (BASSANEZI, 2002). Bassanezi (2002) atentamente alerta que nenhum modelo deve ser considerado finito, pois este pode ser melhorado e que um bom modelo é aquele que propicia a formulação de novos modelos.

De acordo Christofolletti (1999), a modelagem é um instrumento metodológico científico, no qual consiste na construção de um conjunto de técnicas com a finalidade de elaborar um quadro simplificado sobre a reação do homem, perante o ambiente que o cerca.

Para Felgueiras (2001), o processo de modelagem considera que os processos da natureza resultam de interações espaço-temporais complexas entre os diversos elementos que os compõem. Dessa maneira, em um modelo matemático de um processo, as propriedades ambientais são tratadas como variáveis do modelo, enquanto que suas inter-relações são representadas por operações aritméticas ou lógicas.

Por meio destes modelos pode-se interpolar e extrapolar espacial e temporalmente as informações obtidas em poucos pontos onde os dados foram medidos, para toda a área de interesse. E quando os modelos, uma vez calibrados, são capazes de reproduzir valores nos pontos onde ocorreu as medições, de forma que podem ser usados para interpolar e extrapolar informações para além de tais pontos, através da simulação de cenários (ROSMAN, 2014).

Amorin e Silva (2009) simplificam o conceito do processo de modelagem ambiental, como o processo pelo qual o pesquisador transforma parte das informações do mundo real para o mundo computacional. Dessa forma, a modelagem aplicada em recursos hídricos pode envolver tanto o transporte de substâncias como a hidrodinâmica do próprio corpo hídrico (SOUZA et al. 2011).

As primeiras simulações que deram origem a modelagem ambiental, ocorreram por intermédio da modelagem matemática realizado pelos pesquisadores Street e Phelps em 1925, os quais proporam como objetivo a

simulação do perfil de oxigênio em rios e estuários (BATISTA, 2016). Este modelo até os dias atuais fornece base para desenvolvimento de novas pesquisas como as de Bezerra, Mendonça e Frischkorn (2008); Haider, Ali e Haydar (2012); Ricciardone, Pereira e Pereira (2011) e Kannel et al. (2011).

Quanto aos modelos hidrodinâmicos, estes entraram em vigor a partir da década de 60, com estudos realizados sobre a propagação de ondas que eram influenciadas por explosões nucleares e seus efeitos nas zonas costeiras em áreas do estuário do rio Reno no mar Norte da Europa (LEENDERTSE, 1967).

Como o passar dos anos vários trabalhos voltados à modelagem hidrodinâmica foram surgindo e aperfeiçoando com o avanço da tecnologia computacional, entre estes Al-Rabeb, Gunay e Cekirge (1990) que simularam as marés regidas pelo vento no Golfo Pérsico com utilização do HYDRO1 e HYDRO2.

Em continuidade ao processo de melhoramento dos modelos, novas ferramentas foram acopladas as avaliações hidrodinâmicas, tais como as simulações ecológica e de qualidade da água, os quais se pode citar diversas pesquisas, entre estas, Cunha, Rosman e Monteiro (2003); Lillebo et al. (2005); Cunha, Ferreira, Rosman e Teófilo (2006); Ji et al. (2007); Lacroix et al. (2007); Liu et al. (2008); Shi e Lu (2011); Dutta et al. (2013); Sokolovaa et al. (2013); Zhon et al. (2015); Baird et al. (2016) e Ganju et al. (2016).

No Brasil os trabalhos voltados a modelagem ambiental ganharam mais vigor depois da publicação da política nacional de recursos hídricos. Para Veiga e Magrini (2011) a promulgação da lei 9433/97 que instituiu a política nacional de recursos hídricos, introduziu mudanças importantes na gestão da qualidade e recursos ambientais. Larentis (2004) complementa que, a utilização da modelagem conjunta ao monitoramento, pode auxiliar no planejamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, proporcionando flexibilidade e redução de custo.

A modelagem tem sido um dos instrumentos necessários a gestão dos recursos hídricos, o Brasil tem buscado desenvolver e incorporar esses atributos para a prevenção e visualização impactos nos ambientes aquáticos. Entre os modelos hidrodinâmicos utilizados no Brasil estão o HEC-HAS,

software desenvolvido pelo centro de engenharia hidrológica (CEIWR-HEC) dos Estados Unidos da América, o sistema contém três elementos para análise de rio unidimensional 1D, entre estas, análises de fluxos, sedimentos e qualidade da água (USACE, 2010).

Verificou-se a utilização deste modelo por Souza, Collischonn e Tucci (2007) onde simularam a propagação de ondas de cheia ao longo de um trecho do rio São Francisco; Paiva, Collischonn e Bravo (2011) em rede de canais simulando trechos de rio; no rio Una em Pernambuco por Ribeiro et al. (2014); Almeida et al. (2016) em canais experimentais na Universidade Federal de Goiás.

Rosário (2014) ainda descreve cerca de 12 tipos de modelos hidrodinâmicos utilizados em pesquisas brasileiras, entre estes SOBEK, DIVAST, IPH-ECO, EFDC, DELFT-3D, ECOMSED, ELCOM, MOHID, POM, ROMS, MIKE e SisBahia possuindo capacidade de simular zona costeiras, reservatórios e rios.

Cabe destacar que a tendência para a escolha do modelo deve se justificar ao objeto de estudo e a disponibilidade de dados, fatores primordiais para uma modelagem eficiente. Por estes aspectos entre os modelos citados, a seleção do modelo hidrodinâmico SisBahia é visto como eficiente para áreas de reentrância e foz, não requerendo capacidade computacional elevada, completamente desenvolvido em condições ambientais brasileiras e de domínio público.

Criado no Brasil o Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental SisBahia, utilizado desde 1987 na área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica, e na Área de Banco de Dados do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, ambos da COPPE/UFRJ. (ROSMAN et al. 2001).

O modelo SisBahia apresenta um modelo hidrodinâmico de linhagem FIST (Filtered in space and time), que representa uma modelagem de corpos de água de superfície livre composto por uma série de modelos hidrodinâmicos (ROSMAN et al. 2001). O modelo também apresenta o sistema lagrangeano e euleriano.

O modelo lagrangeano baseia-se na medição ou determinação da aceleração de um ponto não fixo no espaço que acompanhe o escoamento ou trajetória do movimento, já o modelo euleriano consiste na observação de um ponto fixo (ASSAD et al. 2009).

Para Rosman (2011) o Modelo Euleriano de Transporte Advectivo-Difusivo (METAD) integrado na vertical (2DH), para escalares passivos e não conservativos. Escalares não conservativos, que representam a maioria das substâncias existentes na água, sofrem modificação de concentração através de processos físicos, biológicos e químicos.

Os processos de transporte, advectivo e difusivo, são resolvidos de forma idêntica ao METAD. Os processos biológicos e químicos, chamados de reações cinéticas, são definidos para cada substância, sendo, portanto, o diferencial deste modelo. O entendimento e a formulação destes processos são fundamentais para a construção do modelo de qualidade de água (ROSMAN, 2011).

Como a hidrodinâmica que ocorre em áreas de foz é dinâmica e movida pelos fluxos de maré às equações não são lineares e por isso mais complexas. A versão 3D do FIST resolve as equações completas de Navier-Stokes¹, com aproximação das águas rasas e utiliza uma eficiente técnica numérica em dois módulos, calculando, primeiramente, os valores da elevação da superfície livre através de um modelamento bidimensional integrado na vertical (2DH) e, em seguida, o campo de velocidades (ROSMAN, 2013).

O FIST3D possibilita simular a circulação hidrodinâmica em corpos de água naturais sob diferentes cenários meteorológicos, oceanográficos, fluviais ou lacustres (XAVIER, 2002).

O modelo também apresenta Modelos de Qualidade de Água: Trata-se de um conjunto de modelos de transporte Euleriano, para simulação acoplada de até 11 parâmetros de qualidade de água,

Verifica-se a utilização do modelo SisBahia na Baía de todos os Santos por Xavier (2002); em áreas estuarina na Baía de Vitória do Espírito Santo Rigo (2004); no litoral da região metropolitana de Recife/PE pelo Rolnnic (2008); Fernandes (2010) na foz do rio Amazonas; Em águas costeiras de

1 Equação que trata dos movimentos de fluidos

Fortaleza Pereira (2012); Sistema estuarino do arquipélago de Tinharé-Boipeba/BA por Barboza et al (2014) e na avaliação da salinidade no rio Almada Itabuna/BA Santos (2014).

1.4 Qualidade da água

A degradação da qualidade da água em rios brasileiros tem se tornado uma das preocupações na gestão dos recursos hídricos. Isto porque, segundo Souza e Gastaldini (2014) a qualidade da água reflete as condições ambientais da bacia hidrográfica, sendo assim, conhecer as características de qualidade da água amplia o conhecimento ecológico do ecossistema e possibilita detectar alterações provenientes da atividade humana.

Existem vários processos que degradam a qualidade da água de um rio, entre estes, o aumento de sedimentos depositado nos leitos dos rios, os quais provocam diminuição no escoamento e constitui barreiras para a penetração de luz nesses ambientes (DERISIO, 2007).

Outro parâmetro importante para verificação da dinâmica aquática dos rios é o teor de salinidade, visto que, valores excessivos podem comprometer o processo reprodutivo das espécies aquáticas e inviabilizar o consumo humano. Medeiros et al. (20013) acrescentam que a salinidade é fator determinante para a caracterização e a manutenção dos processos produtivos do ambiente, enquanto que, a mudança no fluxo de água doce afeta, fortemente, a concentração de nutrientes em geral, todos os parâmetros de qualidade da água. Adicionalmente, a qualidade da água à jusante, é influenciada pela intrusão de água salgada, especialmente alterando sua salinidade.

Para Branco (1993), a ação antrópica constitui a maior agressão à natureza, e estes problemas sempre envolvem os mananciais comprometendo o atual ou o futuro da qualidade da água que abastece a cidade. Lima (2001) afirma que as variedades de elementos lançados nos corpos d'água podem ser agrupadas em duas classes: pontual e difusa.

Os resíduos domésticos e industriais constituem o grupo das fontes pontuais por se restringirem a um simples ponto de lançamento, facilitando o sistema de coleta através de canais ou rede. Em geral, a fonte de poluição

pontual pode ser reduzida através de tratamento apropriado para posterior lançamento. A poluição difusa caracteriza-se por apresentar múltiplos pontos de descarga resultantes do escoamento em áreas urbanas, e ou agrícolas e ocorrem durante os períodos de chuva, atingindo concentrações bastante elevadas dos poluentes.

Segundo Rebouças (2002), os rios são as fontes disponíveis de água, nos quais a população pode ser abastecida em suas necessidades, porém o desenvolvimento urbano e rural pode comprometer a qualidade destas águas contaminando a rede de escoamento superficial com despejos de esgotos locais, inviabilizando o manancial, exigindo novos projetos de captação de águas em áreas mais distantes ou o uso de técnicas de tratamento mais intenso desta água e dos esgotos.

Os dejetos presentes nos esgotos domésticos são carregados aos cursos do rio, tornando fontes de micro-organismos patogênicos. Para avaliação destes micro-organismos existentes no ambiente aquático, a utilização dos parâmetros biológicos é importante para verificação de patógenos. Boa parte das nossas preocupações sobre a pureza das águas tem sido relacionada com a transmissão de doenças. Há vários critérios para um organismo indicador, um dos mais importantes é que o organismo esteja presente em números significantes nas fezes humanas, de forma que sua detecção seja uma boa indicação de resíduos humanos que estão sendo introduzidos na água (TORTORA; FUNKE e CASE, 2005).

Atualmente, a determinação das bactérias do grupo coliforme é um dos principais indicadores de contaminação biológica, por esse motivo os pesquisadores têm demonstrado enorme interesse no emprego de avaliações biológicas, isto se dá pelo fato da significativa resposta sobre as possíveis intervenções naturais e antrópicas que podem estar ocorrendo em um determinado recurso natural

Segundo Paula et al. (2013), nos ambientes aquáticos são múltiplas as fontes de poluição e o seu dinamismo no tempo e espaço, compreendendo uma série de consequências. Os diferentes usos a que são destinados requerem características qualitativas diferentes.

As exigências quanto ao grau de pureza variam de acordo com a utilização a que se destina a água e os padrões bacteriológicos de qualidade

da água são baseados na proteção do consumidor, a fim de evitar doenças de veiculação hídrica, que em sua maioria são causadas por microrganismos patogênicos de origem entérica pela rota fecal-oral e responsável por índices elevados de mortalidade em crianças.

Esses dados quando em conjunto avaliados, podem transcrever as características e o funcionamento dos corpos hídricos, análise que passou a ser fundamental para o desenvolvimento sustentável em uma bacia hidrográfica. Atualmente, vários programas para entendimento do comportamento hidrológico em bacias hidrográficas têm surgido como uma técnica que amplia a leitura dos fatores ocorridos nestes espaços hidrológicos (TUCCI, 2005).

REFERÊNCIAS

AL-RABEB, A. H; GUNAY, N. CEKIRGE, H. M. A hydrodynamic model for wind-driven and tidal circulation in the Arabian Gulf. **Appt. Math. Modelling**, Vol. 14, August.1990.

AMORIN, R. F.; SILVA, F. M.; Modelagem do processo de vulnerabilidade à erosão do Solo utilizando o SPRING. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5073-5080.

ANA - Agência Nacional de Águas. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu (Relatório). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, 2014.

ANDRADE, M. C. Produção de energia e modernização do vale do São Francisco. **Revista de economia política**, vol. 4. N 1, janeiro-março. 1984.

ARAÚJO, H. M. de et al. (Org.). Hidrologia e hidrogeologia: qualidade e disponibilidade de água para o abastecimento humano na bacia costeira do Rio Sergipe. In: VILAR, W. C.; ARAÚJO, H. M. (Org.). **Território, meio ambiente e turismo no litoral**. São Cristovão: UFS, 2010. p. 168-188

ASSAD, L. P. de F.; MANO, M. F.; DECO, H. T.; TORRES JUNIOR, A. R.; LANDAU, L. Noções básicas de modelagem hidrodinâmica computacional e de dispersão de poluentes. Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009

BARBOZA, C.D.N.; PAES, E.T.; JANDRE, K.A.; MARQUES, JR., A.N. Concentrations and fluxes of nutrients and suspended organic matter in a tropical estuarine system: The Tinharé-Boipeba Islands Archipelago (Baixo Sul Baiano, Brazil). **Journal of Coastal Research**: Volume 30, p. 1197 – 1209. 2014

BAIRD, M. E; ADAMS, M. P; BABCOCK, R. C; OUBELKHEIR, K; MONGIN, M; WILD-ALLEN, K. A; SKERRATT, J; ROBSON, B. J; PETROU, K; RALPH, P. J; O'BRIEN, R, K; CARTER, A. B; JARVIS, J. C; RASHEED, M. A. A biophysical representation of seagrass growth for application in a complex shallow-water biogeochemical model. **Ecological Modelling** 325 (2016) 13-27.

BASSANEZI, R.C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São Paulo, SP: Editora Contexto, 2002.

BATISTA, S. S. AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE AÇÕES ANTRÓPICAS SOBRE O SISTEMA COSTEIRO DE UBATUBA (SP) ATRAVÉS DE MODELAGEM AMBIENTAL. **Dissertação**. Universidade de São Paulo Instituto

de Energia e Ambiente Programa de pós-graduação em Ciência Ambiental. 2016. 121p.

BEZERRA, I. S.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H. Autodepuração de cursos d'água: um programa de modelagem Streeter-Phelps com calibração automática e correção de anaerobiose. *Revista Escola de Minas*, n.2, v.61, p.249- 255, 2008.

BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil..Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. Moderna. São Paulo, 1993.

BRUNDTLAND. UN Documents Gathering a body of global agreements: Our Common Future, Chairman's Foreword. 1987. Disponível em:< <http://www.un-documents.net/ocf-cf.htm>>. Acesso em: 16 de Julho de 2016.

CARDOSO, C. A. DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V..Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CASTRO. C. F.A; SCARIOT, A. Escassez de água cria nova injustiça: a exclusão hídrica. **PNUD**. 2008. Disponível em:< <http://www.pnud.org.br/gerapdf.php?id01=1067> Barlow M, Clark> Acesso em 10 de janeiro de 2016.

CUNHA C. L. N.; MONTEIRO, T.; ROSMAN P.C. C. Modelagem bidimensional de transporte de escalares não conservativos em corpos d'água rasos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 2002; 7:120-9.

CUNHA, C. L. N.; ROSMAN, P. C. C.; FERREIRA, A. P.; TEÓFILO, C. N. M. Hydrodynamics and water quality models applied to Sepetiba Bay. **Continental Shelf Research**, v. 26, n. 16, p. 1940-1953, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 236 p. 1999.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. São Paulo: Editora Signus. 2007. 224p.

DUTTAA, D; WILSON, K; WELSH, W. D; NICHOLLS, D; KIM, S; CETIN, L. O. A new river system modelling tool for sustainable operational management of water resources. **Journal of Environmental Management** 121 (2013) 13 e 28.

FELGUEIRAS, C.A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: O paradigma geoestatístico por indicação. 2001. 215p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

FERNANDES, R. D. Formação dos Bancos de Areia da Foz do Rio Amazonas. Tese Programa de Engenharia Oceânica – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica – COPPE/UFRJ. 2010

FERREIRA, R. A.; SILVA-MANN, R.; ARAGÃO, A. G.; REZENDE, A. M. da S.; SANTOS, T. I. S.; SANTOS, P. L.; CARVALHO, S. V. Á. As áreas ciliares na região do Baixo São Francisco: processo de ocupação e sua recuperação. In: LUCAS, A. A. T.; AGUIAR NETTO, A. O. (Org.). **Águas do São Francisco**. São Cristóvão: Editora UFS, 2011, v., p. 85-126.

FOLADORI, G. Sustentabilidad ambiental y contradicciones sociales. **Revista Ambiente & Sociedade** - Ano II - n 5 - 2o Semestre de 1999 19-34p.

GANJU, N. K.; KIRWAN, M. L.; DICKHUDDT, P. J.; GUNTENSPERGEN, G. R.; CAHOON, D. R.; KROEGER, K. D. Sediment transport-based metrics of wetland stability. *Geophysical Research Letters*. Vol. 42. 2015. p 7992-8000.

GALLO, E; SETTI, A. F. F. Abordagens ecossistêmica e comunicativa na implantação de Agendas territorializadas de desenvolvimento sustentável e promoção da saúde. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, 17(6):1433-1446, 2012.

GONÇALVES, C. U.; OLIVEIRA, C. F. de. Rio São Francisco: As águas correm para o mercado. **Boletim goiano de geografia**, Goiânia, v. 29, n. 2, p. 113 – 125. 2009.

HAIDER, H.; ALI, W.; HAYDAR, S. Evaluation of various relationships of reaeration rate coefficient fo modeling dissolved oxygen in a river with extreme flow variations in Pakistan. **Hydrological Process**. 2012.15 p.

JI, Z. G.HU, G.SHEN, J.WAN, Y. Three-dimensional modeling of hydrodynamic processes in the St. Lucie Estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 73 (2007)188 e 200.

KANNEL, P. R.; KANNEL, S. R.; LEE, S.; LEE, Y.; GAN, T. Y. A review of public domain water quality models for simulating dissolved oxygen in rivers and streams. **Environmental Modeling & Assessment**, n.2, v.16, p.183-204, 2011.

KOSMINSKY, L. ZUFFO, A.C. O Nordeste Seco e a Transposição do Rio São Francisco. ABR./MAI./JUN. **Rev Integração** Ano XV Nº 57.167-175. 2009. Disponível em: ftp://ftp.usjt.br/pub/revint/167_57.pdf> Acesso em 28 de setembro.2015.

LACROIX, G; RUDDICK, K; GYPENS, N. LANCELO, C. Modelling the relative impact of rivers (Scheldt/Rhine/Seine) and Western Channel waters on the nutrient and diatoms/Phaeocystis distributions in Belgian waters (Southern North Sea).**Continental Shelf Research** 27 (2007) 1422-1446.

LAGO, A. A. C. Estocolmo, Rio, Joanesburgo: O Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas. Brasília: Instituto Rio Branco (IRBr)/ Fundação Alexandre de Gusmão (FUNAG) – Ministério das Relações Exteriores, 2006.
LARENTIS, D. G. Modelagem matemática de qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas-RS. 159f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LEENDERTSE, J. J. Aspects of a computational model for long water wave propagation, Memorandum RH-5299-RR, Rand Corporation, Santa Monica. 1967.

LIMA, E. B. N. R. Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá. 206 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2001.

LIU, Y.; GUPTA, H.; SPRINGER, E.; WAGENER, T. Linking science with environmental decision making: Experiences from an integrated modeling approach to supporting sustainable water resources management. **Environmental Modelling and Software**, v. 23, p. 846–858, 2008.

LILLEBO, A. I.; NETO, J.M.; MARTINS, I.; VERDELHOS, T.; LESTON, S.; CARDOSO, P.G.; FERREIRA, S.M.; MARQUES, J.C.; PARDAL, M. A. Management of a shallow temperate estuary to control eutrophication: The effect of hydrodynamics on the system's nutrient loading. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 65, 697-707. 2005.

MADEIRA, W. V. Plano Amazônia sustentável e desenvolvimento desigual. **Revista Ambiente e Sociedade**. São Paulo v. XVII, n. 3. p. 19-34. jul.-set. 2014.

MARTINS, D. M. F; CHAGAS, R. M; MELO NETO, J. O; MELLO Jr. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revistas. Bras. Eng. Agrícola Ambiental**, v.15, n.9, p.1054–1061, 2011.

MEDEIROS, P. R. P; KNOPPERS, B; SOUZA, W. F. L; OLIVEIRA, E. N. Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Revista Braz. J. Aquat. Sci. Technol**, 2011, 15(1): 42-53.

NASCIMENTO. W. M.; VILAÇA, M. G.. Bacias Hidrográficas: Planejamento e Gerenciamento. **Revista eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**. Três Lagoas, n. 7, p. 102-121, 2008.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Revista estudos avançados** 26 (74), 2012. 51-64p

OLIVEIRA, F. A; PEREIRA, T. S. R; SOARES, A. K; FORMIGA, K. T. M. Uso de modelo hidrodinâmico para determinação da vazão a partir de medições de nível. **RBRH**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 707-718, 2016.

PACHECO. M. I. N.; LIRA, F. J. A piscicultura no Baixo São Francisco: possibilidades e limites. Economia política do desenvolvimento. **Revista economia política do desenvolvimento**. Maceió, vol. 1, n. 5, p. 67-95, maio/ago. 2009

PAIVA, R. C. D. COLLISCHONN, W. BRAVO, J. M. Modelo hidrodinâmico 1D para redes de canais baseado no esquema numérico de MacCormack. In: **RBRH : Revista brasileira de recursos hídricos**. Porto Alegre, RS Vol. 16, n. 3 (jul./set. 2011), p. 151-161.

PAULA, S. M.; RAMIRES, I.; SILVA, F. G. TEODÓSIO, T. K. C.; CAMPOS, K. B. G.; BRABES, K. C. S.; NEGRÃO, F. J. QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DOURADOS, MS – PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS. **Evidência**, Joaçaba v. 13 n. 2, p. 83-100, jul./dez. 2013
83

PEREIRA, S. B.; PRISKI, F. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.11, n.6, p.615–622, 2007

PEREIRA, S.P. Modelagem da qualidade bacteriológica das águas costeiras de Fortaleza (Nordeste do Brasil). Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, 2012. 174 p.

PIERSON, D. **O Homem no Vale do São Francisco**. Rio de Janeiro: SUVALE. 1972.

PORTO, M. F. A. PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estud. av.** 2008, vol.22, n.63, pp.43-60. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004> acesso em Dezembro de 2015.

RAMINA, R. H. Concepção uma estratégia robusta para Gestão dos usos Múltiplos das Aguas Bacia Hidrográfica Rio São Francisco. **CBHSF. COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO AGB - PEIXE VIVO**. n. 14, 2014.

RATTNER, H. Sustentabilidade – uma visão humanista. **Revista Ambiente & Sociedade** - Ano II - no 5, 2o Semestre de 1999. 233-240 p.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil - capital ecológico, uso e conservação**. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

RIBEIRO, A. N; J CIRILO, J. A; DANTAS, C. E. O; SILVA, E. R. S. Caracterização da formação de cheias na bacia do rio Una em Pernambuco: simulação hidrológica-hidrodinâmica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol. 20 no .2 . 2014.

RICCIARDONE, P. PEREIRA, O. DOS S.; PEREIRA, C. de S. S. Avaliação da Capacidade de Autodepuração do Rio das Mortes no Município de Vassouras/RJ. **Revista Eletrônica TECCEN**, Vassouras, v. 4, n. 3, p. 63-76, set./dez., 2011.

RIGO, D. Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na baía de Vitória, ES. 2004. Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

ROLLNIC, M.– Dinâmica de Ondas e Circulação no Litoral da Região metropolitana do Recife – Implicações para o Transporte de Sedimentos e Estabilidade da Costa. Tese Defendida pelo PPG-Oceanografia/UFPE 2008.

ROSMAN, P.C.C. Um sistema computacional de hidrodinâmica ambiental. In: Silva, R.C.V. (Ed.), **Métodos Numéricos Em Recursos Hídricos - Volume 5**. ABRH, 2001. p. 1-161.

ROSMAN, P. C. C. - Referência técnica do sisbahia - sistema base de hidrodinâmica ambiental. COPPE/UFRJ, 2011. Disponível: www.sisbahia.coppe.ufrj.br Acesso em: Abril de 2016.

ROSMAN, P.C.C. Referência Técnica do SisBaHiA. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ. 2013.

ROSMAN, P. C. C., (Ed.). Referência técnica do SisBaHiA®. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Março 2014, Disponível em: <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V95.pdf>. Acesso em: jun. 2016.

SAMPAIO, A. F. P. Avaliação da correlação entre parâmetros de qualidade da água e socioeconômicos no complexo estuarino de Santos-São Vicente, através de modelagem numérica ambiental. **Dissertação**. Universidade de São Paulo Programa de pós-graduação em ciência ambiental – PROCAM. 2010.155p

SANTANA, D.P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p.

SANTOS, R. G. Impactos socioambientais à margem do rio São Francisco: Resultado da falta de consideração da área de influência real. **GEOUSP** - Espaço e Tempo, São Paulo, Edição Especial, p. 81 - 91, 2009.

SANTOS, E. S. Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água em região de pororoca na foz do rio Araguari-AP. **Dissertação**. Fundação Universidade Federal do Amapá conservação internacional empresa brasileira de pesquisa agropecuária instituto de pesquisas científicas e tecnológicas do estado do Amapá. Pró-reitoria de pesquisa e pós-graduação Programa de pós-graduação em biodiversidade tropical. 2012. 114p.

SANTOS, J. W. B. Dinâmica da salinidade nas águas superficiais no curso inferior de uma bacia hidrográfica costeira. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação da Biodiversidade) - Universidade Estadual de Santa Cruz. 2014

SETTI, A. F. F.; BÓGUS, C. M. Participação Comunitária em um Programa de Intervenção em Área de Proteção Ambiental. Saúde Soc. v.19, n.4, p.946-960. São Paulo, 2010

SILVA, C. L.; MENDES, J. T. G. **Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável**. Agentes e interações sob a ótica multidisciplinar. Petrópolis: Vozes, 2005.

SILVA, J. A. **Direito Ambiental constitucional**. 9. ed. São Paulo: Malheiros, 2011.

SILVA, T. R. Análises hidrodinâmicas no trecho fluvioestuarino do rio Paraguaçu, em consequência da operação da usina hidrelétrica de pedra do cavalo. Dissertação. Programa de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento da Universidade Federal da Bahia - UFBA. 2014.104p.

SHI, J. Z. A short note on the dispersion, mixing, stratification and circulation within the plume of the partially-mixed Changjiang River estuary, China. **Journal of Hydro-environment Research** 5 (2011) 111e126.

SHI, J. Z.; LU, L. F. A short note on the dispersion, mixing, stratification and circulation within the plume of the partially-mixed Changjiang River estuary, China. **Journal of Hydro-environment Research**. Volume 5, Issue 2, June 2011, p 111-126.

SOKOLOVAA, E; PETERSSON, T. J. R; BERGSTEDTA, O; HERMANSSON, M; Hydrodynamic modelling of the microbial water quality in a drinking water source as input for risk reduction management. **Journal of Hydrology** 497 (2013) 15–23.

SOUZA, C. F; COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrodinâmica via aquisição remota de dados. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007.

SOUZA, J. F. A.; OLIVEIRA, L. R.; AZEVEDO, J. L.L.; SOARES, I. D.; MATA, M. M. Uma revisão sobre a turbulência e sua modelagem. **Rev. Bras. Geof. [online]**. 2011, vol.29, n.1, pp.21-41. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbg/v29n1/02.pdf>> Acesso em: <13 de janeiro de 2016>.

SOUZA, M. M; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro , v. 19, n. 3, p. 263-274, Set. 2014 .

SPAREMBERGER, R. F. L; MARQUES, C. A. M. Os homens “ocos” e o meio ambiente: Desenvolvimento Sustentável Para Quem? **Revista direito em debate**. Ano XXIV nº 43, jan.-jun. 2015 – p. 3-26

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO F. O. **A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025**. Brasília, GWP, 2000. 165 p.

TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento dos recursos hídricos no Brasil. **REGA**, v.2, n.2, dez. 2005

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4.ed, Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2007, p. 943.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 894 p.

UNEP. United Nations Environment Programm. Emerging Issues of Environmental Concern. UNEP Frontiers 2016. Disponível em:<https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/UNEP_Frontiers_2016_report_emerging_issues_of_environmental_concern.pdf. Acesso em: 19 de junho de 2016.

UNESP. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. Disponível em:<<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1503&l=en>>. Acesso em: 15 de junho de 2016.

USACE. HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, Version 4.1. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2010.

USACE-HEC. Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.5 – User’s Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 318 p., 2010.

VEIGA, B. E.; MAGRINI, A. Recursos hídricos, mudanças climáticas e adaptação: proposições para o Brasil à luz da União Europeia. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos, água – desenvolvimento econômico e socioambiental, v. 20, 2013, Bento Gonçalves. Anais. Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

XAVIER, A. G. Análise da hidrodinâmica da baía de Todos os Santos (BA). 205 f. Tese (Doutorado em Ciência em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.

WWDR (World water Assessment Programme). Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água para um mundo sustentável. UNESCO. 2015. 8p. Disponível em:<

http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf>. Acesso em: 31/06/2016.

ZELLHUBER, A; SIQUEIRA, R. Rio São Francisco em descaminho: Degradação e revitalização. In: Rio São Francisco transposição degradação ambiental alternativas. **Cadernos do CEAS**. Salvador centro de Estudos e Ação Social, nº 227, Julho-Setembro, 7-32p. 2007.

ZHOU, Y; GUO, S; CHONG-YU, XU; LIU, D; CHEN, L; WANG, D. Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (II): Case study. **Journal of Hydrology** 531 (2015) 977-991.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO

RESUMO

A água reflete as condições ambientais de um rio, sendo assim, conhecer a sua qualidade amplia o entendimento sobre a hidrodinâmica desse ecossistema e possibilita detectar ações antrópicas que afetam as atividades humanas e a manutenção dos processos ecológicos. O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água na foz do rio São Francisco e suas ações antrópicas. A foz do rio São Francisco está localizada entre os estados de Sergipe e Alagoas apresenta uma planície fluviomarinha constituída por várzeas e terraços fluviais e marinhos, representa uma área de extrema beleza natural e de relevância econômica para população local e está agregada na divisão geográfica do baixo São Francisco. Com uso de uma embarcação locada no município de Brejo Grande (SE) e com o auxílio de um GPS digital Garmin e-trex, realizou-se o registro das informações de latitude e longitude em UTM para mapear os pontos de coleta de água. Com o intermédio do método de perfilação acústica doppler (ADCP) realizou-se seção de batimetria no trecho da foz do rio São Francisco para determinação da vazão e profundidade. Para verificação da qualidade da água e dos processos degradadores foram realizadas identificações dos pontos de amostragem através de medidas com sonda Multiparâmetros HI9828 durante os meses de fevereiro, março, abril, maio, setembro, novembro de 2015 e março de 2017. A sonda registrou salinidade, condutividade elétrica, Turbidez, Oxigênio dissolvido, Sólidos Totais, temperatura e pH. Para água de consumo foram coletas das águas em residências para verificação de pH, sódio e cloretos. Realizou-se entrevistas para verificação da percepção da salinidade com os moradores da região de Brejo Grande/SE e Saramém. Em seguida os dados quantitativos e qualitativos foram tratados através de software estatísticos e comparados com as Resolução CONAMA 357/2005 e Portaria MS 2914/2011. Os resultados apresentados para o pH variaram entre 6,80 a 9,47 sendo que o valor máximo ocorreu no mês de fevereiro de 2015. Os valores de Oxigênio dissolvido na área avaliada oscilaram entre 4,68 a 9,27 ppm conforme. Os valores sólidos totais dissolvidos variaram entre 7,0 mg.L⁻¹ a 7522 mg.L⁻¹. A maior concentração de sólidos totais dissolvidos registrado ocorreu no ponto 1 mês de novembro período seco e com regime de maré de sizígia com elevação do nível de água em 2.2m. Os valores de turbidez registrados foram entre 2,9 NFU e 47,07 NFU. Os valores da Condutividade elétrica variaram entre 10,00 (μS/cm⁻¹) a 13130,00 (μS/cm⁻¹), onde o maior valor foi registrado no Ponto 7 e o menor valor no Ponto 38. A concentração média de salinidade variou entre 0,17 a 28,87(‰) sendo que os maiores valores foram registrados nos pontos 7 e 11 localizado a margem do município de Brejo Grande/SE e os pontos 39, 40 e 43 situados sentido Piaçabuçu no estado de Alagoas. O pH na água de consumo entre os municípios de Brejo Grande/SE e o povoado Saramém apresentaram valores médios dentro do limite estabelecido pela Portaria do ministério da saúde 2914/2011. Na avaliação do parâmetro de sódio e cloretos os valores médios obtidos no mês de maio de 2015, apresentaram-se entre 1962,85 mg.L⁻¹ e 2938,62 mg.L⁻¹. Em resposta as entrevistas semiestruturada os moradores informaram que a alteração no sabor da água era percebida

durante a maré alta. Conclui-se que as concentrações de salinidade foram significantes e sinalizaram a atuação do período da maré para o aumento da mesma. A salinidade é um fator preocupante por comprometer diretamente os usos da água e afetar diretamente a biota na região. Sugere-se que novas pesquisas sejam implementadas na região com a finalidade de monitoramento da cunha salina e seus potenciais riscos para a população do baixo São Francisco.

Palavras chaves: Qualidade da água. Salinização. Ações antrópicas.

ABSTRACT

Water reflects the environmental conditions of a river, so knowing its quality broadens the understanding of the hydrodynamics of this ecosystem and makes it possible to detect anthropic actions that affect human activities and the maintenance of ecological processes. The present study had as objective to evaluate the water quality in the mouth of the São Francisco River and its anthropic actions. The mouth of the São Francisco river is located between the states of Sergipe and Alagoas presents a fluvio-marine plain consisting of river and river basins and terraces, represents an area of extreme natural beauty and of economic relevance for local population and is aggregated in the geographic division of the low San Francisco. With the use of a boat leased in the municipality of Brejo Grande (SE) and with the aid of a digital GPS Garmin e-trex, the information of latitude and longitude in UTM was recorded to map the points of water collection. Using the Doppler acoustic profiling method (ADCP), a bathymetry section was carried out in the São Francisco river mouth to determine flow and depth. Sampling point identifications were carried out through measurements with HI9828 Multiparameter probe during the months of February, March, April, May, September, November, 2015 and March, 2017. The probe recorded salinity, Electrical conductivity, turbidity, dissolved oxygen, total solids, temperature and pH. For drinking water, water samples were collected in residences to verify pH, sodium and chlorides. Interviews were conducted to verify the perception of salinity with the residents of Brejo Grande / SE and Saramém. Then the quantitative and qualitative data were treated through statistical software and compared with CONAMA Resolution 357/2005 and Portaria MS 2914/2011. The results presented for the pH ranged from 6.80 to 9.47, with the maximum value occurring in February 2015. The values of dissolved oxygen in the evaluated area ranged from 4.68 to 9.27 ppm according to. Total dissolved solids ranged from 7.0 mg.L⁻¹ to 7522 mg.L⁻¹. The highest concentration of total dissolved solids occurred in the first month of November, dry period and with tidal regime of sizígia with elevation of the water level in 2.2m. The turbidity values recorded were between 2.9 NFU and 47.07 NFU. The values of electrical conductivity ranged from 10.00 ($\mu\text{S} / \text{cm}^{-1}$) to 13130.00 ($\mu\text{S} / \text{cm}^{-1}$), where the highest value was recorded in Point 7 and the lowest value in Point 38. The mean concentration of Salinity ranged from 0.17 to 28.87 (‰) and the highest values were recorded in points 7 and 11 located at the border of the municipality of Brejo Grande / SE and points 39, 40 and 43 located Piaçabuçu in the state of Alagoas. The pH in drinking water between the municipalities of Brejo Grande / SE and the village Saramém presented average values within the limit established by the Ministry of Health Ordinance 2914/2011. In the evaluation of the parameter of sodium and chlorides the

average values obtained in May of 2015 were between 1962.85 mg.L⁻¹ and 2938.62 mg.L⁻¹. In response to the semi-structured interviews the residents reported that the change in the taste of water was perceived during high tide. It was concluded that salinity concentrations were significant and signaled the performance of the tide period to increase the tidal period. Salinity is a worrying factor for directly compromising water uses and directly affecting biota in the region. It is suggested that new research be implemented in the region for the purpose of monitoring the salt wedge and its potential risks for the population of the lower São Francisco.

Key words: Water quality. Salinization. Anthropogenic actions.

2.2 Introdução

A água reflete as condições ambientais de um rio, sendo assim, conhecer a sua qualidade amplia o entendimento sobre a hidrodinâmica desse ecossistema e possibilita detectar ações antrópicas que afetam as atividades humanas e a manutenção dos processos ecológicos.

Para Oliveira, Campos e Medeiros (2010) verificar se um determinado corpo d'água possui condições satisfatórias é assegurar seus usos, porém, se faz necessário efetuar caracterização físico químicas, ou seja, avaliar a sua qualidade e comparar seus dados conforme classificação da Resolução CONAMA 357/05 e Portaria MS 2914/2011. O processo de avaliação depende fundamentalmente da escolha de parâmetros representativos para identificação do perfil degradador (OLIVEIRA, CAMPOS e MEDEIROS, 2010).

Devido ao crescimento populacional e econômico as necessidades de geração de energia, alimentos e uso do solo tornam-se intensas provocando modificações nos recursos naturais. Essas modificações refletem impactos de grande magnitude que de forma direta ou indiretamente podem afetar a qualidade das águas e limitar o seu uso.

A foz do rio São Francisco é uma área de extrema beleza natural e de relevância econômica para população local e está agregada na divisão geográfica do baixo São Francisco, entre os municípios de Brejo Grande/SE e Piaçabuçu/AL. Na região do baixo São Francisco está implantada em seu leito a última barragem correspondendo a Usina Hidrelétrica de Xingó esta com maior potencial de geração de energia no nordeste.

O processo de barramento em curso de rio interfere nos pulsos das vazões naturais alterando a dinâmica de suas águas e diminuindo seu fluxo ao longo do seu trajeto. A redução da vazão no rio São Francisco já é sinalizada como insustentável para garantia de seus usos, Martins et al, (2011) acrescentam que, o regime de vazões determinado pela regularização do rio para fins de geração de energia, constitui pontos de conflito entre abastecimento público, irrigação e vazão ambiental.

Santos et al (2013) analisam que, devido à regularização da vazão, a sua cunha salina oriunda das águas costeiras, já se prolifera em torno de 10 km adentro e a influência da maré se estende acima deste limite. A presença da cunha salina no curso de um rio provoca a salinização de suas águas adicionando sais que limitando o seu aproveitamento para abastecimento público, irrigação e processos ecológicos.

A cunha salina é levada para dentro do rio através das oscilações das marés, como a água do mar é mais densa que a do rio, o movimento de entrada e saída promove esse deslocamento. De acordo com Peter e Huber (2008) a cunha salina se move para traz e para frente com o ritmo diário das marés, então, ela adentra na maré alta e recua conforme maré baixa.

Mediante a regularização das vazões a ação do rio sobre o mar está lenta, permitindo que a cunha salina se desloque rio acima. Cavalcante et al (2017) complementam que a descarga do rio e as correntes de maré influenciam a circulação e o transporte de sal no estuário do rio São Francisco, sendo evidenciado principalmente nas marés altas.

Mediante ao exposto este trabalho teve como objetivo caracterizar a qualidade da água na área da foz do rio São Francisco e suas ações antrópicas e a possível limitação quanto ao usos.

2. 2 Metodologia

2.2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Francisco compreende, aproximadamente, 640.000km² de área de drenagem, cujo leito principal apresenta 2.697km de extensão com vazão média de 2.843,6m³/s (CBHSF, 2016). A nascente do rio São Francisco localiza-se na Serra da Canastra em

Minas Gerais, percorrendo os estados da Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal, ligando o Brasil do Sudeste ao Nordeste, representando 7,5% do país (AGUIAR NETTO et al 2011).

Segundo a Agência Nacional de Águas (2005) esta bacia está dividida em quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (Figura 1), para fins de planejamento essas áreas foram subdivididas em trinta e quatro pequenas bacias, e 12.821 microbacias com a finalidade de delinear por trechos os principais rios da região.

A característica geral das regiões fisiográficas corresponde a 16% da área da bacia, iniciando-se entre a nascente do rio principal na Serra da Canastra em Minas Gerais e confluência com o rio Jequitá, as principais hidrelétricas nesta localidade são Três Marias, retiro baixo e Queimado (CBHSF, 2016). O médio São Francisco é a maior representação da bacia do rio São Francisco ocupando 63% do seu território, as principais barragens são Sobradinho e Rio das Fêmeas. O submédio atinge 17% da área da bacia seguindo da barragem de Sobradinho a barragem de Xingó, as principais cidades são Petrolina (PE), Serra Talhada (PE), Juazeiro (BA) e Paulo Afonso (BA), incluem as barragens de Paulo Afonso I, II, III e IV, Xingó, Itaparica e Moxotó (CBHSF, 2016).

A menor região fisiográfica da bacia é representada pelo baixo São Francisco, correspondendo a 4% da área da bacia hidrográfica entre Xingó e a foz no oceano Atlântico. Localizada entre os paralelos de 8° e 11° de Latitude Sul e os meridianos de 36° e 39° de Longitude Oeste, com expansão territorial de 23.546,32km² representa a porção mais ocidental da bacia hidrográfica do São Francisco, abrangendo os estados da Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas culminando na sua foz (CAVALCANTI, 2011; LIMA et al 2010). Segundo Cavalcanti (2011) esta área se estende desde a usina hidrelétrica de Xingó (Canindé do São Francisco/SE) até a região da foz, correspondendo a uma extensão de aproximadamente 210 km.

A foz do rio São Francisco localizada entre os estados de Sergipe e Alagoas apresenta uma planície fluviomarinha constituída por várzeas e terraços fluviais e marinhos formados por depósitos quaternários e morros arredondados esculpidos em rochas sedimentares e cercado por tabuleiros

costeiros (SANTOS, 2010). A região da foz é sujeita a um regime de mesomarés, com marés semidiurnas (duas baixamares e duas preamares).

De acordo com Valente et al (2011), a foz possui uma área total de 100km² com ambientes de planície costeira e com influência direta das águas oceânicas, as planícies inundáveis tiveram a dinâmica hidrológica comprometida a partir das construções das barragens para geração de energia elétrica.

Para Fontes (2015), na região semi árida do baixo São Francisco contem, em sua maior parte, rios afluentes intermitentes e, enquanto os afluentes perenes só existem na região costeira destacando-se o posicionamento do município de Propriá/SE entre o semi árido e a região úmida (CARVALHO e FONTES, 2007).

Figura 1: Mapa da Bacia hidrográfica do rio São Francisco, suas regiões fisiográficas em destaque o Baixo São Francisco.

