



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

ESCOLA POLITÉCNICA

SÂNDIRA LÍVIA MORAES FONSECA

**EFEITO DA REDUÇÃO DA VAZÃO DE RESTRIÇÃO DEFLUENTE
DA BARRAGEM DE XINGÓ NA SALINIDADE DA ÁGUA NO
BAIXO TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO**

**Salvador
Janeiro/2018**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

ESCOLA POLITÉCNICA

SÂNDIRA LÍVIA MORAES FONSECA

**EFEITO DA REDUÇÃO DA VAZÃO DE RESTRIÇÃO DEFLUENTE
DA BARRAGEM DE XINGÓ NA SALINIDADE DA ÁGUA NO
BAIXO TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente, Águas e Saneamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vânia Campos
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Yvonilde D.P. Medeiros

**Salvador
Janeiro/2018**

*O sol nasce para todos. Milagres, apenas
para os que acreditam em Deus...E
madrugam!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à Professora Vânia Palmeira, minha amada orientadora, pela força, apoio, incentivo e por ter permanecido ao meu lado, mesmo nas situações mais impossíveis nesses dois anos de intenso trabalho, descobertas e crescimento. Pela preocupação, pelas “chamadas” tão firmes e ao mesmo tempo tão sensatas e carinhosas. Por me acalmar para que fosse possível persistir nesses dois anos.

À Professora Yvonilde Medeiros, minha “mãe de pesquisa”, por ter acompanhado minha jornada acadêmica e por proporcionar esta oportunidade chave no meu crescimento profissional, pelo direcionamento tanto acadêmico quanto na vida. Por acreditar e não desistir de mim. Por ter visão!

À Professora Magda por ter acreditado no meu potencial, por acompanhar todo o processo de construção deste trabalho tão prontamente. Sua contribuição foi inestimável e fundamental para os resultados alcançados. Obrigada!

Ao Professor Doriedson pela extrema competência e grande contribuição para finalização deste trabalho.

À Professora Yara Brandão, por ter me ouvido inúmeras vezes com tanta paciência, me dando alento, coragem e conselhos. Obrigada! À Professora Andrea Fontes por sempre atender às minhas dúvidas com carinho e prontidão.

Aos Professores do Maasa que me ensinaram, apoiaram, e torceram mesmo no silêncio. Especialmente ao Professor Luciano Queiroz, pela tolerância e bom senso e a Professora Márcia Marinho pelo constante sorriso de encorajamento.

A minha colega amiga Aline, por ter sido um instrumento de paz, de apoio, suporte, conselhos e amizade. Muita gratidão! (rsrs).

Aos queridos bolsistas Kaique e Michele, que sofreram comigo, ajudaram, trabalharam, e acompanharam as dores iniciais e intensas para que fosse possível a realização deste estudo. Sucesso sempre! Contem comigo!

À equipe do GRH, especialmente a Denise por me aconselhar, apoiar, e tão eficientemente: RESOLVER. A Sival e Tiago pelas aulas, pelo apoio técnico...

Faltam palavras para expressar como me sinto por vocês terem tão eficientemente e amigavelmente contribuído com o meu trabalho. A Isabela e Vítor por não terem me deixado sozinha em uma aventura tão difícil e por terem ajudado e suportado dias e noites tão sacrificantes. A Kely, por ser minha companheira no tempo que passei no GRH. A Lima, que sempre é tão solidário, tão amigo e camarada!

À equipe do Laquam, especialmente a Elisângela, Franciele e Ives por terem contribuído com as dúvidas e com as estratégias necessárias à obtenção de resultados, especialmente por terem sido tão amigáveis.

À equipe do Lameb, especialmente à super Professora Marlene, pela sensibilidade, pela atenção e disposição em ensinar. A Juliana e André que se tornaram amigos queridos. Que prazer maravilhoso conhecer vocês. A Valtinho, por ter me ensinado, me mostrado o rio São Francisco pela primeira vez e navegado comigo. Enfim, a todos que passaram por mim, que me abraçaram, e se importaram. Aos que se opuseram, muito sucesso!

À Chesf por ter cedido os dados para esta pesquisa, respondido aos e-mails tão prontamente. Grande sucesso!

Ao FINEP por ter financiado este estudo, ao projeto AIHA por ter acreditado e esperado não apenas os meus resultados, mas de toda a equipe do GRH envolvida no Projeto. Ao IFBA por ter investido e acreditado em mim, por ter buscado resolver todas as questões para que fosse possível a realização dessa grande tarefa, especialmente a meu caríssimo chefe e grande colega, Fabíolo Amaral.

À minha família, sempre a motivação para que eu buscasse melhores horizontes, e as minhas amigas Cleonide, Diana, Lilian e Graciele. Todas vocês contribuíram para que este tempo fosse mais doce.

E finalmente, à Pessoa mais importante da minha vida: o meu Pai Celestial Eterno e Seu Filho Amado Jesus Cristo. Sei que Eles vivem. Sei que Eles me acompanharam, cuidaram de mim nesse tempo, e abriram meus olhos para que eu enxergasse o que eu por mim mesma não conseguiria. Eterna gratidão!

Amo todos vocês!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Informações sobre as seções na área de estudo com seus respectivos pontos amostrais.....32

Tabela 2- Resultado do monitoramento longitudinal de salinidade (‰) na maré baixa e alta de Sizígia nas seções PA4, PA3, PA2 e P1, distantes da foz, respectivamente 21,6 Km, 54,6 Km, 102,3 Km e 160,2 Km.....66

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Delimitação funcional de um sistema estuarino. Características geomorfológicas e processos na zona sob influência fluvial, zona de mistura e zona sob influência do oceano (S = salinidade).....19
- Figura 2: Classificação baseada nos padrões de variação de salinidade, introduzida por Pritchard (1952), junto ao padrão de variação vertical da salinidade em 4 diferentes pontos ao longo do estuário.....21
- Figura 3: Principais reservatórios e localização da bacia do rio São Francisco25
- Figura 4: Visão parcial da barragem e reservatório de Xingó.....26
- Figura 5: Resoluções da ANA que autorizaram a redução do patamar de defluência de Sobradinho e Xingó.....28
- Figura 6: Localização da área de estudo: Baixo trecho do rio São Francisco (a). Seções no trecho fluvial (b). Pontos no estuário (c).....31
- Figura 7: Correlação entre os valores de salinidade a partir da medida da condutividade e de sólidos totais dissolvidos determinados em laboratório, para amostras dos pontos amostrais PA5 (Seção Brejo Grande-SE- Piaçabuçu-AL) e PA6 (Seção Brejo Grande-SE- Piaçabuçu-AL).....38
- Figura 8: Correlação entre os valores de condutividade medidos em laboratório e em campo.....39
- Figura 9: Vazões defluentes diárias medidas na Estação fluviométrica de Piranhas, dos anos de 1994, ano do início de operação do reservatório de Xingó ao mês de maio de 2007, período final deste estudo.....41
- Figura 10: Distribuição dos valores de vazão defluente diária (m^3/s) da estação fluviométrica de Piranhas no período de estudo, de janeiro de 2008 a maio de 2017.....42
- Figura 11: Distribuição de salinidade (‰) na superfície e no fundo durante a maré de quadratura e sizígia compreendendo o trecho de referência: ponto ESF09 ao ponto ESF18, situados a 4,8 km e 9,3 km da foz, respectivamente, nos períodos de 2008-2010 e 2013-2017.....43
- Figura 12: Distribuição da salinidade na superfície e no fundo durante a preamar de quadratura e de sizígia, respectivamente, nos pontos ESF10, ESF14 e ESF18, durante os períodos: 2008-2010 e 2013-2017.....44
- Figura 13: Distribuição da salinidade nos períodos úmido e seco, no trecho de referência: ponto ESF10, ponto ESF14 e ponto ESF18 durante a preamar de sizígia, na superfície e no fundo respectivamente, nos períodos de 2008-2010 e 2013-2017.....45
- Figura 14: Distribuição de salinidade nos períodos úmido e seco, no trecho de referência: pontos ESF10, ESF14 e ESF18, durante a preamar de sizígia, na superfície (a) e no fundo (b) respectivamente, no período de 2008-2010 (antes das reduções de vazões).....46

Figura 15: Distribuição de salinidade nos períodos úmido e seco, no trecho de referência: pontos ESF10, ESF14 e ESF18, durante a preamar de sizígia, na superfície e no fundo respectivamente, no período de 2013-2017 (após reduções de vazões).....	47
Figura 66: Relações lineares entre vazões defluentes diárias (m ³ /s) e salinidade na superfície e no fundo do ponto ESF10, respectivamente, para os períodos de 2008-2010 e 2013-2017.....	48
Figura 17: Relações lineares entre valores de vazões defluentes diárias (m ³ /s) e valores de salinidade na superfície e no fundo no ponto ESF14, respectivamente, para os períodos de 2008-2010 e 2013-2017.....	49
Figura 18: Relações lineares entre valores de vazões defluentes diárias (m ³ /s) e valores de salinidade na superfície e no fundo na seção 11, respectivamente, para os períodos de 2008-2010 e 2013-2017.....	50
Figura 19: Distribuição da salinidade na superfície durante a preamar de sizígia, respectivamente, nas seções 13 (ponto ESF10), 12 (ponto ESF14) e 11 (ponto ESF18) em preamar de sizígia, durante os períodos de 2008-2010 e 2013-2017.....	51
Figura 20: Relação entre salinidade na superfície e fundo e vazões defluentes, em Piranhas, na seção 11 (ponto ESF18), localizada entre Brejo Grande-SE e Piaçabuçu-AL, distante 9,3 Km da foz.....	52
Figura 21: Relação entre salinidade da superfície e fundo, e vazões defluentes em Piranhas, na margem esquerda da seção 10 (ponto ESF21) - Piaçabuçu-AL, distantes 10,6 km das foz.....	54
Figura 22: Perfil vertical de salinidade, na superfície, meio e fundo, durante maré de sizígia, margem direita da seção 10 (ponto amostral PA6), 10,3 Km distante da foz, seção Piaçabuçu-AL/Brejo Grande-SE.....	56
Figura 23: Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, com as vazões defluentes em Piranhas, na margem esquerda da seção 9 (ponto ESF22)-Piaçabuçu-AL, distante 11.7 km da foz.....	57
Figura 24: Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, com as vazões defluentes em Piranhas, na margem direita da seção 9 (ponto ESF24), Brejo Grande-SE, distante 11 km das foz.....	58
Figura 25: Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, na maré alta, com as vazões defluentes, em Piranhas, na margem esquerda da seção 8 (ponto ESF23) -Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km das foz durante o monitoramento móvel de dados.....	59
Figura 26: Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, e vazões defluentes em Piranhas na margem esquerda da seção 8 (ponto ESF23)-Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km da foz (ponto fixo)	60
Figura 27: Valores mais altos e mais baixos alcançados nas campanhas da Chesf nos anos 2016-2017 (período de vazão reduzida) na margem esquerda	

da seção 8 no período seco (ponto ESF23) - Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km da foz.....61

Figura 28: Valores mais altos e mais baixos alcançados nas campanhas da Chesf nos anos 2016-2017 (período de vazão reduzida) na margem esquerda da seção 8 (ponto ESF23) - Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km da foz.....61

Figura 29: Perfil de salinidade no período seco (a) e no período úmido (b) na margem direita da seção 7 (ponto ESF27) - Brejo Grande-SE, distante 13,4 Km das foz62

Figura 70: Perfil vertical de salinidade, na superfície, meio e fundo, durante maré de sizígia, na margem direita da seção 6 (ponto amostral PA5), distante da foz 14 km, na seção Brejo Grande-SE / Piaçabuçu-AL.....63

Figura 81: Relação entre salinidade da superfície e fundo, e vazões defluentes, em Piranhas, na margem esquerda da seção 5 (ponto ESF30)-Piaçabuçu-AL, distante 17 km das foz.....64

Figura 32: Perfil de salinidade no período seco (a) e úmido (b) no ponto ESF32-Brejo Grande-SE, distante 14,7 km das foz.....65

SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AIHA	Avaliação da Implantação do Hidrograma Ambiental
ANA	Agência Nacional da Água
BBM	Building Block Method
CBHSF	Comitê de Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
ESF	Estação São Francisco
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
UFBA	Universidade Federal da Bahia
m ³ /s	metro cúbico por segundo
mg L ⁻¹	miligrama por litro
n	número de dados
p	probabilidade de significância
PA	Ponto amostral
Ph	Potencial hidrogeniônico
r	Coefficiente de determinação
STD	Sólidos totais dissolvidos
UHE	Usina Hidrelétrica
‰	Parte por mil
°C	Graus Celsius
μS cm ⁻¹	micro-siemens

RESUMO

A operação de reservatórios pode afetar o fluxo do rio. Este é fundamental para o ecossistema. Entre os parâmetros de qualidade da água sujeitos a alterações de fluxo, a salinidade se destaca por ser um parâmetro intrinsecamente associado com a qualidade do ecossistema. A salinização possui o potencial de causar danos irreversíveis à estrutura e função das comunidades aquáticas. A salinidade também é um fator crítico das características do estuário. A variação sazonal da salinidade nos estuários é controlada pelo fluxo de água doce dos rios, e ambos auxiliam na estruturação das associações de peixes. A salinidade pode afetar comunidades ribeirinhas, caso ocorram mudanças nas faixas da salinidade das águas em seus respectivos usos, consuntivos e não consuntivos. Este estudo tem como objetivo avaliar o efeito das sucessivas reduções de vazões defluentes da barragem de Xingó na salinidade da água, no baixo trecho do rio São Francisco. Para tanto foi necessário analisar a salinidade a jusante da barragem de Xingó, analisar a relação entre as reduções de vazões defluentes e a salinidade da água; e analisar a evolução espacial da salinidade em função da distância dos pontos amostrais até a foz. O trecho de estudo compreendeu desde Pão de Açúcar-AL a 160 km da foz até um ponto cerca de 5 Km da foz em Piaçabuçu-AL, já no estuário. Para este estudo foi realizada revisão de literatura, análise de dados secundários, coletas de campo e medidas *in loco*, análise em laboratório para validação dos dados e testes de correlação. Nos pontos mais afastados da foz tanto a superfície quanto o fundo do rio são fortemente influenciados pelas reduções das vazões. Foi possível inferir que, com as reduções das vazões defluentes a partir do ano de 2013, houve considerável aumento da salinidade na seção 11 (ponto amostral ESF18), distante da foz 9,3 km, localizada entre Piaçabuçu-AL e Brejo Grande-SE. Com a continuidade das reduções de vazões, seções mais afastadas da foz apresentaram valores elevados de salinidade tanto no fundo quanto na superfície d'água. Este estudo indica grande impacto causado pela alteração de regime fluvial, na salinidade das águas do baixo trecho do rio São Francisco. Tal situação afeta a qualidade da água para o consumo pela população ribeirinha, principalmente no município de Piaçabuçu-AL.