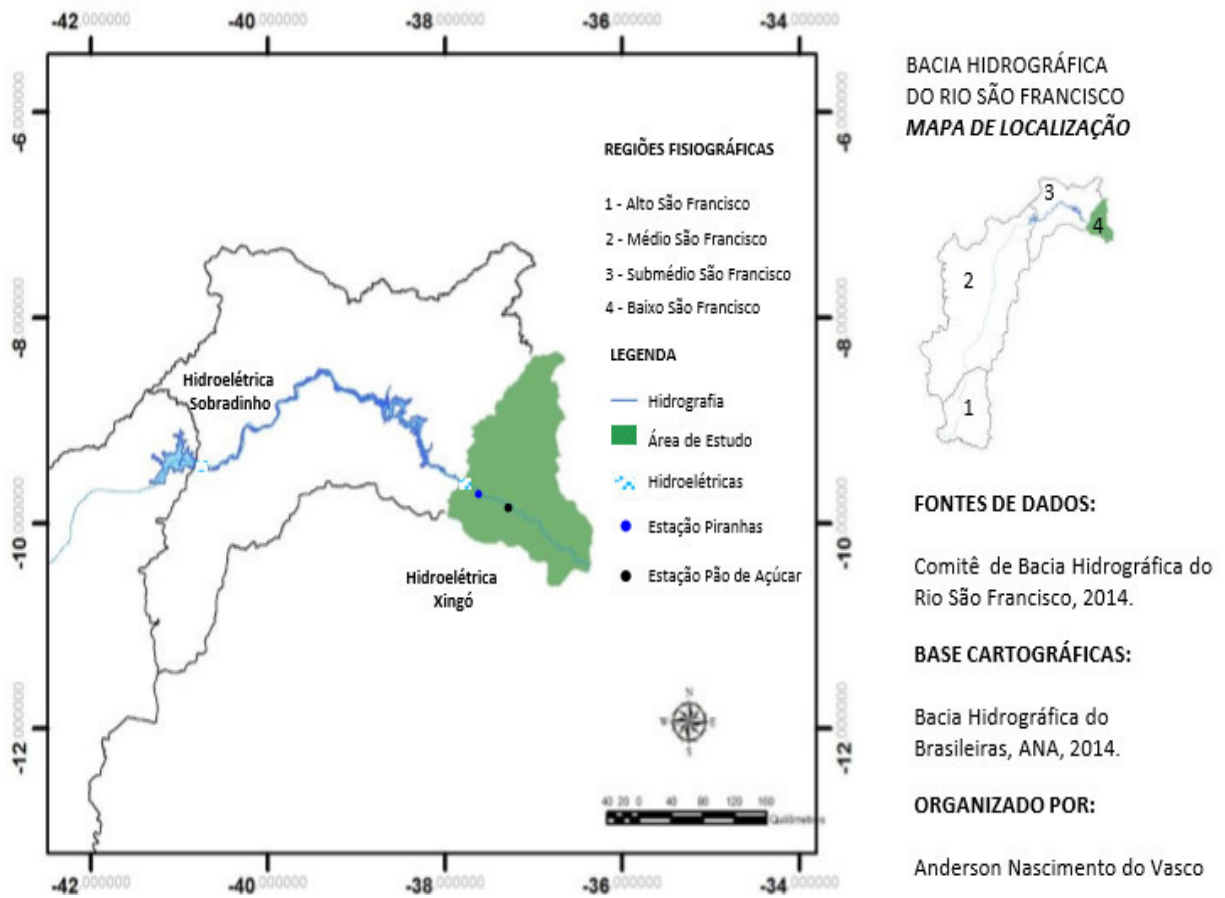
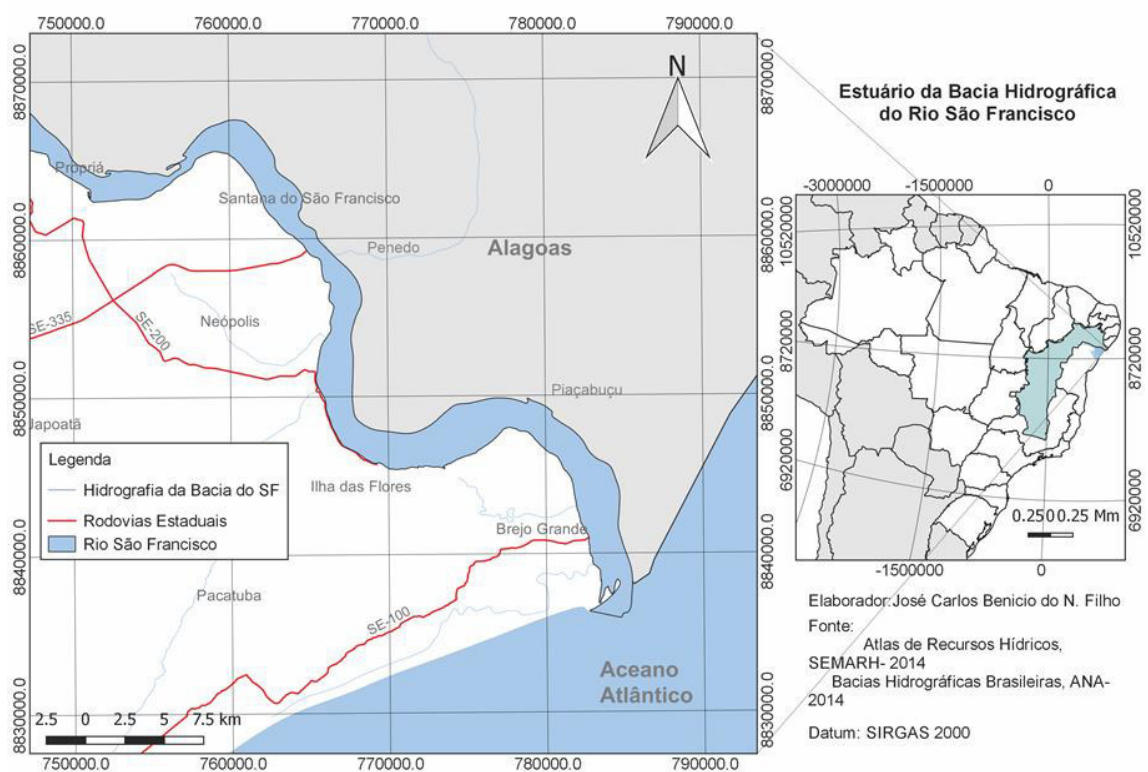


Figura 2: Região do Baixo São Francisco, em destaque os municípios de Propriá/SE, Santana de São Francisco, Neópolis/SE, Ilha das Flores/SE, Brejo Grande/SE, Penedo/AL e Piaçabuçu/AL.



2.2.2 Características abióticas da área de estudo

O baixo curso do rio São Francisco apresenta um “canyon” nos maciços remobilizados do pediplano na cidade de Paulo Afonso (BA), estendendo-se, em forma de cachoeiras em um leito rochoso com cascalhos, por cerca de 100 km até as proximidades da cidade de Pão de Açúcar (AL), interrompidos recentemente pelo lago da barragem da Usina Hidroelétrica de Xingó (CAVALCANTI, 2011).

Geologicamente situa-se inserida na província Borborema. Esta província é caracterizada pela existência de rochas metamórficas oriunda de choque entre placas tectônicas ocorrido no ciclo Brasileiro, sedimentos foram acrescidos no período Jurássico e Cretáceo para formação da estrutura geológica da área (BRASIL, 2002).

Mais de 80% do trecho compreendido entre Paulo Afonso (BA) e Propriá (SE) estão representadas por rochas do Pré-Cambriano Indiviso, sendo que os 20% restantes, distribuídos de Propriá até a Foz, se encontram representados por rochas Cretáceas do sub-Grupo Coruripe Indiviso da mesma forma e em igual proporção (10%), que os depósitos inconsolidados do Quaternário. Finalmente os 10% restantes, estão constituídos pelos sedimentos Terciários e Quaternários da Formação de Barreiras (BRASIL, 2006).

A geomorfologia é caracterizada por três domínios morfoestruturais, o primeiro, considerado como depósito sedimentar representado por planícies e tabuleiros formado por sedimentos com predominância inconsolidável estendendo-se por áreas marginais do rio São Francisco e pelos litorais de Sergipe e de Alagoas. As feições encontradas refletem as deposições de sedimentos acumulados em ambientes marinho, fluvial, flúvio marinho, eólico e coluvial (BRASIL, 2002).

Em continuidade o segundo domínio morfoestrutural é denominado de remanescente das raízes de dobramento, situado na porção central do Baixo São Francisco, aproximadamente entre as cidades de Porto da Folha e Propriá. Este Domínio é caracterizado por apresentar alinhamento de cristas e vales subsequentes e perpendiculares, resultantes da dissecação diferencial e do desgaste de estruturas dobradas e ocasionais exposições do seu embasamento (CAVALCANTI, 2011).

O terceiro domínio dos Maciços Remobilizados ocupa a maior área do baixo São Francisco, estendendo-se de Porto da Folha (SE) até Paulo Afonso (BA). É caracterizado por apresentar formas resultantes de erosão de blocos arqueados e deslocados por reativações tectônicas. Merece destaque a ocorrência de inselbergs, cristas e sulcos aprofundados nas zonas diaclasadas. Topografias planas aparecem em regiões protegidas do recuo remontante da erosão fluvial (CAVALCANTI, 2011; BRASIL, 2002).

A característica do solo é planossolo, neossolo, argilossolo, espodossolo, latossolo, entre as principais reservas minerais exploradas estão o granito ornamental e silvinita (BRASIL, 2016). No interior das ilhas são visualizados testemunhos antigos de pontais arenosos (spits), imobilizados pela propagação da linha de costa, que abrigam nas porções mais internas solos halomórficos sob a influência das marés, com vegetação característica de mangue (CARVALHO e FONTES, 2007).

Na região da foz do rio São Francisco, ocorre de forma intensa a interação entre os processos fluviais e marinhos. A principal contribuição do rio se dá pelo aporte de água doce (mensurada através das vazões) e da carga de sedimentos. O oceano participa com a água salgada, cujo deslocamento promove a dinâmica costeira através das correntes litorâneas, do comportamento das ondas e do regime de marés. Quando o rio São Francisco era um rio natural, não controlado pelo homem por meio das barragens, as suas descargas líquida e sólida se impunham na região da foz, determinando, em grande parte, as feições morfológicas e a distribuição da erosão e sedimentação na zona costeira adjacente (CBHSF, 2013).

O clima no baixo São Francisco passa gradualmente de árido a semiárido no interior do continente e de sub úmido para úmido na região costeira onde fica localizada a foz. Entre Propriá (SE) e a zona costeira a temperatura média situa-se entre 23 a 26°C e em situações normais é marcada por estação chuvosa bem definida e com chuvas abundantes (FONTES, 2015). Em relação à pluviosidade com duas estações marcantes, sendo a chuvosa entre os meses de abril e agosto e a seca entre setembro e março (MEDEIROS, 2003).

O São Francisco é um dos poucos rios perenes situado na área de

trabalho, sendo utilizado para diferentes finalidades sociais e econômicas como: abastecimento de água para populações urbanas (inclusive a cidade de Aracaju), diluição de efluentes domésticos, abastecimento de agricultura irrigada, com plantio de culturas de ciclo curto, aquicultura, ecoturismo, navegação e exploração da hidroeletricidade através da Usina de Xingó, da Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF (BRASIL, 2002)

O aporte de água nesta região está condicionada as regulares modificações na vazão e com valores contínuos interferindo no processo de sazonalidade devido a influência dos barramentos. Vasco (2015) apresenta que a construção dos reservatórios modificou drasticamente a sazonalidade no baixo São Francisco impossibilitando adoção de vazões que se aproxime da vazão natural do rio. Para o autor, a adoção de valores sazonais é a melhor maneira de representar as condições naturais de um rio. Vasco (2015) durante sua pesquisa apresentou valores de vazões em $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$, atualmente a vazão registrada está em torno de $900 \text{ m}^3/\text{s}$, com indicativos de redução para $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ressalta-se que no baixo São Francisco encontra-se a hidrelétrica Xingó, pertencente à Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), com uma capacidade instalada de geração de energia em torno de 3.000 MW. Grande parte dessa energia gerada é exportada para os grandes centros Urbanos do Nordeste (BRASIL, 2002).

2.2.3 Características bióticas da área de estudo

A cobertura vegetal da região do baixo São Francisco contempla fragmentos de vários ecossistemas. A caatinga abrange a parte oeste da bacia hidrográfica, já a mata atlântica na parte leste e à medida que o rio São Francisco alcança a foz ocorre formações pioneiras fluvio marinhas (FERREIRA et al 2015).

A distribuição da vegetação no baixo São Francisco varia do interior para a zona costeira. As extensas áreas de caatinga representam a camada original na região do Baixo São Francisco e constitui num tipo xerófito de vegetação, ou seja, com adaptações funcionais contra a falta de água, desenvolvidas em

função do baixo nível de precipitação pluviométrica da região do semiárido, (FONTES, 2015).

Ocorrem duas variações fisionômicas desse tipo de vegetação: a caatinga arbórea densa e a caatinga arbórea aberta. A primeira pode ser caracterizada estruturalmente por apresentar um estrato arbóreo denso com espécies que variam de 8 a 10 m de altura; um estrato formado por arbustos espinhosos e perenes e, por último, um estrato herbáceo estacional. A segunda variação fisionômica apresenta uma cobertura lenhosa de estrutura aberta e porte baixo deixando exposto o estrato campestre. Este tipo de caatinga pode ser encontrado em condições naturais em áreas de clima acentuadamente seco e ocorrência de solos litólicos (BRASIL, 2002).

Segunda Ferreira et al (2005) das espécies arbóreas e arbustivas mais frequentes nesta região estão *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz (catingueira), *Aspidosperma pyriforme* Mart. (pereiro), *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B. Gillett (imburana-de-cambão), *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. (mororó), *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (pinhão-bravo), *Cereus jamacaru* DC. (mandacaru), *Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber) Byles & G.D. Rowley (xique-xique), *Schinopsis brasiliensis* Engl. (braúna), *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (pau-ferro), *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro), *Spondias tuberosa* Arruda (umbuzeiro) e *Myracrodruon urundeuva* Allemão (aroeira).

Na área em questão os principais tipos de vegetação são a Floresta estacional semidecidual, mangue e vegetação litorânea (BRASIL, 2006). Nos canais de Parapuça e Poço ocorre maior desenvolvimento dos manguezais, que ocupam uma área de 21,68 km². A *Rhizophora mangle* é a espécie dominante, adaptando-se bem a este ambiente por possuir raízes-escora que permitem a sua fixação em sedimentos fisicamente inconsolidados (CARVALHO e FONTES, 2007). Restingas e Manguezais são dois tipos de ambientes que aparecem no litoral de Sergipe e de Alagoas.

As plantas aquáticas, com espécies típicas de ambientes de água doce, tais como *Montrichardia arborecens*, *Eichhornea sp.* e *Salvinia sp.*, presentes em alguns pontos, além dos bancos de lama ocupados por indivíduos dos gêneros *Crenea* e *Juncus* complementam a paisagem da vegetação do curso

do rio (SEMENSATTO JUNIOR, 2006).

A região do Baixo São Francisco também expressa uma alta diversidade de endemismo. Endemismo segundo Sigrist e Carvalho (2008) são áreas caracterizadas pela presença de espécies de distribuição restrita. As espécies endêmicas são importantes para conservação de ambientes, na área do baixo São Francisco já foram catalogadas 79 espécies endêmicas, sendo que 59 (10,8%) da Caatinga e 20 (3,6 %) da Mata Atlântica (FERREIRA et al 2015).

Aves migratórias utilizam a área da foz do rio São Francisco para alimentação e descanso quando estão em passagem pelo litoral brasileiro. Espécies migratórias o bobo-pequeno (*Puffinus puffinus*, *Procellariidae*); a águia pescadora (*Pandion haliaetus*, *Pandionidae*); os representantes da família Charadriidae, batuiruçu-de-axila-preta (*Pluvialis squatarola*) e batuíra-de-bando (*Charadrius semipalmatus*); os representantes da família Scolopacidae, maçarico-de-costas-brancas (*Limnodromus griseus*), maçarico-galego (*Numenius phaeopus*), maçarico-pintado (*Actitis macularius*), maçarico-solitário (*Tringa solitaria*), maçarico-grande-de-perna-amarela (*Tringa melanoleuca*), maçarico-de-perna-amarela (*Tringa flavipes*), vira-pedras (*Arenaria interpres*), maçarico-de-papo-vermelho (*Callidris canutus*), maçarico-branco (VALENTE et al, 2011).

No baixo São Francisco há registro de 33 espécies de peixes de água doce, 7 introduzidas, 14 espécies marinhas e 1 híbrida (Tambacu) (COSTA, 2003). Além de peixes é possível ver também répteis e mamíferos, porém algumas espécies já não são mais tão comuns de serem vistas, a onça pintada, por exemplo, está extinta na região da Foz do Velho Chico.

A biodiversidade na região litorânea é registrada pela presença de APA (Área de proteção ambiental) conceituada como área extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos naturais, estéticos e culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações (MMA, 2011). A APA Piaçabuçu possui 18 mil hectares, com áreas alagadas, florestas de restinga e um mosaico de espécies vegetais e animais. Consiste em uma região caracterizada pela presença de dunas e gramíneas em expansão. As dunas são um cordão arenoso de 19 km que acompanha a praia desde o Pontal do Pebá à Foz do rio São Francisco, com largura variando entre 700-

800m de largura, margeando o lado oposto ao continente (CABRAL, AZEVEDO JUNIOR e LARRAZABAL, 2006).

2.2.4 Características sócio econômicas da área de estudo

A distribuição populacional no baixo São Francisco corresponde a, aproximadamente, 2.421.150 habitantes, sendo que 62,54% (1.514.119 habitantes) pertencem aos estados de Alagoas e Sergipe. De acordo com o Censo 2010, a população desses dois estados residentes às margens do Baixo São Francisco, corresponde a um total de 442.728 habitantes (BRASIL, 2013).

A situação domiciliar na bacia Hidrográfica do Rio São Francisco tem demonstrado uma tendência de crescimento da proporção de habitantes no setor urbano, com um acréscimo de 69% em 1991 para 75,9% em 2000 (ATLAS BRASIL, 2011). Contudo, a realidade dos municípios ribeirinhos analisados mostra que a taxa de urbanização foi de 52,87%, ou seja, inferior às médias de crescimento alcançadas ao longo dos últimos vinte anos (BRASIL 2013). Fatores como educação, saneamento e saúde são essenciais para o crescimento da população e a deficiência no atendimento a estes serviços impede o crescimento econômico da região.

Segundo (BRASIL, 2006) o baixo São Francisco representa 10,7% da população da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a maior parte dos municípios não apresenta população superior a 100.000 habitantes, registro do crescimento populacional e características socioeconômicas podem ser vistas no quadro 1. As principais atividades socioeconômicas agregam a agricultura, pecuária, pesca e aquicultura.

De acordo com o Censo 2010, a população de Sergipe e Alagoas residentes às margens do Baixo São Francisco, corresponde a um total de 442.728 habitantes. Em relação ao item saneamento básico a região do Baixo São Francisco reproduz o que se visualiza em diversas áreas do país, isto é, um atendimento sanitário ainda insatisfatório.

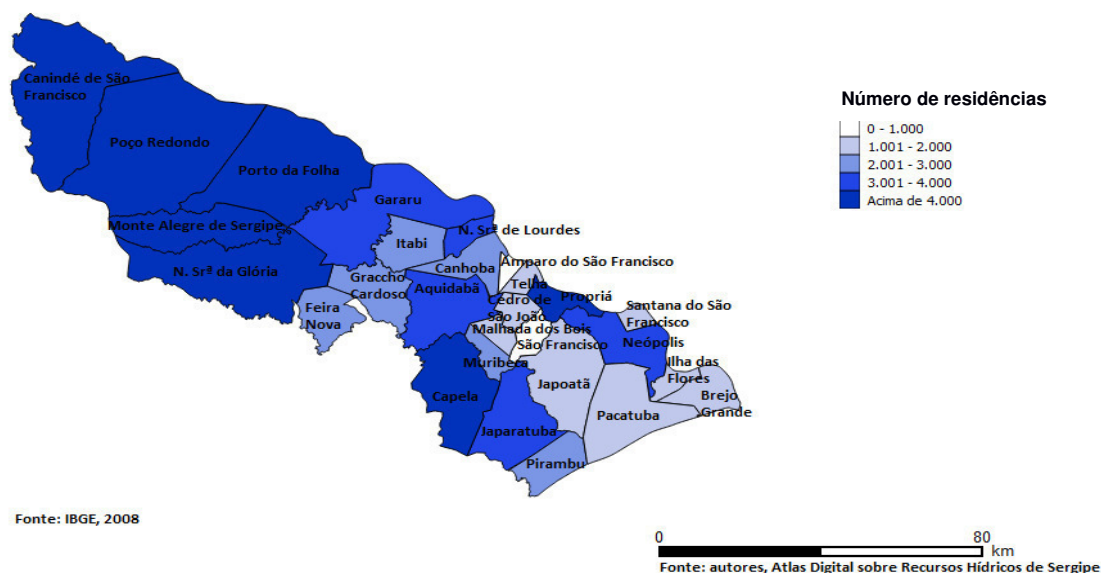
Entende-se que a partir de medidas de saneamento básico é possível melhorar as condições de vida da população rural, bem como das comunidades de agricultores familiares. Entre essas medidas estão os serviços

de esgotamento sanitário, que podem ser definidos como o conjunto de obras e instalações destinadas à coleta, transporte, afastamento, tratamento e disposição final das águas residuárias da comunidade, de uma forma adequada do ponto de vista sanitário (IBGE, 2011). O saneamento básico inadequado ou ausente é uma questão relacionada à pobreza de uma comunidade e ao risco de incidência de diversas doenças.

Os maiores déficits do Estado tanto em cobertura quanto em qualidade dos serviços ofertados de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário encontram-se nas comunidades de pequeno porte de áreas rurais isoladas. O saneamento dos municípios do baixo São Francisco é executado pela Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL/AL e Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO (SE). De acordo com as Figuras 3 e 4 o acesso a água para o consumo, disponibilizada nos municípios, está diretamente proporcional ao número de habitantes na região.

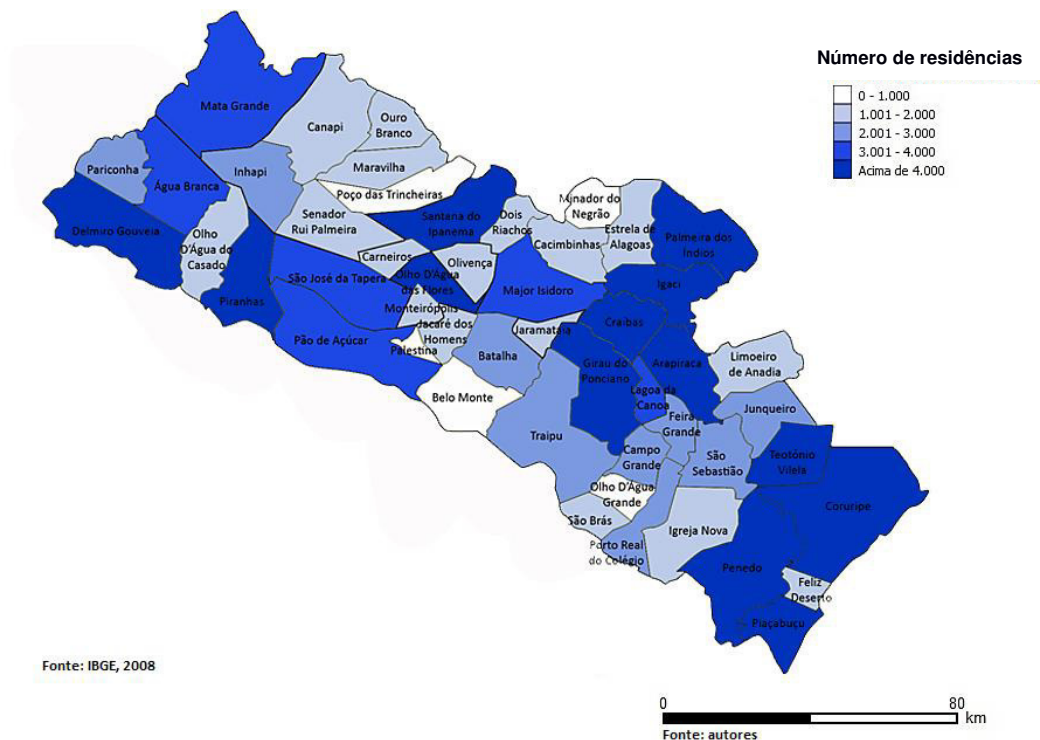
Araújo (2015) discorre que, na região do baixo São Francisco houve crescimento do percentual da população que se encontra em domicílios com água encanada, porém, ainda há municípios com pouco acesso a esse quesito.

Figura 3: Baixo São Francisco, em destaque os municípios do estado de Sergipe e a relação com o acesso a água.



Fonte: Mapa elaborado por José Emilio de Jesus

Figura 4: Baixo São Francisco, em destaque os municípios do estado de Alagoas e a relação com o acesso a água.



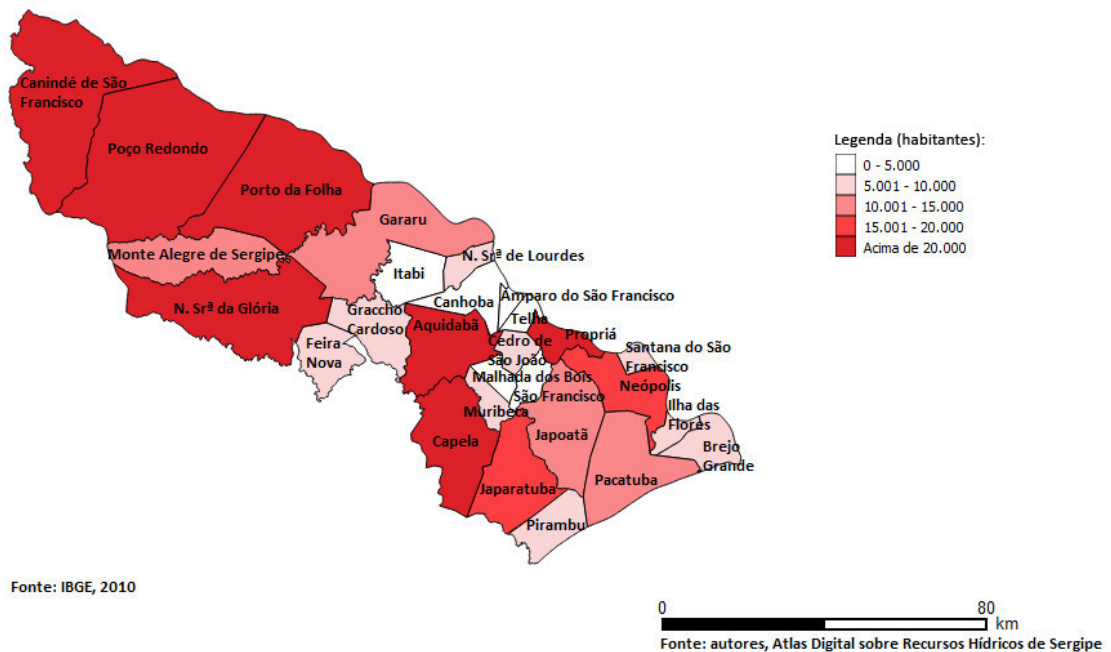
Fonte: Mapa elaborado por José Emilio de Jesus(2017)

Na região do Baixo São Francisco o nível de escolaridade ainda é baixo e as unidades escolares, além de serem em número reduzido, se localizam, em sua maioria, na zona urbana. O quadro da saúde nessa área é bastante precário, com uma quantidade insuficiente de hospitais e pronto atendimento. Porém, a região apresenta vários pólos de atrações turística tais como canyons, museus, centros históricos e a rica biodiversidade distribuída até a foz (Figuras 5 e 6).

Quanto aos aspectos populacionais, a densidade demográfica da região do baixo São Francisco passa por uma oscilação, ou seja, no período de 2010, a taxa de crescimento da população da área foi ligeiramente superior ao ano 2000, à população cresceu em torno de 10,4% de 1991 a 2000 e 8,3% de 2000 a 2010 (ARAÚJO, 2015). De acordo com a Figura 5, os municípios mais populosos que pertencem ao baixo São Francisco e fazem parte do estado de

Sergipe e diretamente ligado ao curso do rio São Francisco estão: Canindé de São Francisco, Poço redondo, Porto da Folha e Propriá e os menos populosos Amparo de São Francisco e Telha.

Figura 5: Baixo São Francisco, em destaque os municípios do estado de Sergipe e o número de habitantes.



Fonte: Mapa elaborado por José Emilio de Jesus(2017)

Na região do estado de Alagoas os municípios mais populosos ligados ao baixo São Francisco e fazem parte do curso do rio São Francisco são: Delmiro Gouveia, Piranhas, Pão de açúcar, Traipu, Igreja Nova e Penedo, os menos populosos Olho D'água Grande e Feliz Deserto não são banhados pelo rio São Francisco (Figura 6).

O resumo das principais características sócio econômicas desenvolvida e com perspectivas futuras estão registradas no Quadro 1. Entre as informações, a expansão de área irrigada para o período 2020 apresenta forte tendência de crescimento, para Jesus e Gomes (2012) o baixo São Francisco se caracteriza por ser uma região de grandes investimentos estatais e privados direcionados, respectivamente, ao setor hidrelétrico e para a modernização da agricultura com perímetros irrigados.

2.2.5 Impactos ambientais

Os impactos ambientais que afetam o baixo São Francisco são provenientes das ações antrópicas, decorrentes do uso e ocupação do solo por intermédio humano. O crescimento populacional, ao longo desta área, também propicia perdas ambientais e a insuficiência das informações existentes, principalmente hidrológicas, impedem que muitos dos seus impactos sejam devidamente avaliados.

Todavia é possível detectar alguns impactos presentes no ambiente do Baixo São Francisco, erosão e sedimentação provocadas por ocupação das várzeas com construção de diques, outro processo foram as construções de barragens a montante. Essas bloqueiam a passagem de sólidos e por outro lado altera o ciclo hidrológico através da regulação das vazões (IPEA, 1992).

Devido a regularização de vazões, a fertilização natural das várzeas é interrompida necessitando o uso de fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas nestes locais. Análises da qualidade da água em afluentes comprovaram teores de fósforo total acima do padrão aceitável. Brito et al (2015) recentemente detectou, em pesquisa no rio Betume um dos afluentes do rio São Francisco e situado na região do baixo São Francisco, três princípios ativos utilizados nas práticas agrícolas da região do perímetro irrigado Betume, são eles: clorpirifós, tebuconazol e o tetraconazol com seus respectivos nomes comerciais Colosso, Nativo e Domark, ressalta que os valores não estavam acima dos padrões permitidos, mas produz um indicativo da percolação desses elementos químicos.

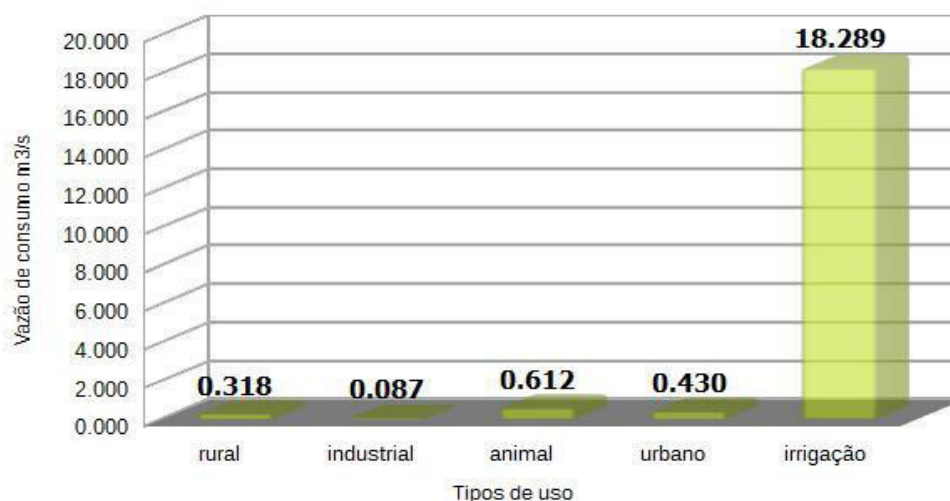
Atualmente um dos impactos amplamente divulgados é a salinização das águas provocada pelo deslocamento da cunha salina. Para Medeiros (2014) a salinidade é um importante fator ecológico no ambiente estuarino, em razão do estresse osmótico que provoca nos organismos. Em condições naturais, o tipo e a extensão da intrusão salina em um ambiente estuarino dependem de forçantes oceanográficas (marés, ondas, ventos). A construção de barragens em cascata ao longo do curso principal do rio eliminou a variabilidade interanual. Em razão dessa perda da variabilidade anual do fluxo de água doce, a intrusão salina, na forma de cunha salina, adentra a foz do rio São Francisco (MEDEIROS et al 2014).

O desmatamento para agricultura e aquicultura também é considerado fator de degradação ambiental. O manguezal está sendo exposto à ação direta das ondas e a planície lamosa vigorosamente assoreada, o que tem causado a morte das plantas de bosques bem desenvolvidos. O desmatamento é observado no canal da Parapuca em sua parte mais próxima ao São Francisco, nas áreas topograficamente mais altas, para a instalação do cultivo de coco. Além do Parapuca, pequenos pontos de desmatamento para construção de viveiros de peixe são observados próximos ao Povoado de Ponta dos Mangues (SEMENSATTO JÚNIOR, 2006).

Ausência de tratamento de esgoto e disposição correta dos resíduos sólidos ocasionam perda da qualidade das águas no baixo São Francisco. No que se refere ao tratamento de esgotos sanitários, a presença de rios intermitentes dificulta a diluição dos efluentes, e no que se refere ao abastecimento de água, a ausência de fontes hídricas, com garantia de qualidade e quantidade, dificulta o atendimento à população (BRASIL, 2006).

Com a redução da qualidade da água o acesso ao recurso hídrico é reduzido, possibilitando conflitos para o uso da água nos padrões de qualidade que atendam seus usos (BRASIL, 2006). Na Figura 7 os valores de distribuição da vazão de água para usos consuntivos no Baixo São Francisco apresenta o setor de irrigação como o maior alocador de águas nessa região.

Figura 7: Vazões de consumo dos diferentes usos consuntivos na região do baixo São Francisco.



Fonte: ANA (2013 e 2016)

Por fim, acredita-se que um dos maiores conflitos existentes hoje no rio São Francisco, origem de impactos ambientais importantíssimos, é a falta de sincronia entre o regime de operação das usinas hidrelétricas e as condições naturais características do rio, que tem se manifestado, por exemplo, no desaparecimento da sazonalidade anual (responsável pelos ritmos dos ecossistemas endógenos) e nas flutuações semanais, diárias e horárias (que se caracterizam por uma imprevisibilidade das condições fluviais), trazendo impactos negativos para a navegação e para todas as atividades sociais tradicionais associadas aos ritmos fluviais, como a pesca artesanal e a agricultura das várzeas (BRASIL, 2016).

Com os fatos há indícios de que esta região é, sem dúvida, a maior vulnerabilidade hidroambiental de todo o trecho da bacia hidrográfica do São Francisco (ANA, 2003). Para Lima et al (2010) essa região vem somando impactos ao longo dos anos, que comprometem o uso dos recursos naturais e o desempenho das atividades, como: navegação, irrigação, turismo, geração de energia, aquicultura, abastecimento urbano e industrial e a pesca.

Martins et al (2011) destacam ainda que os barramentos causaram efeitos diretos no baixo São Francisco, dentre estes a redução do número de espécies de peixes e invertebrados, redução dos níveis de deposição de sedimentos e nutrientes na planície de inundação, impedimentos à navegação, alterações nos processos biofísicos dos estuários, redução da recarga subterrânea e comprometimento da disponibilidade hídrica para os múltiplos usos.

2.2.6 Distintos olhares na região avaliada

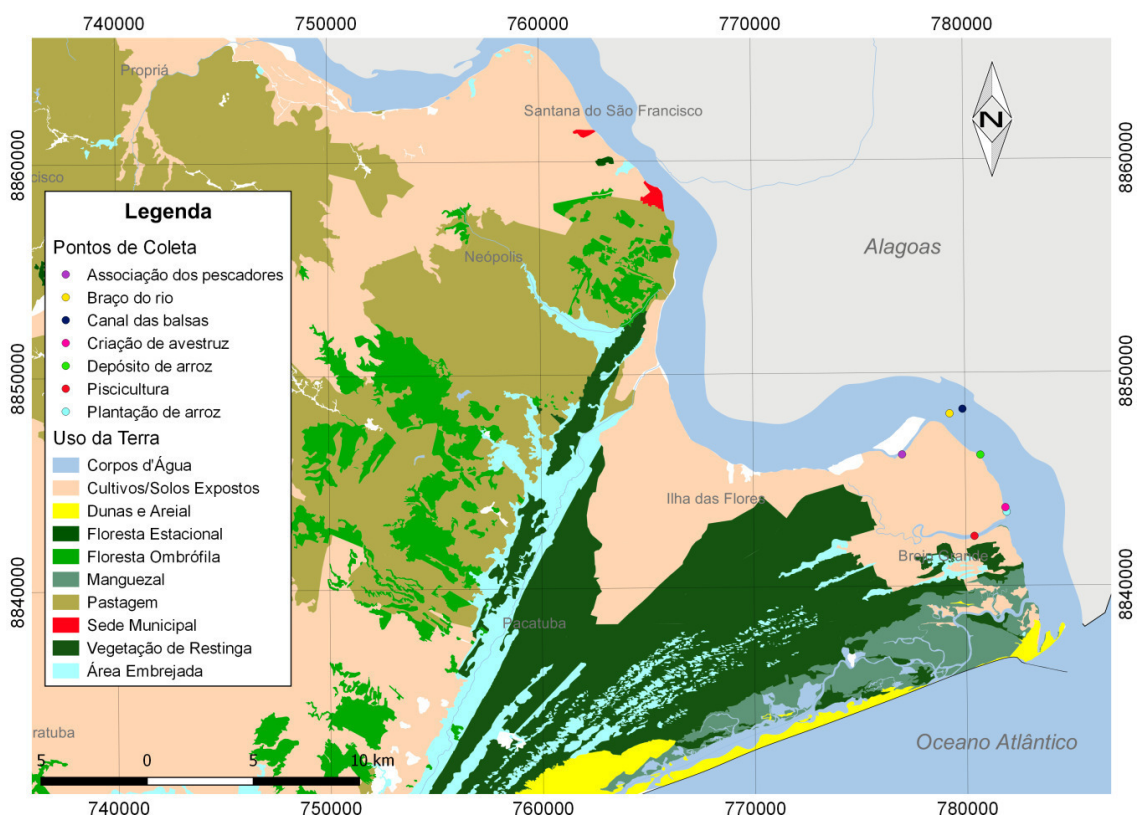
Em análise mais direcionada ao uso e ocupação do solo nos territórios avaliados propuseram pontuar áreas fragilizadas, uso da terra e pontos de coleta das informações qualitativa. A área avaliada posiciona-se na região da foz do rio São Francisco entre os municípios de Brejo Grande (SE) e Piaçabuçu (AL). O município de Brejo Grande (SE) localiza-se às margens do São Francisco e é a última cidade do estado sergipano na bacia hidrográfica deste. Fazendo parte do rico e complexo ecossistema da foz do São Francisco.

O perfil do uso e ocupação do solo no baixo São Francisco está descrito na Figura 8, na região de Brejo Grande/SE floresta estacional, cultivos em solos expostos, manguezais, dunas e áreas embrejadas. Observa-se boa parte do solo a margem do rio São Francisco sem vegetação entre Brejo Grande/SE, Ilha das Flores/SE, Santana de São Francisco/SE e Propriá/SE, segundo BRASIL (2012) o código florestal legaliza as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, desde a borda da calha do leito regular, são áreas de preservação permanente, a qual deve possuir cobertura vegetal preservada.

Entretanto, o desmatamento da vegetação ciliar ao longo do rio São Francisco e tributário ocorre especialmente pelo plantio de lavouras as margens do rio, local considerado apropriado pelos agricultores, delimitando entre si grandes extensões de solo desnudo, propenso à erosão (NUNES e PINTO, 2007).

Em Brejo Grande/SE ocorrem plantações de arroz e o envio desse cereal para beneficiamento é realizado por meio de embarcações que saem da localidade próxima a associação de pescadores e se deslocam a cidade Penedo/AL (Figura 8).

Figura8: Perfil do uso e ocupação do baixo São Francisco em Sergipe.



2.2.7 Caracterização do regime hidrológico

Os dados para caracterização do regime hidrológico no baixo São Francisco, foram obtidos através do sistema eletrônico do serviço de informação ao cidadão (e-SIC), que intermediou a solicitação para Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF). As informações hidrológicas foram registradas através da estação fluviométrica localizada em Propriá (SE). Para a estação abaixo a série histórica refere-se aos anos de 1980 a 2016.

2.2.8 Plotagem dos pontos de coleta

Com uso de uma embarcação locada no município de Brejo Grande (SE) e com o auxílio de um GPS digital Garmin e-trex, realizou-se o registro das informações de latitude e longitude em UTM para mapear os pontos de coleta de água, na área da Foz do rio São Francisco. As definições de pontos amostrais ao longo da Foz do rio São Francisco, teve por objetivo avaliar a extensão da cunha salina e a sua quantificação. Em seções transversais de uma extremidade a outra da Foz sendo considerando uma distância aproximada de 150 metros.

No primeiro momento navegou-se em direção ao antigo povoado Cabeço, para demarcação de 13 pontos em seções transversais na área da Foz, entre estes, saindo do estado de Sergipe em direção a Alagoas (Figura 10). Em continuidade foram plotados mais 32 pontos, esses no sentido da Foz ao município de Brejo Grande (SE) e o município de Piaçabuçu (Figura 11). Na seção transversal adotou-se a distância entre os pontos de 150 metros e na seção marginal um intervalo de 1km (Figura 9 A e B). Os pontos demarcados foram utilizados para elaboração dos mapas de localização amostral. Entretanto, em campo foram monitorados apenas 14 pontos devido a logística de deslocamento e recursos financeiros. Os pontos avaliados estão destacados na Tabela 1 e 2.

Figura 9 A e B: Demarcação dos pontos no curso da Foz do rio São Francisco.



Tabela 1: Coordenadas dos pontos localizados no município de Brejo Grande/SE.

LOCALIZAÇÃO	COORDENADA X e Y
01	785355 e 8838872
02	785133 e 8838703
03	784911 e 8838535
04	784689 e 8838366
05	783538 e 8838732
06	784040 e 8839037
07	784543 e 8839343 (Distancia da foz 1,65 km)
08	785043 e 8839654
09	784822 e 8840515
10	784166 e 8840478
11	783510 e 8840442 (Distancia da foz 3,05 km)
12	782854 e 8840405
13	782792 e 8841029
14	782939 e 8841062 (Distancia da foz 3,9 km)
15	782373 e 8841824
16	782520 e 8841854
17	782138 e 8842634 (Distancia da foz 5,68 km)
18	782283 e 8842671
19	780645 e 8842313
20	781951 e 8843441
21	782095 e 8843482
22	781810 e 8844253
23	781947 e 8844313
24	781532 e 8845002 (Distancia da foz 8,00 km)
25	781674 e 8845052
26	781063 e 8845670
27	781199 e 8845733 (Distancia da foz 8,87 km)

28	780559 e 8846273
29	779884 e 8846702 (Distancia da foz 10,34 km)
30	779266 e 8847372
31	778525 e 8847857
32	777878 e 8847360
33	777409 e 8846713
34	776777 e 8846197
35	780098 e 8849206

Tabela 2: Coordenadas dos pontos localizados no município de Piaçabuçu/AL

LOCALIZAÇÃO	COORDENADA X e Y
36	785147 e 8838165
37	785115 e 8839277
38	784894 e 8840327 (Distancia da foz 2,52km)
39	784368 e 8841237 (Distancia da foz 3,47 km)
40	783786 e 8842150 (Distancia da foz 4,9 km)
41	783951 e 8842338
42	782440 e 8841484
43	783261 e 8843111 (Distancia da foz 5,56 km)
44	782692 e 8844041 (Distancia da foz 6,64 km)
45	782762 e 8844453
46	781722 e 8844122
47	782017 e 8844834
48	781608 e 8845946 (Distancia da foz 8,82 km)

Figura 10: Pontos transversais e ao longo da margem sergipana da Foz do rio São Francisco.

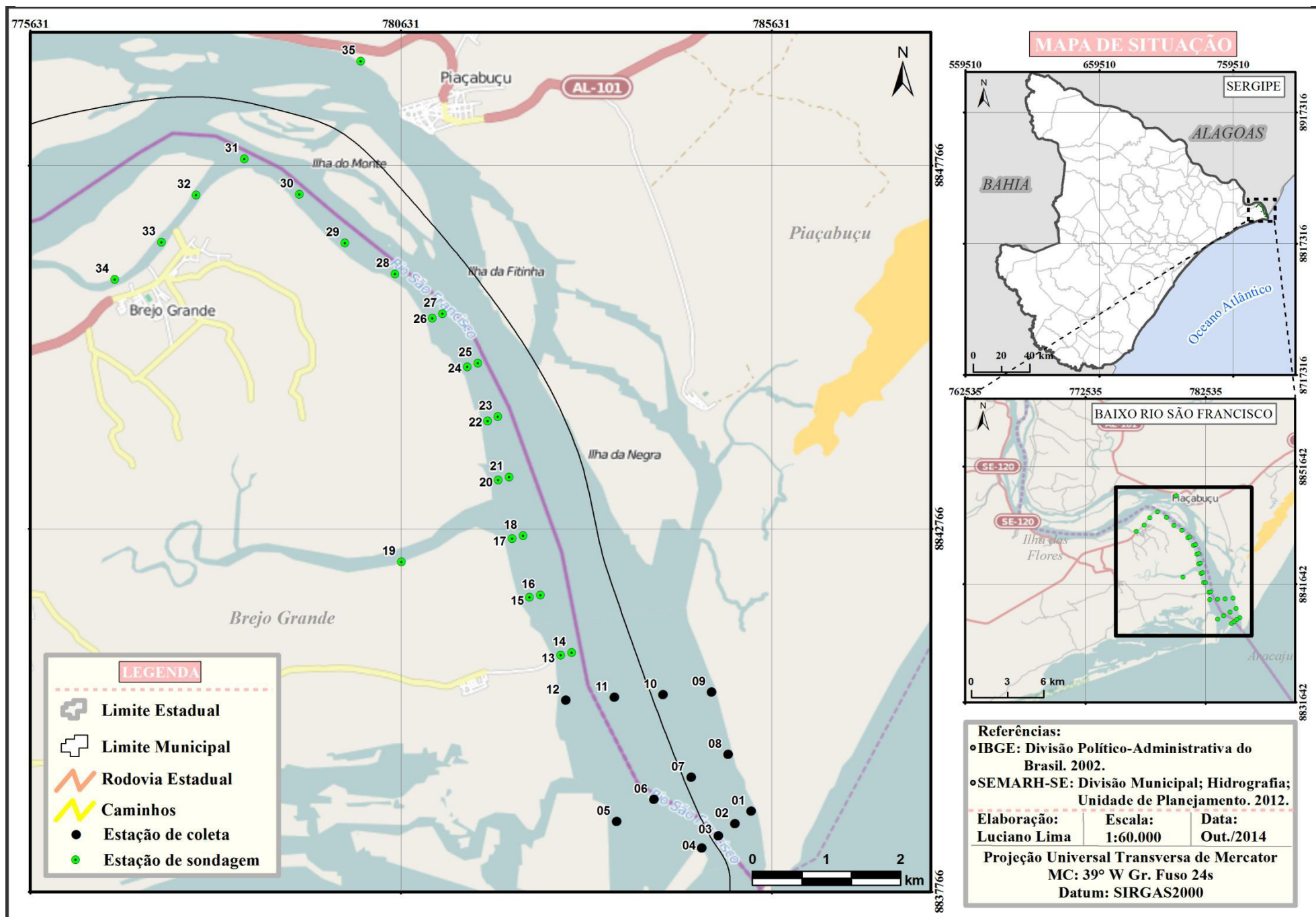
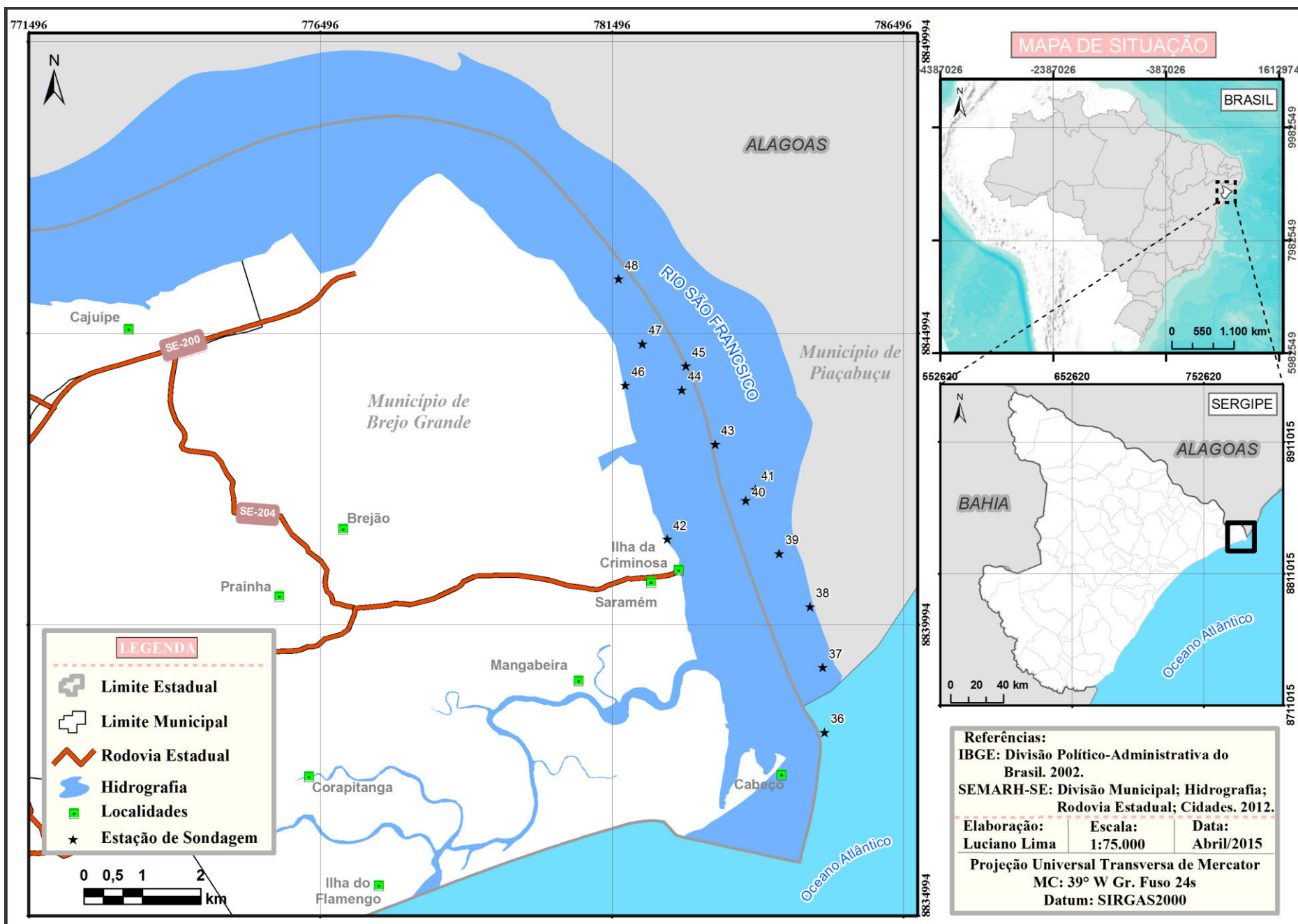


Figura 11: Pontos transversais e ao longo da margem alagoana da Foz do rio São Francisco.



2.2.9 Caracterização do perfil estuarino

Com o intermédio do método de perfilação acústica doppler (ADCP) realizou-se seção de batimetria no trecho da foz do rio São Francisco para determinação da vazão e profundidade. O ADCP é um sistema de funcionamento baseado no efeito Doppler, que mede a vazão através da mudança aparente da frequência das ondas refletida por material em suspensão (efeito Doppler) (PITON, 2007). Estabeleceu-se um limite para a batimetria a partir dos municípios de Brejo Grande (SE) e Piaçabuçu (Al).

As campanhas de medição da velocidade e vazão fluvial na foz do rio São Francisco foram realizadas em duas etapas. A primeira medição foi no dia 15 de março 2015 e a segunda foi 08 de março de 2016. Para realizar as medições de vazão foram utilizados o Perfilador Acústico de Correntes pelo Efeito Doppler (ADCP) da marca Workhorse Rio Grande 600kHz (Figura 12). As seções medidas com o ADCP foram obtidas utilizando com o programa *WinRiver II* para o processamento e armazenamento dos dados, que é capaz de medir a velocidade da corrente, descarga líquida e a geometria na seção.

Durante as aquisições dos dados, utilizou-se testes com diferentes modos do ADCP, que apresentam variações no tamanho das células de medição para medir nos pontos mais rasos (Margens) e também para locais com alto fluxo de corrente (Figura 13 A e B).

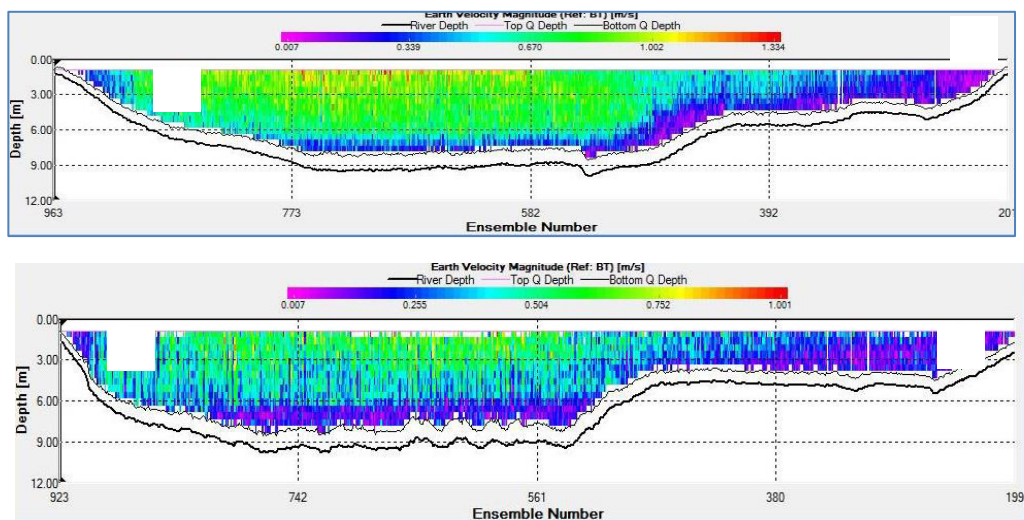
O levantamento de informações da velocidade e vazão tem por objetivo complementar os estudos referentes às análises físico-químicas da qualidade da água e a intrusão da cunha salina na foz do rio São Francisco.

Os locais de medição demarcados de forma a obter os dados de medição na região da foz do rio São Francisco. Os perfis de medição foram definidos de tal forma que caracteriza-se a velocidade e a vazão ao longo do rio. Em virtude da influência da maré nesta região, em cada um dos perfis foram realizadas duas medições para o detalhamento da geometria da seção transversal do rio durante o ciclo da maré enchente e maré vazante.

Figura 12: Utilização do ADCP na área da foz do rio São Francisco.



Figura 13: Perfil transversal do canal da foz do rio São Francisco entre o município de Brejo Grande e Piaçabuçu/AL. **A e B:** Seção transversal do canal principal da Foz do São Francisco



2.2.10 coleta das amostras e medição com sonda Multiparâmetros.

O ambiente estuarino é regido pela influência das oscilações das marés. Segundo BRASIL (2016)³ entende-se por Maré a oscilação vertical da superfície do mar ou outra grande massa d'água sobre a Terra, provocada por diferença gravitacional da lua. As marés podem ser de sizígia (ou de águas vivas) e as marés de quadratura (ou de águas mortas)

Dessa maneira, a coleta das amostras de águas e medição com a sonda multiparâmetros ocorreram em regime de maré de sizígia (maior amplitude) e quadratura (menor amplitude). Ao todo foram realizadas oito campanhas das quais se dividiram em cinco no regime da maré de sizígia e três em quadratura, ressalta-se que utilizou-se como referência maré de sizígia, por ser este momento a maior escala da ação do mar sobre o rio.

O momento da coleta foi direcionado pelos dados contidos na tábua de maré da Capitania dos portos de Sergipe (DHN, 2015), neste documento havia os horários do início e do encerramento dos ciclos de maré. Adotou-se o início como base para coleta e sempre no sentido Sul ao Norte navegando rio a cima. Entre os meses avaliados estavam, fevereiro, março, abril, maio, setembro e novembro durante o ano de 2015, em 2016 o mês de março (Quadro 2). No mês de setembro a coleta ocorreu durante um ciclo de 11 horas adotando os valores desse momento para validação da salinidade. (Informações do ciclo de maré verificar Quadro 3).

Quadro 2: Informações sobre as datas, tipo de maré e período utilizadas na foz do rio São Francisco.

CAMPANHA	DATA	MARÉ	PERÍODO
1	13.02.2015	Quadratura	Seco
2	05.03.2015	Sizigia	Seco
3	14.04.2015	Quadratura	Seco
4	20.05.2015	Sizigia	Chuvoso
5	26.09.2015	Sizigia	Chuvoso
6	28.11.2015	Sizigia	Seco
7	02.03.2016	Quadratura	Seco
8	08.03.2016	Sizigia	Seco

³ <https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap10.pdf>

Quadro 3: Previsão de Maré de Sizígia na área da foz do São Francisco, com ciclo de 24 horas.

Dia	Hora	Altura(m)
Sábado 26/09/15	08:53	0.0
Sábado 26/09/15	14:58	2.2
Dia	Hora	Altura(m)
Domingo 27/09/15	09:36	-0.1
Domingo 27/09/15	15:41	2.3

Fonte: (DHN, 2015).

Utilizou-se a medição de salinidade por meio da sonda multiparamétrica HI9828 da HANNA (Figura 14), nos pontos estabelecidos para coleta. A sonda registrou salinidade em (PSU) sendo transformado em ‰, condutividade elétrica, Turbidez, Oxigênio dissolvido, Sólidos Totais, temperatura e pH também foram verificados. Para os demais parâmetros o meio de determinação encontra-se registrado na Tabela 4. Amostras de solo foram coletadas com o auxílio de uma draga do tipo “van Veen” (Figura 15), essa amostragem ocorreu em dois pontos situados no canal principal da foz. Todas estas amostras foram acondicionadas em saco plástico e armazenadas em caixas térmicas, em seguida encaminhadas ao ITPS (Instituto tecnológico e de pesquisa do estado de Sergipe) para determinação de granulometria e teor de matéria orgânica.

Figuras 14: Embarcação com a sonda multiparâmetro e equipamentos para coleta das amostras:



Figuras 15: Utilização da draga do tipo “Van Veen” para coleta do solo.



Fonte: Acervo pessoal.

Coletou-se amostras de águas das torneiras no município de Brejo Grande (SE) e no povoado Saramém (Figura 16 e 17). A coleta ocorreu de forma aleatória entre as quais 15 pertenceram ao povoado de Saramém, e as outras 15 na localidade de Brejo Grande. A coleta ocorreu de forma aleatória observando as ruas e avenidas principais de cada localidade.

As amostras retiradas das torneiras dos estabelecimentos não procediam de reservatório de armazenamento, essa precaução faz parte do procedimento analítico. As amostras retiradas das torneiras procediam diretamente da rede pública, os primeiros jatos de água foram descartados e em seguida realizou-se a coleta da água utilizando os frascos de polietileno de 500mL (Figura 17). Os parâmetros avaliados foram: pH, sódio e cloretos.

Figuras 16: Coleta de amostras de água nas residências.



Figuras 17: Acondicionamento das amostras de água.



Fonte: Acervo pessoal.

Tabela 3: Metodologia analítica adotada nas determinações dos parâmetros físico químicos das águas coletadas na área da foz do rio São Francisco.

Variável	Unidade	Metodologia*
Condutividade	($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Sonda Multiparâmetros HANNA - HI9829
Cloreto	(mg L ⁻¹)	SMEWW, 2012
Oxigênio Dissolvido	(mg L ⁻¹)	Sonda Multiparâmetros HANNA - HI9829
pH	-	Sonda Multiparâmetros HANNA - HI9829
Salinidade	(mg L ⁻¹) e ‰	Método analítico/Sonda Multiparâmetros HANNA - HI9829
Sódio	(mg L ⁻¹)	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
Sólidos Totais dissolvidos-STD	(mg L ⁻¹)	Método analítico/Sonda Multiparâmetros HANNA - HI9829
Turbidez	FNU	Sonda Multiparâmetros HANNA - HI9829
Matéria Orgânica	g/dm ³	WB (colorimétrico)
Granulometria - Areia (Hidrômetro de Bouyoucos)	%	Densímetro de Bouyoucos
Granulometria - Argila (Hidrômetro de Bouyoucos)	%	Densímetro de Bouyoucos
Granulometria - Silte (Hidrômetro de Bouyoucos)	%	Densímetro de Bouyoucos
Classificação Textural	%	Densímetro de Bouyoucos
Especificação p/ o tipo de solo	-	MAPA-IN nº02 09/10/2008

*Standard Methods 21.ed.APHA,2005.

2.2.11 Análise socioambiental

Na investigação qualitativa a entrevista é utilizada para recolher dados descritivos na linguagem do próprio sujeito. Para Marconi e Lakatos (2008), é um procedimento de coleta de dados que ajuda no diagnóstico e segundo Gil (2009) é a forma de interação social com o objeto de pesquisa.

Portanto, elaborou-se formulário de entrevista semi-estruturada (APÊNDICE), contendo 15 perguntas das quais 2 eram específicas a salinidade no curso do rio e nas residências. Triviños (2009) esclarece que essas perguntas não surgem por acaso, elas são resultados de uma teoria que orienta o pesquisador e toda informação que o mesmo já recolheu sobre o fenômeno social que interessa, e que o processo da pesquisa semi estruturada dá melhores resultados com diferentes grupos de pessoas.

Para levantamento dos dados socioambientais da região da foz do rio São Francisco, realizou-se visitas para recolhimento *in loco* das informações durante os anos de 2014, 2015 e 2016. Aplicação de questionário com população roteiro para entrevista (Em APÊNDICE). Este roteiro apresentava 18 perguntas formuladas com o intuito de verificar as características da população, fonte de renda, utilização da água e o perfil de quem residem ou frequenta a

foz do São Francisco. As perguntas foram elaboradas com o intuito de verificar o perfil do impacto socioambiental provocado pela salinização das águas na região. Para verificação da presença das macrófitas aquáticas ao longo da foz do rio São Francisco, aplicou-se a técnica do grupo focal. A pesquisa qualitativa estará fundamentada na elaboração de grupos focais onde Gomes e Barbosa (1999) conceituam como um grupo de discussão informal e de tamanho reduzido, com o propósito de obter informações de caráter qualitativo em profundidade.

Lopes et al (2009) indicam que nesta técnica as expressões de cada indivíduo que participa da dinâmica sofrem a intervenção dos demais sujeitos, permitindo a coleta dos dados de maneira que a aproximação entre os sujeitos envolvidos favoreça as trocas de informação.

Deste modo, a formação dos grupos focais promoveu a realização de uma oficina no mês de maio de 2015. Houve elaboração de álbum fotográfico com imagens da vegetação aquática (Figura 18A, B, C, D, E e F) desenvolvida à margem do braço do rio com sentido da Foz até Brejo Grande (SE). Essas imagens fotográficas e slides foram utilizados como material didático para o desenvolvimento das oficinas.

Figura 18 (A, B, C, D, E e F): Espécies de macrófitas presentes na região do baixo são Francisco. (A: *Eichhornia*; B: *Salvinia*; C: *Montrichardia linifera*; D: *Egeria*; E: *Oxycaryum* sp.; F: *Derbesia*).



Fonte: Autora (2016).

2.2.12 Análise estatística

Os dados obtidos das amostras quantitativas com os parâmetros avaliados serão submetidos e processados com técnicas estatísticas, tais como: Média, mínimo, máximo, desvio padrão e correlação. Os gráficos foram elaborados no software Sigmaplot 12.2. Estes procedimentos são fundamentais para estimar a confiabilidade dos resultados. Para os dados qualitativos utilizou-se o software *PASW Statistics Base* (SPSS). Foram realizadas análises estatísticas descritivas de frequência, utilizando-se de valores absolutos e porcentagem para expor os resultados da amostra.

2.3 Resultados e discussão

2.3.2 Qualidade da água na foz do rio São Francisco

Os descritores estatísticos calculados para verificação da qualidade da água na foz do rio São Francisco estão descritos na tabela 1. Os dados apresentados de pH variaram entre 6,80 a 9,47 sendo que o valor máximo ocorreu no mês de fevereiro de 2015. Os valores apresentam tendência de ambientes alcalino, devido aos valores de pH em sua maioria apresentarem acima de 7,0. Valores em torno de 8,33 foram registrado por Cotovicz Junior et al, (2016) na área do estuário do rio São Francisco o que pode se relacionar as concentrações obtidas nesta pesquisa. No tocante aos a característica alcalina do pH indica que no sistema avaliado a salinidade pode atingir valores significantes.

Paiva et al (2006) em análise nas águas da baía do Guarajá onde os dados de pH encontrados variavam entre 5,5 e 7,0 justificando em seu trabalho que a salinidade na boca do estuário não atingia valores superiores a 5. Realidade adversa ao estuário do rio São Francisco que pode registrar valores de salinidade em torno de 20‰ a 30‰ na desembocadura (CHESF, 2011).

De acordo com os valores na Tabela 4 e 5 o ponto 17 apresentou o valor de pH 6,80 sendo este considerado o menor índice desse parâmetro durante a pesquisa e o P14 registrou pH em torno de 9,47 este considerado o maior

valor. Os pontos 14 e 17 localizam-se na região estuarina a margem do município de Brejo Grande/SE, o ponto 14 está inserido dentro da faixa de significância interferência da salinidade, segundo Cavalcanti, Miranda e Medeiros (2017) informam que em período de baixamar (Pequenas marés) as águas salinas penetram até 6,8km da área da foz o que pode estar relacionado ao registro do valor máximo de pH encontrado no ponto 14 (Figura 19A).

O pH da maioria das águas naturais esta na faixa de 6 a 9 que está entre a condição de suporte para toda forma de vida (DAVES e MARTEN 2016). Marota, dos Santos e Enrich-Prasto (2008) consideram que o pH é determinante à composição de espécies de um determinado local, pois influencia diretamente processo metabólico. Oliveira, Campos e Medeiros (2010) complementam que alterações bruscas do pH de uma água podem acarretar a extinção da biota. De modo geral os valores encontrados estão dentro da faixa estabelecida pela Resolução Conama 357/2005 a qual prevê aceitabilidade para o pH entre 6 a 9 para fins de enquadramento do corpo d' água. Chama-se se atenção que apenas em um momento houve o registro de pH acima do permitido, significando 1,78% dos valores obtidos e 98,22% (Figura 19B) dentro do aceitável pela norma vigente.

Tabela 4: Estatística descritiva para as variáveis de pH da água na foz do rio São Francisco coluna d'água Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.

Parâmetro	Pontos de análises							
	P1	P38	P39	P40	P43	P44	P48	
pH	Média	7,75	7,76	7,55	7,50	7,52	7,23	7,59
	Min	7,64	7,58	7,47	7,26	6,97	7,18	6,80
	Max	7,84	7,89	7,79	7,89	7,89	7,69	7,69
	DP	0,09	0,16	0,28	0,41	0,37	0,47	0,10
	CV%	1,18	2,01	3,65	5,40	4,97	6,53	1,33

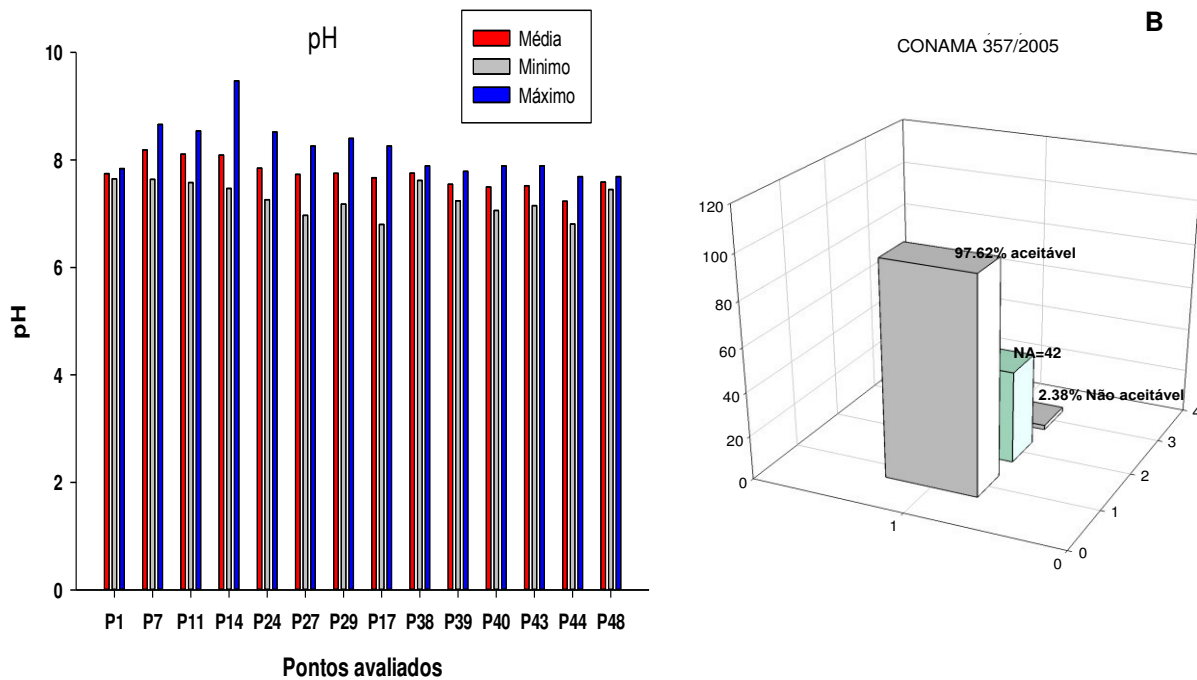
CV%(Coeficiente de variancia); DP(Desvio Padrao).

Tabela 5: Estatística descritiva para as variáveis de pH da água na foz do rio São Francisco coluna d'água Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.

Parâmetro	Pontos de análises							
	P7	P11	P14	P24	P27	P29	P17	
pH	Média	8,19	8,11	8,09	7,85	7,73	7,75	7,67
	Min	7,64	7,58	7,47	7,26	6,97	7,18	6,80
	Max	8,66	8,54	9,47	8,52	8,26	8,40	8,26
	DP	0,42	0,41	0,64	0,47	0,46	0,39	0,56
	CV%	5,19	5,12	7,85	6,01	5,95	5,09	7,27

CV%(Coeficiente de variância); DP(Desvio Padrão).

Figura 19: Gráfico dos valores máximos, médios e mínimos para pH na foz do rio São Francisco durante os períodos de sizígia e quadratura (A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005 (B).



O oxigênio dissolvido se constitui um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição decorrente de despejos em um curso de água (OLIVEIRA, CAMPOS e MEDEIROS, 2010). Gonzaga (2014) acrescenta que é um dos principais parâmetros para medir a qualidade da água e é importante para verificação da condição sanitária e manutenção da vida aquática e quando registrado em valores baixos indicam que o ecossistema aquático está poluído. Jauzen, Shulz e Lamnon (2008) apontam que a

concentração de oxigênio dissolvido na água é o resultado da interação de diversos processos que tendem a aumentar ou diminuir a mesma, sendo assim a quantidade de oxigênio dissolvido é considerado um indicador primário da qualidade da água.

Os valores de Oxigênio dissolvido na área avaliada oscilaram entre 4,68 a 9,27 ppm conforme Tabela (6 e 7). O menor valor foi registrado no ponto 14 no mês de maio de 2015 e o maior valor no ponto 17 no mês de fevereiro de 2015. Em monitoramento na área da foz do rio São Francisco a CHESF- Companhia Hidro elétrica do São Francisco (2011) também registrou concentrações de 8,85 a 9,22 para o Oxigênio dissolvido durante o mês de fevereiro de 2015, o que pode sinalizar que nestas áreas ocorra forte aeração provocada pela força da maré ou que não possuam pontos de lançamento de resíduos sólidos ou descargas orgânicas significativas na região da foz. Cabe destacar que todos os municípios presentes no entorno da foz do rio São Francisco não possuem tratamento de seus efluentes e por sua vez lançam seus efluentes no curso do rio.

Franklin-Silva e Shettini (2003) esclarecem que em consequências de lançamentos de efluentes no curso de rio, as áreas afetadas passam a sofrer grandes oscilações no teor de oxigênio dissolvido, prejudicando a biota em geral.

Fiorucci e Benedetti Filho (2005) informam que é comum que águas poluídas com substâncias orgânicas associadas esgoto apresentem uma alta demanda de consumo de oxigênio, a menos que a água seja continuamente aerada. Indicando que a concentração de oxigênio dissolvido na água é o resultado da interação de vários processos que tendem a aumentar ou diminuir sua concentração nos ambientes aquáticos (JANZEN, SCHULZ e LAMON, 2008). A média calculada para o Oxigênio dissolvido para os pontos analisados possibilita a classificação deste curso de água em classe 1, onde o valor mínimo necessário para enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, 3 e 4 são, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, 6 mg.L^{-1} , 5 mg.L^{-1} , 4 mg.L^{-1} , e 2 mg.L^{-1} (BUZELLI e SANTINO, 2012)(Figura 20A).

Vale ressaltar que valores abaixo de 2 mg.L^{-1} para concentração de oxigênio dissolvido na água podem afetar a saúde do ecossistema aquático e impedir o uso da água para diferentes fins incluindo o abastecimento humano

(JANZEN, SCHULZ e LAMON, 2008). Os valores de oxigênio estão apresentados na figura 20B, com 84% dos valores obtidos dentro da concentração aceitável pela Resolução CONAMA 357/2005 e apenas 16% dos resultados fora do limite permitido para classe 2.

Tabela 6: Estatística descritiva para a variável de oxigênio na água da foz do rio São Francisco coluna Alagoas. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.

Parâmetro		Pontos de análise						
		P1	P38	P39	P40	P43	P44	P48
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Média	6,57	6,56	6,96	7,26	6,86	6,92	6,73
	Min	5,60	5,24	6,36	6,81	6,25	6,54	5,29
	Max	6,98	7,01	7,64	8,19	7,59	7,30	7,30
	DP	0,66	0,88	0,53	0,64	0,69	0,39	0,96
	CV%	10,00	13,44	7,69	8,86	10,02	5,57	14,32

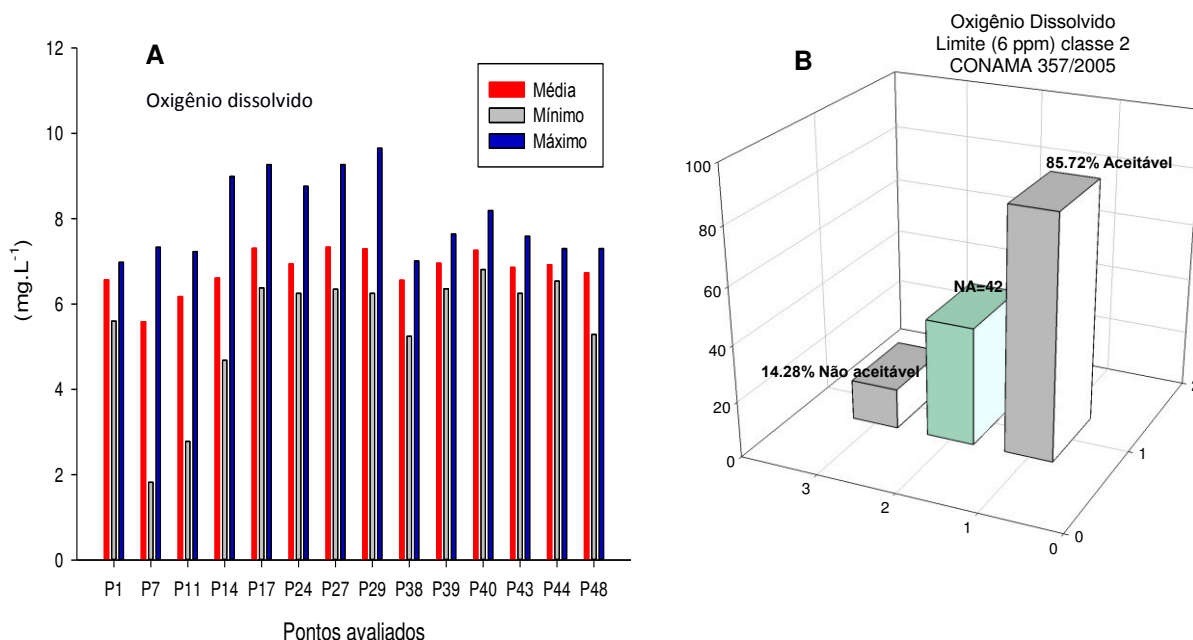
CV%(Coeficiente de variância); DP(Desvio Padrão).

Tabela 7: Estatística descritiva para a variável de oxigênio na foz do rio São Francisco coluna Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.

Parâmetro		Pontos de análise						
		P7	P11	P14	P24	P27	P29	P17
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Média	5,59	6,18	6,61	6,94	7,33	7,30	7,31
	Min	1,82	2,78	4,68	6,25	6,35	6,25	6,38
	Max	7,33	7,23	8,99	8,76	9,27	9,65	9,27
	DP	2,00	1,46	1,29	0,78	1,11	1,42	1,12
	CV%	35,80	23,58	19,47	11,24	15,13	19,52	15,35

CV%(Coeficiente de variância); DP(Desvio Padrão).

Figura 20: Gráficos com a estatística descritiva para a variável oxigênio dissolvido da água na foz do rio São Francisco. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016(A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005.



Os sólidos totais também, são considerados um dos parâmetros relacionados a condutividade elétrica e a turbidez. Gonzaga (2013) informa que os sólidos totais dissolvidos estão diretamente proporcionais a condutividade elétrica. Como os sólidos totais dissolvidos incluem sais, materiais orgânicos dissolvidos e nutrientes, pode-se dizer que concentrações altas de sólidos dissolvido muito alto tanto a turbidez como a condutividade elétrica pode aumentar (VASCONCELOS, TUNDISI e TUNDISI 2009). Vasconcelos, Tundisi e Tundisi (2009) ainda ressaltam que, concentrações alta de sólidos totais dissolvidos podem limitar o crescimento e conduzir a morte muitas formas de vida.

Os valores sólidos totais dissolvidos variaram entre 7,0 mg.L⁻¹ a 7.522 mg.L⁻¹ apresentados na Tabela 8. A maior concentração de sólidos totais dissolvidos registrado ocorreu no ponto 1 mês de novembro período seco e com regime de maré de sizígia com elevação do nível de água em 2.2m. Valores de sólidos totais acima de 500 mg.L⁻¹ também foi registrado por Saraiva et al (2009) em sua pesquisa no córrego Lavagem, a montante de sua

foz no ribeirão Espírito Santo. De acordo com a Figura 21A e Tabela 8 apenas o ponto 43 apresentou valores dentro do especificado pela Resolução CONAMA 357/2005.

A turbidez refere-se a quantidade de partículas em suspensão, essas partículas pode dificultar a transmissão de luz alterando a vida no meio aquático. Refere-se à quantidade de partículas em suspensão na água. É inversamente proporcional à disponibilidade de radiação solar, a qual é essencial à produção primária de um ecossistema (ALVES et al, 2012). Os valores de turbidez registrados foram entre 2,9 NFU e 231,00 NFU (Tabela 7 e 8), de acordo a Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece o limite de turbidez até 40FNU para classe 1 e de 100FNU para a classe 2, apenas o ponto 7 está dentro do limite para classe 2. Houve registro no ponto 27 da turbidez em 231 NFU em momento de estiagem, valor acima do proposto pela Resolução e limitante aos usos. Os demais pontos enquadram-se na classe 1, (Figura 21A).

Os maiores valores foram registrados em março de 2016 em período seco e em período de maré sizígia. Lima (2007) avaliando a turbidez no estuário do rio Jacuipe/BA também registrou valores de turbidez entre 50 a 80 FNU em período de sizígia e em momento de estação seca, coincidindo com a pesquisa. Cunha et al (2005) acrescenta que águas superficiais em rios estuarinos apresentam redução de teores dessa variável na estação chuvosa, devido ao aumento de vazão, pois a oferta pluvial favorece a diluição e autodepuração das águas.

Tabela 8: Estatística descritiva para as variáveis Sólidos totais dissolvidos Turbidez na água na foz do rio São Francisco coluna Alagoas. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.

Parâmetro		Pontos de análise						
		P1	P38	P39	P40	P43	P44	P48
Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	Média	5603,75	4117,50	3226,25	1853,50	209,55	2298,0	2233,13
	Min	3356,00	2552,00	355,00	152,00	39,09	139,00	12,57
	Max	7522,00	5004,00	6076,00	3468,00	383,00	4502,0	4502,00
	DP	1827,89	1075,82	3284,91	1810,45	191,76	2487,5	2562,46
	CV%	32,62	26,13	101,82	97,68	91,51	108,25	114,75
Turbidez (FNU)	Média	9,35	8,88	11,23	7,90	12,50	3,68	10,73
	Min	5,70	4,90	10,50	5,00	6,60	2,90	3,80
	Max	14,30	17,00	12,40	11,40	24,20	4,80	22,90
	DP	3,85	5,64	0,88	3,38	8,30	0,84	8,79
	CV%	41,17	63,59	7,85	42,84	66,38	22,81	81,95

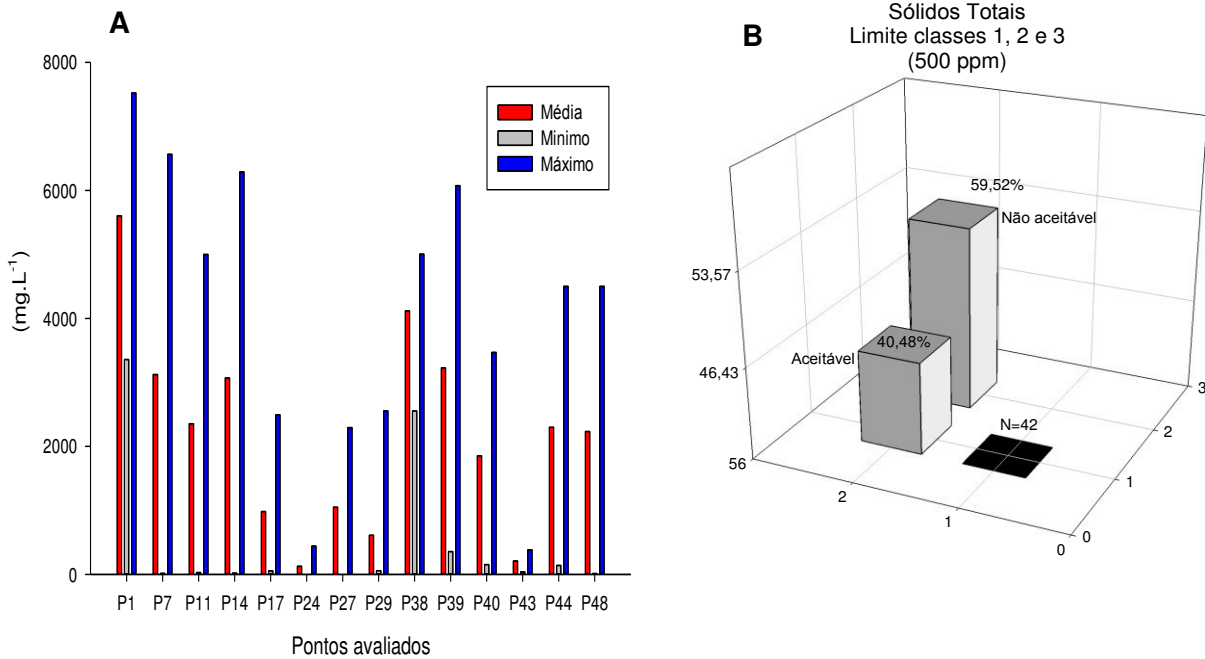
CV%(Coeficiente de variância); DP(Desvio Padrão).

Tabela 9 Estatística descritiva para as variáveis Sólidos totais dissolvidos Turbidez na água na foz do rio São Francisco coluna Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016..

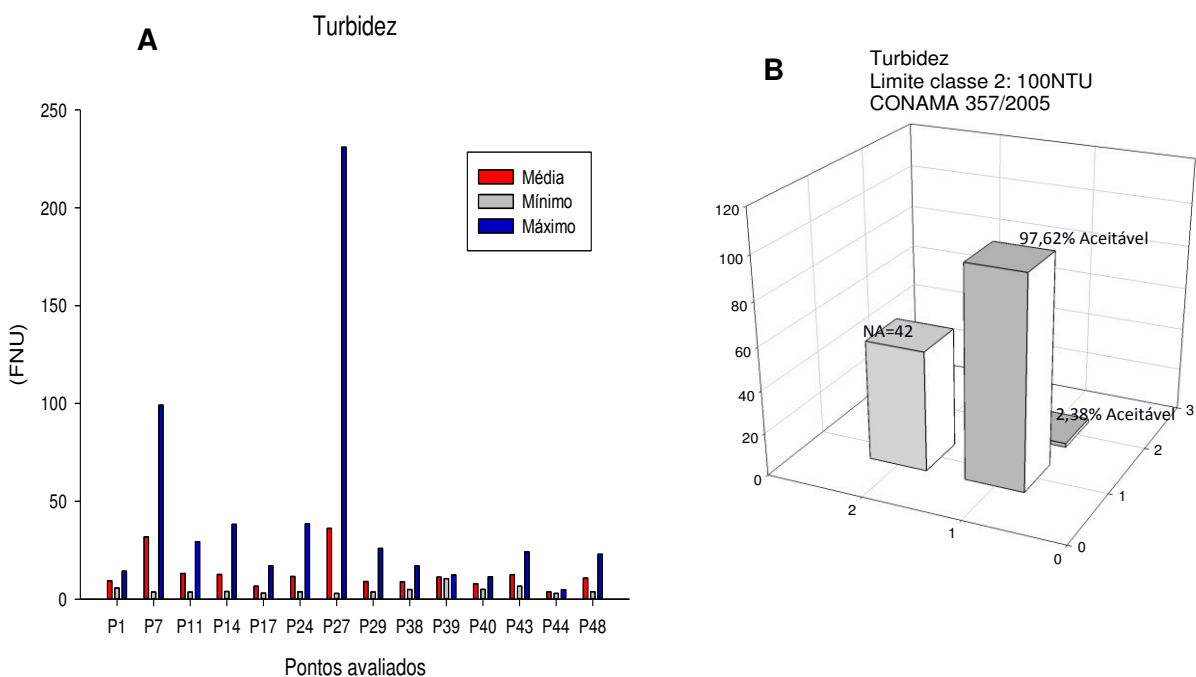
Parâmetro		Pontos de análise						
		P7	P11	P14	P24	P27	P29	P17
Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	Média	3122,14	2353,87	3067,42	125,67	1048,88	610,25	982,00
	Min	14,40	27,78	19,38	10,50	7,00	57,00	54,00
	Max	6566,00	5001,00	6289,00	441,00	2293,00	2552,0	2492,00
	DP	2771,79	1701,11	1973,53	170,72	1003,44	876,99	1123,97
	CV%	88,78	72,27	64,34	135,85	95,67	143,71	114,46
Turbidez (FNU)	Média	31,76	13,11	12,63	11,58	36,15	9,03	6,58
	Min	3,60	3,60	3,90	3,80	2,90	3,60	3,10
	Max	99,10	29,30	38,20	38,40	231,00	25,90	17,00
	DP	39,23	9,50	11,60	11,18	78,91	7,53	5,18
	CV%	123,49	72,43	91,91	96,58	218,27	83,39	78,81

CV%(Coeficiente de variância); DP(Desvio Padrão).

Figuras 21: Gráficos com a estatística descritiva para as variáveis sólidos totais na foz do rio São Francisco. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016(A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005(B).



Figuras 22: Gráficos com a estatística descritiva para as variáveis Turbidez da água na foz do rio São Francisco. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016(A) e porcentagem de aceitabilidade segundo CONAMA357/2005(B).



Os valores da Condutividade elétrica variaram entre 10,00 ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) a 13130,00 ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$), onde o maior valor foi registrado no Ponto 7 e o menor valor no Ponto 38. Para Esteves (1998) a condutividade elétrica é a medida da capacidade da água em conduzir corrente elétrica. Fritzsos; Mantovani, Chaves Neto e Hindi (2009) complementam que condutividade elétrica, por sua vez, fornece uma indicação da salinidade de uma solução ou, de forma aproximada, do grau de mineralização das águas.

O maior valor registrado ocorreu em maio de 2015, momento de maré de sizígia e período chuvoso, cabe destacar que o Ponto 7 fica na entrada na foz do rio São Francisco. Para a CETESB (2010) apresenta que níveis acima de 100 ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) em água doce indica ambientes impactados. Entretanto, a condutividade elétrica em ambientes fluvio estuarino podem apresentar valores correlacionados com a salinidade. Baldotto e Canellas (2011) informam que a influencia do mar é caracterizada pelo aumento de pH, força iônica e condutividade elétrica.