Palavras chaves: cunha salina, estuário, barragens

ABSTRACT

Reservoir operation can affect river flow. This is critical to the ecosystem. Among the parameters of water quality subject to changes in flow, salinity stands out as a parameter intrinsically associated with the quality of the ecosystem. Salinization has the potential to cause irreversible damage to the structure and function of aquatic communities. Salinity is also a critical factor in the characteristics of the estuary. Seasonal variation of salinity in the estuaries is controlled by the freshwater flow of the rivers, and both assist in the structuring of fish associations. The salinity can affect riparian communities, if changes occur in the salinity ranges of the waters in their respective uses, consumptive and non-consumptive. The objective of this study was to evaluate the effect of successive reductions in the discharge of the Xingó dam on the salinity of the water in the lower section of the São Francisco river. In order to do so, it was necessary to analyze the salinity downstream of the Xingó dam, to analyze the relationship between the reductions of defluent flows and the salinity of the water; and to analyze the spatial evolution of the salinity as a function of the distance of the sampling points to the mouth. The study section comprised from Pão de Açúcar-AL, 160 km from the mouth to a point about 5 km from the mouth in Piaçabuçu-AL, already in the estuary. For this study, literature review, secondary data analysis, field and in loco measurements, laboratory analysis for data validation and correlation tests. At points farthest from the mouth both the surface and the bottom of the river are strongly influenced by the reductions of the flows. It was possible to infer that, with the reductions of the defluent flows from the year 2013, there was a considerable increase of the salinity in section 11 (sampling point ESF18), distant of the mouth 9.3 km, located between Piaçabuçu-AL and Brejo Grande-SE. With the continuity of flow reductions, sections furthest from the mouth had high values of salinity both at the bottom and on the surface. This study indicates a great impact caused by the alteration of the regime in the salinity of the waters of the low section of the São Francisco river. This situation affects the water quality for consumption by the riverside population, mainly in the municipality of Piaçabuçu-AL.

Keywords: wedge saline, estuarie, dams

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3. MARCO TEÓRICO	17
4. Área de Estudo	29
5. METODOLOGIA	32
5.1 Análise da evolução das reduções de vazões defluentes a jusante do reservatório de Xingó.....	32
5.2 Análise da variação temporal e espacial da salinidade no trecho estuarino	32
5.2.1 Distribuição da salinidade no período total estudado	32
5.2.2 Distribuição da salinidade no período total estudado nas marés de quadratura e sizígia no trecho de referência	34
5.2.3 Influência da sazonalidade no comportamento da salinidade no trecho de referência	34
5.3 Análise da relação entre as reduções das vazões defluentes e a salinidade da água no trecho de referência	34
5.4 Comportamento da salinidade no trecho de referência.....	35
5.5 Análise do avanço da cunha salina no trecho estuarino	35
5.5.1 Comportamento da salinidade na seção 11	35
5.5.2 Comportamento da salinidade nos pontos mais afastados da foz no trecho estuarino	35
5.5.3 Análise dos dados primários de salinidade no trecho estuarino ...	36
5.6 Análise da variação temporal e espacial da salinidade no trecho fluvial	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1 Análise da evolução das vazões defluentes a jusante do reservatório de Xingó.....	39
6.2 Análise da variação temporal e espacial da salinidade no trecho estuarino	42
6.2.1 Distribuição da salinidade no período total estudado	42
6.2.2 Distribuição da salinidade no período total estudado nas marés de quadratura e sizígia no trecho de referência	43
6.2.3 Influência da sazonalidade no comportamento da salinidade no trecho de referência	44
6.3 Análise da relação entre as reduções das vazões defluentes e a salinidade da água no trecho de referência	49
6.4 Análise do avanço da cunha salina no trecho estuarino	52
6.4.1 Avanço da cunha salina no trecho de referência	52
6.4.2 Comportamento da salinidade na seção 11	54
6.4.3 Comportamento da salinidade nas seções mais afastadas da foz	55
6.4.4 Estudo do comportamento da salinidade na seção 10	56
6.4.5 Estudo do comportamento da salinidade na seção 9	58
6.4.6 Estudo do comportamento da salinidade na seção 8	60
6.4.7 Estudo do comportamento da salinidade na seção 7	64

6.4.8	Estudo do comportamento da salinidade na seção 6	66
6.4.9	Estudo do comportamento da salinidade na seção 5	67
6.5	Análise da variação espacial da salinidade no trecho fluvial.....	69
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
	REFERÊNCIAS.....	72

1. INTRODUÇÃO

Muitas regiões estão sofrendo com as consequências da salinização da água e do solo, a exemplo da Ásia (Shahid et al. 2013; Khanom 2016) e muitos autores confirmaram o efeito negativo da salinização da água na biota (Williams, 1987; Piscart et al., 2005; Whitfield, 2005; Kefford et al., 2012; Schröder, et al. 2015; Wedderburn et al., 2016). A salinidade é um componente abiótico fundamental em todos os corpos d'água e em função de sua preferência a biota aquática tem sido comumente classificada (Kefford, et al., 2012; Schröder, et al., 2015).

A salinização pode ocorrer pelo aumento da evaporação, em função de altas temperaturas ambientais, lançamento de resíduos, mas, principalmente pela intrusão salina causada pelo avanço do nível do mar, devido a mudanças climáticas e ações humanas.

Ghassemi et al. (1995) salientaram que entre as diversas formas de ameaça aos rios, a salinização possui o potencial de causar danos irreversíveis à estrutura e função das comunidades aquáticas, principalmente em regiões áridas. Entre as intervenções causadoras da salinização, a construção de hidrelétricas se destaca devido à sua grande influência na economia e aos impactos sociais, ambientais e ecológicos relacionados. Alguns autores constataram que o aumento de salinidade da água dos rios por eles estudados podia estar relacionado com a intervenção e operação de reservatórios (Silva et al., 2015; Al-Nasrawi et al., 2016; Campo et al., 2016; Cheek & Taylor, 2016; Khanom, 2016; Wedderburn et al., 2016).

Estudos indicam que a alteração de fluxo dos rios é o fator que mais impacta o ecossistema (Geddes & Butler, 1984; Attrill et al., 1996; Bunn e Arthington, 2002). A redução de fluxo possui grande efeito nos estuários. A variação sazonal da salinidade nos estuários é controlada pelo fluxo de água doce dos rios, e ambos auxiliam na estruturação das associações de peixes (Alber, 2002; Bate et al., 2002; Gillanders & Kingsford, 2002; Whitfield, 2005; Zhang T et al., 2011). O deslocamento na isohalina (pontos que apresentam a mesma salinidade) causado por alterações de fluxo da água doce interfere na distribuição da vegetação enraizada e de

organismos sésseis, surtindo efeitos em toda cadeia alimentar aquática (Alber, 2002).

O rio São Francisco, de grande importância para o Brasil, principalmente no que se refere à produção de energia e disponibilidade de água doce para o Nordeste brasileiro (Campos, 1995), possui um sistema de barragens em cascata para atendimentos múltiplos. Os reservatórios têm sofrido diminuição dos níveis de água devido a uma crise hídrica no País, iniciada em 2012 (ANA, 2017).

O nível de chuvas na região diminuiu consideravelmente nos trechos alto e médio do rio São Francisco, regiões que mais contribuem com as vazões na bacia. Diante desta situação, foi necessário operar o sistema de forma a manter os reservatórios com acúmulo de água suficiente para atendimento da demanda aos usos múltiplos da bacia. Por conseguinte, os órgãos ambientais responsáveis (ANA e IBAMA), autorizaram a partir do ano de 2013, sucessivas reduções da vazão defluente no reservatório de Xingó, último do sistema, no baixo trecho do rio (ANA, 2017). Desde então surgiram nesta região, queixas da população ribeirinha, relativas ao aumento da salinidade da água (CBHSF, 2016).

Os estudos sobre a salinidade dos rios contribuem para a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos, de forma a contribuir para a proteção da população ribeirinha e a conservação do ecossistema. Este estudo busca avaliar o efeito no comportamento da salinidade a jusante do reservatório de Xingó em decorrência das sucessivas reduções da vazão mínima de restrição defluente resultantes da operação dos reservatórios na bacia do rio São Francisco.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito das sucessivas reduções da vazão mínima de restrição, a jusante da barragem de Xingó, na salinidade da água no baixo trecho do rio São Francisco

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a evolução das sucessivas reduções das vazões da barragem
- Analisar a variação espaço-temporal da salinidade da água do trecho fluvio-estuarino
- Analisar a relação entre as reduções das vazões defluentes da barragem e a salinidade da água
- Analisar o avanço da cunha salina no baixo trecho do rio

3. MARCO TEÓRICO

O termo “estuário” pode ser definido como um corpo de água costeiro semifechado, onde o corpo de água salina é diluído com a água doce proveniente da drenagem do continente, estendendo-se até a influência da maré (Perillo 1995). Pode ser subdividido em três âmbitos: o baixo estuário, também denominado, estuário marinho, com conexão livre com o mar aberto; o médio estuário, onde ocorrem intensas misturas de água doce e salgada; e o alto estuário, igualmente denominado estuário fluvial, área do estuário sujeito à ação da maré, mas sem a presença de água salina (Dionne 1963 in Fairbridge 1980 *apud* Perillo 1995, p. 25).

Os estuários são sistemas mais produtivos biologicamente do que os oceanos adjacentes e do que os rios que nele desaguam (Odum 1971; Wang 1979; Elliott 1982; Davis & Richard 1985; Miranda et al. 2002; Truccolo & Schettini 2009; Ashby 2013), pois apresentam altas concentrações de nutrientes provenientes da troca de substâncias entre os dois ambientes (Yáñezarancibia 1986), o que contribui para a

produção primária, em especial as espécies biológicas capazes de adaptarem-se a uma ampla faixa de salinidade (eurohalinas) em parte ou em todo o seu ciclo de vida (Perillo 1995).

São várias as forças que atuam na massa de água do estuário: as variações do nível do mar, a descarga de água doce, a circulação da plataforma continental, o gradiente de pressão, e o vento que age sobre a superfície livre (Miranda et al. 2002). Em decorrência destas forças ocorrem diferentes processos de circulação e mistura nos sentidos vertical e longitudinal (Dyer, 1995). Dentre estas forças se destacam a ação das marés e a descarga de água doce. As descargas de água doce incluem principalmente a descarga fluvial, além da contribuição subterrânea e a precipitação. Esta última depende dos períodos úmido e seco (Wolanski et al., 1996).

A ação da maré, de acordo com Fettweis et al. (1998) corresponde às suas oscilações diárias (enchente e vazante), semanais (ciclos de sizígia e quadratura) e semestrais (sua variação entre solstícios e equinócios).

Os estuários podem ser classificados de várias maneiras, porém duas classificações são destacadas neste trabalho: quanto à salinidade e quanto aos padrões de variação vertical da salinidade na coluna d'água.

Quanto à salinidade (Figura 1), o estuário pode ser subdividido em zonas. Quando a salinidade estiver acima de 35 ‰, significa que a força da maré é marcante. Esta é a região localizada na desembocadura do estuário e se estende até o limite da pluma estuarina (Zona de Maré Oceânica ou Costeira). A região onde a salinidade varia entre 1 ‰ a 35 ‰ é chamada "Zona de Mistura". Nesta, ocorrem misturas das massas d'água e equivalência das forças fluvial e de maré. Na zona onde a salinidade é menor que 1 ‰, ocorre a influência da maré, porém com domínio da força fluvial. Esta é denominada "Zona de Maré do Rio" (Miranda et al., 2002).

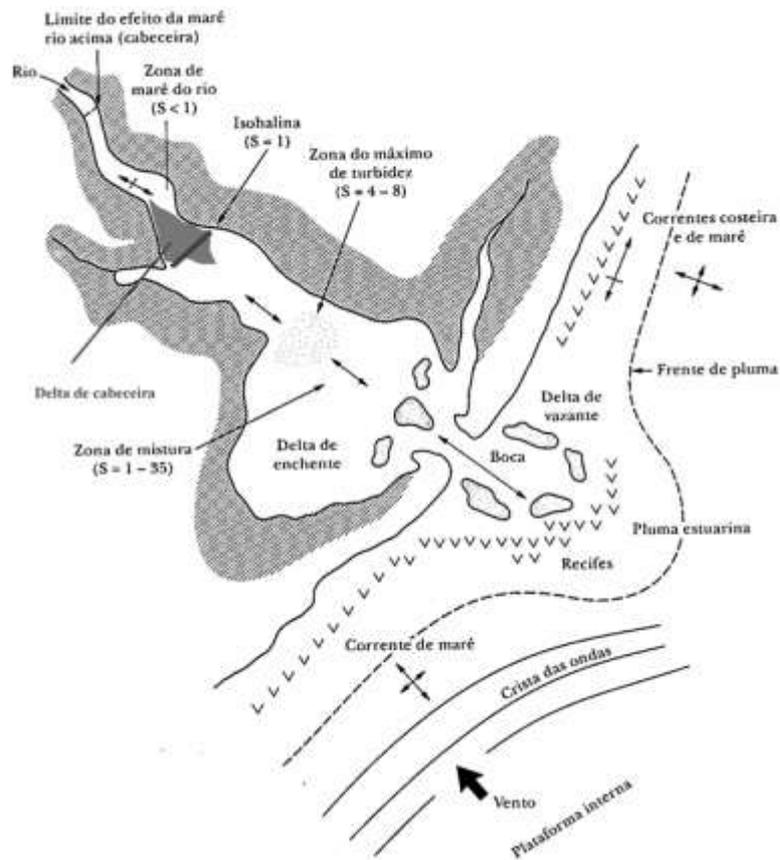


Figura 9: Delimitação funcional de um sistema estuarino. Características geomorfológicas e processos na zona sob influência fluvial, zona de mistura e zona sob influência do oceano (S = salinidade)

Fonte: Gens (2006) *apud* Miranda et al. (2002)

Quanto aos padrões de variação vertical da salinidade na coluna d'água (Figura 2), os estuários podem ser:

- Bem misturado ou homogêneo: a força da maré é predominante em relação à força do rio, dessa forma, os valores de salinidade no fundo e na superfície são semelhantes, não havendo variação vertical significativa ao longo da coluna d'água, apesar de poder existir variação na direção longitudinal (Pritchard 1955; Dyer 1997).
- Parcialmente misturado: Ocorre quando a força da maré é equivalente à força do rio. Nesse caso, a salinidade varia gradativamente tanto na coluna d'água, quanto ao longo do estuário (Pritchard 1955; Dyer 1997).