Paiva et al (2006) em sua pesquisa encontrou valores de condutividade e salinidade baixos em períodos de menores descargas fluviais, no final da vazante e início da enchente, as águas provenientes dos rios Guamá e Guajará-Açú na região do Pará apresentam valores de condutividade-salinidade relativamente baixos ($100\text{-}300(\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}) - 0,04\text{-}0,12\text{‰}$). Por outro lado, no canal dito de enchente, adjacente à margem onde está a cidade de Belém, registraram valores de condutividade-salinidade entre 350 a 1000 ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$); 0,15 a 0,42‰.

Os valores de salinidade para o ponto 7 apresentaram-se valores máximos de 38,03‰ correlacionando com o aumento da condutividade elétrica. A correlação entre os valores da condutividade elétrica e a salinidade está apresentada na Figura 13. Saraiva et al (2009) sinaliza que apesar de não existir padrões normatizados de qualidade de água para condutividade elétrica adota-se em geral níveis superiores 100 ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) como referencia para indicar ambientes de água doce impactados.

A salinidade é uma grandeza adimensional constituinte da água que possibilita a caracterização das massas de água, as condições de usos múltiplos para atender as diferentes demandas (AGUADÊ, 2014).

Em estuários a salinidade oscila tanto de lugar como de horário, quando a água do mar, com média de 35‰ se mistura com a água doce 0‰ a mistura fica entre este intervalo. A salinidade varia de acordo a profundidade, pois a água salgada é mais densa e permanece no fundo (CASTRO e HUBER, 2012). As marés são o principal mecanismo de penetração de águas salinas, em lugares que há pouca influência da água doce por meio de rios ou chuvas, a salinidade pode ser elevada, isso ocorre quando as marés atingem esses locais levam água e sal (SIMÕES, 2007).

De acordo com Segundo (2001) nas águas da foz do rio São Francisco a distribuição da salinidade é regulada pelo fluxo fluvial e pela ação da maré.

A concentração média de salinidade variou entre 0,17 a 28,87‰ (Tabela x), sendo que os maiores valores foram registrados nos pontos 7 e 11 localizado a margem do município de Brejo Grande/SE e os pontos 39, 40 e 43 situados sentido Piaçabuçu no estado de Alagoas. Para os pontos supracitados a salinidade obtida entre 16,72 e 16,31‰ sentido Sergipe e 28,87, 16,83 e 20,39‰ direção Alagoas. Entretanto, houve registros de valores máximos pontuais entre estes pontos oscilando entre 37 a 65‰, sendo estes na camada abaixo da superfície, Castro e Huber (2012) indicam que a salinidade flui ao longo do fundo no que é frequentemente conhecida como cunha salina. Já a água doce e menos densa flui pela superfície.

Loitzenbauer e Mendes (2011) ainda complementam que o processo de encontro da descarga de água doce continental e do outro a ação de ondas e marés com água salgada gera um gradiente de salinidade, do continente em direção ao oceano. Se a descarga continental diminui, a ação marinha se acentua, aumentando a área estuarina ou a concentração de sais na região interior do estuário. Se a descarga continental aumenta, a mistura se desloca em direção ao oceano.

Para Medeiros et al (2014) o estuário do rio São Francisco é tipo cunha salina, sendo que as vazões afluentes no rio são determinantes para a intensidade da salinidade no estuário, assim como a sua extensão a montante da foz, sendo a vazão o principal fator controlado pelo homem que determina a magnitude e extensão da cunha salina no estuário.

As concentrações de salinidade mais significativas foram registradas no mês de março de 2015 e maio de 2015, ambas, período de sizígia e com maré

de enchente. As informações registradas conferem com Cavalcanti, Miranda e Medeiros (2017) que verificaram a ação intensificada no período de sizígia. Os autores perceberam que a salinidade apresentou forte estratificação vertical variando da superfície ao fundo entre 0,0 a 36,6 ‰ e 0,5 a 36,1‰, durante a sizígia e quadratura, respectivamente. Schettini (2002) indica que as águas tropicais podem apresentar salinidade superior a 35‰;

Pereira et al (2010) em análise no estuário de Caravelas/BA dominado por maré encontraram em seus registros valores de salinidade entre 34 e 36,5‰. Segundo (2001) em análise no estuário do rio São Francisco registrou salinidade na superfície entre 0,1 a 18,9‰ e no fundo de 9,2 a 32,2‰, segundo o autor o pico máximo de fundo ocorreu após a entrada da cunha salina no interior do estuário. Cenário similar aos da pesquisa, comparando que os maiores registros de salinidade foram obtidos após a entrada da cunha salina.

Para os valores médios da salinidade segundo a Resolução CONAMA 357/2005 possibilita em 92,83% a classificação do estuário como águas salobras, visto que os dados na faixa de concentração 0,5‰ e inferior a 30‰; conforme a resolução (Figura 23).

O rio São Francisco enfrenta há várias décadas os barramentos ao longo do canal principal e após a construção da UHE Xingó, o rio sofreu uma nova regularização acabando com as cheias na região (OLIVEIRA et al. 2001). O regime de vazões determinado pela regularização do rio para fins de geração de energia constitui fonte potencial de conflito entre abastecimento público, irrigação e vazão ambiental (MARTINS et al 2011).

Tabela 10: Estatística descritiva para as variáveis condutividade elétrica, salinidade e temperatura para a água na foz do rio São Francisco coluna Alagoas. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.

Parâmetro		Pontos de análise						
		P1	P38	P39	P40	P43	P44	P48
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$)	Média	6609,27	5928,00	5030,00	3671,25	3718,75	2298,00	2233,1
	Min	13,09	10,01	725,00	312,00	737,00	139,00	12,57
	Max	9985,00	8906,00	9384,00	6797,00	6732,00	4502,00	4502,0
	DP	4693,26	4170,44	4970,00	3559,34	3421,94	2487,56	2562,4
	CV%	71,01	70,35	98,81	96,95	92,02	108,25	114,75
Salinidade (‰)	Média	6,33	4,56	21,37	10,58	20,39	1,12	3,16
	Min	3,49	2,75	7,73	3,66	4,27	0,06	1,12
	Max	8,73	5,61	35,00	20,00	37,00	2,68	7,17
	DP	2,29	1,25	15,18	7,82	18,61	1,29	2,75
	CV%	36,23	27,35	71,04	73,89	91,30	114,70	86,91
Temperatura (°C)	Média	28,98	28,93	28,91	29,13	29,14	29,24	29,18
	Min	28,60	28,35	28,75	28,73	28,78	28,79	28,52
	Max	29,23	29,23	29,03	29,46	29,49	29,67	29,67
	DP	0,31	0,42	0,14	0,39	0,40	0,50	0,58
	CV%	1,07	1,44	0,49	1,34	1,38	1,71	2,00

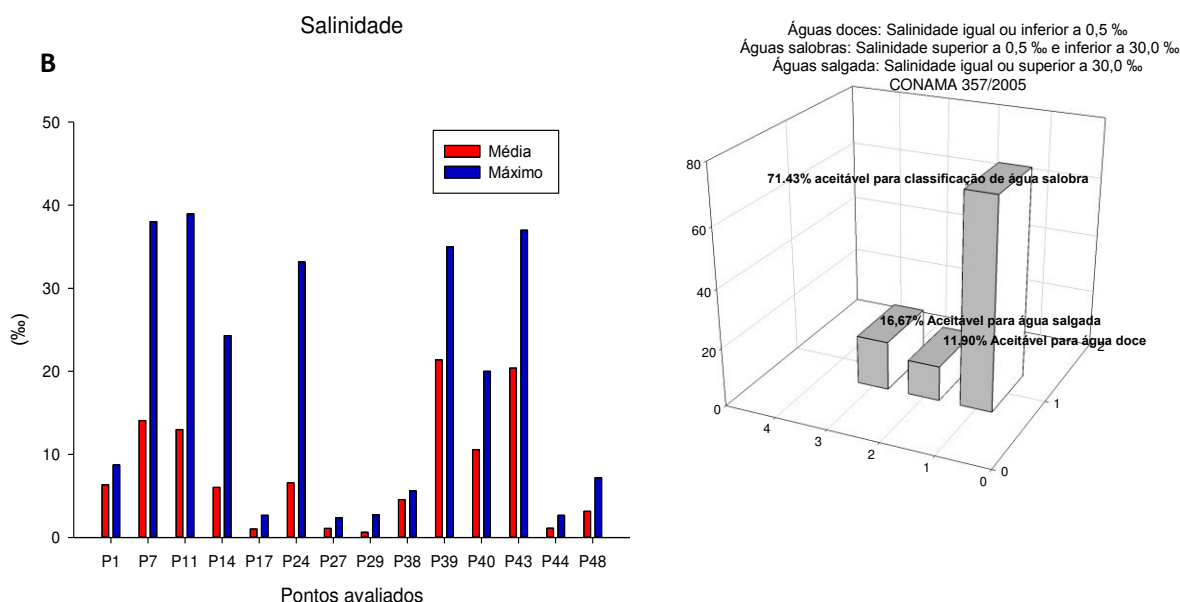
CV%(Coeficiente de variância); DP(Desvio Padrão).

Tabela 11: Estatística descritiva para as variáveis condutividade elétrica, salinidade e temperatura para a água na foz do rio São Francisco coluna Sergipe. Meses de Fevereiro, Março, abril, maio, novembro de 2015 e março de 2016.

Parâmetro		Pontos de análise						
		P7	P11	P14	P24	P27	P29	P17
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$)	Média	4318,24	4756,58	5156,97	1350,73	1573,03	1222,50	1417,03
	Min	10,73	55,38	40,74	17,37	13,00	113,00	46,26
	Max	13130,00	10000,00	12570,00	5440,00	4509,00	5268,00	4954,00
	DP	5030,42	3422,22	3896,73	2008,77	1905,37	1792,75	2091,21
	CV%	116,49	71,95	75,56	148,72	121,13	146,65	147,58
Salinidade (‰)	Média	14,07	12,99	6,03	6,57	1,10	0,63	1,03
	Min	3,20	2,02	1,18	0,06	0,00	0,05	0,05
	Max	38,03	38,95	24,31	33,17	2,38	2,74	2,67
	DP	11,33	15,44	7,61	11,62	1,07	0,95	1,19
	CV%	80,55	118,87	126,22	176,94	96,58	149,89	115,79
Temperatura (°C)	Média	28,75	28,74	28,85	28,80	29,68	28,79	28,74
	Min	26,03	25,90	26,20	26,08	26,08	26,18	26,08
	Max	30,50	30,49	30,50	30,30	30,30	30,30	30,30
	DP	1,68	1,90	1,78	1,72	10,40	1,71	1,72
	CV%	5,85	6,61	6,15	5,97	35,06	5,95	5,97

CV%(Coeficiente de variância); DP(Desvio Padrão).

Figuras 23: Valores médios e máximos para salinidade na foz do rio São Francisco durante os períodos de sizígia e quadratura (A). Porcentagem para a salinidade nos dados obtidos(B).



2.3.2 Qualidade da água de consumo captada da foz do rio São Francisco

Os resultados obtidos para o pH na água de consumo entre os municípios de Brejo Grande/SE e o povoado Saramém apresentaram valores médios dentro do limite estabelecido pela Portaria do ministério da saúde 2914/2011. A Portaria supracitada admite a faixa de pH entre 6,0 a 9,5, ressalta que, entre os valores mínimos houveram registros de pH 5,74 a 5,86 entre maio, agosto, setembro e outubro de 2016, meses já considerados chuvosos, podendo ser responsável pela diminuição do pH. Nota-se que entre os valores máximos apresentados o pH variou entre 8,38 a 8,57 indicando característica alcalina (Tabela 12 e Figura 23A).

Magalhães et al (2014) indicam que o parâmetro de pH em águas para consumo deve ser frequentemente avaliado, pois se trata de um indicador que pode potencializar elementos tóxicos ou meios bacterianos contidos na água. Dessa maneira, o controle no momento da captação e distribuição deve ser

monitorado com técnicas de tratamento que permitam um acesso ao consumo da água sem risco a saúde humana. Carmo, Bevilacqua e Bastos (2008) informam que a qualidade da água consumida resulta da qualidade da água bruta e do rigor no controle operacional dos processos de tratamento, ou seja, do ponto de captação da água, no manancial, até o ponto de consumo.

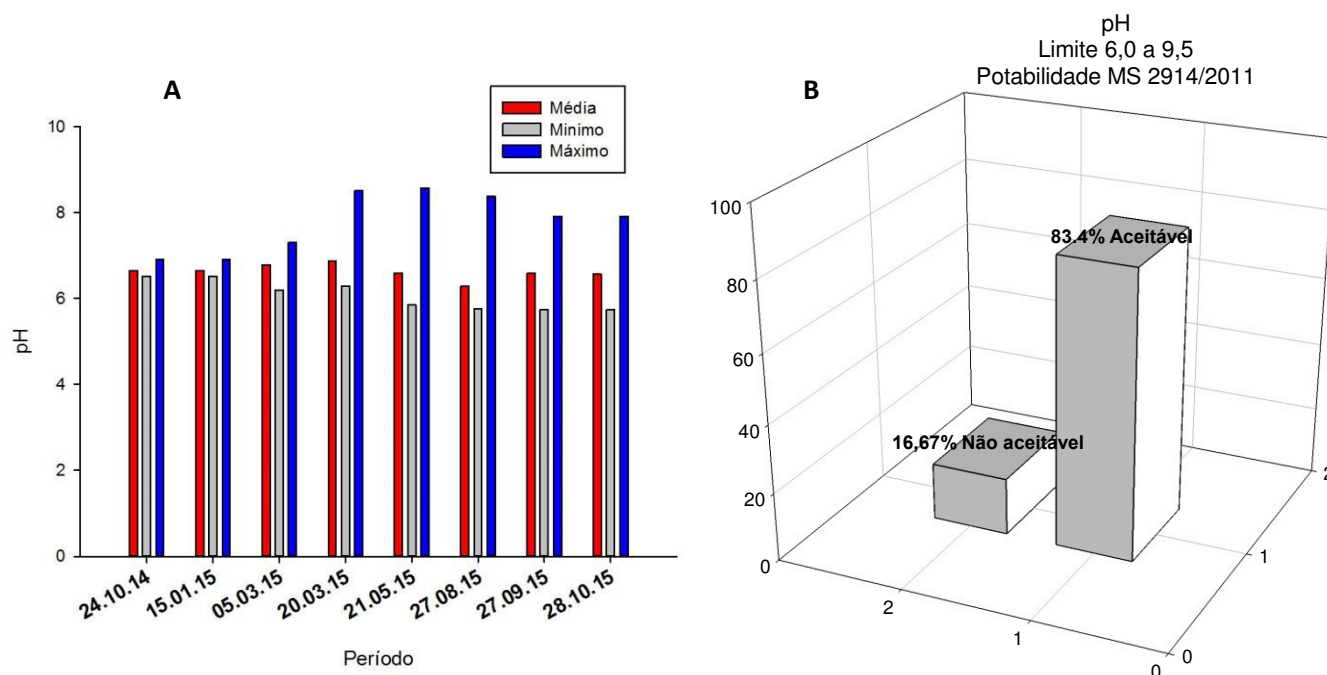
A água de consumo humano é um dos mais importantes veículos de enfermidades, o que torna primordial sua avaliação. Scalize et al (2014) em pesquisa encontraram valores com proporção similares ao apresentado neste estudo, com uma simples representação de pH menores que 6,0, as demais ficaram na faixa recomendada pela legislação, que é de 6,0 a 9,5.

Na figura 23(B) a representação proporcional das amostras com valores dentro da solicitação da legislação do Ministério da Saúde indicaram 83,4% dentro do limite estabelecido e apenas 16,67% abaixo do valor padrão legislado.

Tabela 12: Estatística descritiva para a variável pH de qualidade da água de consumo no município de Brejo Grande/SE e Povoado Saramém.

PARÂMETROS		24.10.14	15.01.15	05.03.15	20.03.15	21.05.15	27.08.15	27.09.15	28.10.15
pH Limite MS.2914/2011 (6,0 a 9,5.)	Média	6,65	6,65	6,79	6,87	6,60	6,29	6,59	6,57
	Mínimo	6,52	6,52	6,20	6,29	5,86	5,77	5,74	5,74
	Máximo	6,91	6,91	7,30	8,52	8,57	8,38	7,92	7,92

Figuras 24: Gráfico da estatística descritiva para a variável pH para qualidade da água de consumo no município de Brejo Grande/SE e Povoado Saramém (A) e (B) aceitabilidade pela Portaria do MS 2914/2011.



Na avaliação do parâmetro de sódio e cloretos os valores médios obtidos no mês de maio de 2015, apresentaram-se entre $1962,85 \text{ mg.L}^{-1}$ e $2938,62 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 12). Estes valores demonstraram uma alta concentração de sódio e cloretos presentes na água de consumo e acima do limite previsto pela Portaria MS 2914/2011, onde estabelece tolerância de até 200 mg.L^{-1} para o parâmetro sódio e 250 mg.L^{-1} para o Cloreto. Ressalta que, entre os valores máximos registrados ocorreram concentrações de $6901,99 \text{ mg.L}^{-1}$ sódio e $15010,50 \text{ mg.L}^{-1}$ para o elemento Cloreto. Entretanto, os demais meses avaliados apresentaram uma variação dos valores médios entre 6,03 a 119,12 mg.L^{-1} de sódio e de 15,26 a 247,22 mg.L^{-1} para o cloreto. (Tabela 13 e Figura 25). O sódio e o cloreto podem modificar o sabor da água tornando-a imprópria para consumo e conseqüentemente implicações a saúde humana. Morgano (2002) apresenta que teores acima de 20 mg.L^{-1} de sódio tanto na água para consumo como para preparo de alimentos já pode ser considerado fonte de risco para indivíduos que sofrem de problemas renais e de hipertensão.

O município de Brejo Grande/SE e o povoado Saramém estão localizados na área da foz do rio São Francisco, ambientes influenciados pelas oscilações das marés. Cabe ressaltar que, o ponto de captação de água bruta para o povoado Saramém está localizado no rio Paraúna este com entrada da corrente das marés com possível entrada dos elementos sódios e cloretos provenientes das águas marinhas. O ponto de captação de água bruta para a população de Brejo Grande/SE se localiza no curso principal do rio São Francisco próximo à sede dos pescadores desta região.

Segundo Cunha (2005) grande parte da população mundial vive nos centros urbanos e em áreas próximas às linhas costeiras estuarinas tornando um forte componente de impacto sobre os corpos de águas naturais. Em resposta as entrevistas semiestruturada os moradores informaram que a alteração no sabor da água era percebida durante a maré alta (Tabela 14).

Frank et al, (2012) acrescentam que o sabor produzido pelo íon cloreto varia com a sua concentração e também em função da composição química da água. Assim, a água com concentração de 250mg/l pode apresentar um sabor salino perceptível, quando o cátion presente na solução for o sódio (Na⁺).

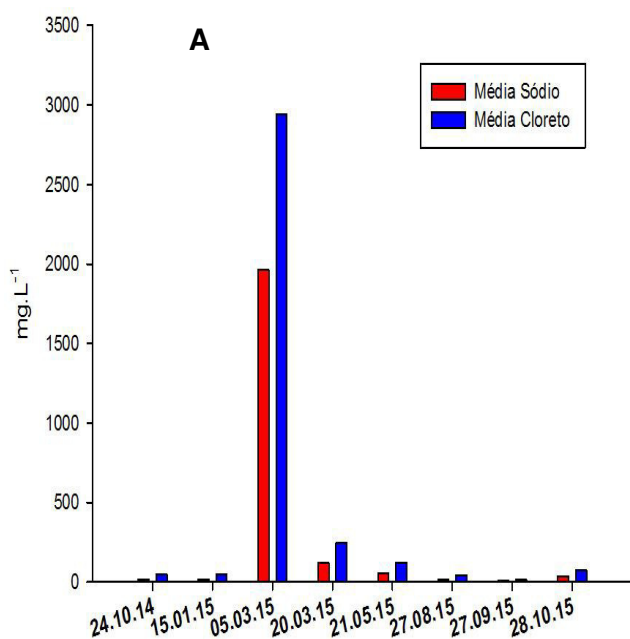
Medeiros, Lima e Guimarães (2016) registraram valores de cloretos dentro do limite estabelecido pela Portaria MS 2914/2011 em água de consumo em comunidades ribeirinhas no estado do Pará. Aspecto parcialmente similar aos valores médios da pesquisa exceto para o mês de março de 2015.

A Figura 26 apresenta a correlação de 0,99 entre o parâmetro Sódio e Cloreto, indicando uma relação mútua entre os dois elementos químicos.

Tabela 13: Estatística descritiva para as variáveis Sódio(Na^+) e Cloreto (Cl^-) para qualidade da água de consumo no município de Brejo Grande/SE e Povoado Saramém.

PARAMETROS		24.10.14	15.01.15	05.03.15	20.03.15	21.05.15	27.08.15	27.09.15	28.10.15
Sódio Limite MS.2914/2011 200 mg.L^{-1}	Média	18,11	18,11	1962,85	119,12	56,31	16,19	6,03	37,93
	Mínimo	5,81	5,81	6,39	4,26	5,87	5,20	5,96	31,17
	Máximo	39,51	39,51	6901,99	456,04	180,81	35,33	6,16	42,49
Cloreto Limite MS.2914/2011 250 mg.L^{-1}	Média	47,40	47,40	2938,62	247,22	124,00	42,39	15,26	75,20
	Mínimo	14,53	14,53	16,46	6,08	12,99	12,99	15,08	69,04
	Máximo	100,72	100,72	15010,50	954,04	413,74	90,07	15,64	80,27

Figuras 25: Gráficos dos valores médios do parâmetro Sódio (Na^+) e Cloretos (Cl^-) (A).



Figuras 26: Gráficos da correlação de Pearson para água de consumo município de Brejo Grande/SE e Saramém(B).

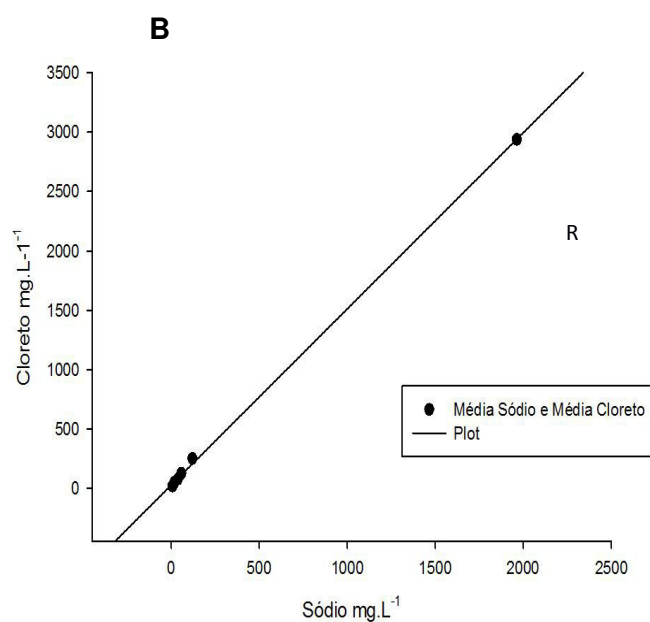


Tabela 14: Avaliação estatística qualitativa sobre alteração do sabor da água de consumo no Povoado Saramém e Brejo Grande/SE.

Influência da maré no sabor da água		
RESPOSTAS	FREQUÊNCIA	PERCENTAGEM
Mare Alta	52	96,36
Mare Baixa	3	6,64

Fonte: Autora (2016)

2.4 Conclusão

Na foz do rio São Francisco observou-se que o pH com característica alcalina na maior parte dos pontos avaliados, a condutividade e sólidos totais dissolvidos em valores significantes, porem, caracterizando indicativo de sais marinhos, isto porque a turbidez não demonstrou altas concentrações de sedimentos ou partículas elementos que favorecem o aumento da turbidez nas águas.

As concentrações de salinidade foram significantes e sinalizaram a atuação do período da maré para o aumento da mesma. Chama-se atenção que os pontos com salinidade acima de 16 (‰) estavam situados nos canais principais à margem do município de Brejo Grande/SE e Piaçabuçu/AL.

A salinidade pode estar associada às regularizações de vazões fato que inibiu os pulsos de cheias e a forçante do rio no deslocamento das marés no sentido oceânico. Pelo exposto no trabalho a foz do rio São Francisco, além do avanço do mar, enfrenta degradações pontuais como despejo de resíduos sólidos e efluentes líquidos, ocupação desordenada em suas margens e perda da mata ciliar. Todos esses problemas acentuam a perda da qualidade da água e compromete a sustentabilidade do ecossistema aquático.

A água do rio São Francisco é utilizada em diversos usos incluindo o abastecimento público e não deve oferecer risco a saúde dos usuários. Porém, elementos como Sódio e Cloreto foram registrados em limites acima do permitido pelo órgão fiscalizador do Ministério as Saúde, indicando que as ações das marés, também, podem comprometer a qualidade de consumo para a população ribeirinha. Embora não tenha sido o foco deste trabalho, levanta-se a hipótese que em áreas irrigadas com a água retirada da foz do rio São

Francisco possa conter teores de sódio o qual deva ser carregados nas águas utilizadas nas culturas.

A salinidade é um fator preocupante por comprometer diretamente os usos da água e afetar diretamente a biota na região. Sugere-se que novas pesquisas sejam implementadas na região com a finalidade de monitoramento da cunha salina e seus potenciais riscos para a população do baixo São Francisco.

REFERÊNCIAS

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta amazônica**. vol. 42(1) 2012: 115 – 124

ANA. Agência Nacional das águas. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Brasília. 2004. 337p.

ARAÚJO, S. S. Apropriação dos recursos naturais e conflitos socioambientais no baixo São Francisco em Sergipe e Alagoas. Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)– Universidade Federal de Sergipe, 2015. 663p.

BALDOTTO, M. A.; CANELLAS, L. P. Capacidade de oxidação como índice de estabilidade da matéria orgânica de sedimentos de acordo com gradiente fluvial-estuarino do rio Paraíba do Sul. **Quim. Nova**, Vol. 34, No. 6, 973-978, 2011.

BRASIL, Resolução CONAMA 357/2005. Classificação dos corpos d'água e diretrizes para o seu enquadramento e condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/>>. Acesso em 03 de março de 2009.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.266-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 28 maio 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria nº 2914/MS de 2011. Disponível em:<<http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/PORTARIA%20No->

%202.914,%20DE%2012%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202011.pdf>
Acesso em: 12 de dezembro de 2016.

BRITTO, F.B.; SILVA, T.M.M.; VASCO, A. N.; AGUIAR NETTO, A. O.; CARVALHO, C. M. Avaliação do risco de contaminação hídrica por agrotóxicos no perímetro irrigado betume no baixo rio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.9, nº.3, p. 158 - 170, 2015.

BUZELLI, G. M.; SANTINO, M. B. C. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 8, n.1, 2013.

CABRAL, S. A. S.; AZEVEDO JUNIOR, S. M.; LARRAZABAL, M. E. .Abundância sazonal de aves migratórias na Área de Proteção Ambiental de Piaçabuçu, Alagoas, Brasil. **Rev. Bras. Zool.** [online]. 2006, vol.23, n.3, pp.865-869. ISSN 0101-8175.

CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. **Eng. sanit. ambient.** Vol.13 - Nº 4 - out/dez 2008, 426-434

CARVALHO, M. E. S. e A. L. FONTES. A carcinicultura no Espaço Litorâneo Sergipano. **Revista da FAPESSE de Pesquisa e Extensão**. v. 3 n 1, p. 87-112. 2007.

CASTRO, PETER; HEBER, M. E. **Biologia Marinha**. 8. Ed. Porto Alegre:AMGH, 2012. 461p

CAVALCANTE, G.; MIRANDA, L. B.; MEDEIROS, P. R. P. Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). **RBRH**, Porto Alegre, v. 22, e31, 2017.

CBHSF-Comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Diagnóstico consolidado da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025. Volume 1. 489 p. 2016.

CBHSF-Comitê da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco. Maceió, AL, 2013, 175p.

CHESF-Companhia hidro elétrica do São Francisco. Inventário dos Ecossistemas Aquáticos do Baixo São Francisco. 3º. Relatório Anual. Dezembro/2009 a Novembro/2010. 2011. 427p

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (2008) Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB. 41 p

COSTA, F. J. C. B. Conservação de Aves Migratórias Neárticas no Brasil Recomposição da ictiofauna reofilica. Projeto de gerenciamento integrado das

atividades desenvolvidas em terras do baixo São Francisco integração. Relatório final Canindé de São Francisco. Instituto de desenvolvimento científico e tecnológico de Xingó. 74p. 2003.

COTOVICZ JR. L. C.; LIBARDONIA, B. G.; BRANDINIA, N.; KNOPPERSA, B. A. GWENAËL, A. Comparações entre medições em tempo real da pCO_2 aquática com estimativas indiretas em dois estuários tropicais contrastantes: o estuário eutrofizado da baía de Guanabara (RJ) e o estuário oligotrófico do rio São Francisco (AL). **Quim. Nova**, Vol. 39, No. 10, 1206-1214, 2016

COUTO, A. G. Análise do regime de vazão da UHE de Pedra do Cavalo no comportamento espacial e temporal da salinidade do trecho fluviostuarino do baixo curso do rio Paraguaçu a Baía de Iguape. Dissertação. MAASA. UFBA. 2014. 143p.

CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F.; SOUZA, J. A.; NAZARÉ, A.; PANTOJA, S. Monitoramento de Águas Superficiais em Rios Estuarinos do Estado do Amapá sob Poluição Microbiológica. Boletim do Museu Paraense Emílio **Goeldi. Ciências Naturais**, v. 1, n. 1, p. 191-199, 2005.

DHN. Departamento de hidrografia e navegação. Previsões de marés (Máximas e Mínimas diárias). Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>> acesso em: 01.02.2015.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3 ed. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2011.

FERREIRA, R. A.; PRATA, A. P.; ARAGÃO, A. G.; SILVA, A. C. C.; MACHADO, W. J. A vegetação do baixo São Francisco como subsídio para a recuperação de áreas degradadas. 91-112p. In: Aguiar Netto, A. O.; SANTANA, N. R. F. **Contexto socioambiental** das águas do rio São Francisco. UFS. 2015. 342p.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, M.; Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 17(3):651-660, mai-jun, 2001.

FRITZSONS, E; MANTOVANI, L. E; CHAVES NETO, A; HINDI, E. C. A influência das atividades mineradoras na alteração do pH e da alcalinidade em águas fluviais: o exemplo do rio Capivari, região do carste paranaense. **Eng. Sanit. Ambient.**. 2009, vol.14, n.3, pp.381-390. ISSN 1413-4152.

JANSEN, J. G.; SCHULZ, H. E.; Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Eng. sanit. Ambiente**. Vol.13 - Nº 3 - jul/set 2008, 278-283.

JESUS, N. B.; GOMES, L. J. Conflitos socioambientais no extrativismo da aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), Baixo São Francisco - Sergipe/Alagoas. **Ambient. soc.** 2012, vol.15, n.3, pp.55-73.

LIMA, G. M. P. Caracterização sedimentológica e dos padrões de circulação e mistura do estuário do rio Jacuípe - litoral norte do estado da Bahia. Dissertação Instituto de geociências curso de pós-graduação em geologia. UFBA. 85p

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 11(2):233-245 (2011).

MAROTTA, H.; DOS SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: Um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento na gestão urbano ambientais. **Ambiente & Sociedade**. Campinas, v. XI, n.1, p.67-69, jan-jun 2008.

MARTINS, D. M. F.; CHAGAS, R. M.; MELO NETO, J. O. M.; MELLO JUNIOR, A. V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.9, p.1054–1061, 2011.

MEDEIROS, A. C.; LIMA, M. O.; GUIMARÃES, R. M.; Exposição a poluentes urbanos e industriais nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 21(3):695-708, 2016.

MEDEIROS, P.RP.; SANTOS, M. M.; CAVACANTE, G. H.; DE SOUZA, W, F. L.; SILVA, W.F. Características ambientais do Baixo São Francisco(Al/SE): Efeitos de barragens no transporte do materiais na interface no continente oceano. **Geochimica Brasiliense**. V 28. 65-78.2014.

MMA. Ministério do meio ambiente. O sistema nacional de unidades de conservação da natureza. 2011. 16p

MORGANO, M. A.; SCHATTI, A. C; ENRIQUES, H. A; MANTOVANI, D. M. B. Avaliação físico-química de águas minerais comercializadas na região de Campinas, SP. **Ciênc. Tecnol. Aliment**. 2002, vol.22, n.3, p.239-243.

MOURA, A.C.; ASSUMPÇÃO, R.A.B.; BISCHOFF, J.; Monitoramento físico-químico e microbiológico da água do rio Cascavel durante o período de 2003 A 2006 . **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.76, n.1, p.17-22, jan./mar., 2009.

NUNES, F. P.; PINTO, M. T. C. Conhecimento local sobre a importância de um reflorestamento ciliar para a conservação ambiental do Alto São Francisco, Minas Gerais. **Biota Neotrop**. [online]. 2007, vol.7, n.3, pp.171-179. ISSN 1676-0611.

OLIVEIRA, C. N. O.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. **Quim. Nova**, Vol. 33, No. 5, 1059-1066, 2010.

PAIVA, R. S.; ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J. Z. O.; CUNHA, M. G. G. S.; MELO, N. F. A. C. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton Considerações ecológicas sobre baía do Guajará e foz do rio Guamá, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 2, p. 133-146, maio-ago. 2006

PEREIRA, M. A. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A. F. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, v28 n(3), p 427-444, 2010.

SANTOS, L. C. M. Sistema estuarino lagunar do rio São Francisco, zona costeira de Sergipe: Uso e cobertura da terra e diagnóstico ambiental dos manguezais. Dissertação. Departamento de pós graduação em Ciências Ambientais da Universidade de São Paulo-USP. 2010. 130p

SARAIVA, V. K; NASCIMENTO, M. R. L.; PALMIERI, H. E. L.; JACOMINO, V. M. F. Avaliação da qualidade de sedimentos - estudo de caso: sub-bacia do Ribeirão Espírito Santo, afluente do Rio São Francisco. **Quím. Nova [online]**. 2009, vol.32, n.8

SCALIZE, P. S.; BARROS, E. F. S.; SOARES, L. A.; HORA, K. E. R.; FERREIRA, N. C.; BAUMANN, L. R. F. Avaliação da qualidade da água para abastecimento no assentamento de reforma agrária Canudos, Estado de Goiás. **Rev. Ambient. Água** vol.9 no.4 Taubaté Oct./Dec. 2014

SCHETTINI, C. A. F. Caracterização Física do Estuário do Rio Itajaí-açu, SC RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 7 n.1 Jan/Mar 2002, 123-142

SEGUNDO, G. H. C. Caracterização Hidrodinâmica sedimentologica do estuário e delta do rio São Francisco. Dissertação. Departamento de meteorologia/CCEN/UFAL. 2001.125p.

SEMENSATTO JUNIOR, D.L. O sistema estuarino do delta do São Francisco-SE: análise ambiental com base no estudo de foraminíferos e tecamebas. Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências. Rio Claro (SP) 2006. 226p

SIGRIST, M. S.; CARVALHO, C. J. B. Detection of areas of endemism on two spatial scales using Parsimony Analysis of Endemicity (PAE): the Neotropical region and the Atlantic **Forest. Biota Neotrop.**, vol.8, n.4. 2008.

SILVA, M. G. Modelagem ambiental na bacia hidrográfica do rio Poxim – Açu/SE e suas relações antrópicas. Tese de doutorado. Departamento de

desenvolvimento e meio ambiente. Universidade Federal de Sergipe. 2013. 224p.

SIMÕES, E. C. Diagnostico ambiental em manguezais dos complexos estuarinos da Baixada Santista e da Cananéia/SP no tocante a metais pesados e organoclorados. Dissertação. Instituto de Química da Universidade Federal de Sergipe. USP. 2007. 183p

SOUZA, F. P.; PERTEL, M.; TEIXEIRA, T.; FERREIRA, A. V.; MENEZES, L. E. F.; PEREIRA, P. S. F.; Qualidade da água de abastecimento da comunidade tamarindo em Campos dos Goytacazes/RJ. **Perpectiva on line**. Ciências exatas engenharia. 2015. 1-16.

VALENTE, R. M; SILVA, J. M. C.; STRAUBE, F. C.; NASCIMENTO, J. L. X. Conservação de aves migratórias neárticas no Brasil. Conservação internacional, 2011 400 p.

VASCONCELOS, F. M.; TUNDISI, G. J.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Avaliação da qualidade de água. 1^a ed., **Sociedade Mineira de Engenheiros Agrônomos**, 322 p., 2009.

CAPÍTULO 3: HIDRODINÂMICA DA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO COM USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

RESUMO

A hidrodinâmica das águas de um rio que correm para o mar passa a estabelecer importante controle no volume e direção do curso de água. O estudo foi realizado na área da foz do rio São Francisco entre os municípios de Propriá/SE e Piaçabuçu/AL baixo São Francisco. Para a calibração do modelo hidrodinâmico, as simulações foram ajustadas com base nos parâmetros de uma campanha de campo realizada nos dias 26 e 27 de setembro de 2015, no final da maré de quadratura e início da maré de sizígia momento em que as águas em oscilações verticais estão mais altas, fechando um ciclo de 12 horas. No cenário hidrodinâmico percebeu-se a influência da maré sobre o fluxo do rio em trechos acima de Piaçabuçu/AL, ocorrência que pode permitir mudança na dinâmica ambiental e alteração das características da qualidade da água em detrimento ao controle das vazões liberadas pela Usina hidrelétrica de Xingó.

Palavras chaves: Hidrodinâmica, Vazão, Corrente marinha.

ABSTRACT

The hydrodynamics of the waters of a river that flows to the sea establish important control in the volume and direction of the watercourse. The study was carried out in the area of the mouth of the São Francisco River between the municipalities of Propriá / SE and Piaçabuçu / AL under São Francisco. For the calibration of the hydrodynamic model, the simulations were adjusted based on the parameters of a field campaign carried out on September 26 and 27, 2015, at the end of the quadrature tide and beginning of the tide of syzygy at which time the waters in oscillations are higher, closing a 12-hour cycle. In the hydrodynamic scenario, the influence of the tide on the flow of the river in areas above Piaçabuçu / AL was observed, which may allow changes in the environmental dynamics and alteration of water quality characteristics in detriment to the control of the flows released by the Hydroelectric Power Plant Cursed

Key words: Hydrodynamics, Flow, Marine current.

3.1 Introdução

A hidrodinâmica dos estuários representa um fator determinante nos processos e na dinâmica do ambiente local. As oscilações hidrodinâmicas existentes em áreas de foz permitem que as águas do mar se misturem com as águas fluviais estabelecendo processos de circulação de troca e energia do ecossistema aquático.

A dinâmica dos estuários basicamente é governada pelas ações das marés e o fluxo de água doce. Para Shi e Lu (2011) este processo de mistura entre as águas da zona costeira e as águas do rio, possibilita o transporte de sedimentos e a biogeoquímica aquática. D'Aquino et al (2011a) ainda acrescentam que os estuários são altamente variáveis em termos físicos e propriedades biológicas, e que o sistema hidrodinâmico estuarino é a resposta à mudança no fluxo da água doce.

Em conjunto com o sistema estuarino existe a foz do rio é fundamental para a população e equilíbrio dos recursos naturais, porém, atualmente, boa parte do seu curso marginal e sua descarga fluvial passam por fortes efeitos das ações antrópicas, dos quais são sinalizados pelo avanço da degradação ambiental nesses espaços. Estas alterações comprometem a sustentabilidade de grandes rios, entre estes se podem citar a bacia hidrográfica do rio São Francisco, que atualmente apresenta boa parte de seus afluentes em condições de risco.

Um dos fatores de risco é o processo da regularização das vazões atribuída as construções das barragens ao longo do curso do rio São Francisco (MARTINS et al 2011). De acordo com Aragão, Severiano e Moura (2015) a instalação de barragens provoca alterações na integridade dos rios, Bortone, Ludwig e Xavier (2016) incidem que são inquestionáveis os seus impactos ambientais e sociais, porem, já ultrapassa a 800.000 o número de barragens no mundo. As barragens são definidas como estruturas em um curso permanente ou temporário de água (BRASIL, 2012). Para Derrosso e Ichikawa (2012) o barramento na maioria das vezes provoca o alagamento de áreas de terras produtivas e todo sistema social e ecológico culminam juntos.

Fato observado nas construções de barragens ao longo do rio São Francisco, das quais foram responsáveis por modificações naturais e sociais neste ambiente, impulsionaram problemas que não foram dimensionados no período de instalação. Para Medeiros et al (2007), uma das modificações mais notáveis da construção de barragens em rios é a regularização da vazão, objetivando um suprimento de água necessário à geração de energia elétrica, causando grande redução na vazão natural, provocando um desequilíbrio de energia entre o rio e o mar.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações hidrodinâmicas na área da foz do rio São Francisco por meio de modelagem hidrodinâmica.

3.2 Metodologia

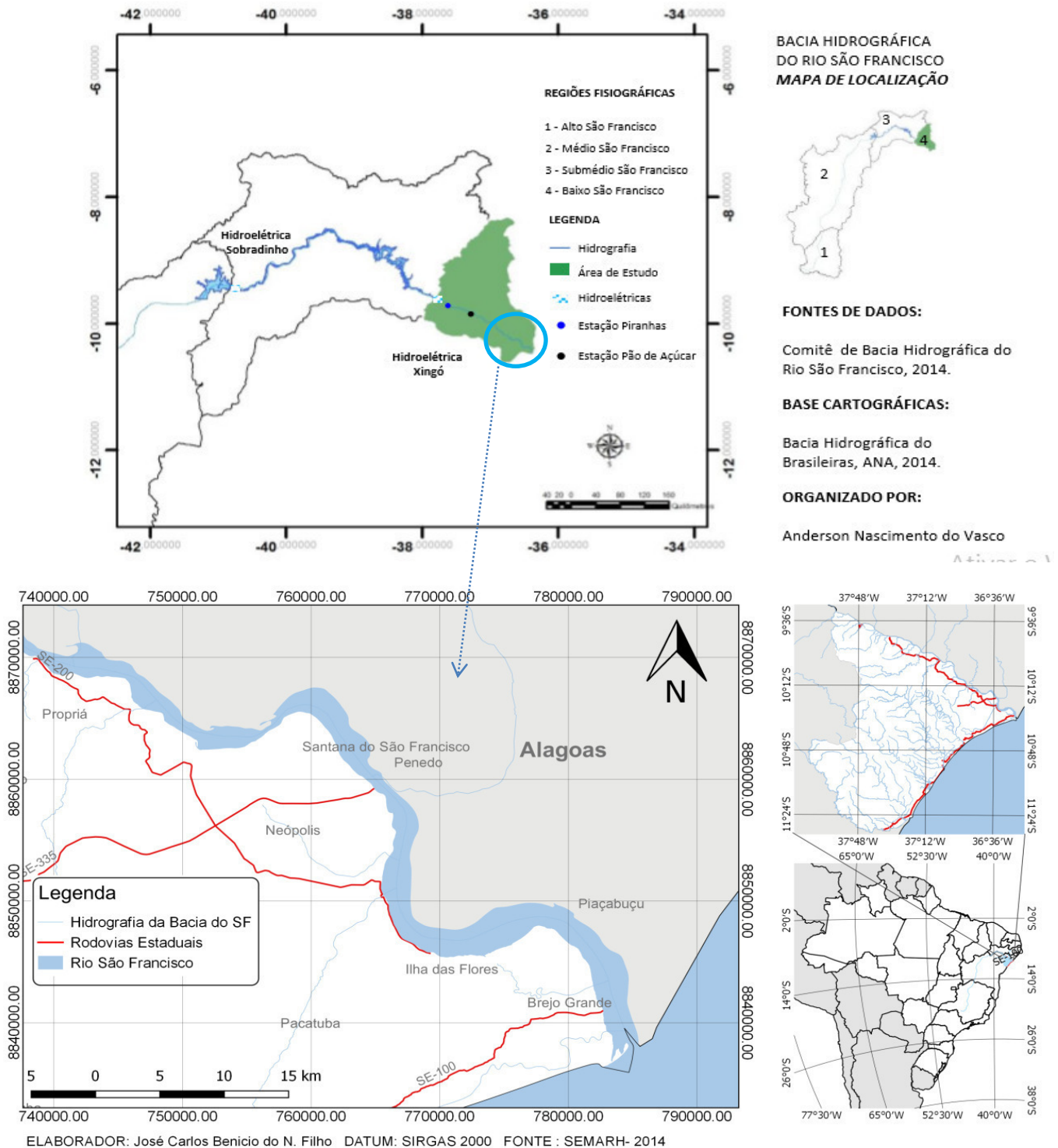
3.2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Francisco possui 639.219km² de área de drenagem cujo leito principal apresenta 2.700km de extensão com vazão média de 2.850m³.s⁻¹, percorrendo os estados da Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal (CBHSF, 2015).

Segundo a Agência Nacional de Águas (2005) esta bacia está dividida em quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco que, para fins de planejamento, essas áreas foram subdivididas em trinta e quatro pequenas bacias, e 12.821 microbacias com a finalidade de delinear por trechos os principais rios da região. O estudo foi realizado na área da foz do rio São Francisco entre os municípios de Propriá/SE e Piaçabuçu/AL (Figura 26) regiões pertencentes ao baixo São Francisco. O clima da região divide-se em tropical semi-árido e tropical semi-úmido, a evapotranspiração pode variar de 600 a 700mm na estação úmida e 750mm a 800mm na estação seca, as precipitações anuais podem diminuir a partir da costa, há ocorrência de solos hidromórficos, incluindo os solos orgânicos, gley e aluviais, que em seu estado natural vivem sujeitos a inundações periódicas, apresentam limitação de fertilidade e estão mais propensos a cultura de arroz (IPEA, 2002).

A faixa litorânea mergulha sob o oceano e avança como substrato da borda continental e as rochas da bacia sedimentar constituem o substrato geológico do trecho final do sistema rio-mar São Francisco (FONTES, 2016).

Figura 26: Mapa bacia hidrográfica rio São Francisco e localização da área de estudo entre os municípios de Própria/SE a Piaçabuçu/AL.



Fonte: SEMARH/SE

3.2.2 Modelo hidrodinâmico

A modelagem hidrodinâmica foi realizada por meio do sistema SisBahia (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) versão 9.1, que representa satisfatoriamente o fenômeno de interesse. Além disso, a interface desse sistema é considerável, amigável e tem sido aperfeiçoado constantemente através das pesquisas. Os principais dados de entrada do SisBaHiA são: vazões, velocidade do vento, batimetria do rio, constantes harmônicas, malha de elementos finitos, mapa de contorno de terra e água, rugosidade, precipitação, entre outros. O acesso a este software é livre mediante termo de responsabilidade adquirido pela COPPE/UFRJ permitido seu uso científico e para gerenciamento dos recursos hídricos.

No modelo hidrodinâmico processos de calibração são minimizados devido à discretização espacial via elementos finitos, permitindo maximizar a confiabilidade dos dados podendo ser utilizado para simular diversos cenários que envolvam rios, estuários, zonas costeiras, baías, canais, lagos, lagoas e reservatórios (ROSMAN, 2015).

O SisBahia possui um modelo hidrodinâmico denominado FIST3D (Filtered in space and time), otimizado para corpos de águas naturais com superfície livre onde a modelagem da turbulência é baseada em técnicas de filtragem, com similaridades das aplicadas na Simulação de Grandes Vórtices (LES - Large Eddy Simulation), considerado o estado da arte para turbulência do escoamento geofísico (ROSMAN et al. 2001).

O modelo hidrodinâmico FIST3D do SisBaHiA é composto por dois módulos: o primeiro promediado na vertical ou bidimensional na horizontal (2DH), por intermédio do qual a elevação da superfície livre e velocidades de corrente (2DH) promediadas na vertical são calculadas, já o segundo módulo denominado 3D calcula o campo de velocidades tridimensionais através de duas opções possíveis.

- a) Modelo 3D totalmente numérico, acoplado a um módulo 2DH. O FIST3D é um modelo 3D completo, para fluidos homogêneos.
- b) Modelo 3D analítico-numérico para obter os perfis de velocidade no campo de escoamento horizontal. Esta opção é mais eficiente em termos computacionais, mas apenas considera a aceleração advectiva

no módulo 2DH. Portanto, dá resultados menos precisos em regiões nas quais as acelerações advectivas variem significativamente ao longo da profundidade. Nessa opção, os perfis de velocidade são computados através de uma solução que é função das velocidades 2DH promediadas na vertical, elevação da superfície livre, rugosidade equivalente de fundo do módulo 2DH, e da velocidade do vento atuando na superfície livre da água.

A formulação matemática do modelo hidrodinâmico compreende as equações de Navier-Stokes, fundamental para representação de qualquer corpo d'água. Os resultados da simulação podem ser representados por 3D ou 2DH mediante os dados de entrada. Os modelos 2D apresentam predominantemente fluxo bidimensional e exigem consideráveis números de parâmetros, dos quais precisam ser bem conhecidos para não gerar imprecisão nos resultados. Nesta pesquisa utilizou-se o módulo 2DH atendendo o objetivo solicitado, o resumo das equações governantes 3D estão nas Figuras 27 e 28.

A discretização espacial foi realizada por meio de 601 elementos quadrangulares de quarta ordem. Já a discretização vertical da coluna d'água foi realizada através de diferenças finitas com transformação sigma. O passo de tempo usado nas simulações hidrodinâmicas foi de 30 segundos, com um Courant máximo igual a 3,0.

Figura 27: Equação da quantidade de movimento, com aproximação hidrostática, na direção x:

$$\underbrace{\frac{\partial u}{\partial t}}_{(1)} + \underbrace{u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}}_{(2)} = \underbrace{-g \frac{\partial \zeta}{\partial x}}_{(3)} - \underbrace{\frac{1}{\rho_0} g \int_z^{\zeta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz}_{(4)} + \underbrace{\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right)}_{(5)} + \underbrace{2\Phi \text{sen } \theta v}_{(6)}$$

Fonte: (SILVA, 2014).

Figura 28: Equação da quantidade de movimento, com aproximação hidrostática, na direção y:

$$\underbrace{\frac{\partial v}{\partial t}}_{(1)} + \underbrace{u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}}_{(2)} = \underbrace{-g \frac{\partial \zeta}{\partial y}}_{(3)} - \underbrace{\frac{1}{\rho_0} g \int_z^{\zeta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz}_{(4)} + \underbrace{\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right)}_{(5)} - \underbrace{2\Phi \text{sen } \theta u}_{(6)}$$

Fonte: (SILVA, 2014).

O detalhamento e organização da fórmula estão baseados em (ROSMAN, 2016, p. 45) e (SILVA, 2014, p. 8).

- (1) Configura a aceleração local do escoamento. Em escoamentos permanentes, esse termo é igual a zero.
- (2) Representa a aceleração advectiva do escoamento. Em escoamentos uniformes, esses termos são iguais a zero.
- (3) Representa a variação da pressão hidrostática na direção x (gradiente de pressão), devido à declividade da superfície livre na direção x . Conforme indicado pelo sinal negativo, este termo força escoamentos de lugares onde o nível de água é mais alto para lugares onde o nível de água é mais baixo.
- (4) Representa a variação da pressão hidrostática na direção x , y (gradiente de pressão), devido às diferenças de densidade. Conforme indicado pelo sinal negativo, este termo força escoamento de lugares onde a água é mais densa para lugares onde a água é menos densa.
- (5) Representa a resultante das tensões turbulentas dinâmicas no escoamento (balanço de fluxos difusivos). Entre outras coisas, é através desses termos que o escoamento sente o atrito do fundo e a ação do vento sobre a superfície livre gerando os perfis de velocidade.
- (6) Representa a aceleração de Coriolis decorrente de o referencial estar se movendo com a rotação da Terra. Esse termo é irrisório próximo ao equador.

3.2.3 Dados iniciais para modelagem

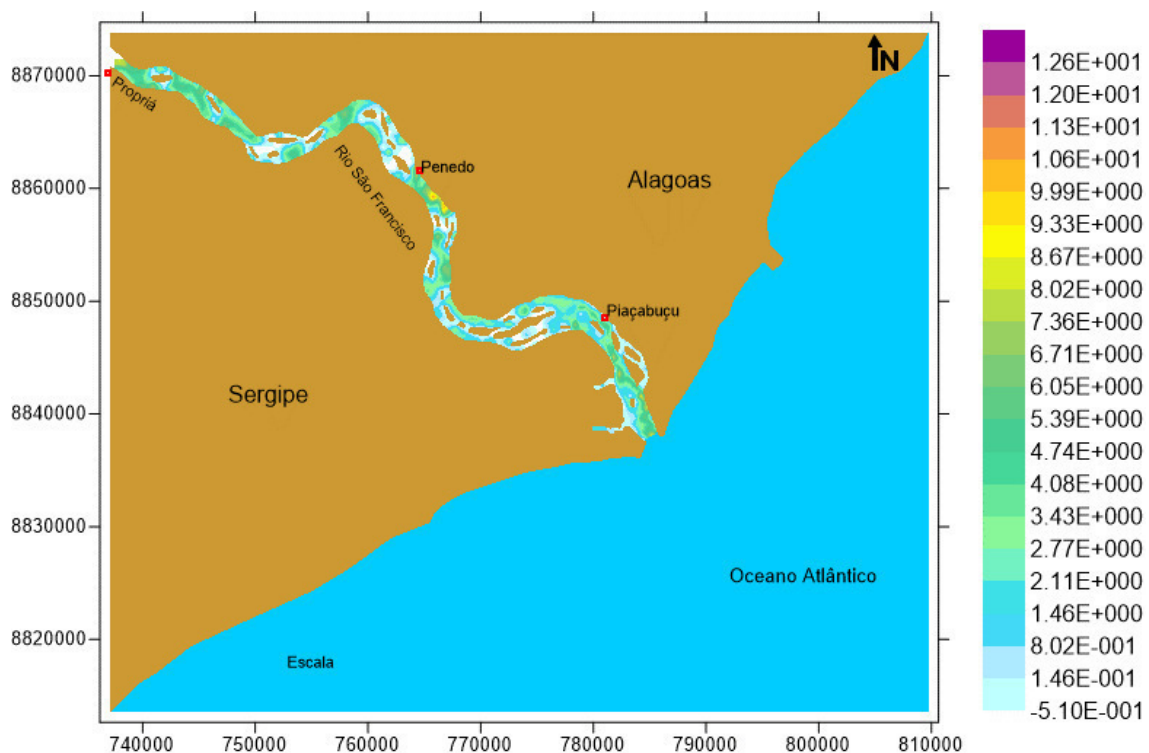
Para a elaboração do contorno geométrico da área da foz do rio São Francisco tomou-se por base a carta náutica da barra da foz do rio São Francisco do Norte, elaborada pelo Departamento de hidrografia e navegação (DHN) e coordenadas definidas por meio de imagens de satélites do programa Google Earth. Considera-se esta etapa importante, para estruturar os espaços e a representação dos fenômenos ambientais simulados.

A carta náutica foi inserida no programa Surfer, versão 12, para a elaboração dos contornos de terra e mar e em seguida importados para o modelo. O contorno de terra representou a parte seca limitando as margens principais dos rios São Francisco, Paraúna e Potengy, bem como as ilhas Criminosa, Fitinha e Negra, e do canal Parapuca. Para a representação do contorno de terra e mar, indicou-se que a coloração azul indica o mar, área aberta, e a cor marrom o contorno de terra Figura 29.

As informações referentes a batimetria da área de estudo foram retiradas das cartas Náuticas DHN (nº1002 e 22300), levantamentos batimétricos realizados pelo departamento de pesquisa GeoRioMar, da Universidade Federal de Sergipe e dados fornecidos pelos comandantes das embarcações nativos da região, dados que complementarão áreas que as cartas náuticas não apresentaram informações.

O valor de rugosidade equivalente de fundo ε^4 adotado foi de 0,020m, com predominância de areias finas e médias, tomando por base as análises de granulometria dos sedimentos de fundo realizadas no ITPS (Instituto Tecnológico de Pesquisa do Estado de Sergipe), seguindo os valores sugeridos para amplitude efetiva da rugosidade de fundo sem efeitos de ondas entre 0,0070m a 0,0300m (Abbot e Basco⁵, 1989 apud Rosman, 2015). O mapa batimétrico representa o perfil de profundidade distribuída em todo o canal avaliado, conforme Figura 29.

Figura 29: Batimetria utilizada no domínio de modelagem.

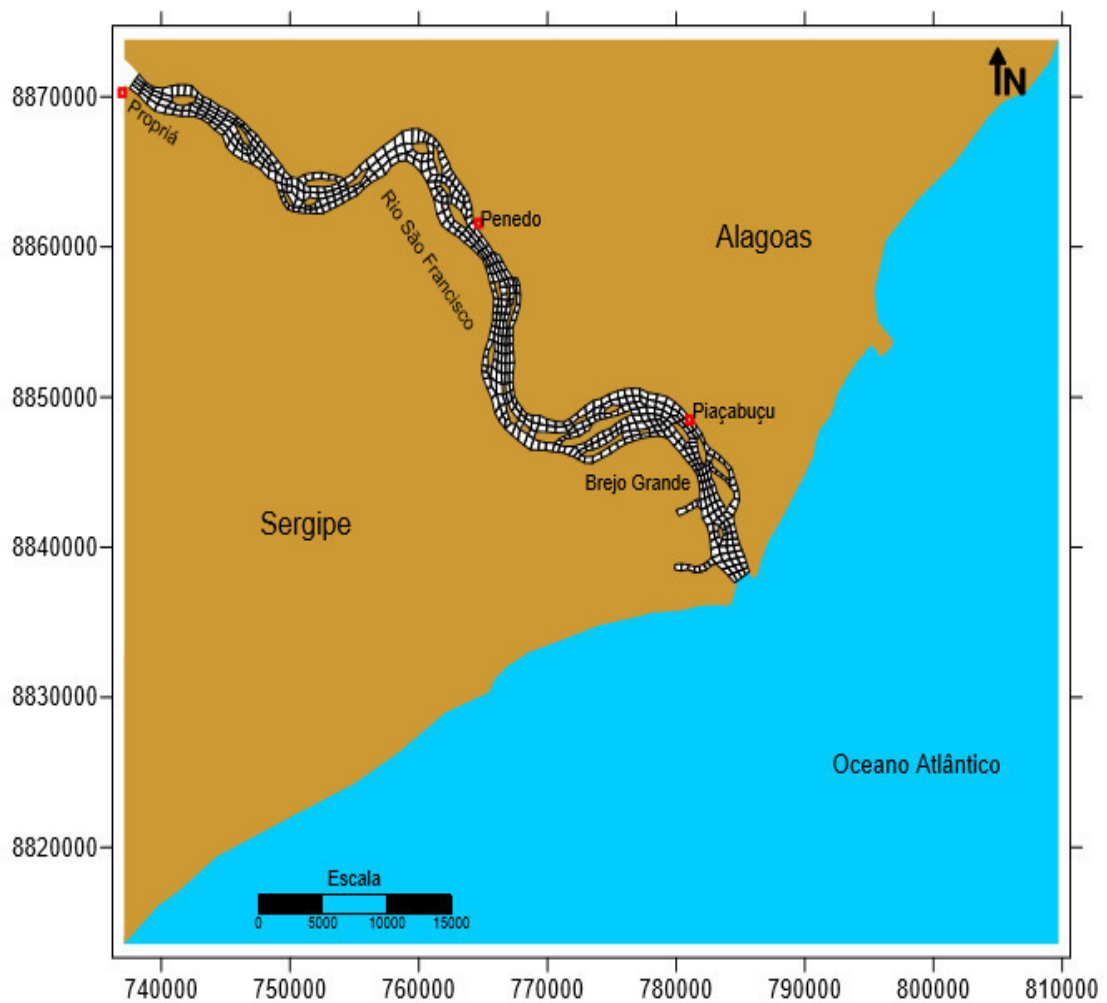


⁴ ε Significa amplitude

⁵ Abbot, M.B; Basco, D.R. Computational Fluid Dynamics, an Introduction for Engineers, Longan Group, UK Limited, 1989.

A discretização espacial do domínio de modelagem foi realizada por meio de uma malha de elementos finitos, representando as principais configurações do trecho da foz até o município de Propriá/SE. A malha de discretização possui 1.854 nós no plano horizontal e 1.053 níveis verticais, totalizando 2.907 pontos de cálculos, 128,9km² de área e profundidade média de 4.36m (Figura 30).

Figura 30: Malha de elementos finitos do domínio de modelagem.

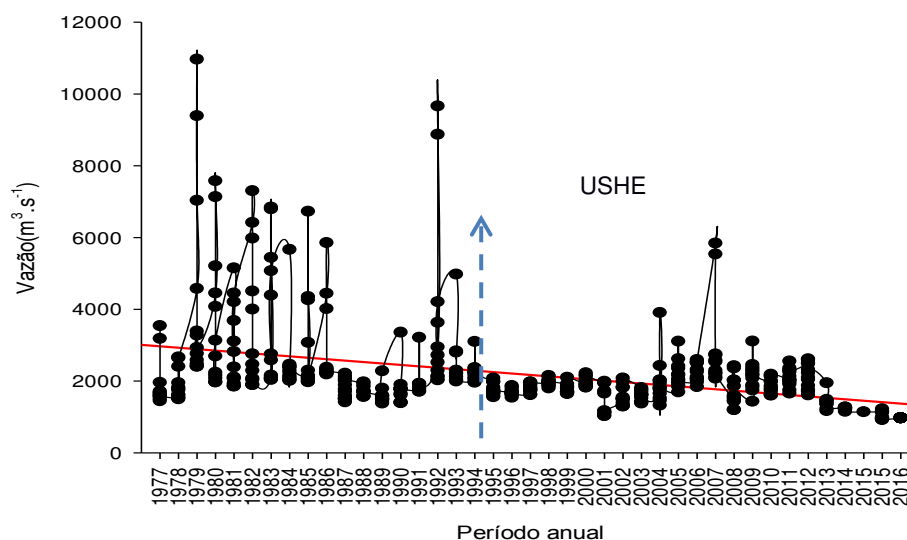


3.2.4 Forçantes do Modelo

As constantes harmônicas utilizadas para representar a forçante de maré, baseou-se na estação maregráfica de Cabeço (Estação 127), localizada na barra da foz do rio São Francisco em frente ao farol, controlada pela Fundação de estudos do Mar (FEMAR, 2016). Os dados das constantes harmônicas estão descritas em Tabela no APÊNDICE A.

Para verificar as variações da vazão e seu comportamento no curso do leito d'água na região da foz do rio São Francisco, analisou-se uma série temporal de 39 anos das descargas fluviais (Q_f) das médias mensais. A média da vazão liberada pela Usina hidrelétrica de Xingó no município de Propriá, para o ano simulado, foi considerada constante em torno de $952\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, avaliando o ano de 2015 a 2016, dados obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA), Figura 31.

Figura 31: Gráfico das vazões médias mensais no baixo rio São Francisco no período de 1979 a 2016 registrados pela estação fluviométricas no município de Propriá/SE.

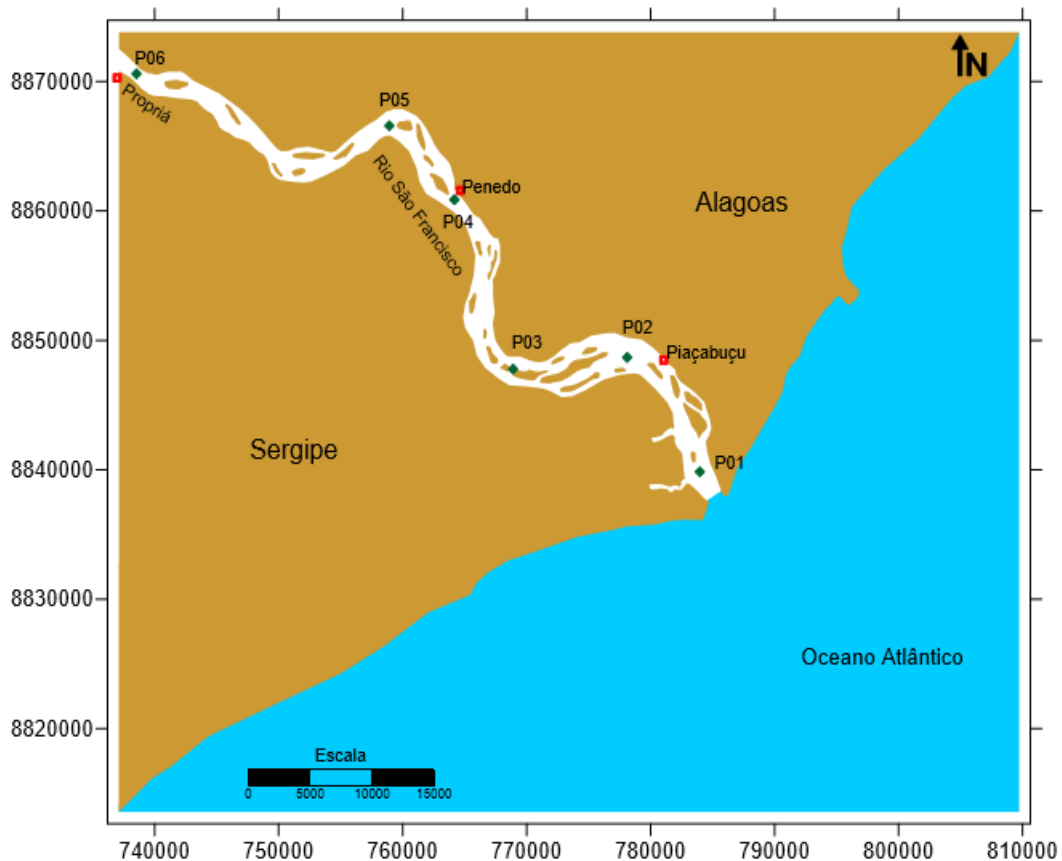


Fonte: Agencia Nacional de Águas (ANA)

3.2.5 Simulações dos cenários

Para o monitoramento dos cenários simulados foram definidos seis pontos ao longo do curso do rio. O ponto 1 refere-se a Ilha criminosa com aproximadamente 4km de distancia da foz, ponto 2 Piaçabuçu/AL com distancia de 10km, ponto 3 situa-se no município Ilha das Flores/SE 16km, ponto 4 Penedo/AL 30km, ponto 5 Saúde/SE 37km, ponto 6 Propriá/SE com 57km de distância da foz, conforme Figura 10. Destaca-se que os pontos foram direcionados pela localização do canal principal do rio, ocasionando registros de pontos no estado de Sergipe e Alagoas, conforme Figura 32.

Figura 32: Mapa com os pontos de vazão avaliados ao longo da foz do rio São Francisco.



3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Calibração do modelo hidrodinâmico

Para a calibração do modelo hidrodinâmico, as simulações foram ajustadas com base nos parâmetros da 6ª campanha de campo realizada nos dias 26 e 27 de setembro de 2015, no final da maré de quadratura e início da maré de sizígia, momento em que as águas em oscilações verticais estão mais altas, fechando um ciclo de 12 horas. Esse ciclo caracterizou bem o regime de maré existente na foz do rio São Francisco o qual é considerado semidiurna com intervalo de 12,4 horas, classificação detalhada por Miranda, Castro e Kjerfve, (2002), através de cálculo apresentado por número de forma (N_f) no qual o resultado obtido teve o valor de 0,16 classificando assim o tipo de maré da área de estudo.

A validação do modelo, checando as variações do nível de maré e em seguida as velocidades das correntes, faz parte da metodologia sugerida por Rosman et al (2013), no processo de modelagem. As primeiras verificações demonstraram que a batimetria, a velocidade e vazões simuladas correspondiam aos dados medidos em campo. Os dados de velocidade foram extraídos do relatório de monitoramento da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF, 2009), que realizou monitoramento em um ponto localizado a 4 km da foz, com coordenadas UTM 24L 784605 e 8841266.

Utilizou-se a correlação de Pearson para análise dos resultados no ponto amostral, França (2013) destaca que, após a calibração do modelo, os erros referentes aos níveis de água devem ser inferiores a 5%, velocidade e vazão inferior a 20%. Tendo por base esses valores, a correlação apresentou-se com 97,98% e 94,28% indicando uma forte correlação com os dados simulados (Figura 33 e 34), para os valores registrados em campo e simulado verificar Tabela 15 em APÊNDICE. Ao todo foram realizadas 8 calibrações sendo a última considerada com comportamento adequado, sendo a melhor porcentagem de calibração.

Figura 33: Análise da correlação entre a velocidade de corrente da água medida e simulada no dia 17/12/2009 das 15:00h as 22:00h.

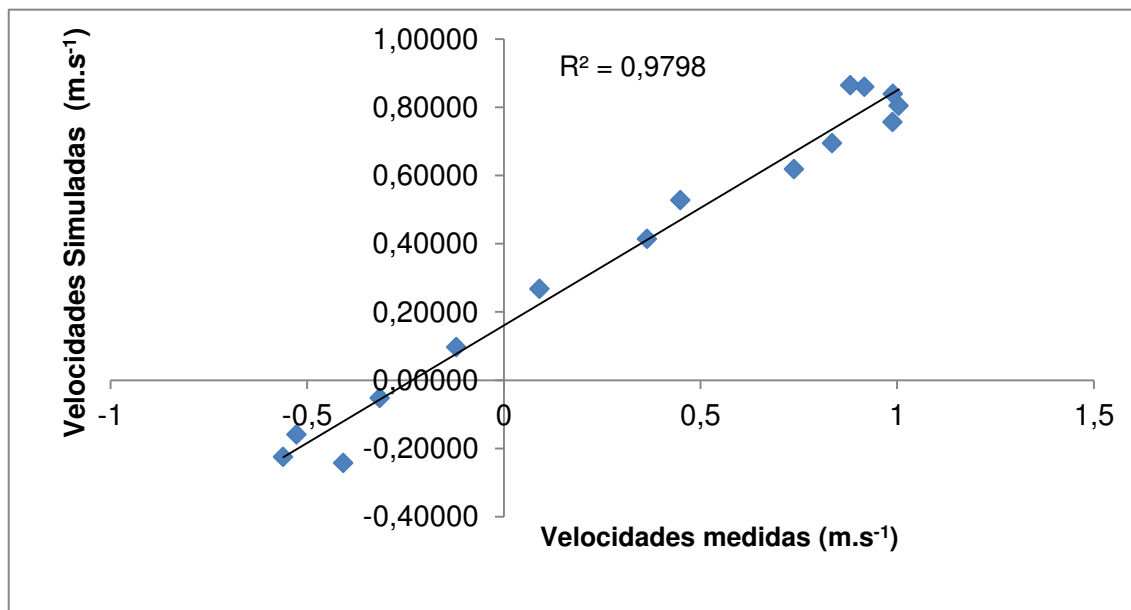
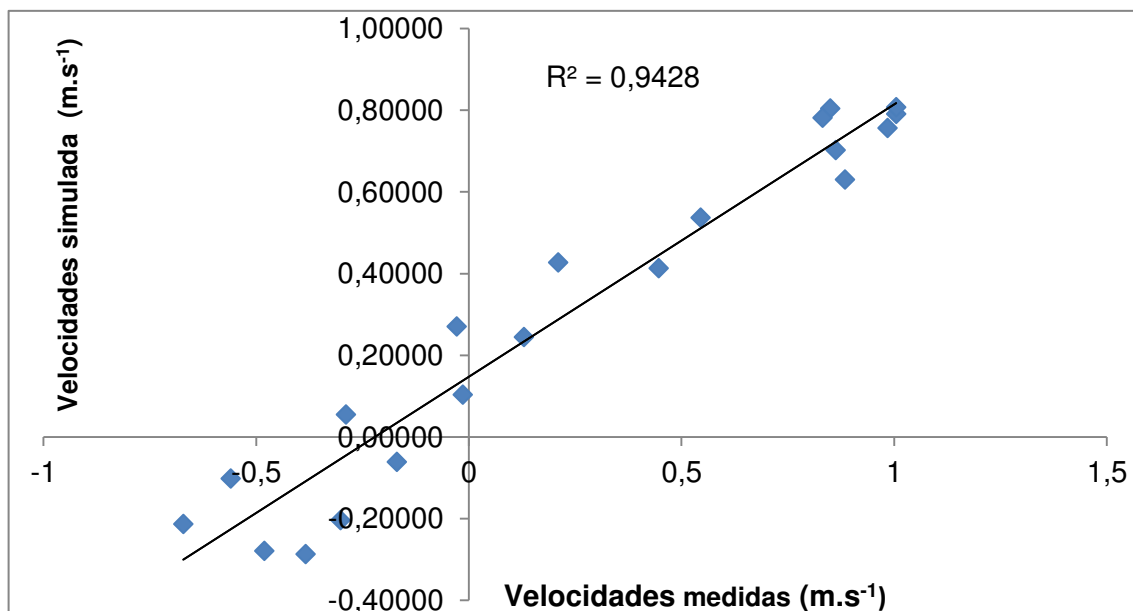


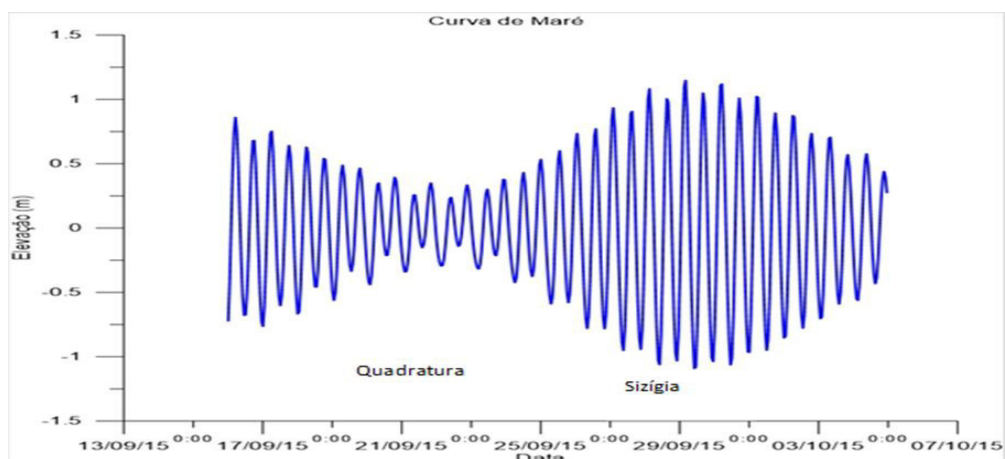
Figura 34: Análise da correlação entre a velocidade de corrente da água medida e simulada no dia 18/12/2009 das 01:00h as 10:30h.



Entende-se que o modelo hidrodinâmico SisBahia já contenha mecanismos de auto calibração necessitando apenas dos dados de entrada, proporcionando consistência entre os valores reais e previstos nos níveis de

água 90% e da direção fluxo e dos ventos em torno de 70%. A simulação ocorreu com um espaço de 13 dias, fechando um ciclo de maré de sizígia Figura 35.

Figura35: Marés simuladas para o período de 16/09/2015 a 28/09/2015.



Fonte: Estação maregráfica Cabeço/SE

3.3.2 Cenário hidrodinâmico na foz do rio São Francisco

Para a análise do comportamento da dinâmica da vazão do rio e a expansão da deslocamento das marés na Figura 36F e 36B demonstra que apenas no ponto do município de Propriá e Penedo os valores da descarga fluvial estão dentro do limite do valor registrado pela estação fluviométrica, porém, os demais pontos apresentam valores acima do registrado, indicando a entrada da corrente marinha nestas regiões, destacando-se com maiores incidências o ponto da Ilha criminosa(Figura 36A).

Segundo Miranda, Castro e Kjerfve, (2002), o comportamento do encontro das águas fluviais com a do mar transportada pela maré estendendo rio acima é um evento característico dos ambientes estuarinos, porém, os dados revelam a expansão da influência da maré até o município de Ilha das Flores devido o registro da forçante fluvial acima de $1500\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ conforme Figura 36A.

Observa-se que no ponto 1(Ilha criminosa), ocorreram as maiores variações que chegaram atingir $-6000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ na enchente com maré de sizígia e $-4000\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ na enchente com maré de quadratura. Em outro momento na

maré de vazante, as vazões variaram entre $8000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ na maré de sizígia a $5595 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ na maré de quadratura. O ponto 1 (Ilha criminosa) é a maior representação das amplitudes de maré entre os demais pontos avaliados, reforçando o domínio do fluxo de maré sobre o fluxo do rio. Resultados contidos no relatório de monitoramento realizado pela CHESF em 2009 na região da foz do rio São Francisco apontaram vazões médias em torno de $2.097 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, em período de maré de quadratura e sizígia, com estes níveis comprovou-se que o fluxo do rio reage a expansão da propagação das marés no estuário.

Porém, atualmente com valores de vazões regularizadas em torno de $900 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ o cenário é invertido. De acordo com a CHESF(2015) a prática de uma defluência de $900 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ foi necessária devido ao rebaixamento dos reservatório de Sobradinho/BA. Para Medeiros et al (2007) o efeito pós barragens oportunizou a regularização e o decréscimo na magnitude das vazões ao longo do rio São Francisco, diminuindo drasticamente seus pulsos de cheias. Nota-se também influência da maré no ponto 2 (Piaçabuçu/AL) e ponto 3 (Ilha das Flores/SE), porém, com menor intensidade que o ponto 1.

Observa-se que no P6 (Propriá/SE) as variações na maré de quadratura e sizígia apresentam entre 930 a $970 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, reafirmando o fenômeno da regularização das vazões mantido pela UHE Xingó. Na Figura 37 nota-se a velocidade de correntes na coluna d'água, onde o valor médio variou entre $0,04 \text{ m}.\text{s}^{-1}$ nas mediações do município de Penedo/AL a $0,14 \text{ m}.\text{s}^{-1}$ na região de Propriá/SE (Figuras 37B e 37F). Os valores máximos para o período de vazante foi de $0,17 \text{ m}.\text{s}^{-1}$ e para o período enchente de $0,19 \text{ m}.\text{s}^{-1}$.

Figura36: Vazões simuladas no modelo hidrodinâmico região na região da Foz do rio São Francisco.

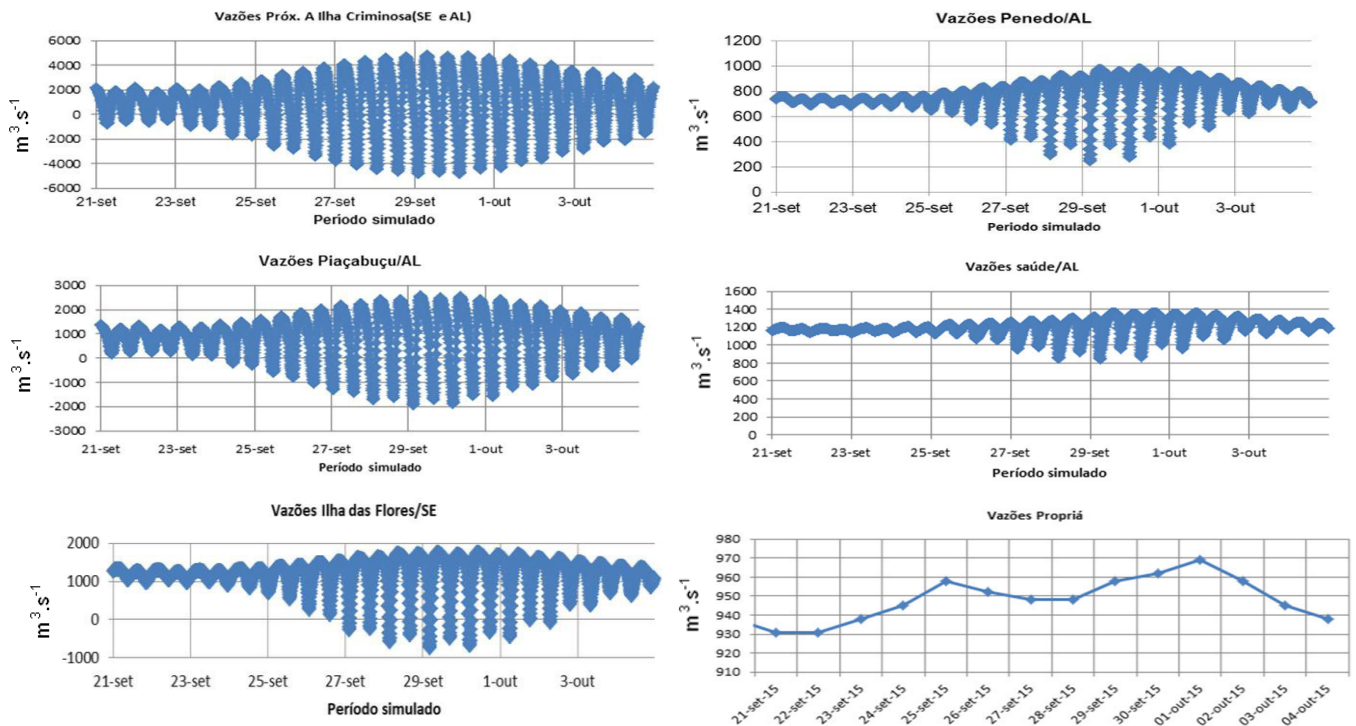
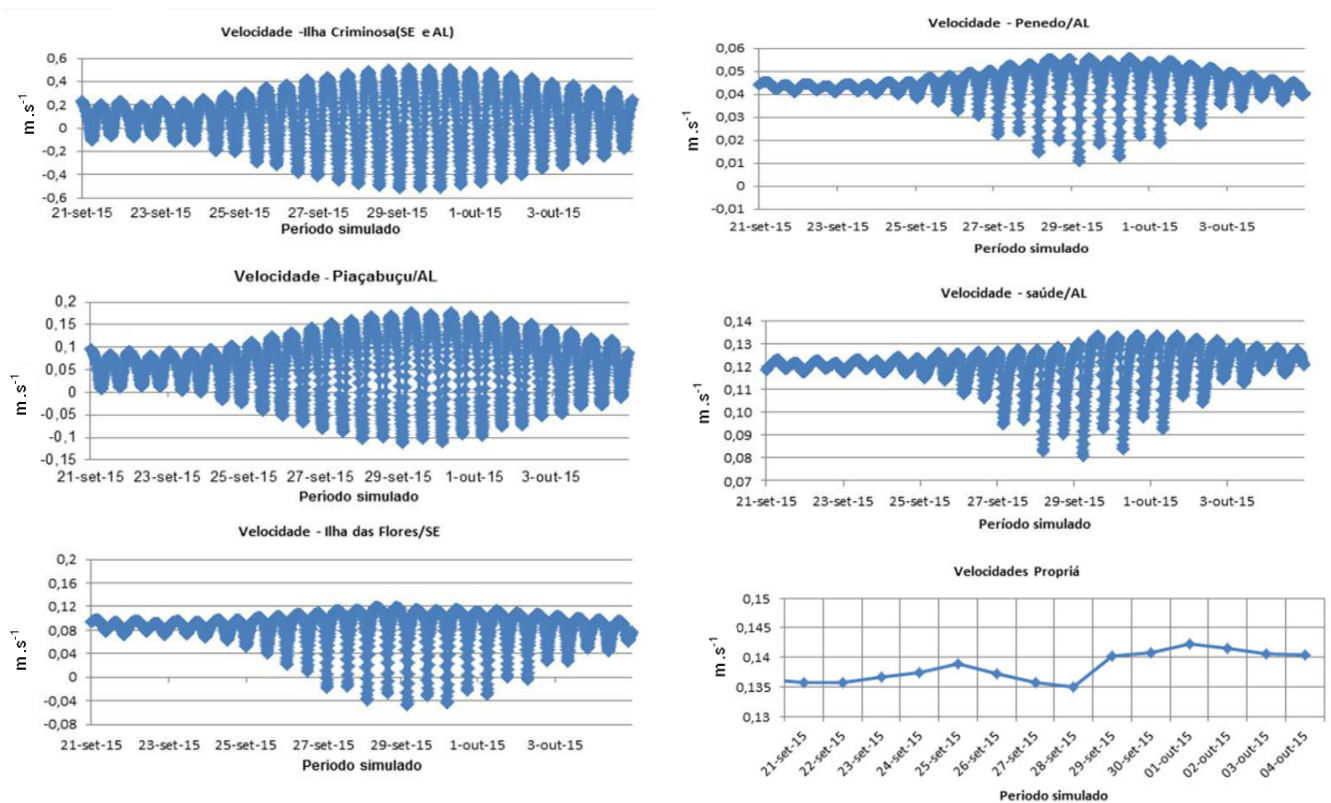


Figura 37: Velocidades simuladas no modelo hidrodinâmico região na região da Foz do rio São Francisco.



Ao longo das simulações para a circulação hidrodinâmica preamares, notou-se os vórtices bem definidos formados pela velocidade da circulação da corrente marinha acima do município de Piaçabuçu/AL, limitando-se abaixo do município de Penedo/AL (Figura 38 e 39). Já no momento da baixa mar, os vórtices indicam um escoamento linear em direção ao mar, comportamento indicando que as baixas oscilações marítimas não interferem na forçante fluvial no trecho principal do canal da foz, porém, nota-se vórtices sentido continente adentrando o canal do Parapuça. Roversi, Rosman e Harari (2016), em análise da hidrodinâmica no estuário de Santos, perceberam que as velocidades mais intensas ocorreram na preamar, indicando a predominância do efeito da maré na renovação e na troca das águas do sistema.

Nas simulações de enchentes, registra que nas mediações do município de Penedo/AL ocorre a limitação dos vórtices referentes à ação da corrente marinha, este cenário aponta uma estabilidade entre o pulso do rio e a força da corrente marinha (Figura 38). Porém, com a simulação de vazante, os vórtices da ação da corrente marinha não são evidenciados (Figura 39). A zona de mistura incide antes do município de Penedo/AL, ocorrendo a mistura da água doce com a do mar, de acordo com Miranda, Castro e Kjerfve (2002) a zona de mistura é a região onde prevalece o envolvimento da água doce com a água do mar. Fatores que comprovam que a hidrodinâmica de um estuário resulta da interação entre a morfologia da bacia estuarina, o aporte fluvial e o regime de marés (D'AQUINO et al 2011b).

Figura 38: Simulação da hidrodinâmica da velocidade enchente_(A). (B) Velocidade acima do município de Saúde e abaixo do município de Propriá/SE.