- Estratificado ou de cunha salina: a força fluvial predomina em relação à da maré, logo, na superfície, os valores de salinidade são menores em relação ao fundo. No perfil da coluna d'água vertical ocorre grande variação salina (Pritchard 1955; Dyer 1997).

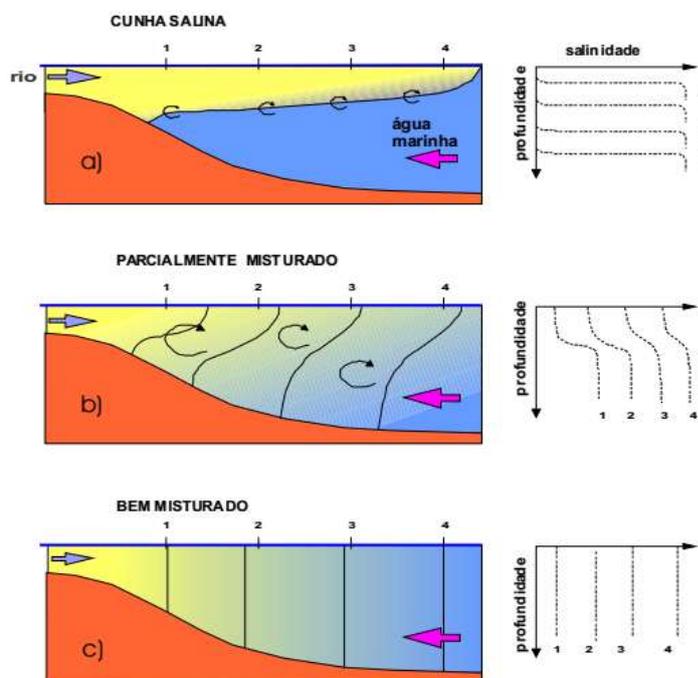


Figura 10: Classificação baseada nos padrões de variação de salinidade, introduzida por Pritchard (1952), junto ao padrão de variação vertical da salinidade em 4 diferentes pontos ao longo do estuário

Fonte: Adaptado por Gens (2006) *apud* Miranda et al. (2002)

A salinidade é um fator crítico das características do estuário (Miranda et al. 2002). A biota aquática possui diferença de preferência de faixas de salinidade. Por exemplo, no estudo de DiMaggio et al. (2016) os resultados experimentais indicaram que a sobrevivência de embriões e larvas de arenque de rio pode ser possível em áreas de influência de maré, a depender da fase de desenvolvimento e da taxa de exposição à salinidade. Outro estudo realizado por Cheek & Taylor (2016) no baixo trecho do rio Pecos, Texas, confirmou que a variação temporal em grupos de peixes sofreu uma mudança acentuada ao longo de um intervalo de tempo de 24 anos. As mudanças distributivas foram relacionadas com a intolerância ao aumento da salinidade.

Muitos autores (Ghassemi et al. 1995; Miyamoto 1995; Williams 1987; Hoagstrom 2003; Whitfield 2005; Piscart et al. 2005; Hoagstrom 2009; Kefford, et al. 2012; Schröder et al. 2015; Wedderburn et al. 2016) atestaram que com a salinização pode ocorrer danos irreversíveis à estrutura e função das comunidades aquáticas.

A variação sazonal da salinidade nos estuários é controlada pelo fluxo de água doce dos rios. Tanto um quanto outro, auxilia na estruturação das associações de peixes (Alber 2002; Bate et al. 2002; Gillanders & Kingsford, 2002; Whitfield 2005; Zhang et al. 2011). O deslocamento na isohalina causado por alterações de fluxo da água doce interfere na distribuição da vegetação enraizada e de organismos sésseis surtindo efeitos em toda cadeia alimentar aquática (Alber, 2002).

A salinidade pode afetar comunidades ribeirinhas, caso ocorram mudanças nas faixas da salinidade das águas utilizadas para seus respectivos usos, consuntivos e não consuntivos, como por exemplo, o abastecimento humano e a pesca. Os níveis de salinidade da água doce devem ser menores do que 500 mg L^{-1} ou $0,5 \text{ ‰}$ (BRASIL, 2005). A salinidade pode ser representada por meio dos sólidos totais dissolvidos, o que pela Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) não deve ultrapassar 1.000 mg L^{-1} , o que significa que de acordo com o Ministério da Saúde é permissível a ingestão de água potável com até 1 ‰ de salinidade.

As descargas fluviais são importantes para os processos estuarinos e a manutenção do equilíbrio natural da zona costeira (Miranda et al. 2002); logo, com o intuito de evitar a salinização em áreas estuarinas, além dos cuidados com manejo do solo, é necessário a manutenção do fluxo de água doce em condições adequadas à manutenção do equilíbrio nos estuários.

Devido à importância ambiental, social e econômica da água e ao fato desta não possuir uma distribuição equitativa entre as regiões do planeta, além da intercalação natural das cheias e estiagens, situação esta, intensificada pelas mudanças climáticas, que pode resultar em crise hídrica, os reservatórios são obras hidráulicas importantes para o armazenamento de água, entretanto com geração de vários impactos negativos (Bermann 2007). Os sistemas ambientais a jusante do reservatório são também prejudicados em decorrência da implantação de

reservatórios (Brandt, 2005; Genz, 2006; Graf, 2006; Bachman & Rand, 2008; Robinson & Uehlinger, 2008; Lima et al, 2010; Kingsford & Hankin, 2010).

Operar um reservatório ou conjunto de reservatórios significa utilizar regras específicas de atendimento de níveis de água no reservatório e liberação de determinada quantidade de água a jusante, e assim atender aos usos ou objetivos específicos de gestão hídrica da bacia hidrográfica. Os reservatórios construídos para gerar energia elétrica e atender a outros usos, como a irrigação, o abastecimento humano e a navegação, por exemplo, enfrentam o desafio de em épocas de estiagem ou épocas de crise hídrica, operar de forma a atender aos múltiplos usos existentes. Para a operação são utilizadas regras, cujo parâmetro pode ser o volume do reservatório ou a vazão defluente estabelecida para determinado intervalo de tempo (Loucks et al. 1981).

Ao se manipular as vazões defluentes, com o objetivo de manter determinado volume de água no reservatório para atender aos usos previstos, o trecho a jusante, além de já ter sofrido com as consequências da implantação do reservatório, sofre com a intensificação desses fatores e pode sofrer ainda outras consequências negativas, tais como alteração da qualidade da água e aumento da salinidade (Genz 2006; Pinheiro & Moraes 2010; Rahman et al 2011), fatores esses associados à mudanças no regime de fluxo (Geddes e Butler, 1984; Attrill et al., 1996; Bunn & Arthington, 2002). As referidas consequências da implantação do reservatório poderiam ser citadas como: modificação do regime fluvial e alteração do comportamento hidráulico (Genz 2006; Graf 2006), alteração do pulso de inundação (Junk, et al. 1989; Poff & Ward 1989; Callisto et al. 2009), interferência no processo sedimentológico (Medeiros et al. 2007), alteração na configuração da dinâmica e da morfologia da foz (Oliveira 2003; Felipe et al. 2009), entre outros.

O fluxo de água no rio é fundamental para o ecossistema. Sua mudança pode afetar grandes grupos de organismos desde as plantas até os peixes, inclusive facilitando a introdução de espécies invasoras, como mudanças repentinas na aglomeração de plantas e animais em decorrência da alteração de períodos com fluxos para períodos sem fluxos no rio (Geddes & Butler, 1984; Attrill et al., 1996; Junk et al., 1989, Poff et al., 1997; Lundqvist 1998; Al-Taani, 2014).

O ecossistema pode sofrer com as consequências da mudança de fluxo, sejam estas quantitativas, qualitativas ou ambas. Entre os fatores qualitativos, a salinidade está entre os parâmetros que são alterados pela mudança de regime em decorrência da operação de reservatórios (Oliveira, 2003; Almeida e Silva Junior, 2007; Oliveira et al., 2008; Kingsford & Hankin, 2010; Silva et al., 2015; Khanom, 2016; Al-Nasrawi et al., 2016; Campo et al., 2016; Cheek & Taylor, 2016; Wedderburn et al., 2016).

O rio São Francisco tem sofrido muitas intervenções no seu fluxo. De grande importância regional sob os aspectos ecológicos, sociais e econômicos, cerca de 2/3 da disponibilidade de água doce do Nordeste brasileiro depende do rio São Francisco. O rio também tem grande importância para o país, principalmente no que se refere à produção de energia (Campos, 1995).

Rio principal da bacia do rio São Francisco, nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais a uma altitude de 1.800 m, com 2.863 km de comprimento (Medeiros et al. 2007). Escoa no sentido Sul-Norte pela Bahia e Pernambuco, chegando ao Oceano Atlântico na divisa entre Alagoas e Sergipe (ANA 2017).

Desde o final da década de 40, a bacia do rio São Francisco tem sofrido com as consequências da implantação de barragens ao longo do seu curso. Ao todo são dez barragens, Três Marias e Queimado, no alto trecho; Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I, II III e IV no trecho submédio; e Xingó no baixo trecho. A Figura 3 ilustra os principais barramentos na bacia.

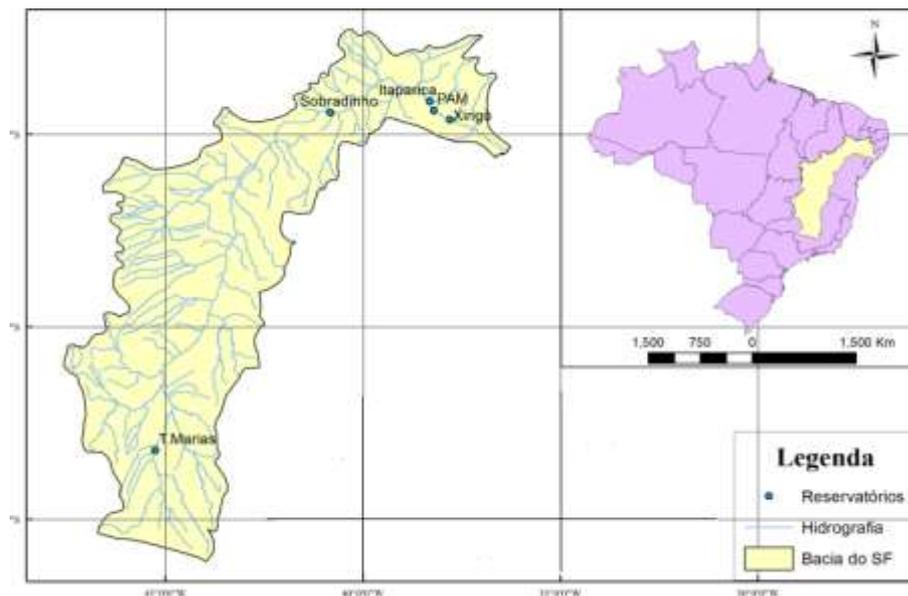


Figura 11: Principais reservatórios e localização da bacia do rio São Francisco
 Fonte: Fontes et al. (2014)

O baixo trecho do rio São Francisco, com uma população total de aproximadamente 2.095.123 habitantes, abrange porções dos estados da Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. É a região que vai da UHE Xingó, a jusante da cidade de Piranhas, passando pelas cidades de Pão de Açúcar e Traipu, ambas no município alagoano, e finalizando na cidade de Propriá e Ilha das Flores no município sergipano, até à foz do rio no Oceano Atlântico, com aproximadamente 210 km e drena uma área de 29.866,5 km² (CBHSF, 2016). A maior demanda de água neste trecho é o aproveitamento para irrigação.

A usina hidrelétrica de Xingó (Figura 4) foi inaugurada em 3 de dezembro de 1994. Situada na divisa dos Estados de Alagoas e Sergipe, é uma barragem à fio d'água, com restrição de vazão a jusante.

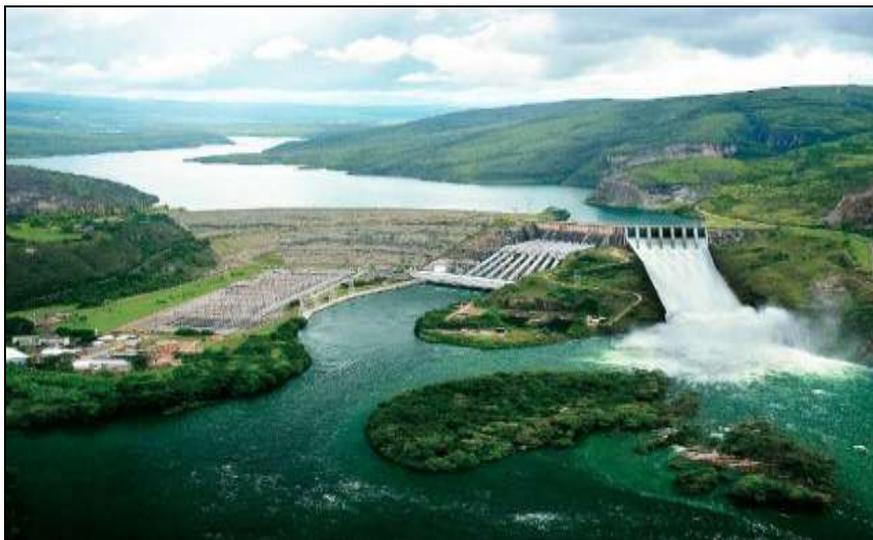


Figura 12: Visão parcial da barragem e reservatório de Xingó

Fonte: CBHSF (2016)

Segundo Costa (2010), as construções das usinas nas imediações do baixo trecho do São Francisco foram responsáveis por transformar a Bacia na segunda maior em produção de energia elétrica do país, atrás apenas da Bacia do Paraná. Estas atendem a vários estados no Brasil, o que, além de outras atividades econômicas nesta região, tal como as atividades agrícolas, justifica a importância não apenas da bacia como o todo, mas também do trecho do baixo do São Francisco.

Entretanto, as barragens promoveram alterações significativas no fluxo do rio. Como pode ser observado na Figura 3, o regime de vazões no baixo trecho do rio São Francisco está regularizado pela operação de várias hidrelétricas instaladas em série.

Além da contaminação da água por efluentes urbanos e agrícolas na bacia, vários estudos têm sido realizados nesta região destacando os impactos ocasionados pela operação dos reservatórios, como alteração da sazonalidade da vazão natural (Luz, 2010), diminuição da velocidade do fluxo com interferência na qualidade da água (Medeiros et al. 2010), redução da biodiversidade de espécies aquáticas (Callisto et al., 2009) e aparecimento de espécies invasoras (Peso-Aguiar et al. 2009).