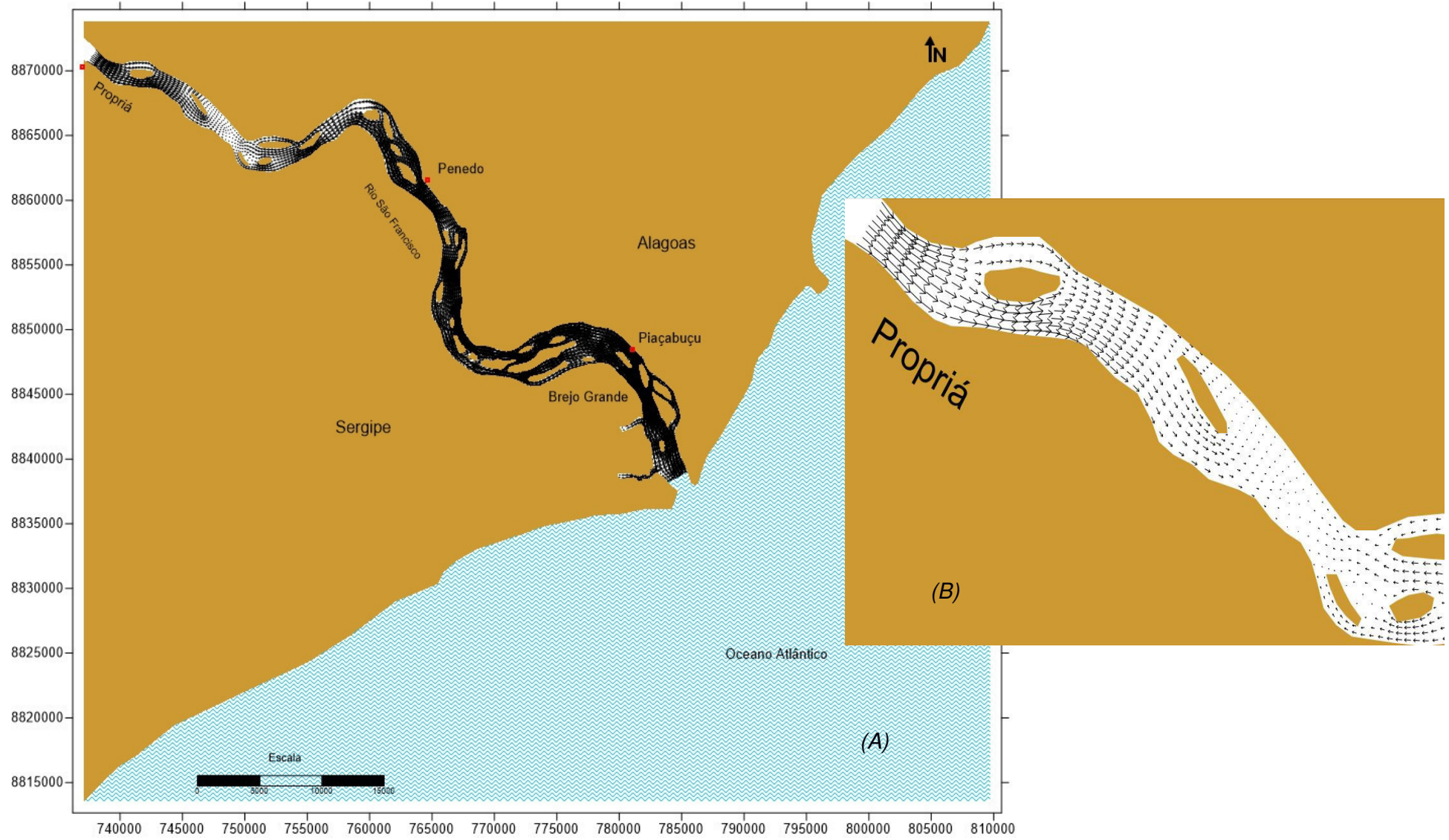
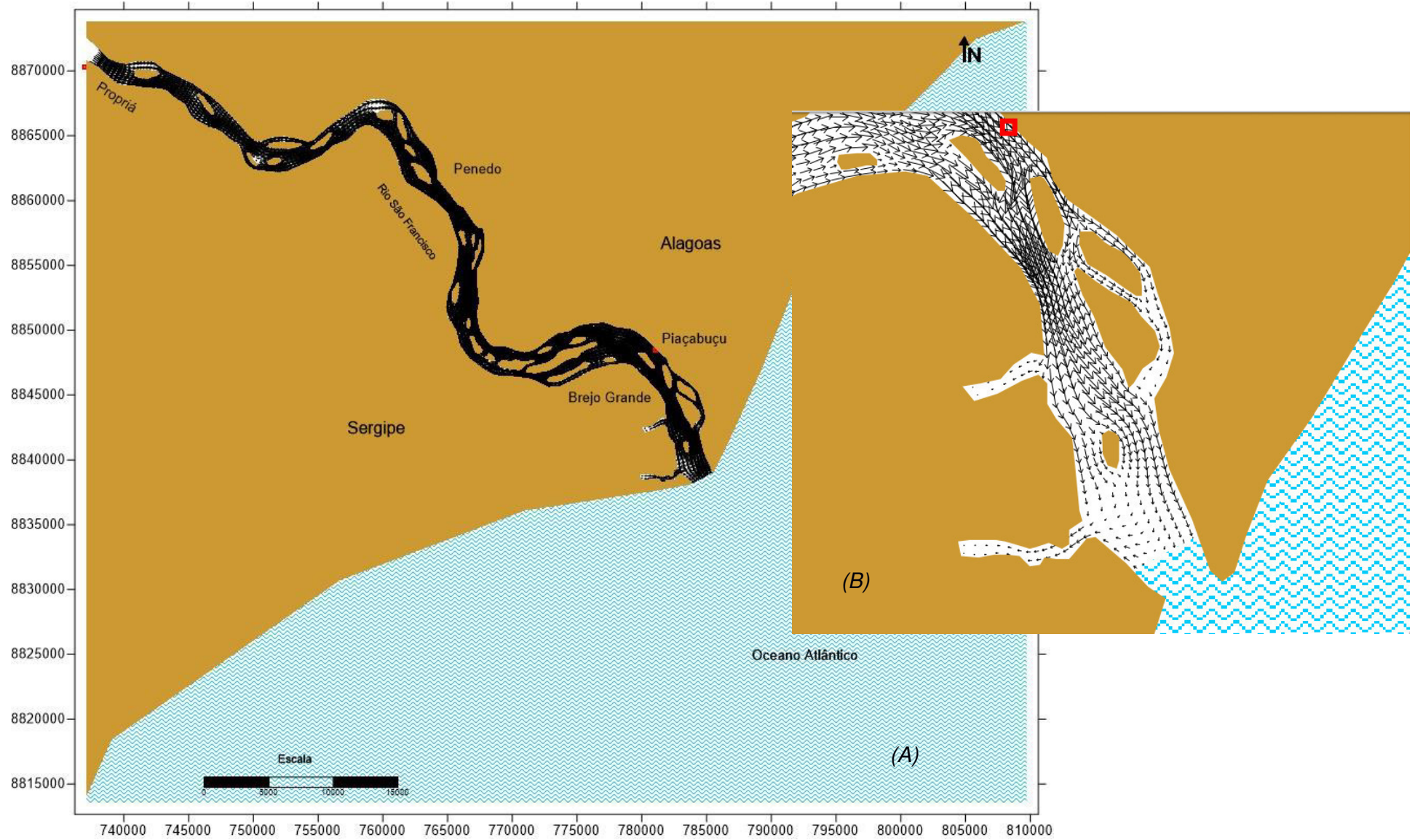


Figura 39: Simulação da hidrodinâmica da velocidade vazante (A). (B) Velocidade Foz a Piaçabuçu.



4 CONCLUSÃO

Conclui-se que, a utilização do modelo hidrodinâmico ambiental possibilitou a compreensão da hidrodinâmica existente na foz do rio São Francisco. As simulações apresentaram a dinâmica do fluxo das vazões e o perfil da velocidade em período de vazantes e enchentes do rio.

No cenário hidrodinâmico percebeu-se a influência da corrente marinha sobre o fluxo do rio em trechos acima de Piaçabuçu/AL, ocorrência que pode permitir mudança na dinâmica ambiental e alteração das características da qualidade da água em detrimento a diminuição do volume útil dos reservatórios existentes a jusante do rio São Francisco.

REFERENCIAS

ARAGÃO, T. N. K. C.; SEVERIANO, J. S.; MOURA, A. N. Phytoplankton composition of the Itaparica and Xingó reservoirs, São Francisco River, Brazil. **Braz. J. Biol.**, 2015, vol. 75, no. 3, p. 616-627

BORTONE, F. A. S.; LUDWIG, M. P.; XAVIER, K. D. Contradições da modernidade no processo de des/re/ territorialização do lugar: O caso dos atingidos pela construção da Hidrelétrica Candonga. **Revista ELO - Diálogos em Extensão** Volume 05, número 02 - outubro de 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria n. 416, 03/09/2012. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/aceso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-no-416-em-03-09-2012-do-diretor-geral-do-dnpm>>. Acesso 05 de setembro de 2017.

CASTRO, P.; HUBER, M. E. Biologia marinha. 8ª ed. AMGH. 2012. 436p.

CAVALCANTE, G. MIRANDA, L. B.; MEDEIROS, P. R. P. Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos Brazilian Journal of Water Resources*. Versão On-line ISSN 2318-0331 RBRH, Porto Alegre, v. 22, e31, 2017

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. 2015. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - PBHSF (2016-2025) In: Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco - Síntese do Resumo

Executivo do PBHSF com Apreciação das Deliberações do CBHSF. Brasília: ANA, 274 p.

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco. 2015. Plano de Contingência para Flexibilização da Vazão Mínima de Restrição para 800 m³/s na Bacia do Rio São Francisco. Parte I: Usos Múltiplos. 2015. 15 p. Disponível em:<http://arquivos.ana.gov.br/saladesituacao/ReducaoTemporaria/Outros/2015/PlanoContingenciaParaFlexibilizacaoVazaoMinimaRestricaoPara_800m3_BaciaRioSaoFrancisco_Parte_1_MeioAmbiente.pdf> Acesso em: 13.09.2017

CBHSF – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Monitoramento e Avaliação da introdução da Cunha Salina no Estuário do São Francisco. 2009. Disponível em:<<http://licenciamento.ibama.gov.br/Recursos%20Hidricos/Integracao%20Sao%20Francisco/Relatorios%20execucao%20PBA/REL%20SEMESTRAL%207/Programa%2036/Anexo%204.36.1%20Cunha%20Salina%20Jan-Jul09.pdf>> Acesso em 20 de setembro de 2016.

D'AQUINO, C. A.; ANDRADE NETO, J. S.; BARRETO, G. A. M.; SCHETTINI, C. A. F.; Caracterização oceanográfica e do transporte de sedimentos em suspensão no estuário do rio Mampituba, SC. **Revista Brasileira de Geofísica**. Vol 29(2), p.217-230. 2011a.

D'AQUINO, C.A; FRANKLIN DA SILVA, L.; COUCEIRO, M.A.A; PEREIRA, M.D. Transporte de Sal e Hidrodinâmica do Estuário do Rio Tubarão — SC, Brasil RBRH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 16 n.3 - Jul/Set. 113-125p, 2011b.

DERROSSO, G.; ICHIKAWA, E. Y. O papel da Crabi no assentamento dos ribeirinhos atingidos pela construção da hidrelétrica de Salto Caxias no estado do Paraná. **Rev. Adm. Pública** — Rio de Janeiro 47(1):133-155, jan./fev. 2013.

DYER, K. R., Sediment transport processes in Estuaries: in: Geomorphology and Segimentology of Estuaries. G.M.E. Perillo (Ed) development in Sedimentology, 53 Elsevier Science. 1995 p.423-449

FEMAR. Fundação de Estudos do Mar. Estação Maregráfica Brasileira. 2016. Disponível em <https://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/tabelas/126.html> Acesso em 13 de jan de 2016.

FONTES, L. C. SILVEIRA. DA FONTE À BACIA: INTERAÇÃO CONTINENTE-OCEANO NO SISTEMA SEDIMENTAR RIO SÃO FRANCISCO, BRASIL. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. 315p, 2016.

FONTES, L. C. SILVEIRA. Da fonte à bacia: interação continente-oceano no sistema sedimentar rio são francisco, brasil. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. 2016, 315p

FRANÇA, J. M. B. Avaliação da degradação do açude Acarape do Meio-Ce com uso de modelo matemático e geotecnologia. Dissertação. Gestão de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. 106p. 2013.

HANSEN D. V.; RATTRAY M. 1966. New dimensions on estuarine classification. *Limnology and Oceanography*, 11: 319–326.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Projeto De irrigação no Vale do baixo São Francisco. Brasília: Ipea, 1992, 44p. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2517/1/TD%20268.pdf> Acesso em 01 de março de 2016.

LERCZAK, J. A.; GEYER, W. R.; CHANT, R. J. Mechanisms driving the time dependent salt flux in a partially stratified estuary. **Journal of Physical Oceanography**, v. 36, n. 12, p. 2296-2311, 2006. <http://dx.doi.org/10.1175/JPO2959.1>.

LEWIS, R. E.; LEWIS, J. O. The principal factors contributing to the flux of salt in a Narrow, partially Stratified Estuary. **Estuarine and Coastal Marine Science**, v. 16, n. 6, p. 599-626, 1983. [http:// dx.doi.org/10.1016/0272-7714\(83\)90074-4](http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714(83)90074-4).

LOITZENBAUER, E. MENDES, C. A. B. A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira **Revista da Gestão Costeira Integrada** 11(2):233-245 (2011).

MARTINS, D. M. F.; CHAGAS, R. M.; MELO NETO, J. O.; MÉLLO JUNIOR, A. V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.15, n.9, p.1054–1061, 2011.

MEDEIROS P.R.P., Knoppers B.A., dos Santos Jr R.C., Souza W.F.L. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). **Geoch Bras**, 209-228. 2007.

MEDEIROS P.R.P., Knoppers B.A., Souze W.F.L., Oliveira E.N. 2011. Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL) em diferentes condições hidrológicas. **Braz J Aquat Sci Technol**, 15:42-53

MEDEIROS, P. R. P. Aporte fluvial, transformação e dispersão da matéria em suspensão e nutrientes no estuário do Rio São Francisco, após a construção da Usina Hidroelétrica do Xingó (AL/SE). Tese de Doutorado. Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, 2003.184 p.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 424 p. 2002.

MONTEIRO, S. M.; EL-ROBRINI, M.; CASTRO ALVES, I. C. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 151-162, jan./abr. 2015.

PEREIRA, Marçal D.; SIEGLE, Eduardo; MIRANDA, Luiz B. de and SCHETTINI, Carlos A.F.. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). *Rev. Bras. Geof.* [online]. vol.28, n.3, 427-444p. 2010.

PEREIRA, Marçal D.; SIEGLE, Eduardo; MIRANDA, Luiz B. de and SCHETTINI, Carlos A.F.. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). *Rev. Bras. Geof.* [online]. 2010, vol.28, n.3, pp.427-444.

RIGO, D. Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na baía de Vitória/ES. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. 2004. 170p.

ROSMAN, P.C.C. Um sistema computacional de hidrodinâmica ambiental. In: Silva, R.C.V. (Ed.), *Métodos Numéricos Em Recursos Hídricos - Volume 5*. ABRH. p. 1-161.2001.

ROSMAN, P. C. C., (Ed.). Referência técnica do SisBaHiA®. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Março 2015, Disponível em: <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V95.pdf>. Acesso em: jun. 2016.

ROSMAN, P. C. C., CUNHA, C. L. N., CABRAL, M. M. et al. Referência Técnica do SisBaHiA. COPPE /UFRJ. Programa de Engenharia Oceânica, Rio de Janeiro, RJ. Versão 9.2, 2013. 249 p. Disponível em: http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V92.pdf. Acessado em: 20 de setembro de 2015.

ROVERSI, F.; ROSMAN, P. C.; HARARI, J. Análise das Trajetórias das Águas Continentais Afluentes ao Sistema Estuarino de Santos. *RRH* vol. 21 no.1 Porto Alegre jan./mar. p. 242 – 250.2016.

SANTOS, E. S. Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água em região de pororoca na foz do rio Araguari/AP. Dissertação. Fundação Universidade Federal do Amapá. 2012. 113p.

SEGUNDO, G. H. C. Caracterização hidrodinâmica sedimentológica do estuário e delta do rio São Francisco. Dissertação departamento de meteorologia/CCEN/UFAL. 2001. 102p

SHI, J. Z.; LU, L. F. A short note on the dispersion, mixing, stratification and circulation within the plume of the partially-mixed Changjiang River estuary, China. **Journal of Hydro-environment Research**. p 111-112, 2011.

CAPÍTULO 4: SALINIDADE NA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO COM USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

RESUMO

A salinidade é uma propriedade físico química que representa a medida da concentração de sais dissolvidos pela massa de água. O estudo foi realizado na área da foz do rio São Francisco entre os municípios de Propriá/SE e Piaçabuçu/AL, regiões pertencentes à bacia hidrográfica do rio São Francisco. O modelo hidrodinâmico elaborado ocorreu através das simulações computacionais realizadas por meio do sistema SisBAHIA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) modelo 9.1. A simulação da salinidade foi baseada na maré de sizígia, enquanto, a validação baseada em dados de campo medido com sonda multiparâmetro em setembro de 2015. Após a validação da salinidade iniciou-se a simulação do cenário para análise do comportamento da dinâmica da salinidade ao longo da foz do rio São Francisco. Os cenários obtidos indicaram que o transporte de sal é direcionado pela força das marés acentuando-se na entrada da foz do rio São Francisco, chegando a registrar valores de 32‰ na maré enchente. Outro aspecto apresentado na simulação é a distribuição da salinidade entre os afluentes situados a margem esquerda localizados em Brejo Grande/SE como o rio Paraúna e o canal Parapuça.

Palavras chaves: Salinidade; Vazão; Regime de marés.

ABSTRACT

Salinity is a physicochemical property that is the measure of the concentration of dissolved salts by mass of water. This study was conducted in the area of the mouth of the São Francisco River between the towns of Propria / SE and Piaçabuçu / AL, regions belonging to the basin of the river San Francisco. The elaborated hydrodynamic model occurred through computational simulations carried out using the SisBAHIA (Basic Hydrodynamic System) model 9.1. The salinity simulation was based on the tide of syzygy, while validation based on field data measured with multiparameter probe in September 2015. After salinity validation, the scenario simulation was started to analyze the behavior of the salinity dynamics along the mouth of the São Francisco River. The obtained scenarios indicated that the transport of salt is driven by the force of the tides, accentuating at the mouth of the mouth of the São Francisco river, reaching 32 ‰ values in the flood tide. Another aspect presented in the simulation is the distribution of salinity between the affluents located on the left bank located in Brejo Grande / SE such as Paraúna River and Parapuça Canal.

Keywords: Salinity; Flow rate; Regime of tides

4.1 Introdução

A salinidade é uma propriedade físico-química que representa a medida da concentração de sais dissolvidos pela massa de água. Em ambientes aquáticos próximos a zona costeira a concentração de sais presentes na água podem variar de acordo as oscilações marinhas.

No estuário a salinidade apresenta grandes variações devido aos processos hidrodinâmicos, aporte fluvial e a troca de água estuarina com a atmosfera (MIRANDA, CASTRO e KJERFVE, 2002).

O principal fenômeno físico de uma região estuarina é a mistura entre a água salgada e a doce, a dinâmica desse processo gera um gradiente de salinidade que vai do ocidente em direção ao oceano (LOITZENBAUE e MENDES 2011). Ao longo da costa brasileira existem vários rios que despejam suas águas nos oceanos, o rio São Francisco é um deles, sua foz divide o estado de Sergipe e Alagoas é considerado um sistema estuarino único com belezas naturais sendo impulsionada pelos regimes das marés.

Diante do avanço do mar e a diminuição das vazões, a foz do rio São Francisco enfrenta a salinização de suas águas superficiais provocadas pelo avanço da cunha salina em direção a montante do rio. A diminuição da vazão afluente tem aumentado a salinização das águas na foz do rio São Francisco provocando impactos para o abastecimento público, agricultura e pesca.

Um dos motivos que favorece a diminuição da vazão afluente são as construções de barragens ao longo do curso do rio, por limitar o escoamento da água doce para o oceano, aumentando a concentração de sais para o interior do estuário.

Para Medeiros et al (2007), uma das modificações mais notáveis da construção de barragens em rios é a regularização da vazão, objetivando um suprimento de água necessário à geração de energia elétrica, causando grande redução na vazão natural, provocando um desequilíbrio de energia entre o rio e o mar.

Mediante ao exposto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a dinâmica da salinidade na área da foz do rio São Francisco através do modelo hidrodinâmico SisBAHIA.

4.2 Metodologia

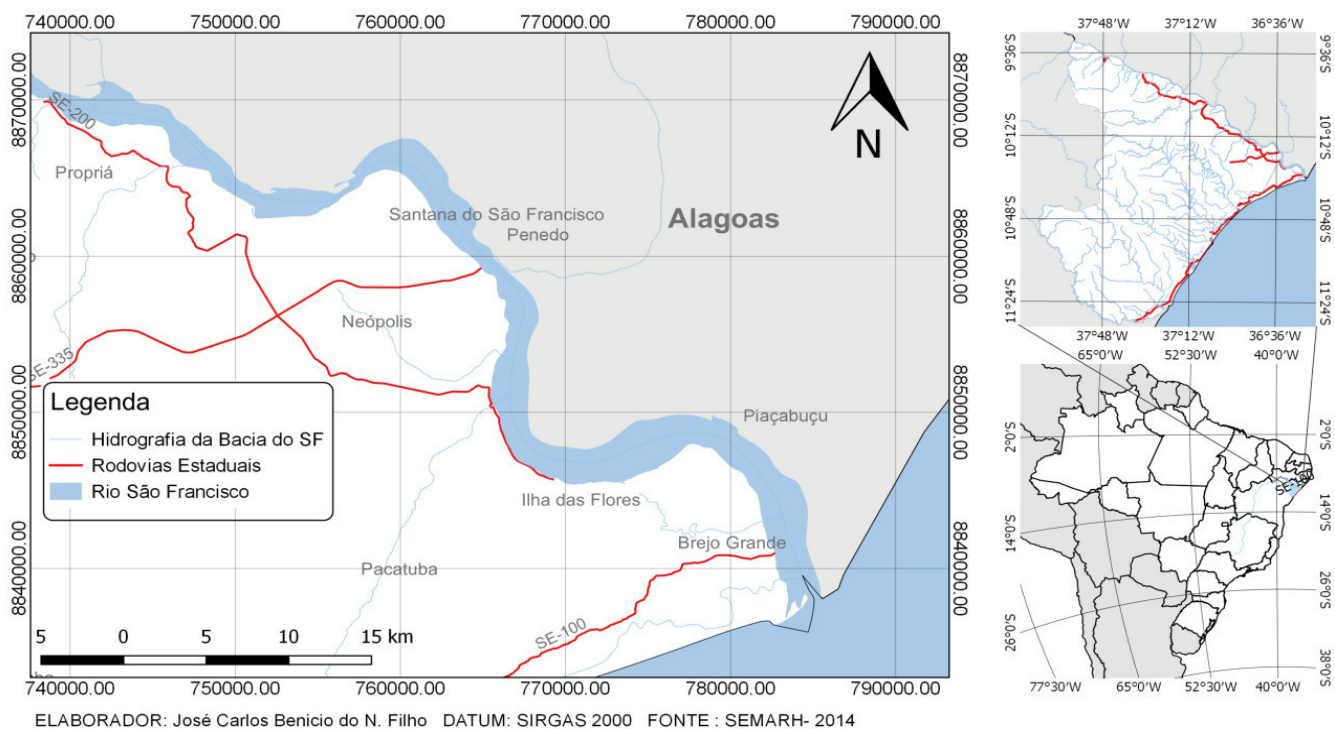
4.2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio São Francisco possui 639.219km² de área de drenagem cujo leito principal apresenta 2.700km de extensão com vazão média de 2.850m³/s. A nascente do rio São Francisco localiza-se na Serra da Canastra em Minas Gerais, percorrendo os estados da Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal, ligando o Brasil do Sudeste ao Nordeste, representando 7,5% do território do país (AGUIAR NETTO et al 2011). Segundo a Agência Nacional de Águas (2005) esta bacia está dividida em quatro regiões fisiográficas: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco que, para fins de planejamento, essas áreas foram subdivididas em trinta e quatro pequenas bacias, e 12.821 microbacias com a finalidade de delinear por trechos os principais rios da região.

O estudo foi realizado na área da foz do rio São Francisco entre os municípios de Propriá/SE e Piaçabuçu/AL (Figura 40) regiões pertencentes ao Baixo São Francisco. O clima da região divide-se em tropical semi-árido e tropical semi-úmido, a evapotranspiração pode variar de 600 a 700mm na estação úmida e 750mm a 800mm na estação seca. As precipitações anuais podem diminuir a partir da costa, há ocorrência de solos hidromórficos, incluindo os solos orgânicos, gley e aluviais, que em seu estado natural vivem sujeitos a inundações periódicas, apresentam limitação de fertilidade e estão mais propensos a cultura de arroz (IPEA, 2002).

A faixa litorânea mergulha sob o oceano e avança como substrato da borda continental contendo unidades estratigráficas depositadas desde o Paleozóico até os dias atuais, e as rochas da bacia sedimentar constituem o substrato geológico do trecho final do sistema rio-mar São Francisco (FONTES, 2015).

Figura 40: Mapa bacia hidrográfica rio São Francisco.



Fonte: SEMARH/SE

4.2.2 Modelo hidrodinâmico e 2DH

A modelagem hidrodinâmica foi realizada por meio do sistema SisBAHIA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) versão 9.1, que representa satisfatoriamente o fenômeno de interesse. Além disso, a interface desse sistema é considerada amigável e tem sido aperfeiçoado constantemente através das pesquisas. Os principais dados de entrada do SisBAHIA são: vazões, velocidade do vento, batimetria do rio, constantes harmônicas, malha de elementos finitos, mapa de contorno de terra e água, rugosidade, precipitação, entre outros. O acesso a este software é livre mediante termo de responsabilidade adquirido pela COPPE/UFRJ permitindo seu uso científico e para gerenciamento dos recursos hídricos.

No modelo hidrodinâmico os processos de calibração são minimizados devido à discretização espacial via elementos finitos, permitindo maximizar a

confiabilidade dos dados podendo ser utilizado para simular diversos cenários que envolvam rios, estuários, zonas costeiras, baías, canais, lagos, lagoas e reservatórios (ROSMAN, 2015).

O SisBAHIA possui um modelo hidrodinâmico denominado FIST3D (Filtered in space and time), otimizado para corpos de águas naturais com superfície livre onde a modelagem da turbulência é baseada em técnicas de filtragem, com similaridades das aplicadas na Simulação de Grandes Vórtices (LES - Large Eddy Simulation), considerado o estado da arte para turbulência do escoamento geofísico (ROSMAN et al. 2001).

O modelo hidrodinâmico FIST3D do SisBAHIA é composto por dois módulos: o primeiro promediado na vertical ou bidimensional na horizontal (2DH), por intermédio do qual a elevação da superfície livre e velocidades de corrente (2DH) promediadas na vertical são calculadas, já o segundo módulo denominado 3D calcula o campo de velocidades tridimensionais através de duas opções possíveis.

- a) Modelo 3D totalmente numérico, acoplado a um módulo 2DH. O FIST3D é um modelo 3D completo, para fluidos homogêneos.
- b) Modelo 3D analítico-numérico para obter os perfis de velocidade no campo de escoamento horizontal. Esta opção é mais eficiente em termos computacionais, mas considera apenas a aceleração advectiva no módulo 2DH. Portanto, dá resultados menos precisos em regiões nas quais as acelerações advectivas variem significativamente ao longo da profundidade. Nessa opção, os perfis de velocidade são computados através de uma solução que é função das velocidades 2DH promediadas na vertical, elevação da superfície livre, rugosidade equivalente de fundo do módulo 2DH, e da velocidade do vento atuando na superfície livre da água.

A formulação matemática do modelo hidrodinâmico compreende as equações de Navier-Stokes, fundamental para representação de qualquer corpo d'água. Os resultados da simulação podem ser representados por 3D ou 2DH mediante os dados de entrada. Os modelos 2D apresentam predominantemente fluxo bidimensional e exigem consideráveis números de parâmetros, dos quais precisam ser bem conhecidos para não gerar imprecisão

nos resultados. Nesta pesquisa, utilizou-se o módulo **2DH** atendendo o objetivo solicitado.

A discretização espacial foi realizada por meio de 601 elementos quadrangulares de quarta ordem. Já a discretização vertical da coluna d'água foi realizada através de diferenças finitas com transformação sigma. O passo de tempo usado nas simulações hidrodinâmicas foi de 30 segundos, com um Courant máximo igual a 3,0.

4.2.3 Dados iniciais para modelagem

Para a elaboração do contorno geométrico da área da foz do rio São Francisco tomou-se por base a carta náutica da foz do rio na direção do Norte, elaborada pelo Departamento de hidrografia e navegação (DHN) e coordenadas definidas por meio de imagens de satélites do programa Google Earth. Considera-se esta etapa importante, para estruturar os espaços e a representação dos fenômenos ambientais simulados.

A carta náutica foi inserida no programa Surfer, versão 12, para a elaboração dos contornos de terra e mar e em seguida importados para o modelo. O contorno de terra representou a parte seca limitando as margens principais dos rios São Francisco, Paraúna e Potengy, bem como as ilhas Criminosa, Fitinha e Negra, e do canal Parapuca. As informações referentes a batimetria da área de estudo foram retiradas das cartas Náuticas DHN (nº1002 e 22300), levantamentos batimétricos realizados pelo departamento de pesquisa GeoRioMar, da Universidade Federal de Sergipe e dados fornecidos pelos comandantes das embarcações, nativos da região, dados que complementarão áreas que as cartas náuticas não apresentaram informações.

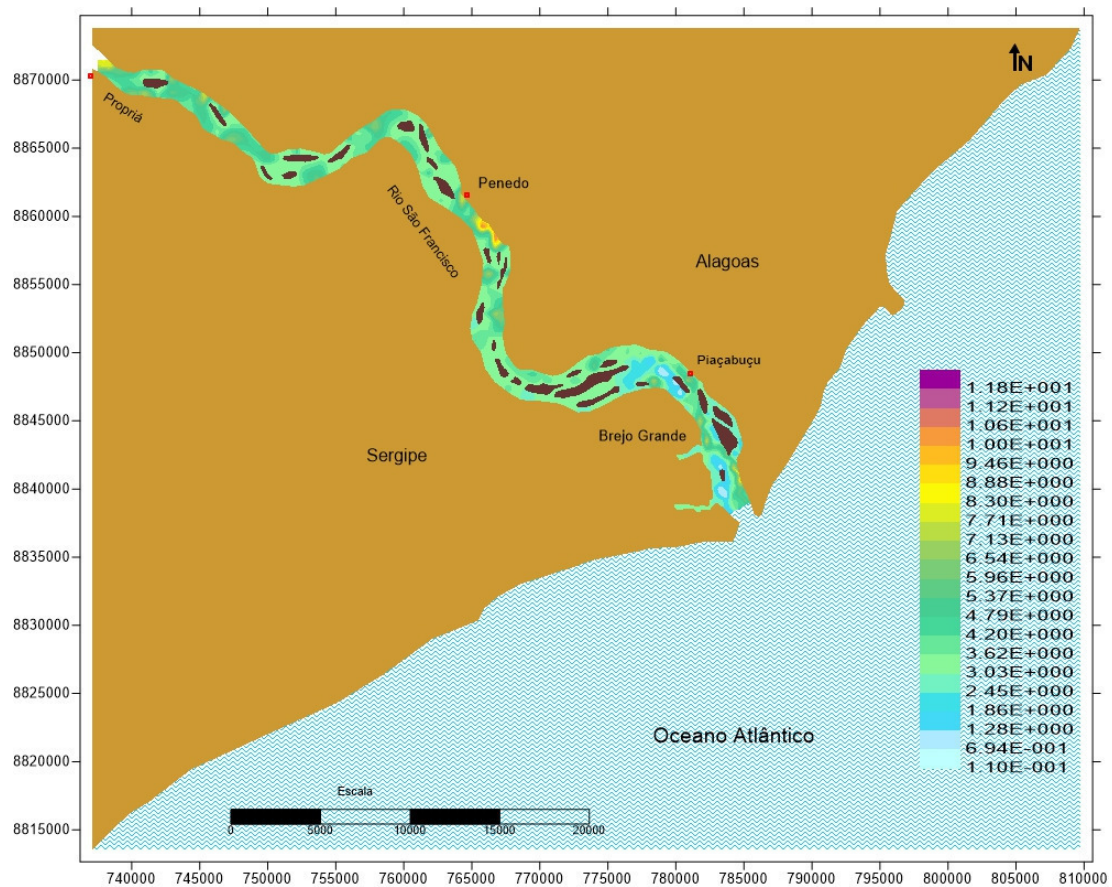
O valor de rugosidade equivalente de fundo ε^6 adotado foi de 0,020m, com predominância de areias finas e médias, tomando por base as análises de granulometria dos sedimentos de fundo realizadas no ITPS (Instituto Tecnológico de Pesquisa do Estado de Sergipe), seguindo os valores

⁶ ε Significa amplitude

sugeridos para amplitude efetiva da rugosidade de fundo sem efeitos de ondas entre 0,0070m a 0,0300m (Abbot e Basco⁷, 1

989 apud Rosman, 2015). O mapa batimétrico representa o perfil de profundidade distribuída em todo o canal avaliado, conforme demonstra a Figura 41.

Figura 41: Batimetria utilizada no domínio de modelagem para hidrodinâmica da foz do rio São Francisco.

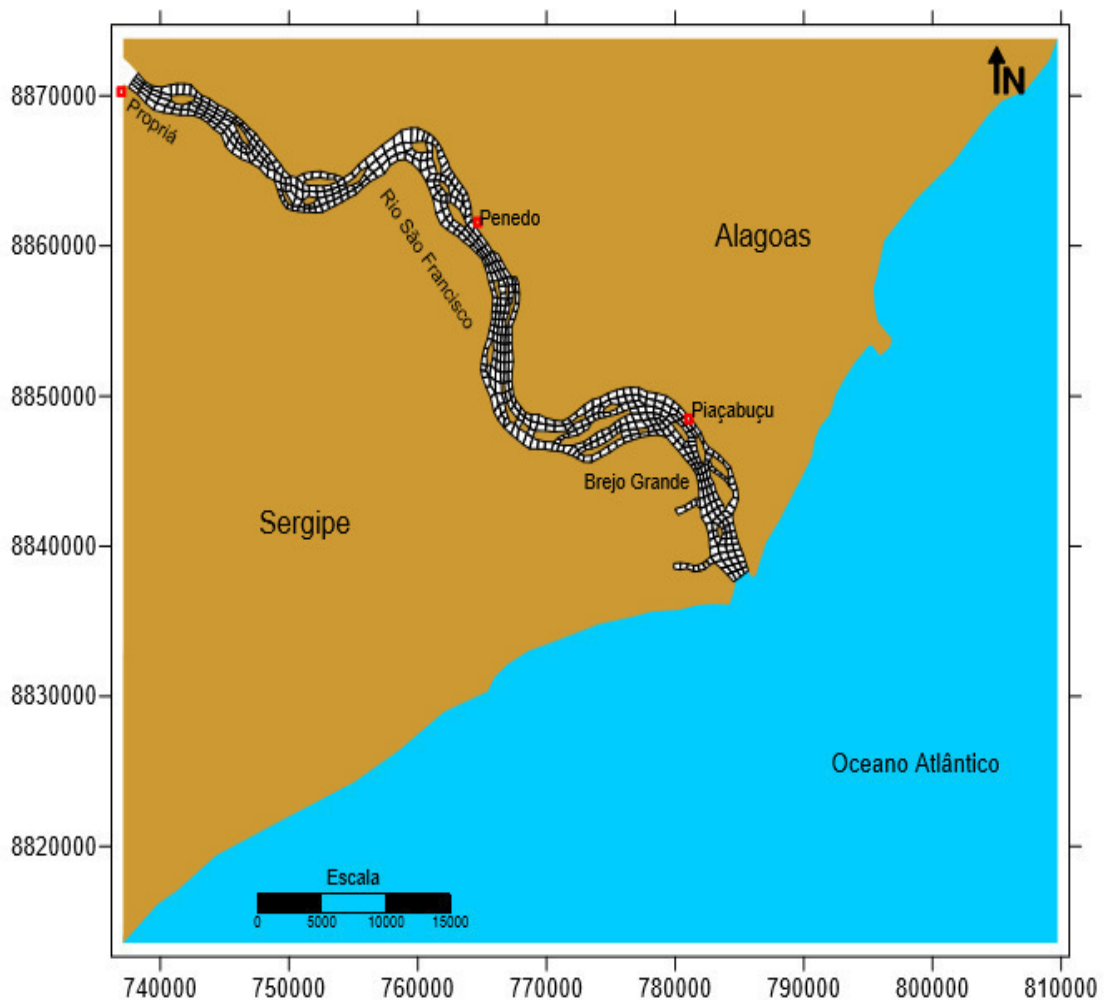


A discretização espacial do domínio de modelagem foi realizada por meio de uma malha de elementos finitos, representando as principais configurações do trecho da foz até o município de Propriá/SE. A malha de discretização possui 1.854 nós no plano horizontal e 1.053 níveis verticais, totalizando 2.907 pontos de cálculos, 128,9 km² de área e profundidade média de 4.36m (Figura 42).

⁷ Abbot, M.B; Basco, D.R. Computational Fluid Dynamics, an Introduction for Engineers, Longan Group, UK Limited, 1989.

A Figura 42 também apresenta a representação do contorno de terra e mar, sendo que a coloração azul indica o mar, área aberta, e a cor laranja o contorno de terra, a parte branca no mapa indica o domínio de modelagem.

Figura 42: Malha de elementos finitos do domínio de modelagem para hidrodinâmica da foz do rio São Francisco.



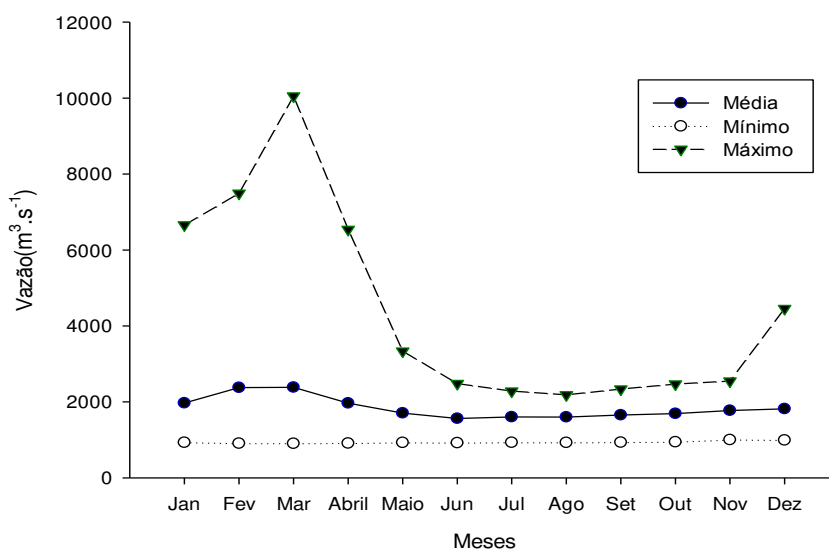
4.2.4 Forçantes do Modelo

As constantes harmônicas utilizadas para representar a forçante de maré, baseou-se na estação maregráfica de Cabeço (Estação 127), localizada na foz do rio São Francisco em frente ao farol, controlada pela Fundação de

estudos do Mar (FEMAR, 2016). Os dados das constantes harmônicas estão descritas em tabela em APÊNDICE A..

Para verificar as variações da vazão e seu comportamento no curso do leito d'água na região da foz do rio São Francisco, analisou-se uma série temporal de 37 anos das descargas fluviais (Q_f) máximas, médias e mínimas das médias mensais, dados obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) (Figura 43).

Figura 43: Gráfico do ciclo anual das vazões médias, mínimas e máximas do baixo rio São Francisco no período de 1979 a 2016 registrados pela estação fluviométricas no município de Propriá/SE.



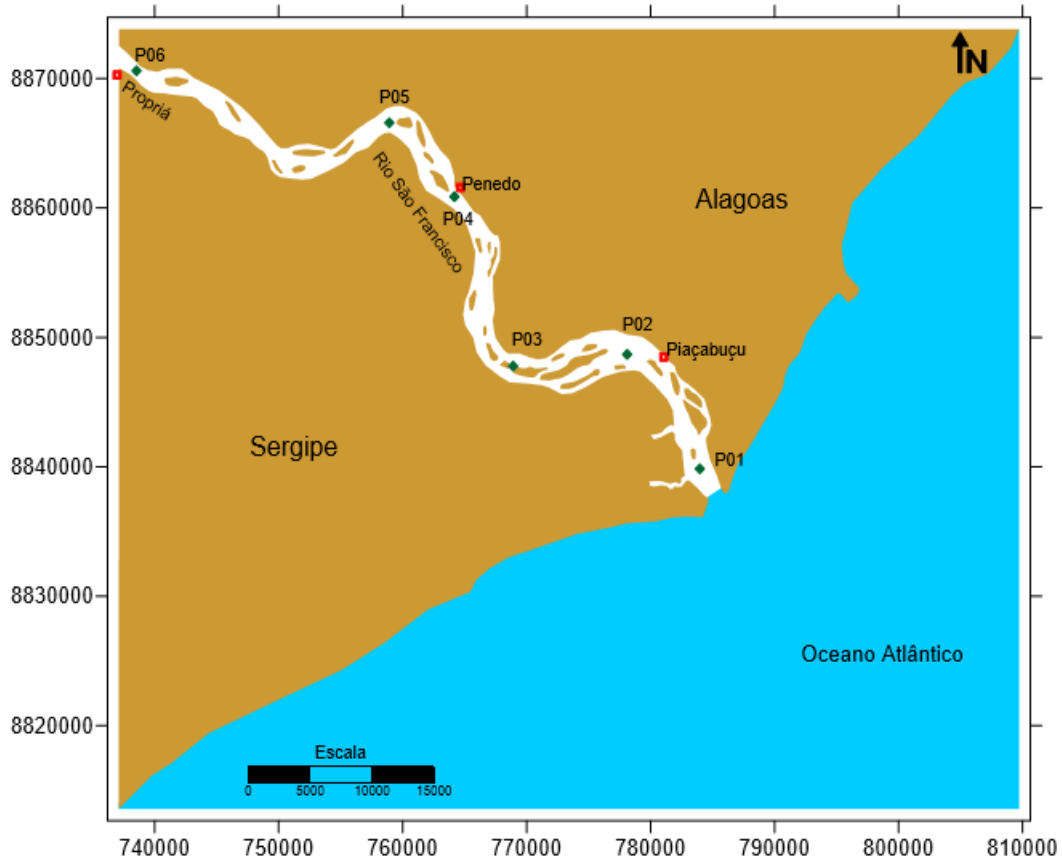
Fonte: Agencia Nacional de Águas (ANA)

4.2.5 Simulações dos cenários

Para o monitoramento dos cenários simulados foram definidos seis pontos ao longo do curso do rio. O ponto 1 refere-se a Ilha criminosa com aproximadamente 4km de distancia da foz, ponto 2 Piaçabuçu/AL com distancia de 10km, ponto 3 situa-se no município Ilha das Flores/SE 16km, ponto 4 Penedo/AL 30km, ponto 5 Saúde/SE 37km, ponto 6 Propriá/SE com 57km de distância da foz, conforme Figura 10. Destaca-se que os pontos foram

direcionados pela localização do canal principal do rio, ocasionando registros de pontos no estado de Sergipe e Alagoas, conforme Figura 44.

Figura 44: Mapa com os pontos de vazão avaliados ao longo da foz do rio São Francisco.+



Os dados de campo salinidade utilizados neste trabalho foram obtidos por meio da campanha realizada nos dias 26 e 27 de setembro de 2015 no intervalo de 12 horas, representando o final do período de quadratura e o início de sizígia. A coleta ocorreu por meio de embarcação fixa a 7km da desembocadura do rio e com utilização da sonda multiparâmetros modelo HI9828 Hanna, com registro a cada 10 segundos em intervalo vertical de 1 a 1,5 metros na coluna d'água. Perfis superficiais de salinidade ao longo da foz do rio São Francisco também foram avaliados no período de 2014 a 2015, com intervalo de 1km iniciando-se na entrada da foz do rio até uma distância de 12 km, entre os municípios de Brejo Grande/SE e Piaçabuçu/AL, esses dados não foram utilizados na modelagem por não delinear um ciclo de maré, sendo

apenas representativo para entendimento da dinâmica do deslocamento da salinidade na área de estudo.

Para a simulação do transporte de sal, adotou 35‰ para área de contorno aberta, limitando mar e 0,3‰ para afluentes representando o fluxo fluvial. Para Castro e Huber (2012) a salinidade diminui à medida que vai a montante e Lewis e Lewis (1983) complementam que o transporte de sal tem correlações entre as flutuações de maré, Lerczak (2006) reforça que a amplitude da oscilação do fluxo de sal é devido principalmente aos fluxos advecção e advectivo os quais estão relacionados à forçante exercida para entrada e saída da salinidade, sendo este cenário uma competição entre os fluxos longitudinais.

D'Aquino et al (2011) destacam outro fator relevante, é que a água do mar é mais densa e flui ao longo do fundo do curso d'água sendo este fenômeno conhecido como cunha salina, mas a água doce flui na camada superficial em direção ao mar diferença de densidade. Dessa maneira, os valores de 35‰ foram distribuídos em todos os nós que representam fronteira aberta (mar) na simulação do modelo.

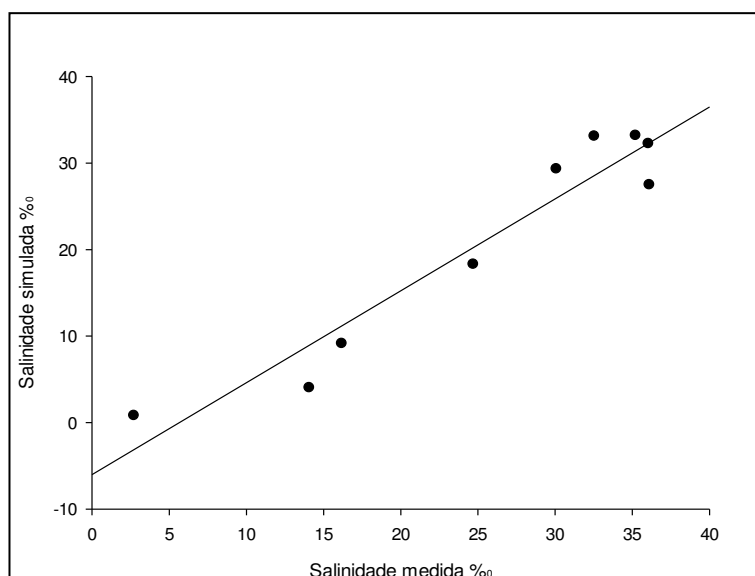
Os dados de velocidade da coluna d'água foram retirados do relatório da CHESF(2011), utilizando-se um correntômetro com hélice de Savonius marca e modelo Mini-digi-Kartran, com indicação de velocidades de 0,01 m/s, equipado com guincho hidrométrico marca hidrologia com 20 m de cabo e defletor de correntes de 25 kg. Os dados de vento não foram utilizados na simulação.

4.4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Validação do modelo de salinidade para a área da foz do rio São Francisco

Para a validação da salinidade, as simulações foram ajustadas com base nos dados do ponto medido em campo situado próximo as extremidades do município de Brejo Grande/SE e Piaçabuçu/AL, com localização geográfica 781214 e 8840694 UTM, sendo referência para a validação da salinidade, cuja correlação dos valores medidos e simulados apresentaram em 96,05%, com aceitabilidade considerada relevante dentro da fundamentação estatística, conforme Figura 45 e Tabela em APÊNDICE.

Figura 45: Gráfico da salinidade medida e simulada no ponto referência para validação dos dados.