De acordo com CBHSF (2006), desde o final de 1990, a produção pesqueira no Baixo São Francisco foi reduzida em 90% devido aos sucessivos barramentos no

curso do rio. Costa (2010) explica que após a construção da barragem do Sobradinho, houve mudança na sazonalidade do rio, o que influenciou na queda da produtividade das atividades econômicas em função da consequente alteração da biota. Salaria ainda que, com a construção da Barragem de Xingó, o carreamento dos sedimentos diminuiu de maneira tão intensa que prejudicou a ictiofauna e praticamente extinguiu a pesca como atividade econômica sustentável. O resultado é que atualmente na região do baixo São Francisco o número de peixes está bastante reduzido e as espécies migratórias não conseguem chegar à jusante do rio, o que causa a extinção de algumas espécies consideradas essenciais para a economia da região. Tais acontecimentos são consequências da interferência dos barramentos na quantidade de nutrientes necessária para o desenvolvimento saudável da biota aquática e também na vazão do rio (Costa 2010).

Outra consequência negativa relacionada com operação dos reservatórios é o desaparecimento das lagoas marginais ou planícies de inundação. Com os barramentos, a frequência da inundação diminuiu, prejudicando o desenvolvimento da ictiofauna (Costa 2010; Araújo et al. 2016) e da agricultura (Araújo et al. 2016). Existem também problemas devido ao depósito de sedimentos na calha do rio provenientes da erosão. Tal fato altera a capacidade de retenção de nutrientes, prejudica as lagoas marginais, assim como as atividades de navegação (Costa 2010), tendo também impactos no estuário (Medeiros et al. 2007; Bandeira et al. 2013), inclusive com queixas da população em relação ao aumento da salinidade.

A região do baixo São Francisco apresentava picos de enchentes, com vazões acima de 10.000 m³/s, que após a construção da barragem de Xingó, foram notavelmente suavizados, exceto com picos esporádicos, tais como em 1979, acima de 15.000 m³/s, em 1985, acima de 12.000 m³/s, em 1992, acima de 10.000 m³/s (Cavalcante 2011) e nos anos entre 2004 a 2007 (Medeiros et al. 2015), quando ocorreram precipitações acima da média histórica.

Além da suavização em função da regularização, ocorreu redução das vazões mínimas e médias no baixo trecho, agravando-se com períodos de crise hídrica, como a ocorrida em 2001, que gerou a crise energética no referido ano (Cavalcante 2011, Medeiros et al. 2015) e a crise hídrica iniciada em 2012, que originou as

consecutivas reduções de vazões defluentes na bacia do rio São Francisco com efeito direto na barragem de Xingó e no trecho a justante (Figura 5).

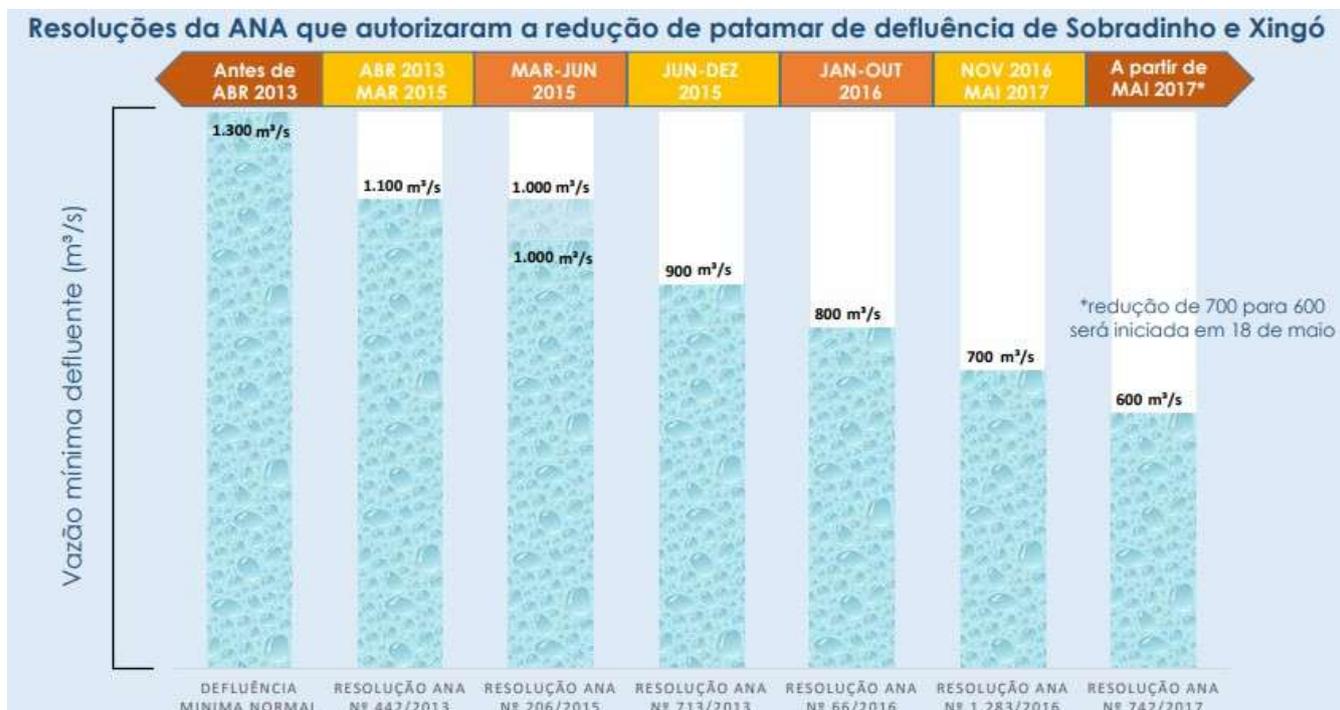


Figura 5: Resoluções da ANA que autorizaram a redução do patamar de defluência de Sobradinho e Xingó

Fonte: ANA (2007)

Com as reduções das vazões foram apontados aumentos da salinidade na região estuarina (Souza 2015; Melo 2017). A região em torno do estuário do rio São Francisco possui projetos de irrigação que estão sendo prejudicados com o aumento da salinidade das águas do estuário comprometendo o solo e os níveis de produção (Cunha, 2015).

O estuário do Rio São Francisco possui importância ambiental, além de grande importância econômica e social, pois é local de desova, alimentação e crescimento de várias espécies (Blaber, 2000), turismo e pesca (Holanda et al., 2005; Nascimento et al., 2013).

O estuário do rio São Francisco é estratificado em forma de cunha salina (Medeiros 2006; Souza 2015; Cavalcante et al. 2017; Melo 2017) com valores de salinidade mais altos próximos a foz e no fundo (Barbosa 2011). Há uma grande variação de salinidade próximo da foz com valores entre 0,03 a 35 ‰ (Cavalcante et al. 2017;

Melo 2017), podendo chegar a 39 ‰ (Cavalcante et al. 2014). Esta oscilação é característica da zona de mistura (Miranda et al. 2002) e pode ocorrer devido a variabilidade da descarga fluvial, ciclo de marés (Knoppers et al. 2005) e ação dos ventos (Knoppers et al. 2005; Oliveira et al. 2008; Souza 2015).

À medida que a distância da foz aumenta, a salinidade tende a diminuir. Souza (2015) em seu estudo sobre o transporte de sal no estuário de São Francisco, no ano de 2014, concluiu que na distância até 6,3 km da foz, a distribuição longitudinal da salinidade apresentou um perfil fortemente estratificado, característica de cunha salina. Em 6,8 km distante da foz, deixou de predominar a estratificação tipo cunha salina, surgindo uma estrutura salina parcialmente homogênea. E da distância de 7,3 a 8,8 km da foz, os resultados indicaram uma estrutura verticalmente homogênea, ou seja, presença de água doce da superfície ao fundo.

Há diferenças de comportamento de salinidade entre as margens esquerda e direita do estuário do rio São Francisco e também de origem da salinidade, que pode ser devido a entrada de água marinha ou contribuição do rio (Melo, 2017).

Melo (2017) estudou a salinidade no estuário do rio São Francisco a uma distância de até 4 km da foz no ano de 2014. Na margem esquerda (Alagoas-AL), em fevereiro de 2014, encontrou valores em torno de 2,3 ‰, enquanto para a margem direita (Sergipe-SE), encontrou valores em torno de 0,9 ‰. Já em julho do mesmo ano, a margem esquerda apresentou valores próximos de 6,5 ‰ e na margem direita, valores próximos a 2,3‰.

A maior contribuição de água salina no rio São Francisco ocorre na preamar de sizígia (Oliveira et al. 2008; Frota 2013), entretanto, a contribuição salina é mais fraca quando o fluxo do rio é mantido em níveis altos. Nos anos de 2006 e 2007, com a média das vazões em torno de 2000 m³/s, as variações das marés não resultaram em aumento de salinidade no estuário do rio São Francisco, quando os valores permaneceram próximo de zero a 5,1 km distantes da foz e próximo ao ponto de captação de água para abastecimento em Piaçabuçu-AL (Melo-Magalhães et al. 2011). Também nos anos de 2008 e 2009 com vazões defluentes em torno de 1300 m³/s, a salinidade se manteve com valores abaixo 0,1 ‰ a 5,1 km da foz, exceto em janeiro de 2009, quando ocorreram valores iguais a 5 ‰ na superfície e 10 ‰ no fundo (Barbosa 2011). A 8,1 km distante da foz nos meses de março, julho

e outubro de 2008 e janeiro, abril, e julho de 2009, ocorreram valores de salinidade abaixo de 0,1‰, tanto na superfície quanto na profundidade, inclusive próximo ao ponto de captação de Piaçabuçu-AL, que apresentou valores abaixo de 0,05 ‰ tanto na superfície quanto no fundo, no mesmo período de estudo (Barbosa 2011). Já no ano de 2014, com vazões defluente em torno de 1000 m³/s, foi constatado aumento de salinidade no estuário chegando a 6,5 ‰ a 4 km da foz (Melo 2017).

4. Área de Estudo

A área de estudo estende-se da estação fluviométrica de Piranhas (Chesf), a jusante da barragem de Xingó, situada entre Sergipe e Alagoas até a foz do rio São Francisco com uma extensão de aproximadamente 200 km (Figura 6a).

As seções escolhidas no trecho longitudinal foram baseadas em pesquisas realizadas no baixo trecho da bacia do rio São Francisco iniciadas com a rede Ecovazão, uma rede de pesquisa composta por universidades federais presentes na bacia do rio São Francisco, cujo objetivo principal foi de estabelecer um regime de vazão ambiental para o baixo trecho do Rio São Francisco. Tais pesquisas também tiveram o intuito de atender a uma demanda do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - CBHSF, que necessitava de estudos sobre a determinação do regime de vazões ecológicas.

As mesmas seções no trecho longitudinal foram trabalhadas no Projeto “Hidrograma Ecológico e Modelagem Quali-Quantitativa de Bacias” (HIDROECO), financiado pela FINEP cujo objetivo foi desenvolver hidrogramas ambientais para diferentes bacias hidrográficas brasileiras. Dentro dessa rede, o subprojeto “Avaliação dos Impactos Hidrológicos da Implantação do Hidrograma Ambiental do baixo rio São Francisco” (AIHA), com pesquisadores da UFBA, trabalhou com o objetivo de adequar a metodologia *Building Block Methodology* (BBM) de avaliação do hidrograma ambiental, para o cálculo dos impactos hidrológicos decorrentes da implantação deste hidrograma, inclusive re-avaliar os resultados obtidos na rede Ecovazão. O presente trabalho está inserido dentro do sub- projeto AIHA, com acréscimo de novas seções no estuário para o estudo do comportamento da salinidade no contexto das reduções das vazão defluentes na barragem de Xingó.

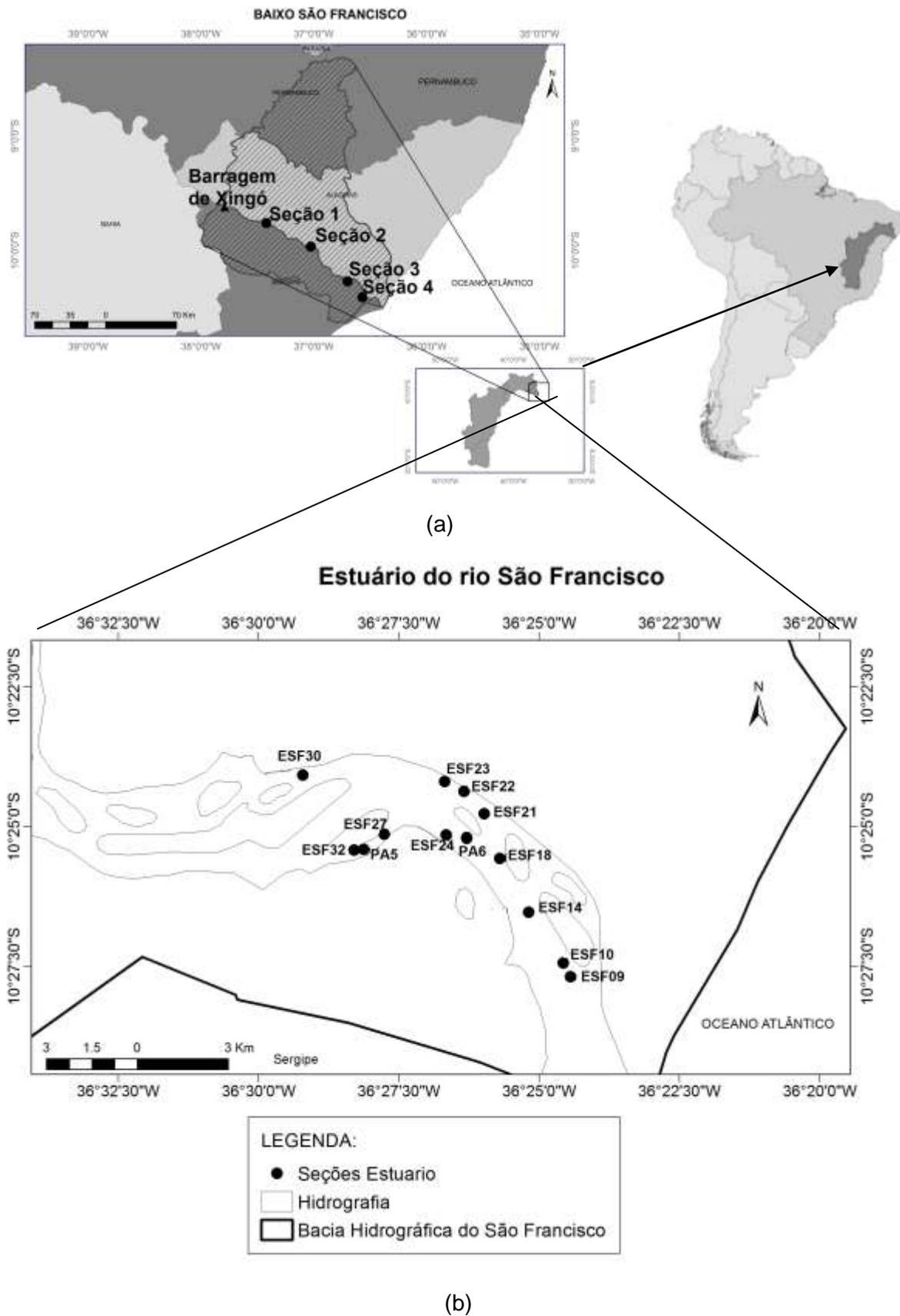


Figura 6: Localização da área de estudo: Baixo o trecho do rio São Francisco com as seções no trecho fluvial (a). Pontos no estuário (b).

Fonte: Senna (2017)* adaptado pelo autor

Na Tabela 1 estão representados as seções no trecho fluvial (Figura 6-b) e as seções e os pontos estudados no estuário (Figura 6-c).

Tabela 1- Informações sobre as seções na área de estudo com seus respectivos pontos amostrais. Baixo Rio São Francisco

Seção			Pontos amostrais			
Nº	Distância até a foz (km)	Localidade	Código	Posição (margem)	Coordenadas	
					Leste	Norte
Trecho Fluvial (Sergipe - Alagoas)						
1	160,2	Niterói-SE - Pão de Açúcar-AL	PA1	meio da seção	672559,0	8920766,0
2	102,3	Gararu-SE - Traipu-AL	PA2		720484,0	8896277,0
3	54,6	Pindoba-SE - Xinaré-AL	PA3		750928,0	8863884,0
4	21,6	Ilha das Flores-SE - Penedo-AL	PA4		770148,0	8846167,0
Trecho Estuarino						
5	15,5	Brejo Grande-SE- Piaçabuçu-AL	ESF32	esquerda	776957,0	8846188,0
			ESF30	direita	775210,2	8849445,5
6	15,2		PA5	esquerda	8846404,0	777165,0
7	14,4		ESF27	esquerda	777790,5	8847161,2
8	11,8		ESF23	direita	780041,1	8849149,3
9	11,0		ESF24	esquerda	779811,0	8847124,0
			ESF22	direita	780404,0	8848550,0
10	10,5		PA6	esquerda	779969,0	8846856,0
			ESF21	direita	781052,0	8847816,0
11	9,3		ESF18	meio da seção	781549,0	8846336,0
12	7,3		ESF14		782474,0	8844550,0
13	5,3		ESF10		783580,0	8842864,0
14	4,3		ESF09		783816,0	8842421,0

Fonte: Próprio autor

5. METODOLOGIA

5.1 Análise da evolução das reduções de vazões defluentes a jusante do reservatório de Xingó

Os dados de vazão foram fornecidos pela Chesf. Foram utilizados os dados de vazão média diária da estação de Piranhas, que por ser o posto fluviométrico mais próximo de Xingó, representa as vazões defluentes do reservatório.

Fez-se a representação gráfica dos dados de vazões defluentes diárias dos anos de 1994, ano do início de operação do reservatório de Xingó, até o mês de maio de 2017, período final deste estudo.

Para compreensão da influência da operação do reservatório no comportamento da salinidade, este estudo compõe dois períodos, antes e depois das consecutivas reduções de vazões defluentes, de 2008 a 2010 e de 2013 a maio de 2017¹, respectivamente.

Com a finalidade de visualizar a distribuição dos valores de vazão utilizados para o período do estudo, foi construído um gráfico *boxplot* com as vazões defluentes diárias dos anos de 2008 a maio de 2017¹. O *Software Statística v.10* foi utilizado para a construção dos gráficos *boxplot* apresentados neste estudo.

5.2 Análise da variação temporal e espacial da salinidade no trecho estuarino

5.2.1 Distribuição da salinidade no período total estudado

Os dados secundários de salinidade foram extraídos dos relatórios de campanhas fornecidos pela Chesf. Foram analisados dados de cunha salina de cinco campanhas distribuídas nos anos de 2008-2010 e 2013-2017¹.

Nota 1- Os anos de 2011 e 2012, antes das reduções de vazão, são ilustrados nos dados hidrológicos, apesar de não fazerem parte do estudo de salinidade pela ausência de monitoramento de qualidade de água pela Chesf neste período. A falta de monitoramento da qualidade de água pela Chesf deveu-se a assuntos burocráticos relativos à licitação para continuidade dos serviços junto ao Ibama (Chesf 2017)

Existem dois tipos de monitoramento da cunha salina: um denominado “ponto fixo”, onde se faz medição de 13 horas na preamar de sizígia, determinando o perfil de salinidade (anos de 2008 a 2010 e 2013 a 2017) e outro denominado “monitoramento móvel” (anos 2016 e 2017), onde é medida a salinidade na maré baixa e na maré alta duas vezes ao dia na superfície e no fundo. As medições são realizadas em vários pontos amostrais do estuário ao longo do dia.

Devido às diferenças metodológicas nas campanhas e diferentes formas de apresentação dos resultados nos relatórios, foi necessário realizar a unificação dos dados. Para tanto foram extraídos os valores de salinidade nas preamares² de sizígia e quadratura na superfície e fundo de cada ponto onde havia medição, tanto dos dados das campanhas no monitoramento móvel quanto dos dados obtidos no monitoramento fixo. Para o monitoramento da cunha salina foram selecionados os maiores valores de salinidade da superfície e do fundo, a fim de representar no estudo os valores mais críticos. Os dados então foram tabulados, organizando-os por ponto e por data de medição.

Inicialmente foi estudado o trecho no estuário que vai de 4,8 km até 9,3 km distantes da foz. Nesse trecho, denominado “trecho de referência”, fez-se toda a análise como referência para o estudo do avanço da cunha salina nas seções mais afastadas da foz, nele existe dez pontos amostrais monitorados pela Chesf. Construiu-se um gráfico *boxplot* com todos estes pontos a fim de representar a variação da salinidade em todo o período estudado incluindo todos os valores de salinidade nas marés de quadratura e sizígia nos pontos amostrais das respectivas seções, onde há dados em todas as campanhas, do ponto ESF9 ao ponto ESF18.

Entre os dez pontos com dados disponíveis em todas as campanhas, ESF09 a ESF18, foram escolhidos três pontos para representar o trecho de referência. Os pontos ESF10 (início), ESF14 (meio) e ESF18 (fim do trecho), distantes da foz 5,3 km, 7,3 km e 9,3 km, respectivamente.

Nota 2- Não foi possível analisar situações de baixa mar, pois estes dados não estão disponíveis em todas as campanhas, porém serão incluídos na discussão na influência da intrusão salina nas localidades, onde há esta informação.

5.2.2 Distribuição da salinidade no período total estudado nas marés de quadratura e sizígia no trecho de referência

Os dados de salinidade de superfície e fundo foram organizados e separados em maré de quadratura e sizígia. A fim de observar o comportamento da salinidade em ambos os períodos de maré foram construídos dois gráficos *box plot*: um para o período de quadratura e outro para o período de sizígia, representando então os três pontos do trecho de referência: ESF10, ESF14 e ESF18.

5.2.3 Influência da sazonalidade no comportamento da salinidade no trecho de referência

A fim de entender como os valores de salinidade na superfície e fundo têm-se apresentado nos períodos úmido e seco no trecho de referência, os dados de salinidade na preamar de sizígia foram organizados segundo este critério. Foram construídos gráficos *box plot* para visualizar a variação da salinidade no período total estudado: (2008-2010 a 2013-2017), antes das reduções das vazões (2008-2010) e depois das reduções das vazões (2013 a 2017).

5.3 Análise da relação entre as reduções das vazões defluentes e a salinidade da água no trecho de referência

Os dados de salinidade na preamar de sizígia no trecho de referência foram relacionados com as vazões medidas na estação fluviométrica de Piranhas que representam as vazões defluentes no reservatório de Xingó. Foi realizada análise de correlação de *Spearman* entre as vazões defluentes diárias e os valores de salinidade (superfície e fundo) nos pontos ESF10, ESF14 e ESF18 e aplicado teste de significância sobre o coeficiente r_s (coeficiente de determinação) para verificar se há correlação ao nível de confiança de 95% ($p < 5\%$). As análises estatísticas foram realizadas no Software *Statistica v. 10*.

5.4 Comportamento da salinidade no trecho de referência

Para avaliar se houve avanço significativo da cunha salina no trecho de referência, traçou-se seções numeradas nos respectivos pontos ESF 10, ESF 14, e ESF 18. Toda análise da salinidade a partir de então, será realizada por seção.

Fez-se um gráfico de linhas com dados de salinidade da superfície das três seções a fim de visualizar o comportamento da salinidade em cada seção, antes e depois das reduções de vazão, analisando-se então o comportamento da salinidade entre as seções 11 e 12, distantes da foz 9,3 km e 7,3 km respectivamente, assim como o comportamento da salinidade entre as seções 12 e 13, esta última distando da foz 4,8 km. Com base na distância entre as seções, chegou-se a extensão do avanço da cunha salina.

5.5 Análise do avanço da cunha salina no trecho estuarino

5.5.1 Comportamento da salinidade na seção 11

Para visualização do avanço da cunha salina no estuário, tomou-se como ponto de partida a seção 11, distante 9,3 km da foz, localizada entre Brejo Grande-SE e Piaçabuçu-AL. Esta seção foi escolhida como referência, pois para ela há dados de salinidade em todas as campanhas (ponto amostral ESF18); este ponto é o último do monitoramento realizado nos anos 2008 a 2010 (período sem redução de vazões) e localiza-se a jusante da cidade de Brejo Grande-SE, na margem direita, com distância de distando 5 km, e a jusante da cidade de Piaçabuçu-AL, distante cerca de 2 km pela margem esquerda. Dessa forma, essa seção será o marco comparatório tanto para avaliar se houve aumento da cunha salina nas seções mais distantes da foz, quanto para avaliar o aumento da salinidade quando comparada com seções mais próximas a foz.

Construiu-se então um gráfico de barras com dados secundários disponíveis de salinidade, da superfície e fundos, sendo ambos relacionados com as vazões defluentes.

5.5.2 Comportamento da salinidade nos pontos mais afastados da foz no trecho estuarino

A partir da seção 11, realizou-se o mesmo procedimento anterior; isto é, foram utilizados dados secundários de salinidade e construídos gráficos de barras com os valores de salinidade da superfície e fundo, sendo ambos relacionados com as vazões defluentes. Este procedimento foi realizado em cada seção definida no trecho estuarino. É importante salientar que não foi possível analisar as margens, esquerda e direita, de todas as seções, uma vez que, ora há análise na margem esquerda, ora na margem direita ou em ambas. Todavia como as seções são próximas, foi possível obter uma visão geral no trecho estuarino do comportamento da salinidade em ambas as margens.

Nas seções onde houve monitoramento fixo, foram construídos gráficos adicionais de perfil de salinidade. Com o intuito de ilustrar a amplitude de valores alcançados de salinidade nas seções estudadas foram demonstradas as situações mais críticas observadas no período seco e no período úmido.

5.5.3 Análise dos dados primários de salinidade no trecho estuarino

A campanha no estuário ocorreu nos dias 27 e 28 de maio de 2017. Nesta campanha foram realizadas medições fixas de 10 a 12 horas na seção 6, distante 15,2 Km da foz e na seção 10 distante 10,5 Km distante da foz, cujos pontos amostrais são PA5 e PA6 respectivamente. A seção 6 está localizada entre a cidade de Brejo Grande-SE e Penedino-A e a seção 10 na cidade Brejo Grande-SE e Piaçabuçu-AL (Tabela 2).

Foram medidos os parâmetros: sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}), condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), salinidade (‰), pH e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) com sensor multiparâmetro. A profundidade foi estimada por meio de corda amarrada à uma âncora e medido com uma trena.

Com o fito de validar as medições de campo, a cada hora foram coletadas e acondicionadas amostras da superfície, meio e fundo, além de serem realizadas medições *in loco* dos parâmetros já mencionados. As amostras foram levadas a laboratório e realizadas medidas de condutividade em todas as amostras, além da medida de sólidos totais dissolvidos em amostras aleatórias a fim de comparação.

Em posse dos resultados, calculou-se a salinidade pela seguinte equação:

$$S = (C^{1,0878}) * 0.4665$$

Onde: S =salinidade em g L^{-1} (‰) e C= condutividade em mS cm^{-1} a 25°C .

Esta relação foi obtida da investigação feita por Williams (1986) em 109 amostras de lagos salinos australianos e sua aplicação nos dados deste trabalho apresentou bons resultados.

A fim de conferir as medições no condutímetro foram realizadas medidas aleatórias dos sólidos totais dissolvidos (STD) em amostras dos pontos amostrais PA5 e PA6. Neste caso, a salinidade é obtida exatamente dividindo-se o valor dos STD por mil:

$$S = \text{STD (mg L}^{-1}) / 1000$$

S obtida em g L^{-1} (‰)

Foi então feita uma comparação com os dados obtidos de salinidade por meio da medida de condutividade e por meio dos sólidos totais dissolvidos (Figuras 7).