4.3.2 Cenários da salinidade na foz do rio São Francisco

Após a validação da salinidade iniciou-se a simulação do cenário para análise do comportamento da dinâmica da salinidade ao longo da foz do rio São Francisco. Os cenários obtidos iniciaram-se na desembocadura do rio até o município de Propriá/SE, com a intenção de verificar a expansão da cunha salina.

Durante a campanha de maré de sizígia e quadratura o perfil da salinidade ao longo da foz do rio São Francisco apresentou uma variação entre 0,05‰ a 33,56‰ e o nível de água com uma variação máxima de 0,5m a 2,3m, dados referentes aos pontos avaliados. Os valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão estão estabelecidos na tabela 3.

Tabela 15: Valores de salinidade medido e simulado no ponto de referência.

Pontos	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
P1 (Salinidade ‰)	10,99	10,45	0,69	33,56
P2 (Salinidade ‰)	0,27	0,10	0,07	0,72
P3 (Salinidade ‰)	0,28	0,04	0,12	0,30
P4 (Salinidade ‰)	0,30	0,01	0,25	0,30
P5 (Salinidade ‰)	0,30	0,00	0,29	0,30
P6 (Salinidade ‰)	0,30	0,00	0,30	0,30

Fonte: Autora (2017)

De acordo com a Figura 46 (A) no P1 as concentrações alcançaram valores de 33,56‰, ocorrendo variações acompanhadas pelos ritmos do impulso das marés, anulando a ação da descarga fluvial. Segundo Miranda, Castro e Kjerfve (2002) em áreas costeiras dominadas pela descarga fluvial o processo de entranhamento permite que a salinidade atinja a camada superficial, resposta as variações de marés e fluxo de vazão.

A salinidade média para o ponto 1 encontra-se em 10,99‰, nota-se que a distribuição da salinidade no dia 20/09, período de quadratura, variaram entre 20‰ a 25‰, ampliando para 32,00‰ na mudança da maré. Nos momentos iniciais ocorre uma alteração da água doce para salobra, onde os índices de salinidade encontram-se <30‰ conforme resolução CONAMA 357/2005 e com característica polihalina com valores de salinidade entre 18‰ <30‰ (VELINE, 1958). Com essa resposta, a característica predominante foi de águas salobras conforme resolução do CONAMA 357/2005 e com registros adentrando características salinas, o que pode interferir no meio aquático e nos usos da água.

A figura 46(B) ilustra a zona de mistura no ponto 1 com elevação do nível de água variando entre 0,5m a 2,3m com aumento longitudinal da frequência da salinidade. Observa-se um predomínio da água salina na seção transversal contribuindo para mistura e homogeneização da salinidade. No ponto 2 em Piaçabuçu/AL, observa-se um incremento da salinidade com picos de 0,72‰ e a elevação do nível de água em 0,8m a 1,9m, já no ponto 3, no município de Ilha das Flores/SE, o valor correspondeu a 0,30‰, nota-se que estes valores ocorreram na maré de sizígia, (Figuras 45(A) e 46(A)). Nestes pontos observou-se uma pequena mistura quando a elevação alcançou 1,6m em Piaçabuçu/AL e 1,4m em Ilha das Flores/SE.

A concentração de salinidade nos pontos 4, 5 e 6 (Figuras 47(A), 48(A) e 49(A) não excederam a 0,30‰, observando-se apenas uma estratificação da salinidade. A concentração de salinidade P4, P5 e P6 enquadram como águas de característica doce, segundo a resolução do CONAMA 357/2005. Veline (1958) também classifica como zona Límnic (água doce) por se tratar de valores de salinidade <0,50‰ este limite baseia-se em convenção internacional para classificação de ambientes costeiros de acordo a salinidade devido a

importância ecológica destes ambientes. Os valores limites para classificação do ambiente aquático mediante a salinidade constam no quadro 4.

Os dados da evolução da dispersão da salinidade na foz do rio São Francisco foram registrados por alguns trabalhos de pesquisas, entre estes Medeiros (2003) registrando 2‰ de salinidade na água de fundo a 10km da foz, em continuidade Medeiros et (2007) classificam como mesohalina com salinidade entre 5‰ e 20‰ a zona de mistura localizada a 8km da foz. Porém, Medeiros et al (2014) consideram que o ambiente a 6km da foz já abrigue a cunha salina. Realidade comprovada pelos dados obtidos neste trabalho através da simulação da salinidade.

De forma geral os pontos apresentaram aumento da salinidade da montante em direção a foz sendo evidenciado esse crescimento a partir do município de Piaçabuçu/AL, a cunha salina não se mantém estacionária e busca uma posição de equilíbrio em resposta a descarga fluvial e do mar. Segundo (2001) em pesquisa no estuário do rio São Francisco a distribuição da salinidade é regulada pelo fluxo do rio, da maré e pelas correntes, em seus dados a cunha salina foi mais intensa no período da vazão mais reduzida, e quando em vazões mais elevadas a cunha salina foi deslocada em direção a desembocadura. Para Medeiros et al (2008) a foz do rio São Francisco pode ser classificada como de cunha salina.

Quadro 4: Classificação da salinidade no meio aquático

Sistema de Venice (1958)	
Zona	Salinidade
Hiperhalina	>40‰
Euhalina	30 ‰ a 40‰
Polihalina	18‰ a 30‰
Mesohalina	5‰ a 18‰
Oligahalina	0,5‰ a 5‰
Límnica	< 0,5‰
Resolução CONAMA357/2005	
Água doce	Águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰
Água salobra	Águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰
Água salgada	Águas com salinidade superior a 30‰.

De acordo com Pritchard (1952); Hansen e Rattray(1966); Dyer (1997) e Miranda; Castro; Kjerfve (2002) a classificação dos estuários pode ocorrer mediante a salinidade e padrões de circulação. Entre estas classificações os tipos podem ser de cunha salina, parcialmente estratificada e misturada.

Os estuários de cunha salina são dominados pela descarga fluvial e pelo processo de estranhamento fator responsável pelo aumento da salinidade na camada superficial. A água doce por ser menos densa que a água do oceano, tende a se manter na superfície, já a água oceânica possui maior densidade penetrando no interior do estuário na camada profunda.

Para o tipo parcialmente estratificado o aumento da salinidade é de maneira gradativa seja de forma vertical ou horizontal e a diferença da salinidade de fundo e de superfície é pequena. O tipo bem misturado é classificado quando a força da maré é dominante em relação a forçante fluvial, não havendo diferença entre a salinidade de fundo e de superfície. Conforme Segundo (2001) o estuário do rio São Francisco é dominado pela influência do rio e da maré e sua classificação está em tipo parcialmente estratificado e bem misturado.

Os dados também inferem os pontos de estratificação no município de Ilha das Flores, 16,21km da foz, até Propriá/SE com distância de 57km da desembocadura. Estima-se que a salinidade estende-se até 15km da foz, mediante a simulação da salinidade apresentada neste trabalho.

Figura 46: Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no Ponto 1.

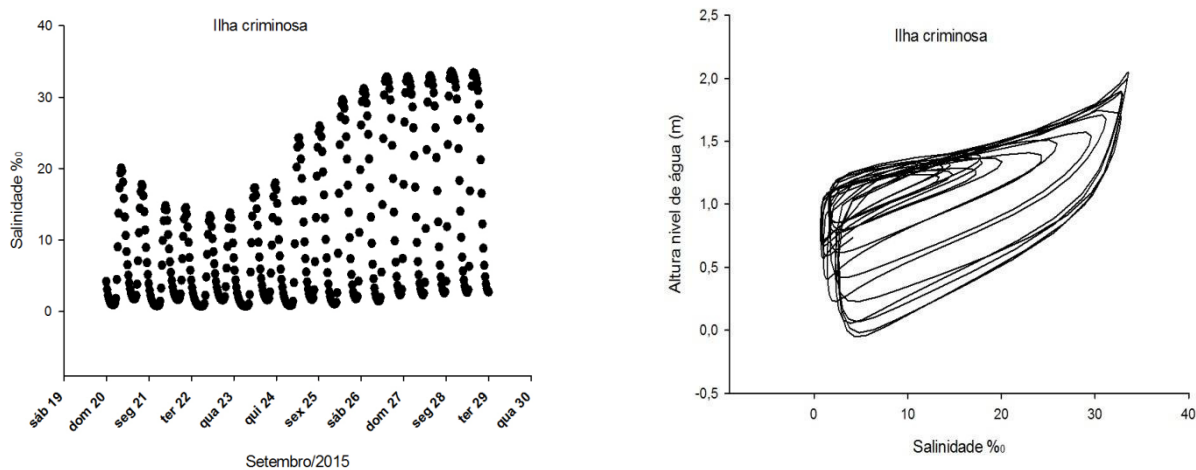


Figura 47: Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P2.

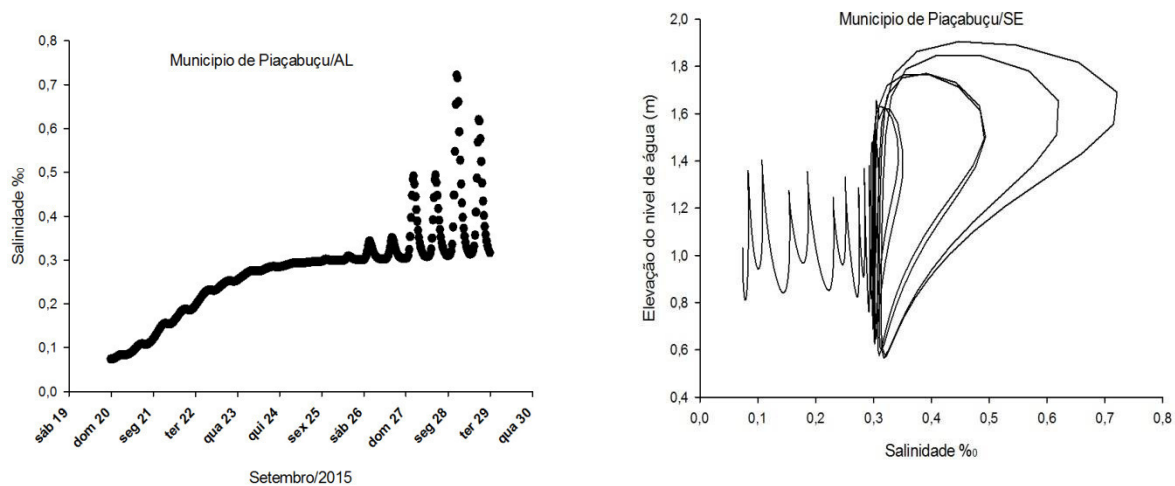


Figura 46: Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P3.

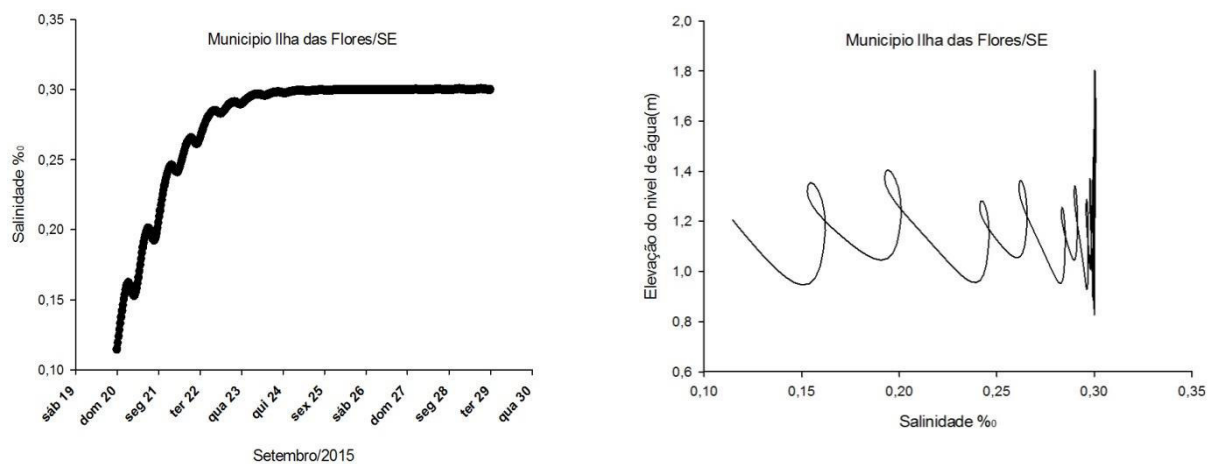


Figura 47: Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P4.

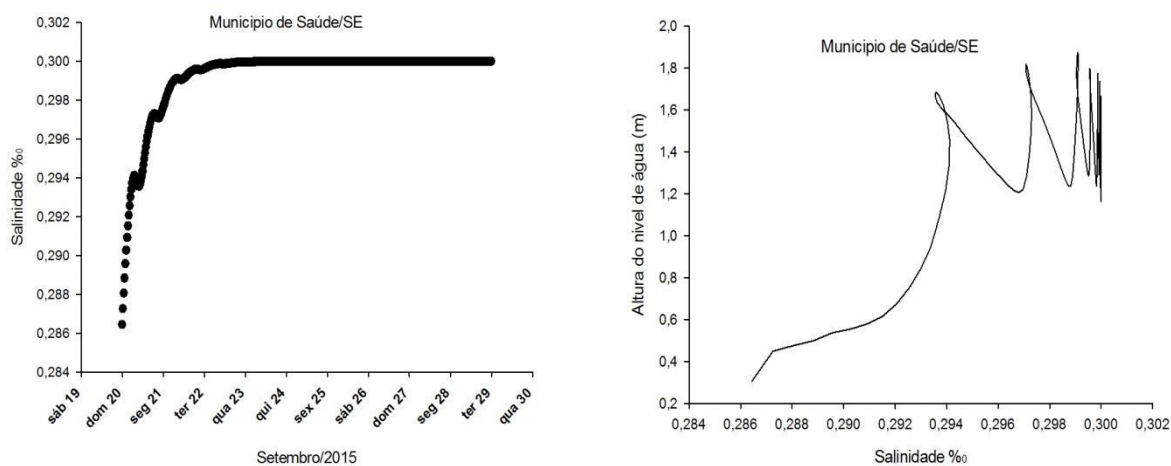


Figura 48: Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P3.

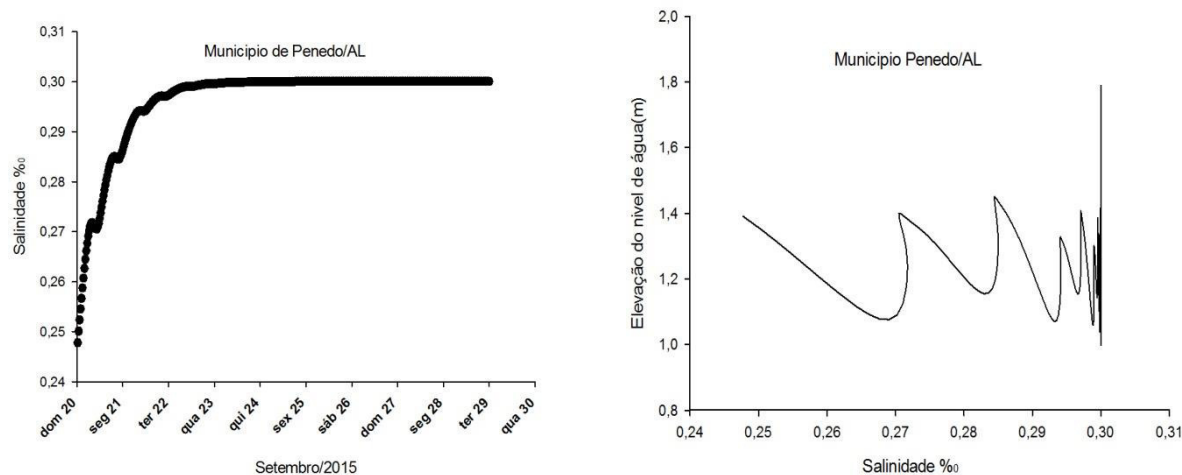
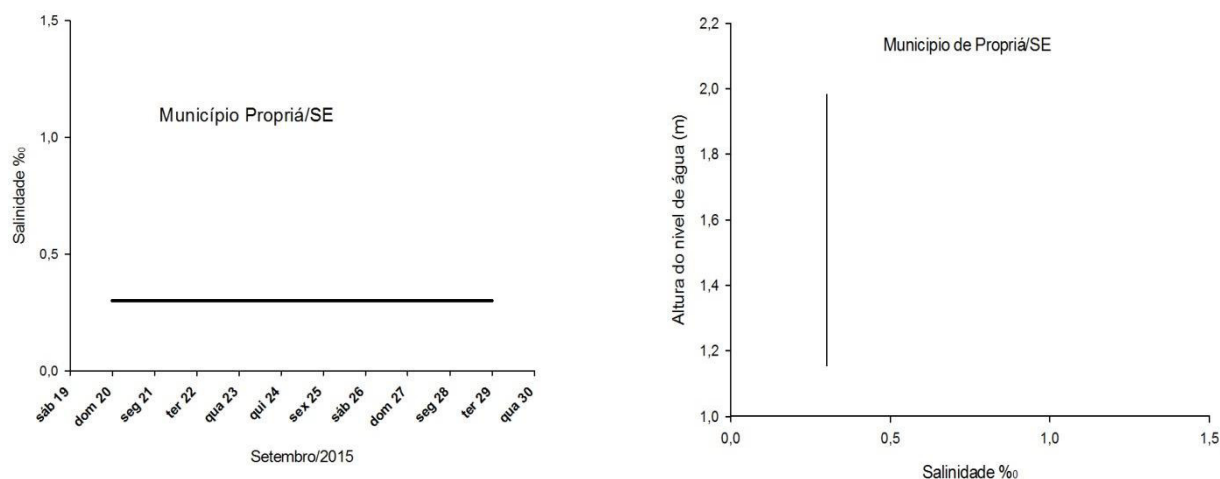


Figura 49: Salinidade simulada em condição de vazão fluvial em período de estiagem (A) e Altura do nível de água com a salinidade(B) no P3.



4.3.2 Cenários da salinidade na foz do rio São Francisco: Maré de sizígia/vazão período cheia e Maré de sizígia/vazão período vazante.

As marés de sizígia são as que representam as maiores elevações de maré, nesse sentido as condições apresentadas nas Figuras 50, 51, 52 e 53 registram a avaliação da penetração da cunha salina na foz do rio São Francisco e suas concentrações identificadas por cores.

A Figura 50 representa o resultado da simulação de salinidade pelo SisBAHIA para o dia 26/09 no horário das 14:30h, no instante em que a elevação da maré foi de 2,2m, atingindo a preamar e a situação de enchente. A

salinidade para o horário citado apresentou-se em 32,79‰. Cavalcante, Miranda e Medeiros (2017) avaliando o balanço de sal no estuário do rio São Francisco, registraram valores de 36,6‰ e 36,8‰ na foz em período de Primavera em maré elevada, assimilando aos dados apresentados neste estudo.

A Figura 52 apresenta o resultado da simulação de salinidade através do SisBAHIA para o dia 27/09 as 03:30h com instante de elevação de maré em 2,3m atingindo a preamar e a situação de enchente, a concentração de salinidade para o instante de tempo foi de 32,14‰. Nas Figuras 50 e 52 a coloração rocha representa os primeiros momentos do deslocamento da cunha salina iniciando-se a margem esquerda da foz localizada no estado de Alagoas.

Segundo Fontes (2016) na zona costeira entre Alagoas e Sergipe as máximas amplitudes de marés ocorrem em março e setembro. De acordo com Castro e Huber (2012) a cunha salina se move com o ritmo das marés, e nos estuários ela se movimenta em direção ao norte na maré alta e recua no sentido sul. Isto quer dizer que indivíduos humanos, organismos da fauna e flora aquática inseridos nesse ecossistema estão sujeitos a oscilações drásticas de salinidade.

Os resultados da simulação para o dia 26/09 demonstraram que em condição de sizígia, período característico de cheias, e no momento de estiagem a cunha salina se distribui do início da foz até Ilha Negra, aproximadamente 8km, ressalta que neste ponto a salinidade simulada foi de 2‰, acima de Piaçabuçu a simulação apresentou salinidade em torno de 0,3‰, Figura 50. Porém, no dia 27/09 a intrusão salina estende-se até Piaçabuçu/AL, Figura 52.

Outro aspecto apresentado na simulação é a distribuição da salinidade entre os afluentes situados a margem esquerda localizado em Brejo Grande/SE como o rio Paraúna e o canal Parapuça. Ressalta-se que no rio Potengi a salinidade simulada para o dia 26/09 e 27/09 estava em torno de 23‰, chama-se atenção que neste ponto há captação de água para abastecimento do povoado Saramém, razões pelas quais a comunidade não consegue utilizar a água para consumo no período da maré alta. Registro das bombas de captação para a população de Saramém e Brejo Grande/SE (APÊNDICE B).

Para o rio Potengi localizado a margem direita da foz, afluente localizado no município de Piaçabuçu/AL a salinidade variou entre 7‰ a 24‰, neste canal não há bomba de captação de água, porém a comunidade local retira água para beber diretamente do rio, na preamar costumam cavar poços nas areias das dunas próximo a foz em busca de água doce para utilizar (APÊNDICE C).

No período de maré vazante (Figuras 51 e 53) a simulação evidenciou que mesmo com o recuo da maré existe ainda uma permanência de salinização nos rios Paraúna e no canal Parapuça em torno de 9‰ e 15‰, segundo Fontes (2016), a formação desse canal foi promovida pelo aprisionamento de uma ilha colonizada por um extenso manguezal em ambiente influenciado diariamente pela maré. Fato que justifica o aprisionamento de sais em período de maré vazante. No rio Paraúna, houve registro de 3‰ para o dia 26/09 e 8‰ para o dia 27/09.

Nota-se que na maré vazante a permanência da cunha salina localiza-se a margem esquerda no município de Brejo Grande/SE, próximo ao canal Parapuça, apresentam-se mais extensa no dia 27/09, mas há ocorrência também de aprisionamento da salinidade no dia 26/09.

Trabalhos de simulação de salinidade por meio do SisBAHIA em área de maré foram realizados por Amaral (2003) no estuário do rio Macaé/RJ, registrando salinidade de 3‰; Rigo (2004) na Baía de Vitória/ES com valores registrados de até 35‰; Santos (2012) na foz do rio Araguaia/AP com registros de 4,83‰; Couto (2014) no Baixo curso do rio Paraguaçu/BA com registro de salinidade em 5‰ a 35‰; Roversi, Rosman e Harari (2016) no sistema estuarino de Santos, com distribuição de salinidade entre 4‰ e 32‰, as maiores incidências entre 4‰ e 8‰.

Figura 49: Simulação da salinidade em período de maré de enchente entre a Ilha criminosa/SE e o município de Propriá/SE 26.09.

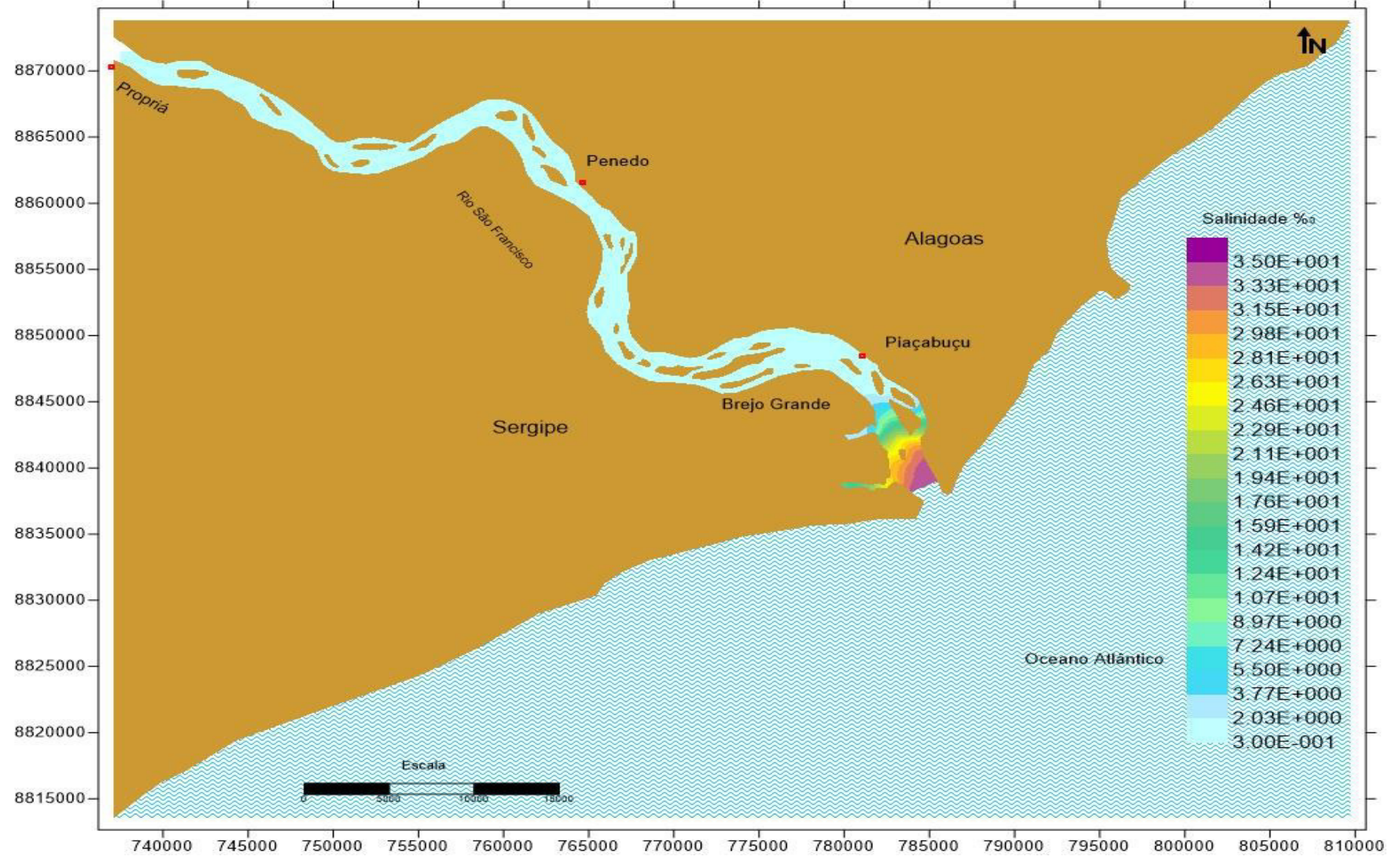


Figura 50: Simulação da salinidade em período de maré vazante entre a Ilha criminosa/SE e o município de Propriá/SE 26.09. 149

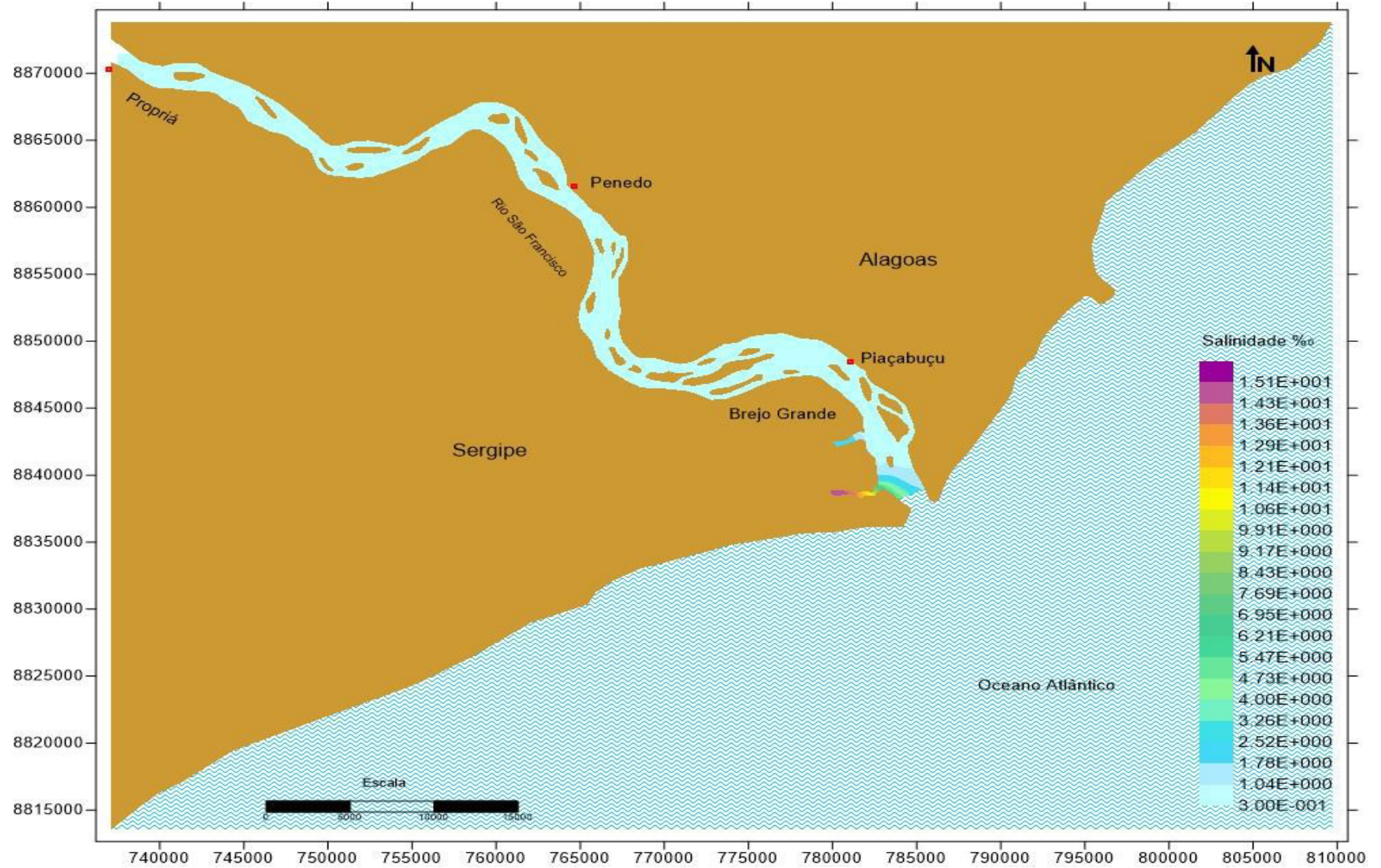


Figura 51: Simulação da salinidade em período de maré enchente entre a Ilha criminososa/SE e o município de Propriá/SE
27.09.

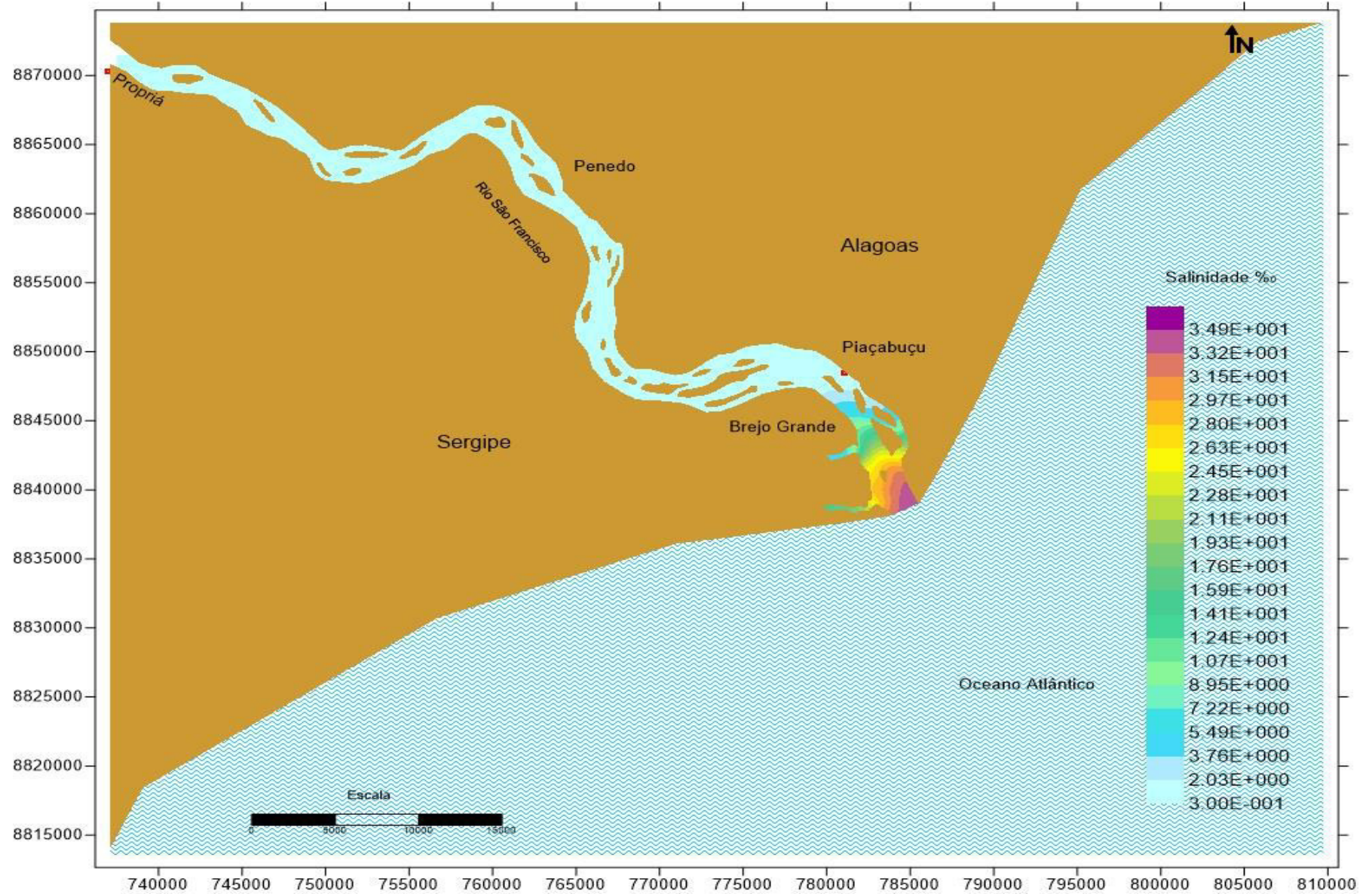
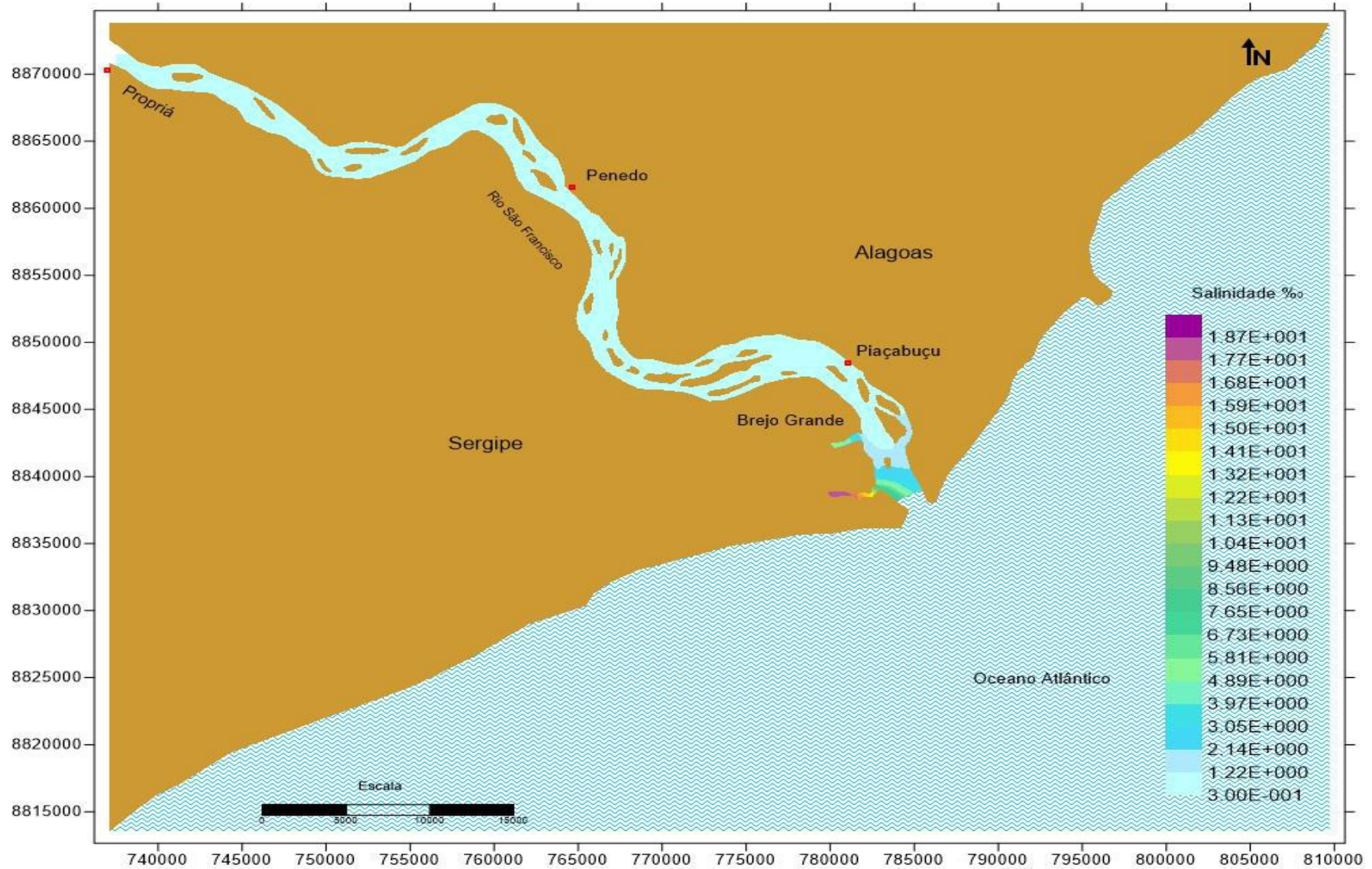


Figura 52: Simulação da salinidade em período de maré vazante entre a Ilha criminosa/SE e o município de Propriá/SE 27.09.



4.4 Conclusão

Conclui-se que, o modelo SisBAHIA representou bem o mecanismo de transporte de sal ao longo da área em estudo. Os dados comprovaram que o transporte de sal é regido pela ação da maré e com distribuição estratificada ao longo da foz do rio São Francisco, conforme foi comprovado através da calibração e validação dos dados.

A salinidade se apresenta em maiores concentrações no regime de maré de enchente, e no período de maré vazante. Os rios Paraúna e Potengi registraram perfil de água salobra indicado e o canal Parapuça com aprisionamento de corrente salina.

Ressalta-se que, a simulação da distribuição da salinidade pode sinalizar resposta do ecossistema aquático aos impactos provocados pelo barramento do rio, incluindo limitação de usos para abastecimento humano, agricultura e pesca.

Notou-se que a cunha salina se mantém na maré de enchente aproximadamente a 11km da foz entre os municípios de Brejo Grande/SE e Piaçabuçu/AL.

REFERÊNCIAS

AMARAL, K. J. Estuário do Rio Macaé: Modelagem Computacional como Ferramenta para o Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. 2003. 169p.

AGUIAR NETTO, A. O.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, A. G. C.; ALMEIDA, C. A. P. **Água e ambiente no baixo São Francisco sergipano**. In: AGUIAR NETTO, A. O.; LUCAS, A. A. T. Águas do São Francisco. EDUFS. 2011. 15-32p.

CASTRO, P.; HUBER, M. E. Biologia marinha. 8ª ed. AMGH. 2012. 436p.

CAVALCANTE, G. MIRANDA, L. B.; MEDEIROS, P. R. P. Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). Revista Brasileira de Recursos Hídricos Brazilian Journal of Water Resources. Versão On-line ISSN 2318-0331 RBRH, Porto Alegre, v. 22, e31, 2017

D'AQUINO, C.A; FRANKLIN DA SILVA, L.; COUCEIRO, M.A.A; PEREIRA, M.D. Transporte de Sal e Hidrodinâmica do Estuário do Rio Tubarão — SC, Brasil RBRH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.3 - Jul/Set 2011, 113-125

CBHSF – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Monitoramento e Avaliação da introdução da Cunha Salina no Estuário do São Francisco. 2009. Disponível em:<
<http://licenciamento.ibama.gov.br/Recursos%20Hidricos/Integracao%20Sao%20Francisco/Relatorios%20execucao%20PBA/REL%20SEMESTRAL%207/Programa%2036/Anexo%204.36.1%20Cunha%20Salina%20Jan-Jul09.pdf>> Acesso em 20 de setembro de 2016.

DYER, K. R., Sediment transport processes in Estuaries: in: Geomorphology and Segimentology of Estuaries. G.M.E. Perillo (Ed) development in Sedimentology, 53 Elsevier Science. 1995 p.423-449

CASTRO, P.; HUBER, M. E. Biologia marinha. 8ª ed. AMGH. 2012. 436p.

COUTO, G. A. Análise da influência do regime de vazão da uhe de pedra do cavalo no comportamento espacial e temporal da salinidade no trecho fluvio estuarino do baixo curso do rio Paraguaçu à baía do Iguape/BA. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2014.143p

FONTES, L. C. SILVEIRA. DA FONTE À BACIA: INTERAÇÃO CONTINENTE-OCEANO NO SISTEMA SEDIMENTAR RIO SÃO FRANCISCO, BRASIL. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro. 2016, 315p

HANSEN D. V.; RATTRAY M. 1966. New dimensions on estuarine classification. *LimnologyandOceanography*,11: 319–326.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Projeto De irrigação no Vale do baixo São Francisco. Brasília: Ipea, 1992, 44p. Disponível em<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2517/1/TD%20268.pdf> Acesso em 01 de março de 2016.

LERCZAK, J. A.; GEYER, W. R.; CHANT, R. J. Mechanisms driving the time dependent salt flux in a partially stratified estuary. *Journal of Physical Oceanography*, v. 36, n. 12, p. 2296-2311, 2006. <http://dx.doi.org/10.1175/JPO2959.1>.

LEWIS, R. E.; LEWIS, J. O. The principal factors contributing to the flux of salt in a Narrow, partially Stratified Estuary. *Estuarine and Coastal Marine Science*, v. 16, n. 6, p. 599-626, 1983. [http:// dx.doi.org/10.1016/0272-7714\(83\)90074-4](http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714(83)90074-4).

LOITZENBAUER, E. MENDES, C. A. B. A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira *Revista da Gestão Costeira Integrada* 11(2):233-245 (2011).

MEDEIROS, P.R.P.; SANTOS, M. M.; CAVALCANTE, G. H.; SOUZA, W. F. L.; Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. *Geochimica Brasiliensis* v 28, n1, 2014. p 65-78.

MEDEIROS P.R.P., Knoppers B.A., dos Santos Jr R.C., Souza W.F.L. 2007. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). *Geoch Bras*, 2:209-228.

MEDEIROS P.R.P., Knoppers B.A., Souza W.F.L., Oliveira E.N. 2011. Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL) em diferentes condições hidrológicas. *Braz J Aquat Sci Technol*, 15:42-53

MEDEIROS, P.R.P.; SANTOS, M. M.; CAVALCANTE, G. H.; SOUZA, W. F. L.; Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. *Geochimica Brasiliensis* v 28, n1, 2014. p 65-78.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B.; Princípios de oceanografia física de estuários. EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 2002. 424 p. ISBN: 85-314-0675-7

MONTEIRO, S. M; EL-ROBRINI, M; CASTRO ALVES, I. C. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 151-162, jan./abr. 2015.

PEREIRA, Marçal D.; SIEGLE, Eduardo; MIRANDA, Luiz B. de and SCHETTINI, Carlos A.F.. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). *Rev. Bras. Geof.* [online]. 2010, vol.28, n.3, pp.427-444.

PRITCHARD, D. W. The dynamic structure of a coastal plain estuary. *J. Mar. Res.* 1952. v15, p 33-42

RIGO, D. Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na baía de Vitória/ES. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. 2004. 170p.

ROSMAN, P.C.C. Um sistema computacional de hidrodinâmica ambiental. In: Silva, R.C.V. (Ed.), *Métodos Numéricos Em Recursos Hídricos - Volume 5*. ABRH. p. 1-161. 2001.

ROSMAN, P. C. C., (Ed.). Referência técnica do SisBaHiA®. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Março 2015, Disponível em: <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V95.pdf>. Acesso em: jun. 2016.

ROSMAN, P. C. C., CUNHA, C. L. N., CABRAL, M. M. et al. Referência Técnica do SisBaHiA. COPPE /UFRJ. Programa de Engenharia Oceânica, Rio de Janeiro, RJ. Versão 9.2, 2013. 249 p. Disponível em: http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V92.pdf. Acessado em: 20 de setembro de 2015.