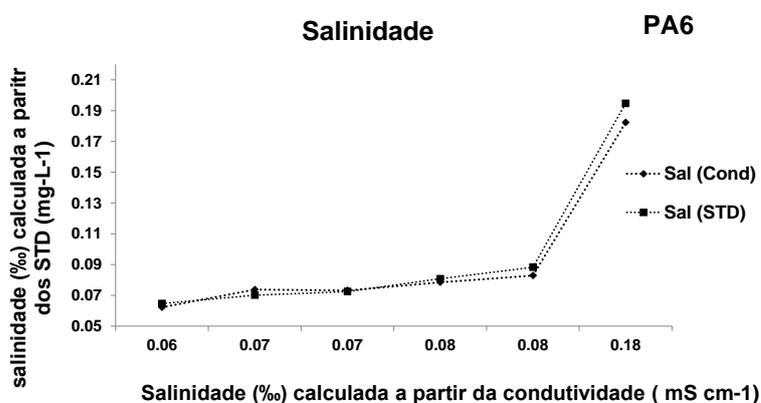
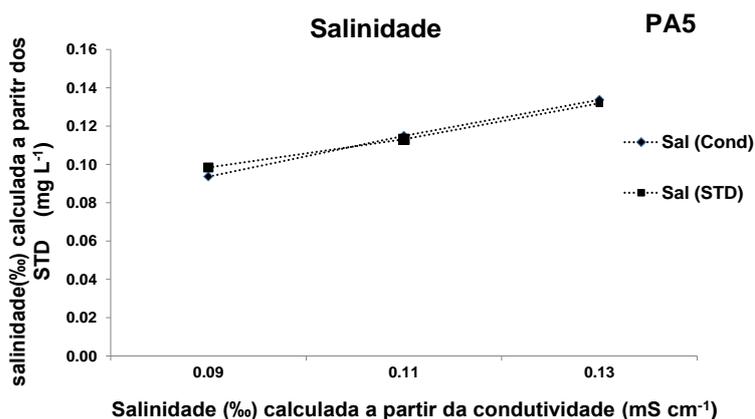


Figura 7- Relação entre os valores de salinidade a partir da medida da condutividade e de sólidos totais dissolvidos determinados em laboratório, para amostras dos pontos amostrais PA5 (Seção Brejo Grande-SE- Piaçabuçu-AL) e PA6 (Seção Brejo Grande-SE- Piaçabuçu-AL)

Fonte: Próprio Autor

Foi aplicado aos resultados de condutividade obtidos em laboratório e em campo, o teste de significância sobre o p-valor de Spearman. A condutividade em bancada e *in loco* deram correlação positiva significativa ($p < 0,05$) e $R = 0,97$. A Figura 8 mostra a relação entre essas duas medidas de condutividade feitas no laboratório e *in loco*.

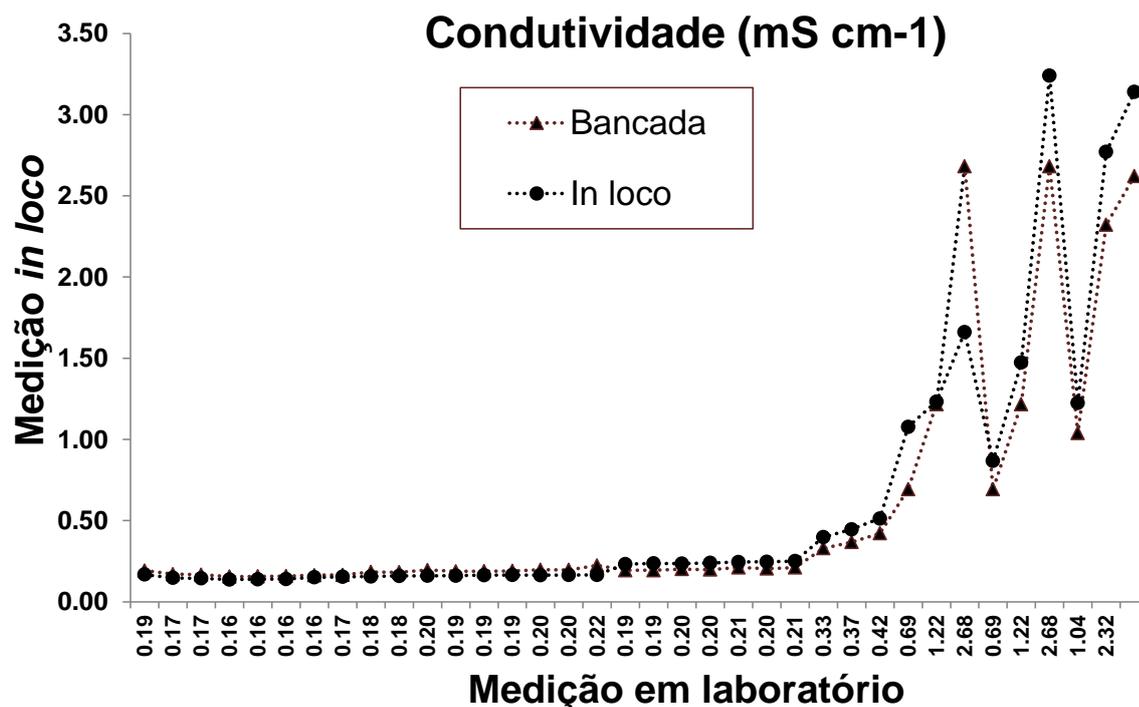


Figura 8- Relação entre os valores de condutividade medidos em laboratório e em campo

Fonte: Próprio Autor

A dispersão dos valores observados nas nove últimas medidas (25% dos testes), provavelmente, deve-se à diferença de temperatura, pois este parâmetro interfere nos valores de condutividade.

Com estes testes realizados pode-se afirmar que as medidas feitas em campo foram confiáveis.

5.6 Análise da variação temporal e espacial da salinidade no trecho fluvial

Neste trecho foi realizada apenas análise de dados primários. A campanha ocorreu nos dias 25/04 a 28/04 de 2017. Foram realizadas medidas duas vezes ao dia (maré baixa e maré alta) em três profundidades (superfície, meio e fundo) no meio das

quatro seções definidas no âmbito do projeto AIHA (2017), sendo as seções 4, 3, 2 e 1 de jusante para montante e os pontos amostrais PA4, PA3, PA2 e PA1 respectivamente nas localidades, Ilha das Flores-SE /Penedo-AL, Pindoba-SE/Xinaré-AL, Gararu-SE/Traipu-AL e Niterói-SE/Pão de Açúcar-AL, compreendendo o trecho longitudinal.

Foram medidos os parâmetros sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}), condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), salinidade (‰), pH e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) com sensor multiparamétrico. A profundidade foi estimada por meio de corda amarrada à uma âncora e medido com uma trena.

A apresentação dos resultados de salinidade será realizada de jusante para montante, isto é, dos pontos mais próximos aos mais afastados da foz no trecho estuarino, e a seguir serão apresentados os resultados no trecho fluvial.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise da evolução das vazões defluentes a jusante do reservatório de Xingó

Antes da construção dos reservatórios na bacia do rio São Francisco, as vazões naturais do rio atingiam limites inferiores na faixa de $900 \text{ m}^3/\text{s}$ no período seco, a $8000 \text{ m}^3/\text{s}$ no período úmido, podendo chegar a picos máximos de $15000 \text{ m}^3/\text{s}$. Com o rio já regularizado, antes da construção da barragem de Xingó, a última do sistema, a vazão média mensal natural do rio era em torno de $2980 \text{ m}^3/\text{s}$ (CHESF 1992).

Com o início da operação do reservatório de Xingó em 16 de dezembro de 1994, a vazão mínima regularizada era de $1300 \text{ m}^3/\text{s}$. A Figura 9 mostra a evolução das vazões defluentes diárias medidas no posto fluviométrico de Piranhas.

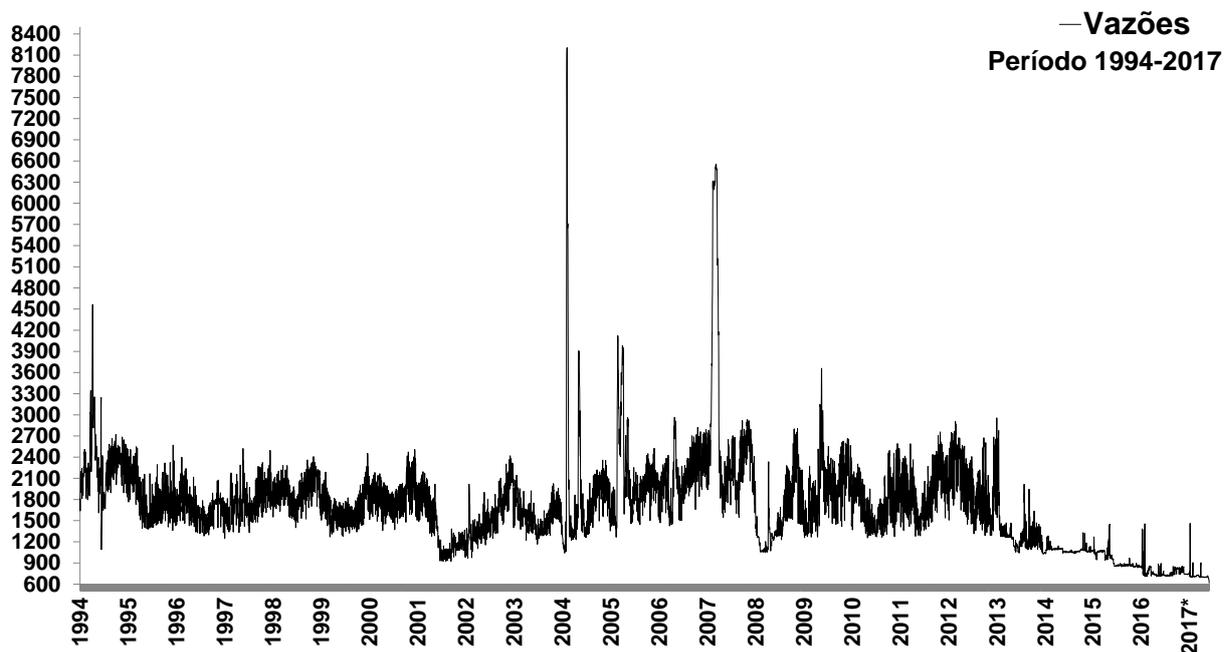


Figura 9- Vazões defluentes diárias medidas na Estação fluviométrica de Piranhas, dos anos de 1994, ano do início de operação do reservatório de Xingó ao mês de maio de 2007, período final deste estudo

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Observa-se na Figura 9 que as vazões médias diárias no período desde o ano de 1994 a maio de 2017, oscilaram entre 600 e 8000 m³/s. Os valores baixos ocorridos em 2001 deveram-se a uma crise hídrica com precipitações abaixo da média histórica que gerou uma crise energética no referido ano, quando a vazão chegou a 900 m³/s; já entre os anos de 2004 e 2007 ocorreram precipitações acima da média histórica (Medeiros et al. 2015), o que justifica os valores extremos verificados no gráfico. A partir do ano de 2013, as vazões defluentes, como citado anteriormente, sofreram consecutivas reduções chegando a 600 m³/s.

Para visualizar claramente a dimensão da variação das vazões antes e depois das reduções, construiu-se o gráfico *box plot* com a distribuição das vazões defluentes diárias nos anos que abrangem o período deste estudo (Figura 10).

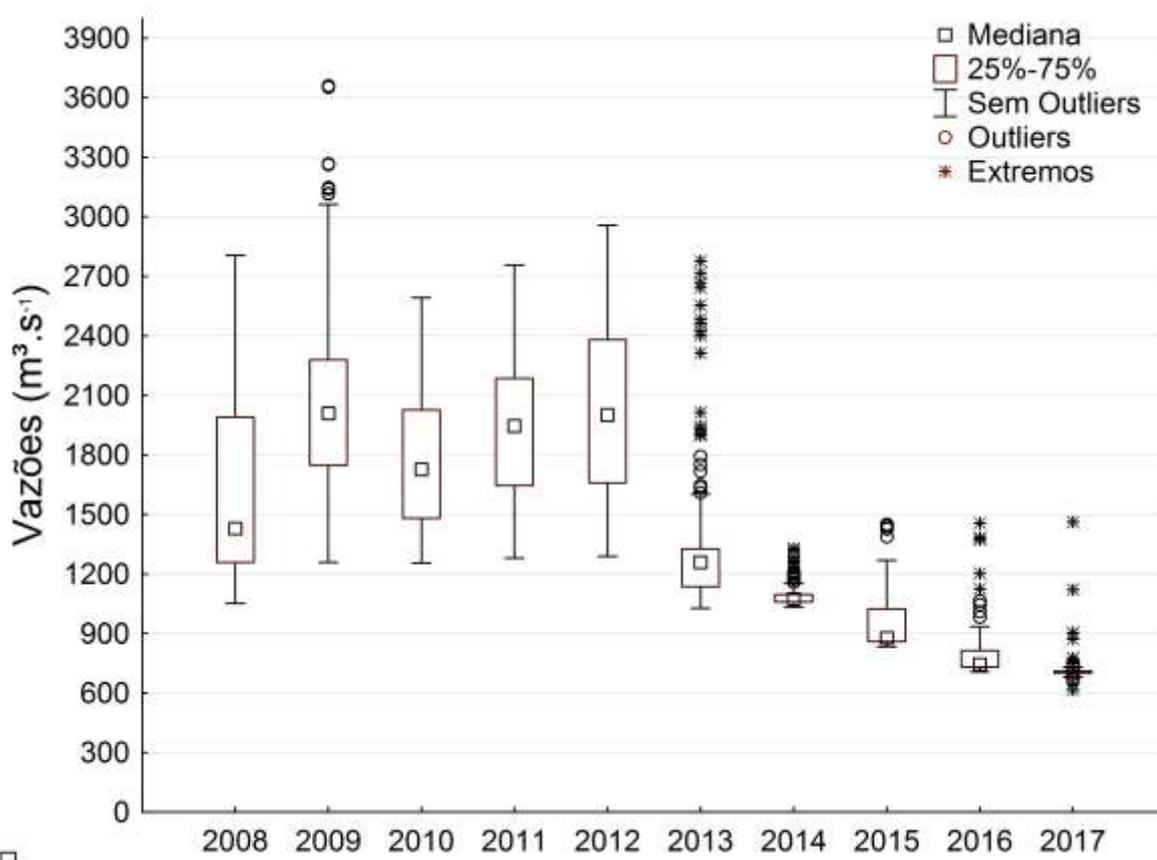


Figura 10- Distribuição dos valores de vazão defluente diária (m^3/s) da estação fluviométrica de Piranhas no período de estudo, de janeiro de 2008 a maio de 2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Os valores medianos da vazão se concentraram entre 1200 a 2400 m^3/s , nos anos de 2008 a 2012, anos de operação sem redução da vazão de restrição mínima; e de 600 a 800 m^3/s nos anos de 2013 a maio de 2017, período da operação com vazões reduzidas (Figura 10).

Como pode ser observado na Figura 10, os valores medianos da vazão defluente sofreram redução em quase 50% no período de 2008 a 2017 reduzindo de forma considerada a força fluvial do rio. Esta é uma importante forçante no equilíbrio salino no estuário e sua redução tem como consequência a prevalência da força da maré, e, por conseguinte o avanço da cunha salina no rio. De acordo com os estudos realizados, a mudança nas vazões do rio pode resultar em alteração na qualidade da água, e em especial na salinidade (Genz, 2006; Pinheiro & Moraes, 2010; Rahman et al., 2011).

6.2 Análise da variação temporal e espacial da salinidade no trecho estuarino

6.2.1 Distribuição da salinidade no período total estudado

Buscando compreender a distribuição dos valores de salinidade da superfície e do fundo nos períodos de 2008-2010 e 2013-20, ao longo de todos os pontos monitorados, que compreendem o trecho de referência para o estudo, isto é, do ponto ESF09, distante 4,8 Km da foz, ao ponto ESF18, distante 9,3 Km da foz, foi construído o gráfico *boxplot* apresentado na Figura .

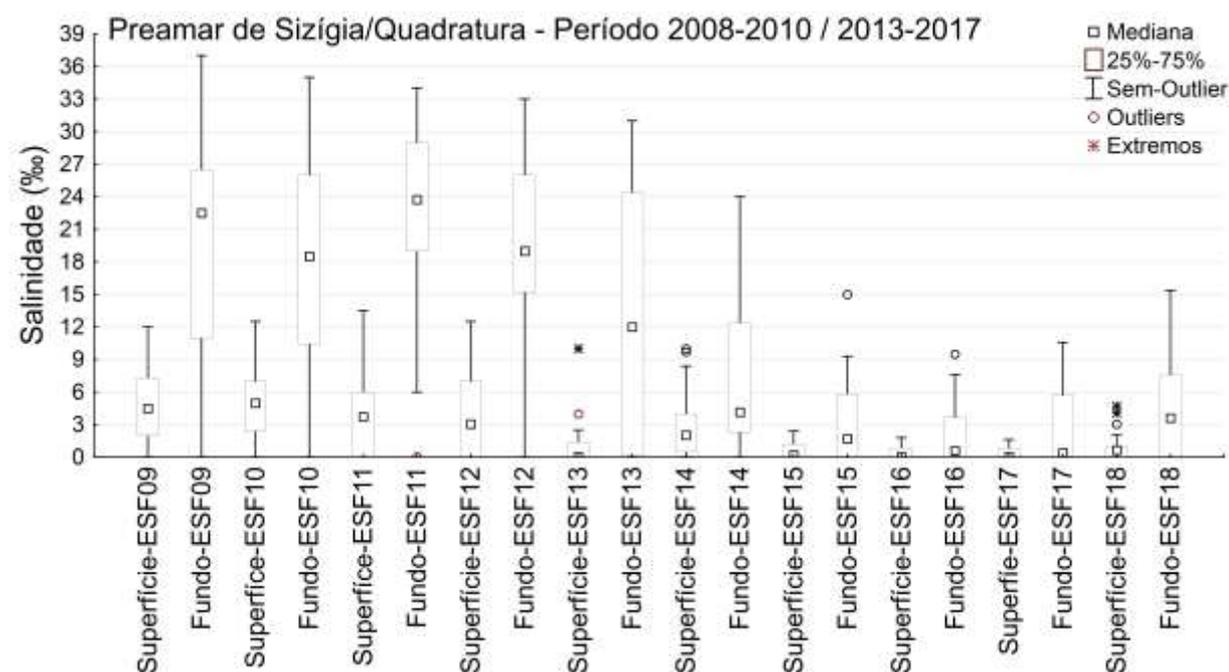


Figura 11 – Distribuição de salinidade (‰) na superfície e no fundo durante a maré de quadratura e sizígia compreendendo o trecho de referência: ponto ESF09 ao ponto ESF18, situados a 4,8 km e 9,3 km da foz, respectivamente, nos períodos de 2008-2010 e 2013-2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

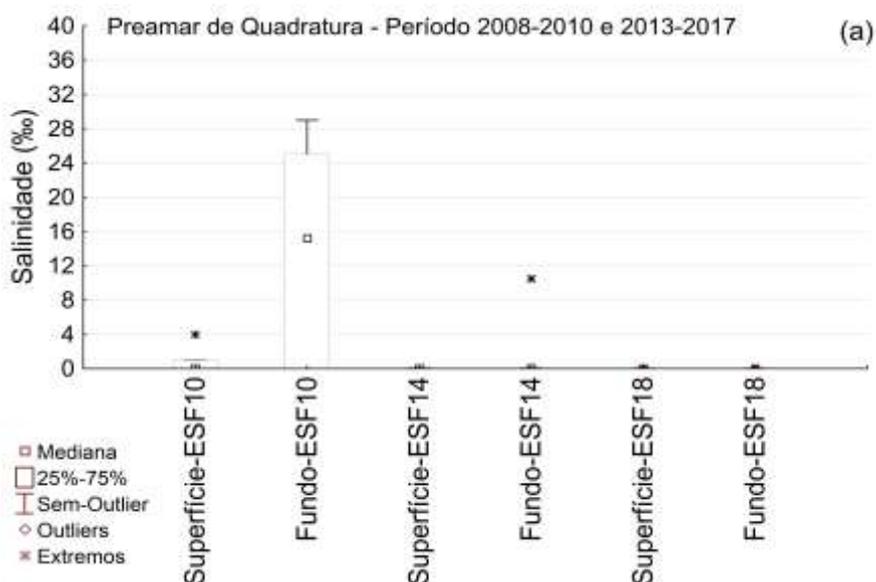
Ao se analisar o gráfico *boxplot* apresentado na Figura 11, percebe-se que os pontos ESF15 ao ESF18 apresentaram menor variação dos valores de salinidade, uma vez que estão situados mais afastados da foz (7,8 km a 9,3 km respectivamente). Já os pontos ESF09 a ESF 14, distantes da foz 4,8 e 7,3 km, respectivamente, apresentaram maior distribuição dos valores de salinidade, com destaque para o ponto ESF09, cujos valores variaram na faixa entre 0,03 e 37‰ no fundo e 0,03 a 12‰ na superfície. Estes resultados estão compatíveis com os obtidos por Cavalcante et al. (2014), Cavalcante et al. (2017) e Melo (2017), que

encontraram grande variação de salinidade no estuário do rio São Francisco. No entanto, percebe-se que o ponto ESF18, embora seja o mais afastado da foz, no trecho de referência, apresentou valores de salinidade elevados e superiores a 0,5 ‰, limite para água doce, alcançando valores próximos a 5‰ e a 16 ‰ na superfície e fundo respectivamente, o que pode evidenciar a ocorrência do avanço da cunha salina no manancial.

Na figura 11, observa-se também que há uma grande variação dos valores de salinidade em todos os pontos, variando de doce a salina nos pontos mais próximos à foz e de doce a salobra nos pontos mais afastados da foz. Esta variação é comum, visto que os níveis de salinidade nos estuários dependem: da posição ou zona mais próxima ou não da ação da maré (Miranda et. al. 2002), dos padrões de circulação e das forçantes, associadas aos períodos de oscilações diárias, semanais e semestrais associados às marés (Fettweis et al.1998).

6.2.2 Distribuição da salinidade no período total estudado nas marés de quadratura e sizígia no trecho de referência

A fim de verificar se haviam diferenças significativas dos valores de salinidade nos diferentes períodos, quadratura e sizígia, foram construídos para os pontos ESF10, ESF14 e ESF18, na superfície e fundo, dois gráficos *boxplot*: um para o período de preamar de quadratura e outro para o período preamar de sigizia² (Figura 12).



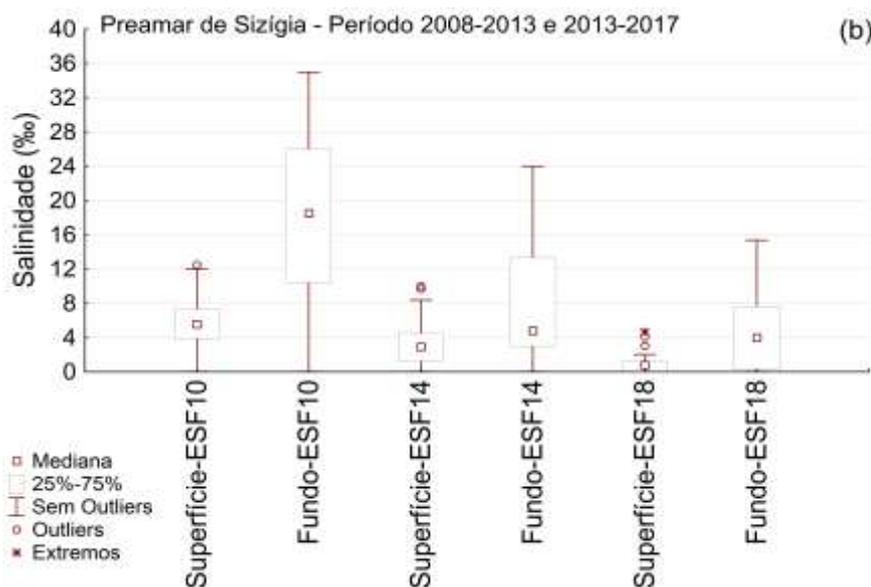


Figura 12 – Distribuição da salinidade na superfície e no fundo durante a preamar de quadratura (a) e de sizígia (b), respectivamente, nos pontos ESF10, ESF14 e ESF18, durante os períodos: 2008-2010 a 2013-2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Observou-se que a influência da salinidade durante a maré de quadratura só é acentuada nos pontos próximos a foz. A diferença dos níveis de salinidade no ponto ESF14, distante da foz 7,3 Km, e no ponto ESF18, distante 9,3 Km, no período de quadratura (Figura 12a) e de sizígia (Figura 12b) são bem acentuados, onde se conclui que os valores elevados de salinidade nos pontos ocorrem na preamar de sizígia, como já observado por Oliveira et al. (2008) e Frota (2013) (Figura 12 b). Como esperado, nos períodos de sizígia, a força da maré é maior, aumentando a salinidade nesses períodos. Sendo esse o período mais crítico para a análise do avanço da cunha salina na região de estudo, a partir do ano de 2013 as campanhas realizadas pela Chesf foram feitas apenas na maré de sizígia, portanto os tópicos posteriores referem-se à análise realizada nesse período.

6.2.3 Influência da sazonalidade no comportamento da salinidade no trecho de referência

Na região do baixo São Francisco, o período chuvoso corresponde aos meses de dezembro a abril; e o período seco, aos meses de maio a novembro (CHESF 1992). Foram construídos dois gráficos *boxplot*, um para superfície e outro para o fundo,

com os dados de salinidade dos anos de 2008 a 2017, que englobam os anos com e sem redução de vazão defluente e os períodos úmido e seco (Figura 13).

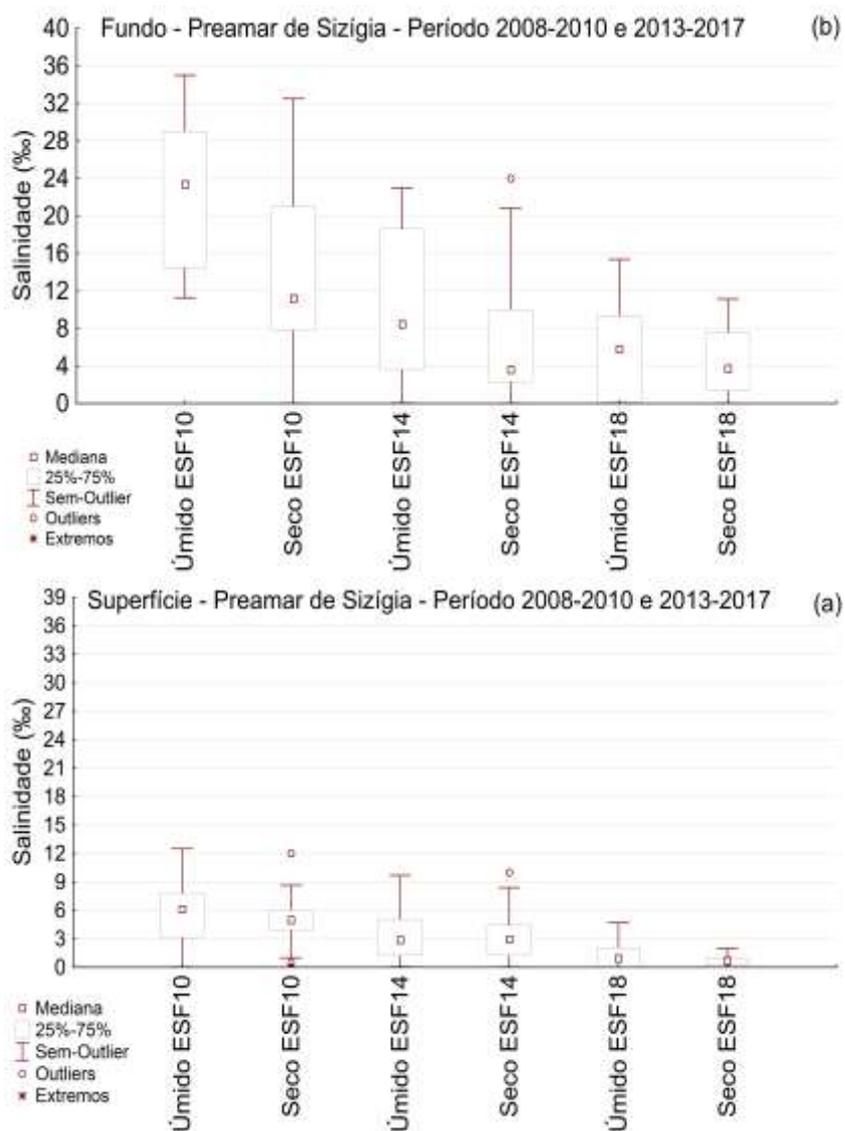


Figura 13 - Distribuição da salinidade nos períodos úmido e seco, no trecho de referência: ponto ESF10, ponto ESF14 e ponto ESF18 durante a preamar de sизigia, na superfície (a) e no fundo (b) respectivamente, nos períodos de 2008-2010 a 2013-2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Observando-se os resultados, infere-se que no período úmido foram observados os valores mais elevados de salinidade, tanto na superfície quanto no fundo (Figura 13).

Com o fito de detectar se a influência da sazonalidade na salinidade mantinha o mesmo comportamento antes e depois das reduções de vazões defluentes da

barragem de Xingó, os dados do período úmido e seco de preamar de sizígia foram separados em dois períodos: 2008 a 2010, antes das reduções da vazão defluente e 2013 a 2017, período de vazões defluentes reduzidas. Os resultados estão representados respectivamente nas Figura 14 e 15.