ROVERSI, F.; ROSMAN, P. C.; HARARI, J. Análise das Trajetórias das Águas Continentais Afluentes ao Sistema Estuarino de Santos. RBRH vol. 21 no.1 Porto Alegre jan./mar. 2016 p. 242 – 250.

SANTOS, E. S. Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água em região de pororoca na foz do rio Araguari/AP. Dissertação. Fundação Universidade Federal do Amapá. 2012. 113p.

SEGUNDO, G. H. C. Caracterização hidrodinâmica sedimentológica do estuário e delta do rio São Francisco. Dissertação departamento de meteorologia/CCEN/UFAL. 2001. 102p

VENICE SYSTEM. Symposium on the classification of brackish Waters, Venice, April 8-14, 1958. **Archives of Oceanography and Limnology**, v. 11, p. 1-248, 1958.

CAPITULO 5. ATIVIDADE DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO DA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO: PERFIL SOCIOECONOMICO DOS PESCADORES E DEGRADAÇÃO DO AMBIENTE

RESUMO

A relação do homem e a natureza ao longo dos anos vem provocando uma escala de intervenção no equilíbrio dinâmico do meio ambiente. Nas últimas décadas, a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco passou por um período de construções de barragens, tais que foram responsáveis por grandes modificações naturais e sociais. O presente trabalho foi desenvolvido na área da foz do rio São Francisco que abrange uma faixa litorânea com cerca de 25 km de extensão para o sul, até a localidade de Ponta dos Mangues, no Município de Pacatuba. A ferramenta utilizada para análise da percepção baseou-se na aplicação de questionário semi estruturado com a finalidade de recolher as informações sobre o perfil socioeconômico dos pescadores, conhecimento do tipo de plantas aquáticas e outros fatores que prejudicavam o rio. Dos dados obtidos o perfil predominante de faixa etária dos entrevistados está acima de 45 anos e com presença significativa feminina, a degradação percebida apontaram as plantas aquáticas como responsável pela perda de equipamentos e redução de pescado, relatos de migração de espécies de peixe de água salgada no rio já é comum, o descarte dos resíduos sólidos também se caracterizou como um dos elementos de degradação na região. Conclui-se que as atividades de educação ambiental possibilitaram a percepção dos pescadores sobre os principais tipos de degradação ambiental que atua na região investigada.

Palavras chaves: Pescador, Degradação ambiental, Percepção ambiental.

ABSTRACT

The relation of man and nature over the years has been provoking a scale of intervention in the dynamic equilibrium of the environment. In recent decades, the São Francisco River Basin has undergone a period of construction of dams, which have been responsible for major natural and social changes. The present work was developed in the area of the mouth of the river São Francisco that covers a coastal strip with about 25 km of extension to the south, until the locality of Ponta dos Mangues, in the Municipality of Pacatuba. The tool used for analysis of the perception was based on the application of a semi-structured questionnaire with the purpose of collecting the information about the socioeconomic profile of the fishermen, knowledge of the type of aquatic plants and other factors that harmed the river. From the data obtained, the predominant profile of the age group of the interviewees is over 45 years old and with a significant female presence, the perceived degradation indicated the aquatic plants as responsible for the loss of equipment and reduction of fish, reports of migrations of saltwater fish species in the river is already common, the disposal of solid was also characterized as one of the elements of degradation in the region. It is concluded that the environmental education

activities enabled the perception of the fishermen about the main types of environmental degradation that operates in the region investigated.

Keyword: Fisherman, Environmental degradation, Environmental perception.

5.1 Introdução

A relação do homem e a natureza ao longo dos anos vem provocando uma escala de intervenção no equilíbrio dinâmico do meio ambiente. O produto dessa relação se dá por intermédio das atividades humanas as quais têm provocado impactos ao meio ambiente, e alterações das características naturais.

Nas últimas décadas, a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco passou por um período de construções de barragens, tais que foram responsáveis por grandes modificações naturais e sociais no espaço com impactos ambientais negativos, não dimensionados no período de sua instalação.

Esta modificação ao longo do rio favorece inúmeros desequilíbrios que podem afetar a fauna, a flora e os processos abióticos de um ambiente aquático. Tais modificações surgem com alteração de espécies aquáticas, como por exemplo possíveis tipos de macrófitas.

As macrófitas aquáticas Segundo Araújo et al (2012) apresentam adaptações morfofisiológicas diferenciadas, além da capacidade de colonizar ambientes aquáticos com diferentes características físicas e químicas, possuem uma distribuição mais ampla que a maioria das plantas terrestres, distribuição ocorrente devido a variações no ambiente aquático.

Outro aspecto que sinaliza o desequilíbrio é o desaparecimento de espécies de peixes de água doce na área da foz do rio São Francisco e migração de novas espécies em adaptação aos espaços modificados. Além desses fatores o descarte dos resíduos sólidos e a retirada da mata nas margens tem sido assunto entre os diálogos que demanda o rio São Francisco através de atividades na área da educação ambiental, pois se entende que por meio do conhecimento ocorre a condição necessária para modificar um quadro de crescente degradação socioambiental na região.

A educação ambiental deve ser inserida com cautela tendo o cuidado de abranger a crise ambiental em diferentes escalas e relacionando-a com as disfunções existentes no estilo de desenvolvimento, partindo sempre do princípio de que a questão social e a questão ambiental são intrínsecas uma à outra (LONGO, 2016).

Mediante o exposto este trabalho teve como objetivo a verificação de um diagnóstico perceptivo sobre a degradação ambiental identificado pelos pescadores na área da foz do rio São Francisco, buscando conhecer as principais causas e consequências de desequilíbrio que ocorrem na região.

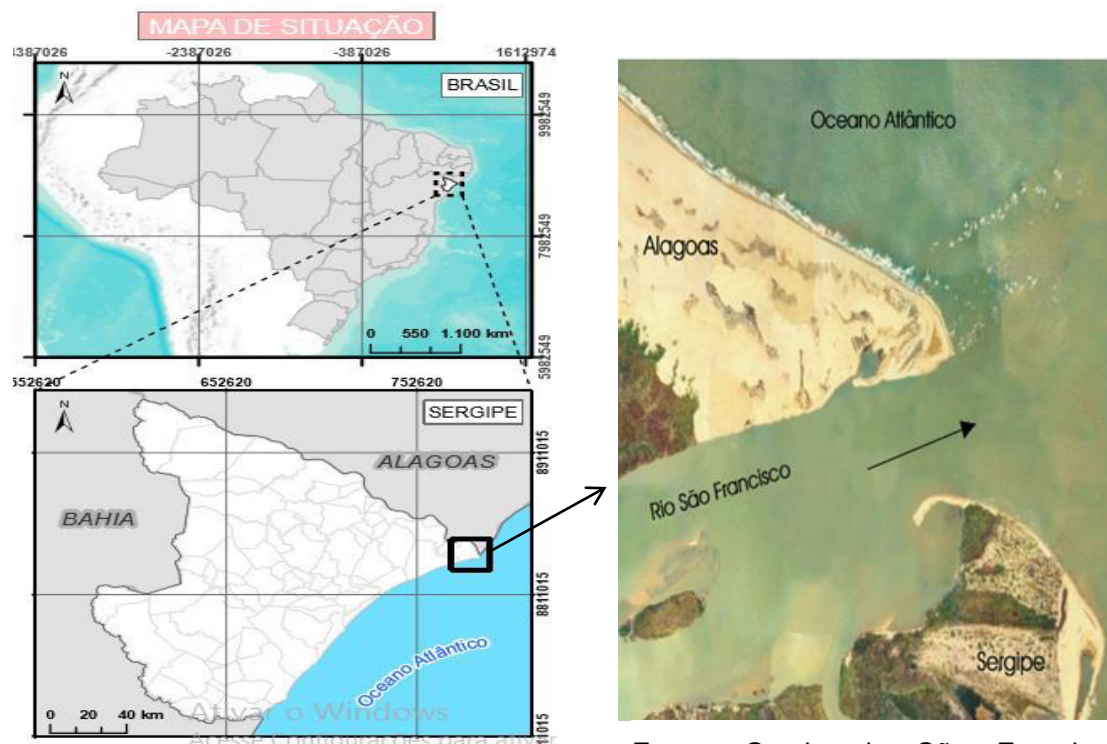
5.2. Material e métodos

5.2.1 Área de estudo

O rio São Francisco nasce na serra da Canastra em Minas Gerais e deságua no oceano Atlântico em divisa com os estados de Alagoas e Sergipe área considerada com a foz deste manancial. No caso do São Francisco sua foz é do tipo estuário, pois é constituída por um longo canal de forma afunilada e na medida em que o rio se aproxima do mar suas margens ficam mais próximas uma das outras (Figura 53) (HERMUCHE, 2002).

A área de influencia direta da foz abrange uma faixa litorânea com cerca de 25 km de extensão para o sul, ate a localidade de Ponta dos Mangues, no Município de Pacatuba. Ao norte, aproximadamente 18 km de praia ate o povoado de Pontal do Peba (AL) (Valente et al, 2011).A foz do rio São Francisco estabelece um dos principais pontos de belezas naturais na região do baixo São Francisco e com grande influencia na dinâmica de vida dos pescadores.

Figura 53: Localização geográfica da área da foz do rio São Francisco



Fonte: O rio de São Francisco (HERMUCHE, 2002).

Fonte: IBGE: Divisão Político-Administrativa do Brasil. 2002. SEMARH-SE: Divisão Municipal; Hidrografia; Rodovia Estadual; Cidades. 2012 .Elaboração: Luciano Lima .Projeção Universal Transversa de Mercator

5.2.2 Coleta dos dados

Para o início da coleta de dados solicitou-se ao responsável pela associação dos pescadores na área da foz do rio São Francisco o espaço para apresentação do projeto de pesquisa com temas relacionados à degradação ambiental no rio São Francisco. A ferramenta utilizada para análise da percepção baseou-se na aplicação de questionário semi estruturado (APÊNDICE C) no período de maio a junho de 2015 com a finalidade de recolher as informações sobre o perfil socioeconômico dos pescadores, conhecimento do tipo de plantas aquáticas que prejudicavam o rio, tipos de degradações, e se haviam ações de conservações na área do rio.

Para complementar a interação das informações elaborou-se um álbum com imagens fotográficas das possíveis macrófitas aquáticas presentes na

área da foz do rio São Francisco (Figura 54A). A dinâmica desta atividade se deu por meio na formação de grupos onde os entrevistados observavam as imagens e em seguida anotava suas respostas e emitiam suas opiniões pessoais sobre o assunto investigado (Figura 54B). No grupo havia entrevistados não alfabetizados, estes buscaram auxílio para transcrição de suas informações, porém, sem intervenção ideológica. Toda coleta de dados consistiram na abordagem qualitativa e quantitativa, considerada por Richardson (1999) onde o método quantitativo representa em princípio a intenção de garantir a precisão dos resultados e o qualitativo justifica-se por ser a forma adequada para entender a natureza de um fenômeno social.

Figura 54: Imagens das macrófitas aquáticas utilizada como recurso visual nas entrevistas com os pescadores (A) e a aplicação(B).



Fonte: Acervo pessoal (2015)

5. 2. 3 Análise dos dados

Os resultados obtidos a partir das perguntas objetivas foram tabuladas e codificada por meio de planilhas, em seguida os dados passaram por um tratamento estatístico por média e frequência. As demais observações foram interpretadas buscando a síntese sobre os dados do objeto de pesquisa (RAMPAZZO, 2011).

5.3. Resultados e discussão

5.3.1 Perfil profissiográfico e a percepção ambiental dos pescadores sobre a degradação na área da foz do rio São Francisco

Os resultados obtidos permitem inferir que o perfil predominante de faixa etária dos entrevistados está acima de 45 anos, (Figura 55A), valores semelhantes aos encontrados por Ramires (2012) em sua pesquisa no Vale do Ribeira e Pontal de São Paulo. No momento desta pesquisa houve a predominância do gênero feminino, pela observação boa parte destas assume ou colabora com a renda familiar.(Figura 56A) Garcez e Botero (2005) apontam que já é considerável a atuação das mulheres na atividade pesqueira, inclusive profissionalmente documentadas. Alencar e Maia (2011) complementam que dados nacionais apontam um aumento da inserção das mulheres na atividade de pesca principalmente nas regiões norte e nordeste do país.

O nível de escolaridade da população avaliada está concentrado entre o ensino fundamental e o nível médio incompleto (Figura 55B). Essa realidade também foi detectada por Tamano et al (2015) cujo grupo amostral indicou nível de escolaridade da 5ª e 8ª série. Ressalta-se a ocorrência de registro entre os entrevistados com curso superior, fato que pode estar relacionado as ações de governo nos últimos anos, o que possibilita indivíduos que vivem distantes dos centros urbanos a ter acesso a profissionalização. Para a avaliação sobre a renda, segundo as informações declaradas nas entrevistas a principal fonte de sustento está baseada na pesca e na bolsa família (Recurso disponibilizado pelo governo Federal), ver Figura 56A, mas, houve registro de quase 22% para o recurso de aposentadoria, cenário para os pescadores acima de 40 anos.

Sobre a degradação do rio, os principais fatores apontados pelos entrevistados foram às o descarte de resíduos sólidos no próprio rio e barragens (Tabela 16). Os mesmos reforçaram que o barramento diminui a quantidade de água no rio dificultando a pesca e navegação, além de promover formação de bancos de areia ao longo do curso do rio. Sobre a presença de lixo, estes reforçaram que muitas vezes o descarte é feito pelo próprio

pescador e que sentem a necessidade de uma ação educativa e fiscalizatória para diminuição dessa prática. Quanto a conservação do rio São Francisco 70,60% dos entrevistados consideraram que não e 27,5% disseram que sim (Tabela 17).

Figura 55: Nível de escolaridade (A) e renda dos entrevistados no município de Brejo Grande/SE(B).

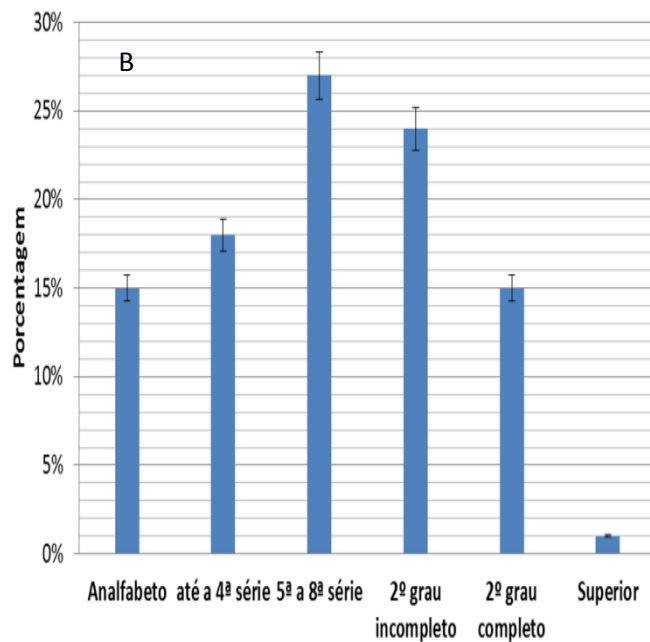
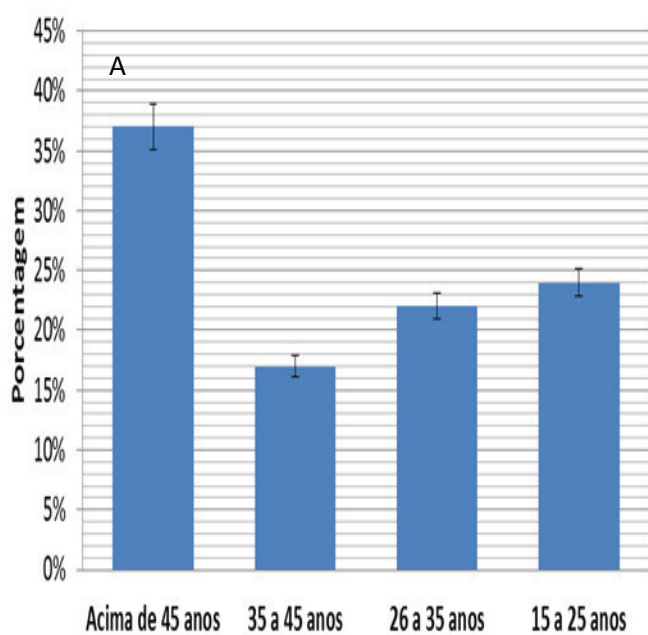
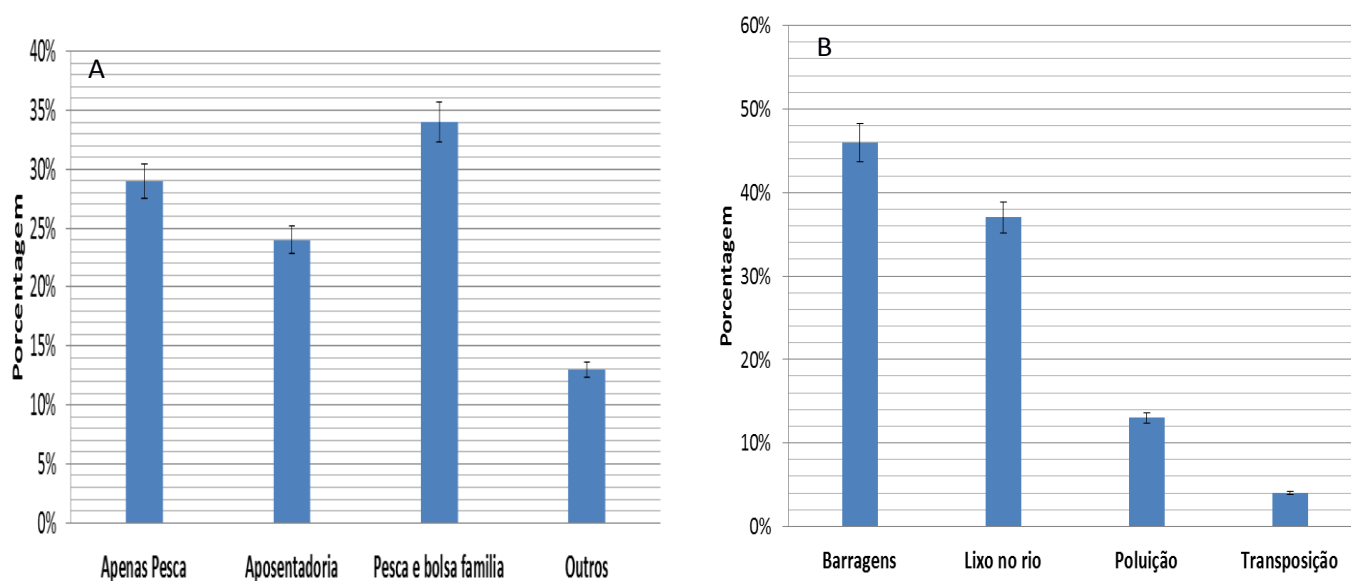


Figura 56: Atividade de renda (A) e causas da degradação na área da foz do São Francisco (B).



Fonte: Acervo pessoal

Tabela 16: Percepção dos pescadores sobre a degradação na área da foz do rio São Francisco.

Motivos da degradação do Rio São Francisco		
Respostas	Frequência	Porcentagem
Despejo de Resíduos	56	52,34
Influência da barragem	19	17,58
Poluição geral	19	17,58
Esgotamento sanitário	13	12,15

Fonte: Autora (2017)

Tabela 17: Percepção dos pescadores sobre a conservação do rio São Francisco.

Conservação do Rio São Francisco		
Respostas	Frequência	Porcentagem
Não	113	70,6
Sim	44	27,5
Não sabe informar	3	1,9

Fonte: Autora (2017)

Com base nos dados obtidos durante a pesquisa, constatou-se que boa parte dos entrevistados tiveram o interesse pessoal em relatar de forma detalhada as principais dificuldades encontrada com o aumento das macrófitas no curso do rio São Francisco. Estes na sua totalidade exerciam atividades de pesca e navegação, tendo a representação feminima com quase 67% .

Com a formação de dez grupos focais, iniciou-se o segregação das imagens das macrófitas e a seleção das pergunta “Qual destas macrofitas prejudicava a atividade de pesca e navegação”. Os grupos, por meio da escrita e da fala relataram e indicaram as espécies pelo nome popular conhecido na região. Dentre as macrofitas aquáticas sinalizadas estão a *Egeria densa* conhecida popularmente como “Cabelo” e a *Eichhornia crassipes* popularmente a Baceiro(Figura 57). Além destas, foi também classificada a *Derbesia tenuissima* vulgarmente chamada de “lodo”, na Figura 57 aponta a representação do agrupamento das informações.

A principal queixa dos entrevistados era que estas vegetações restringem o rendimento da pesca, devido ao entrelaçamento na rede ou nas hélices das embarcações fazendo com que interrompessem a atividade para a retirada destas espécies em seus equipamentos. Um dos entrevistados ainda destacou em sua fala “ *Baceiro quem tem barco e Cabelo para quem tem rede*”, isso referindo-se que, para a atividade de navegação a vegetação Baceiro era que mais prejudicava, devido a sua aglomeração no rio,” *Quanto mais o rio fica raso ele forma croa, onde era fundo fica raso*” além de prejudicar a hélice do barco diminuindo a navegação nestas áreas.

Essa afirmação remete a diminuição da vazão e processos erosivos ao longo do baixo São Francisco, possibilitando a dimuição da lâmina de água e formação de banco de areia. Santana, Araújo e Vasco (2015) apontam que, a atividade de navegação já é prejudicada em diversos trechos devido ao acúmulo de sedimentos, reforçando o discurso apresentado pelo entrevistado.

Os bancos de areias formados pelo acúmulo de sedimento além de prejudicar a navegação, torna-se um local propício a fixação das macrófitas, favorecendo a sua proliferação e limitando as atividades socio ambientais nestas localidades. Silva, Marques e Lolis (2012), reforçam que a formação de

bancos muitos extensos de macrófitas aquáticas podem dificultar o acesso da população ao recurso hídrico. Porém, o entrevistado ainda relata que isso ocorre porque não há mais enchentes, “*Á agua está presa e ela só cresce*”.

Já a vegetação dita como Cabelo, relatou que ao jogar a rede a mesma não desce a maiores profundidades pois a vegetação forma barreiras e prende nas estruturas impedindo a entrada dos peixes. O mesmo ainda afirmou que “*Quando eles liberam a água já limpa os Cabelos*”, reportando-se a redução da vazão do rio São Francisco, hoje com registro de 800 m³/s segundo a CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco)/2016. O entrevistado termina sua afirmação detalhando que “*Ela está vindo do meio para as beiradas prejudicando o pescador*. Enfatizando que as macrófitas aquáticas circulam até o curso principal do rio trazendo prejuízos a atividade pesqueira.

A espécie *Montrichardia arborescens*, popularmente chamada de Aninga, foi bastante enaltecida pelos entrevistados, os quais disseram que esta vegetação é importante para a manutenção do rio, pois evita o assoreamento e ainda abriga peixes e crustáceos. Destaca que o assoreamento é um dos impactos bem presentes as margens da área da foz do rio São Francisco. Para Nascimento, Ribeiro Jr e Aguiar Netto (2013) após a regularização das vazões a dinâmica costeira se alterou substancialmente e a erosão passou a ser dominante a sul e a norte da foz. Cenário que pode explicar o aumento do processo erosivo na região, porém, cabe salientar que a perda da vegetação nas zonas marginais também contribui para a fragilidade do solo e proporciona o aumento da erosão ao longo do rio.

Para Pompêo (2008) já se comprova que as macrófitas aquáticas proliferam em ambientes com altas taxas de concentrações de nitrogênio e fósforo, porem, já se observa desenvolvimento de extensos bancos de macrófitas flutuantes em locais com baixas concentrações de nitrogênio e fósforo.

Outras correlações para entender o crescimento dessa vegetação podem estar relacionadas pelo clima, temperatura, construção de reservatórios artificiais ou pressão antrópica (CAMARGO, PEZZOTO e SILVA, 2003). Bianchini Junior (1998) sinaliza que nas regiões tropicais tem se intensificado o desenvolvimento de *Eichhornia crassipes* por apresentar tendência a ocupar

superfícies de canais, rios, lagos e reservatórios(Figura 58 A). Estas espécies acabam causando problemas em ambientes alterados pelo homem, um dos meios propicio para a propagação destas espécies são os reservatórios para fins de geração de energia, representando um grande problema econômico para o país. Vale citar também registros de Pitelli (1998) sobre a redução de peixes herbívoros no curso d'água permite grande fluxo populacional de *Egeria densa* (Figura 58B).

Figura 57: Perfil das respostas dos entrevistados sobre as espécies de macrófitas que prejudicam a navegação.

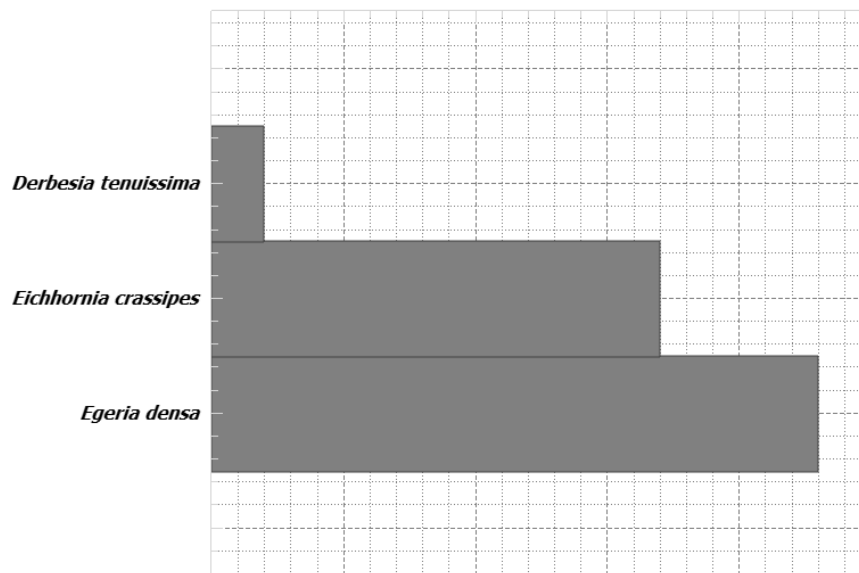


Figura 58: Imagens das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes*(A) e *Egeria densa* (B) na área da foz do rio São Francisco, município de Brejo Grande/SE.



Outro ponto relevante apontado pelos pescadores é a ausência de espécies de peixes de água doce outrora comum na região, hoje já considerado desaparecido. Espécies de peixes como o Surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) e Xira (*Prochilodeu sargeus*) na baixo São Francisco já não são frequentes entre os pescados, para Costa et al (2003) estas espécies já são consideradas em caráter de ameaça de extinção, o autor enfatiza que o Surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) é uma das espécies de peixe de suma importância para o rio São Francisco nos aspectos biológicos e pesqueiro.

Os pescadores também sinalizaram presença de peixes de água salgada no rio como arraias da espécie (*Dasyatis marmorata*)(Figura 80),segundo eles como o rio perdeu a sua força devido a diminuição do fluxo de água que desce da cabeceira até a foz, as espécies de peixes de água salgada estão ocupando habitats que antigamente pertencia apenas as espécies de peixes de água doce. Quando se perguntou por que consideravam que o rio está ficando salgado o entrevistado 2 descreveu “o rio está secando e mar está invadindo” já o entrevistado 40 “afirma dizendo “o rio tá secando”. Estas duas afirmações foram por quase 70% confirmada através da fala dos pescadores

Outro ponto relevante apontado pelos pescadores é a ausência de espécies de peixes de água doce outrora comum na região, hoje já considerado desaparecido. Espécies de peixes como o Surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) e Xira (*Prochilodeu sargeus*) na baixo São Francisco já não são frequentes entre os pescados, para Costa et al (2003) estas espécies já são consideradas em caráter de ameaça de extinção, o autor enfatiza que o Surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) é uma das espécies de peixe de suma importância para o rio São Francisco nos aspectos biológicos e pesqueiro.

Os pescadores também sinalizaram presença de peixes de água salgada no rio como arraias da espécie (*Dasyatis marmorata*)(Figura 59),segundo eles como o rio perdeu a sua força devido a diminuição do fluxo de água que desce da cabeceira até a foz, as espécies de peixes de água salgada estão ocupando habitats que antigamente pertencia apenas as espécies de peixes de água doce. Quando se perguntou por que consideravam que o rio está ficando salgado o entrevistado 2 descreveu “o rio está secando e mar está invadindo” já o entrevistado 40 “afirma dizendo “o rio tá secando”. Estas duas afirmações foram por quase 70% confirmada através da fala dos pescadores

Figura 59: Captura de raia entre os pescados na área da foz do rio São Francisco.



Fonte: Acervo pessoal

Ao finalizar a atividade das entrevistas, buscou-se apresentar uma palestra sobre a importância do rio São Francisco e pontuar a necessidade da conservação deste recurso (Figura 60). Esse momento constituiu o momento de integralização do conhecimento *in loco* e científico resgatando de fato os problemas ambientais na sua inter-relação. Neste olhar Silva e Magalhães (2014) declaram que o surgimento de discussões e reflexões sobre esta problemática sinaliza a mudança de comportamento como fundamental para a internalização de hábitos sustentáveis.

Figura 60: Atividade de educação ambiental na colônia de pescadores no município de Brejo Grande/SE.



5.4. Conclusão

Conclui-se que os dados obtidos por meio da fala dos pescadores, permitiram perceber a dimensão dos principais elementos degradantes na região da foz do rio São Francisco. Fatores interessantes como o perfil feminino sendo a maior parte de representação durante a atividade desperta mudança de cenário na rotina pesqueira, boa parte da fonte de renda está assegurada pela pesca, motivo que justifica a real importância de atividades de educação ambiental nesta localidade. Sobre a percepção das macrófitas aquáticas os pescadores indicaram conhecer bem suas consequências na atividade sócio econômica e relacionaram estes problemas aos barramentos introduzidos no canal do rio. Embora essa vegetação ocorra naturalmente nos ambientes aquáticos o seu afloramento está ocasionando transtornos diretos na atividade de navegação e pesca. Cabe ressaltar que das 4 espécies apresentadas *Eichhornia crassipes* e *Egeria densa* foram destacadas como responsáveis por ocasionar danos e diminuição de eficiência dos equipamentos utilizados pelos pescadores durante a jornada de trabalho.

REFERENCIAS

- ALENCAR, C. A. G; MAIA, L. P; Perfil socioeconômico dos pescadores brasileiros. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, 44(3): 12 – 19. 2011.
- ARAÚJO, E.S.; SABINO J.H.F.; COTARELLI, V.M.; ALVES, J.A.S.; CAMPELO, M.J.A.; Riqueza e diversidade de macrófitas aquáticas em mananciais da Caatinga. **Diálogos & Ciência**, Petrolina, DOI:10.7447/dc.2012.
- BIANCHINI JUNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas In: THOMAZ, S. M; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá: EDUEM, 2003. 342p.
- CANCIAN, L. F. Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta* em diferentes condições de temperatura e

fotoperíodo. Dissertação (mestrado em Aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP. p. 66. 2007.

COSTA NETO, S. V; SENNA, C. do S. F; TOSTES, L. de C. L; SILVA, S. R. M. Macrófitas aquáticas das Regiões dos Lagos do Amapá, Brasil. Revista Brasileira de Biociências, V.5, p. 618-620. 2007.

COSTA, F.J.C.B. (coord). Recomposição da ictiofaunareofílica do Baixo São Francisco. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades desenvolvidas em terras na Bacia do São Francisco. **Relatório final**.Canindé de São Francisco: Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó. 2003.

CUNHA, M. B; BIANCHINI JR. I. Colonização de macrófitas aquáticas em ambientes lênticos. Rio Claro-SP: Boletim ABLimno, Universidade Estadual Paulista (UNESP), vol. 39(1), 2011.

DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O.; BARBOSA, J. E. de L; KONIG, A. “Uso de macrófitas aquáticas como solução ecológica para melhoria da qualidade de água”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, pp. 226-230. 2005.

GARCEZ, D. S; BOTERO, J. I. Caracterização da pesca artesanal e o conhecimento pesqueiro local no vale do Ribeira e litoral sul de São Paulo. **Revista Atlântica**, Rio grande do Sul. 17-29. 2005.

GODINHO, H.P.; GODINHO, A.L; Águas, Peixes E Pescadores Do São Francisco Das Minas Gerais. Belo Horizonte: Pucminas, 2003. 18p.

HERMUCHE, P. M. O rio São Francisco. Companhia de desenvolvimento do vale do São Francisco e do Parnaíba. **CBHS**. 58 p, 2002.

LONGO, G. R. Educação ambiental e educação em valores na formação de professores. **Revista eletrônica mestrado em educação ambiental**. v33. n1. Jan/abril. 256-268p. 2016.

MEDEIROS, P. R. P; SANTOS, M. M; CAVALCANTE, G. H; SOUZA, W. F. L; SILVA, W. F. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. *Geochimica Brasiliensis*, 28(1):65-78. 2014.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA,148p., 2006.

MOURA, M. A. M.; FRANCO, D.A.S.; MATALLO, M.B. Manejo integrado de macrófitas aquáticas. Instituto Biológico, São Paulo, v.71, n.1, p.77-82, jan./jun. 2009.

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, 2013, 175p.

PEZZATO, M. M; SILVA, G. G. H. BIANCHINI JUNIOR, I. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas In: THOMAZ, S. M; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá: EDUEM, 2003. 342p.

PITELLI, R. A. Macrófitas aquáticas no Brasil, na condição de problemáticas. In: WORKSHOP CONTROLE DE PLANTAS AQUÁTICAS, 1998, Brasília, **Resumos...** Brasília: IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1998. p. 12-15.

POMPÊO, M. L. M.. As macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais: aspectos ecológicos e propostas de monitoramento e manejo. In: Pompêo, M.L.M. (Ed.) Perspectivas da Limnologia no Brasil. p.105-119. 1999.

POMPÊO, M.; Monitoramento E Manejo De Macrófitas Aquáticas. Oecol. Bras., São Paulo, v.12, n. 3, p. 206-224, 2008.

RAMIRES, M; BARRELLA, W; MARTUCCI, A. E. Caracterização da pesca artesanal e o conhecimento pesqueiro local no vale do Ribeira e litoral Sul de São Paulo. **Revista ceciliana**, Junho. 37-43, 2012.

RAPAZZO, L. **Metodologia científica: Para alunos dos cursos de graduação e pós graduação**. Editora Loyola. 6ª ed, 146p, 2011.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: Métodos e técnicas**. Editora Atlas, 3ªed. 1999.332p.

SANTANA, N. R.F; ARAÚJO, S. S; VASCO. A. N. Diversos olhares sobre a foz do rio São Francisco. In: Contexto socioambiental das águas do rio São Francisco. Org. AGUIAR NETTO, A. O; SANTANA, N. R.F. Editora UFS, 2015. P 137-149.

SILVA, D. S; MARQUES, E. E; LOLIS, S. F. Macrófitas aquáticas: “vilãs ou mocinhas”? Interface, Edição número 04, maio de 2012. ISSN 1806-6062.

SILVA, S. L; MAGALHÃES, K. M. Percepção ambiental de macrófitas aquáticas e impactos ambientais por estudantes na região metropolitana do Recife/PE. **Revista eletrônica mestrado em educação ambiental**. v31. n1. Jan/Junho. 174-188p.2014.

SOUZA, L. S; NUNES, R. de O. Levantamento de macrófitas aquáticas no rio Méquens. Cacoal-RO: Revista Científica Eletrônica FACIMEDIT. V.2, p. 211-222. 2010.

TAMANO, L. T. O; ARAUJO, D. M. LIMA, B. B. C; SILVAII, F. N. F. S. J. Socioeconomia e saúde dos pescadores de Mytellafalcata da Lagoa Mundaú,

Maceió-AL. **Bol. Mus.** Emílio Goeldi. Cienc. Hum., Belém, v. 10, n. 3, p. 699-710, set.-dez. 2015.

THOMAZ, S.M.; BINI, L.M; Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas em Reservatórios; Acta Limnologica Brasiliensia, Maringá, v. 10, n. 1, p.103-116, 1998.

VALENTE, R. M;SILVA, J. M. C; STRAUBE, F. C; NASCIMENTO, J. L. X. Conservação de aves migratórias Neárticas no Brasil Conservação de Aves. Conservação Internacional – **CI-Brasil**. 2011.

APÊNDICES

Tabela 1: Valores de velocidade medida e simulado no ponto de referência

Data/Horas	Velocidades Medidas (m.s ⁻¹)	Velocidades Simuladas (m.s ⁻¹)
17/12/2009 15:00	-0,407589286	-0,24238
17/12/2009 15:30	-0,560818713	-0,22385
17/12/2009 16:00	-0,526735294	-0,15885
17/12/2009 16:30	-0,314940476	-0,05161
17/12/2009 17:00	-0,12047619	0,09718
17/12/2009 17:30	0,090810056	0,26812
17/12/2009 18:00	0,364309392	0,41451
17/12/2009 18:30	0,448895028	0,52805
17/12/2009 19:00	0,738038674	0,61921
17/12/2009 19:30	0,834707521	0,69493
17/12/2009 20:00	0,989014085	0,75709
17/12/2009 20:30	1,004315353	0,80542
17/12/2009 21:00	0,989639889	0,84019
17/12/2009 21:30	0,917327824	0,86077
17/12/2009 22:00	0,881309192	0,86568
17/12/2009 22:30	Sem Dados	0,85288
17/12/2009 23:00	Sem Dados	0,81933
17/12/2009 23:30	Sem Dados	0,76167
18/12/2009 00:00	Sem Dados	0,67719
18/12/2009 00:30	Sem Dados	0,56501
18/12/2009 01:00	0,210326087	0,42746
18/12/2009 01:30	-0,027961957	0,27063
18/12/2009 02:00	-0,014050279	0,10346
18/12/2009 02:30	-0,168826816	-0,06103
18/12/2009 03:00	-0,301555556	-0,20360
18/12/2009 03:30	-0,383681319	-0,28645
18/12/2009 04:00	-0,480609418	-0,27866
18/12/2009 04:30	-0,671032609	-0,21263
18/12/2009 05:00	-0,559196676	-0,10149
18/12/2009 05:30	-0,288647799	0,05516
18/12/2009 06:00	0,129860335	0,24499
18/12/2009 06:30	0,44625	0,41321
18/12/2009 07:00	0,544917127	0,53703
18/12/2009 07:30	0,884664804	0,63059
18/12/2009 08:00	0,862672176	0,70268
18/12/2009 08:30	0,984733894	0,75660
18/12/2009 09:00	1,00493188	0,79161
18/12/2009 09:30	1,00493188	0,80775
18/12/2009 10:00	0,850225352	0,80479
18/12/2009 10:30	0,832209945	0,78216

Fonte: (CHESF,2009)

Tabela 2: Valores de salinidade medido e simulado no ponto de referência.

Data e Horário	Medido	Simulado
26/9/15 10:30h	2,71	0,82
26/9/15 13:00h	30,08	29,34
26/9/15 14:00h	32,53	33,12
26/9/15 14:30h	35,21	33,20
26/9/15 15:30h	36,04	32,26
26/9/15 16:30h	36,1	27,51
26/9/15 17:30h	24,7	18,32
26/9/15 18:30h	16,17	9,14
26/9/15 19:30h	14,07	4,03

Fonte: Acervo pessoal

Figura 1: Bomba de captação de água para consumo operada pela companhia estadual de saneamento do estado de Sergipe, localizada no rio Paraúna.



Figura 2: Bomba de captação de água para consumo operada pela companhia estadual de saneamento do estado de Sergipe, localizada em Brejo Grande/SE.



APÊNDICES



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
Núcleo de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio ambiente
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE



QUESTIONÁRIO DE ENTREVISTA SEMI ESTRUTURADO CAMPO: MUNICÍPIO DE BREJO GRANDE/SE

DADOS PESSOAIS

Nome: _____

1. IDADE: () 15 a 25anos () 26 a 35anos () 35 a 45anos () acima de 45 anos
2. ESCOLARIDADE: () Analfabeto () até 4ª série () 5ª a 8ª série () 2º grau completo () 2º grau incompleto () curso superior
3. RESIDE NESTE MUNICÍPIO? () SIM () NÃO
4. A CASA É PRÓPRIA () SIM () NÃO
5. QUANTAS PESSOAS RESIDEM COM VOCÊ:
6. VOCÊ OBTEM SUA FONTE DE SUSTENTO ATRAVÉS DE: BOLSA FAMÍLIA () PESCA () AGRICULTURA () ARTESANATO () FABRICAÇÃO DE DOCES E COCADAS ()

OUTROS: _____

- 7) EXISTE ÁGUA ENCANADA () SIM () NÃO
QUEM FORNECE? _____
- 8) FALTA MUITA ÁGUA NO LOCAL? () SIM () NÃO
- 9) QUAL O MOTIVO DA FALTA DE ÁGUA? _____
- 10) PARA VOCÊ O RIO ESTÁ BEM CUIDADO? SIM () NÃO ()
- 11) 10) PARA VOCÊ O QUE ESTÁ PREJUDICANDO O RIO?
- 12) DE ONDE VOCÊ RETIRA ÁGUA PARA BEBER?
- 13) QUAL A COR DA ÁGUA QUE VOCÊS BEBEM?
CLARA () AMARELADA () ESCURA ()
- 14) PARA VOCÊ O GOSTO DA ÁGUA É: AMARGO () SALGADA () DOCE ()
- 15) QUAL O PERÍODO QUE A ÁGUA APRESENTA SALGADA?
SEMPRE () MARÉ ALTA () MARÉ BAIXA ()
- 16) QUANDO A ÁGUA ESTA SALGADA VOCÊS UTILIZAM PARA BEBER?
SIM () NÃO ()
- 17) UTILIZAM ALGUM MEIO PARA RETIRAR O SAL DA ÁGUA? SIM () SE
SIM QUAL? NÃO ()
- 18) POSSUI FOSSA ?
() SIM – ONDE FICA NA RESIDÊNCIA? () NÃO
- 19) ONDE VOCÊS JOGAM O LIXO PROVENIENTE DA SUA CASA?
- 20)) QUAIS OS PEIXES QUE EXISTIAM NO RIO E HOJE NÃO EXISTEM MAIS?
- 21) 20)QUAL PEIXE DE ÁGUA SALGADA QUE JÁ É VISTO NO RIO?
- 21) PARA VOCÊ O RIO ESTÁ BEM CUIDADO? SIM () NÃO ()
- 22) PARA VOCÊ O QUE ESTÁ PREJUDICANDO O RIO?
- 23) QUAL VEGETAÇÃO DO RIO QUE PREJUDICA A NAVEGAÇÃO?
- 24) QUAL VEGETAÇÃO PREJUDICA MAIS O RIO?

- 25) QUAL O PERÍODO QUE A ÁGUA APRESENTA SALGADA? SEMPRE ()
MARÉ ALTA () MARÉ BAIXA ()
- 26) QUANDO A ÁGUA ESTA SALGADA VOCÊS UTILIZAM PARA BEBER? SIM ()
NÃO ()
- 27) PARA VOCÊ POR QUE A AGUA DO RIO ESTÁ FICANDO SALGADA?

ANEXO

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação : CABEÇO – SE					
Localização : Na Barra do Rio São Francisco, em frente ao Farol.					
Organ. Responsável : INPH / DHN					
Latitude : 10° 30,2' S		Longitude : 36° 24,0' W			
Período Analisado : 06/04/81 a 12/05/81		Nº de Componentes : 82			
Análise Harmônica : Método Almirante Santos Franco.					
Classificação : Maré Semidiurna.					
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		IV H 21 min		Nível Médio (Zo): 99 cm acima do NR.	
Médias das Preamares de Sízigia (MHWS) :		176 cm acima do NR.		Média das Preamares de Quadratura (MHWN) : 134 cm acima do NR	
Média das Baixa-mares de Sízigia (MLWS) :		22 cm acima do NR.		Média das Baixa-mares de Quadratura (MLWN) : 63 cm acima do NR.	
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU ₂	10,1	049
Ssa	-	-	N ₂	16,8	074
Mm	3,7	196	NU ₂	3,2	077
Mf	-	-	M ₂	56,2	102
MTM	3,2	050	L ₂	7,6	123
Msf	1,4	169	T ₂	1,2	127
Q ₁	1,3	021	S ₂	20,5	129
O ₁	9,4	125	K ₂	5,6	131
M ₁	2,1	200	MO ₃	3,3	140
P ₁	1,0	221	M ₃	1,6	264
K ₁	3,2	229	MK ₃	2,4	265
J ₁	1,8	074	MN ₄	1,8	115
OO ₁	2,4	320	M ₄	2,3	148
MNS ₂	1,9	113	SN ₄	1,0	051
2N ₂	2,2	045	MS ₄	1,5	158
Referências de Nível: NR localizada no 9º degrau de baixo para cima da escada do farol São Francisco do Norte.					
Obs: Não há referências a outros períodos.					

Código BNDO: 30800