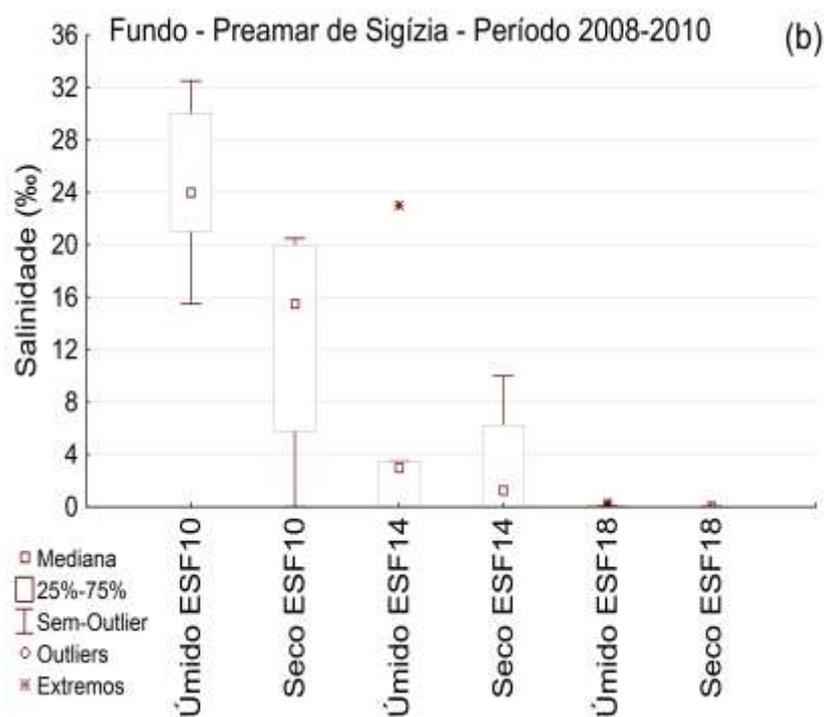
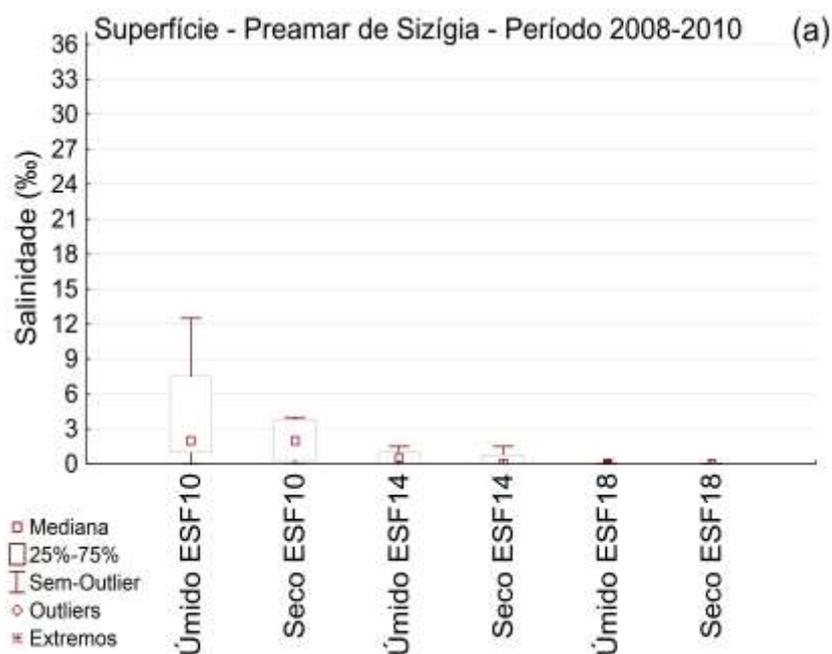


Figura 14– Distribuição de salinidade nos períodos úmido e seco, no trecho de referência: pontos ESF10, ESF14 e ESF18, durante a preamar de sizígia, na superfície (a) e no fundo (b) respectivamente, no período de 2008-2010 (antes das reduções de vazões)

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

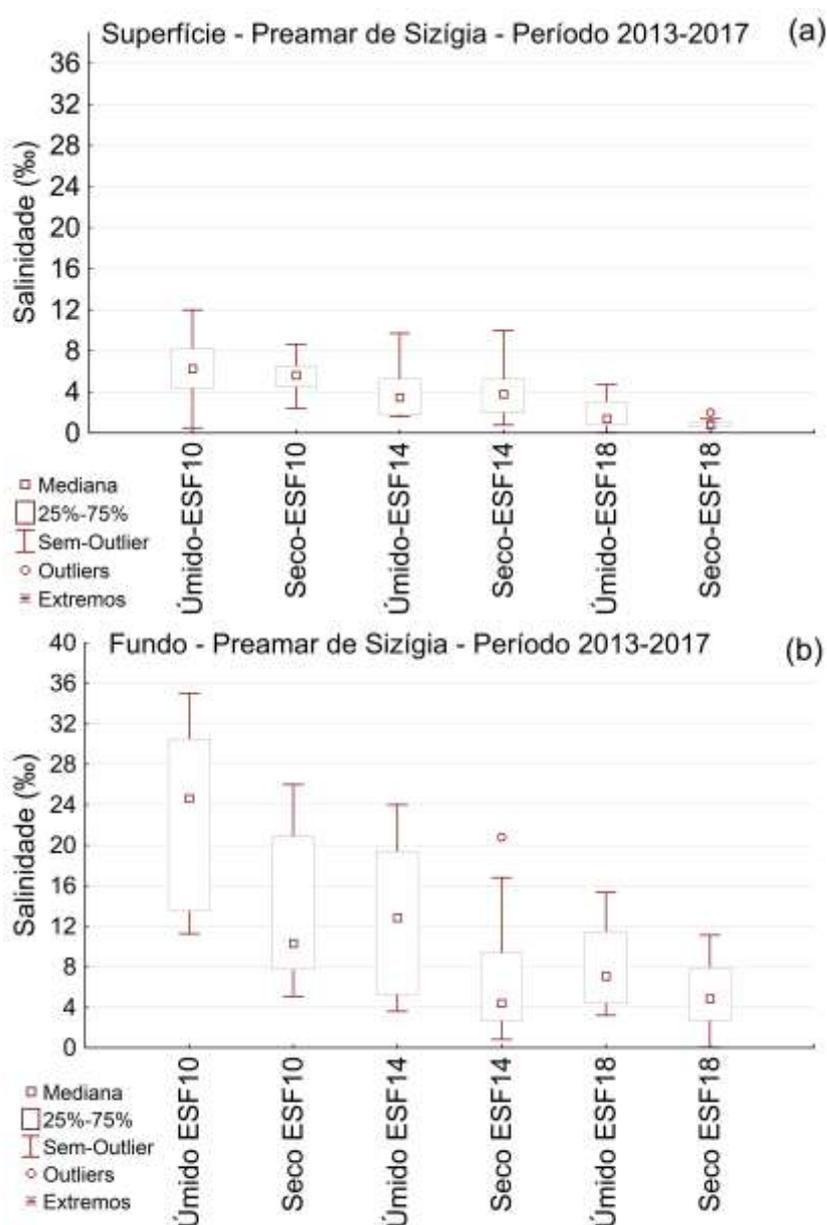


Figura 15 - Distribuição de salinidade nos períodos úmido e seco, no trecho de referência: pontos ESF10, ESF14 e ESF18, durante a preamar de sizígia, na superfície e no fundo respectivamente, no período de 2013-2017 (após reduções de vazões)

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

De modo geral, os valores mais elevados de salinidade ocorreram no período úmido, tanto antes quanto após as reduções das vazões defluentes. Observa-se que no ponto ESF10, distante da foz 5,3 Km, os valores de salinidade permaneceram

elevados no período úmido, antes e depois das reduções da vazão defluente. No ponto ESF14 distante da foz 7,3 Km os valores de salinidade antes das reduções de vazão são mais elevados no período seco do que no período úmido, mas após as reduções de vazões os valores de salinidade são mais altos no período úmido.

Já no ponto ESF18, mais afastado da foz (distante 9,3 Km), antes das reduções da vazão defluente, os valores de salinidade se distribuíam bem abaixo de 0,5 ‰, tanto no período úmido quanto no seco, de maneira que a influência da sazonalidade não é perceptível nesta situação. Com a vazão reduzida, além de a salinidade ter alcançado valores extremamente elevados, chegando à superfície em 5 ‰ e no fundo a 15 ‰ no período úmido, este apresentou valores bem mais elevados do que no período seco: 2 ‰ na superfície e próximos a 12 ‰ no fundo.

Não existe apenas causa para o aumento da salinidade no rio. Por exemplo, no período úmido pode-se esperar um aumento da salinidade devido ao carreamento de sólidos dissolvidos para dentro do rio, em função do aumento das precipitações e manejo do solo na bacia hidrográfica. Por outro lado, é possível esperar que no período seco haja uma concentração dos sais no manancial devido à maior probabilidade de evaporação das águas, em função de temperaturas mais elevadas. Com as reduções das vazões defluentes, é esperado ainda que haja o desequilíbrio entre as forças fluviais e oceânicas, com aporte maior de sal no estuário, podendo haver avanço considerável da cunha salina em trechos do estuário que antes não apresentavam histórico salino acima de certos limites, aumentando a salinidade em ambos os períodos, podendo inclusive estar havendo acúmulo de sais na região. A entrada de sal no rio também depende da ação dos ventos, da maré, e força fluvial (Knoppers et al. 2005; Oliveira et al. 2008), das correntes, Souza (2015), além do manejo do solo.

Outro fator são as condições climáticas no momento da coleta, independente da sazonalidade. Barbosa (2011), por exemplo, encontrou maiores valores de salinidade em períodos de estiagem em relação a períodos chuvosos no estuário do rio São Francisco. No entanto, os resultados alcançados neste estudo podem ser justificados pela posição do ponto de amostragem em relação às margens, sofrendo influência das características do solo e carreamento de sólidos em momentos de chuva.

6.3 Análise da relação entre as reduções das vazões defluentes e a salinidade da água no trecho de referência

Com a finalidade de visualizar graficamente as relações existentes entre as vazões defluentes diárias e os valores de salinidade na superfície e no fundo no trecho de referência, nos pontos ESF10, ESF14 e ESF18, foram construídos os gráficos de dispersão, apresentados nas figuras 16, 17, e 18, assim como foi realizada análise da correlação de *Spearman* para identificar relações significativas entre eles.

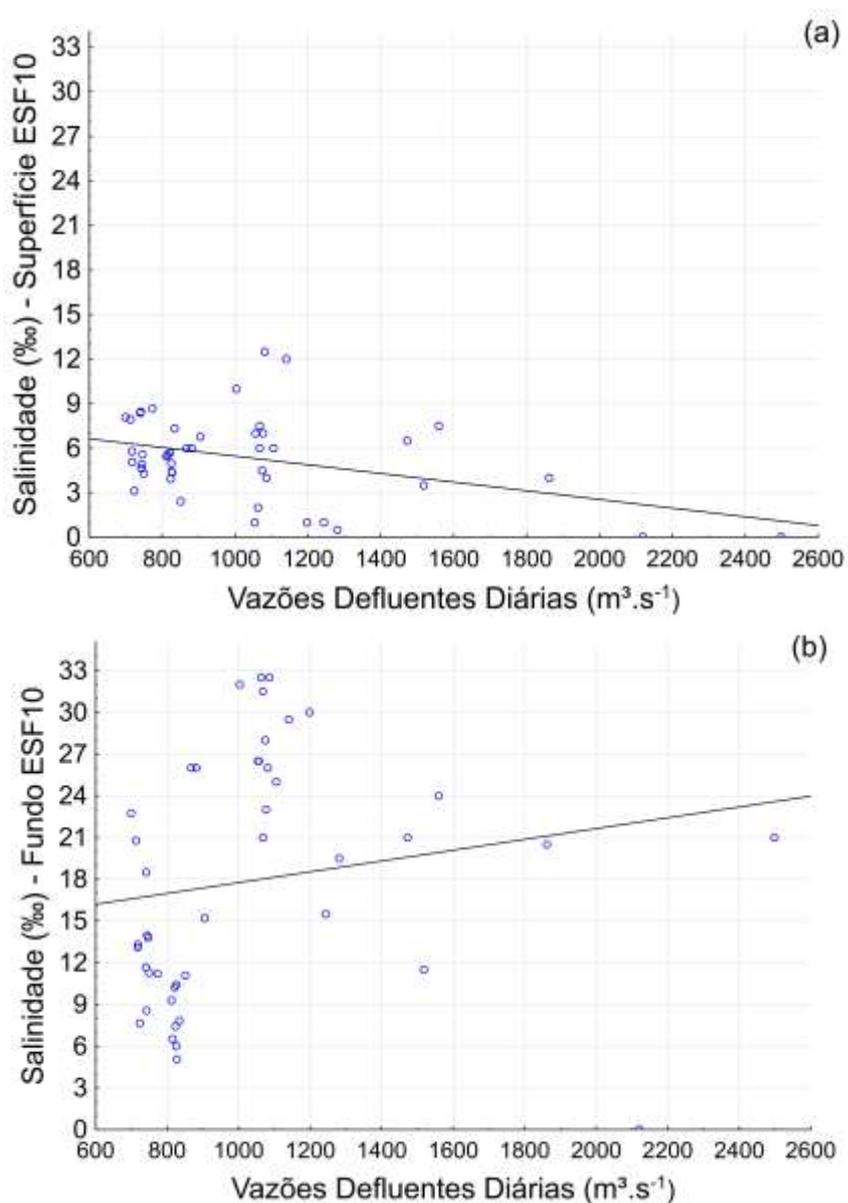


Figura 16 – Relações lineares entre vazões defluentes diárias (m³/s) e salinidade na superfície e no fundo do ponto ESF10, respectivamente, para os períodos de 2008-2010 e 2013-2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Ao analisar os gráficos de dispersão, verifica-se que os valores de salinidade da superfície no ponto ESF10, a uma distância da foz de 5,3 Km, apresenta relação negativa com as vazões defluentes, embora a correlação de Spearman não tenha sido significativa ($p > 0,05$): ($n = 45$; $r = -0,2757$; $p = 0,0668$). Já no fundo, os valores de salinidade foram correlacionados significativamente com as vazões, ao nível de significância de 95% ($p < 5\%$) ($n = 45$, $r = 0,4187$; $p = 0,0042$), indicando que nesta profundidade os valores de salinidade podem estar sendo afetados positivamente pelas variações de vazões. Assim, isso demonstra que mesmo nos pontos próximos à foz, as vazões defluentes podem estar influenciando os valores da salinidade no fundo. É importante salientar que o ponto ESF10 pode estar sendo influenciado pelo fenômeno da formação da cunha salina, uma vez que sendo a água do mar mais densa, o fundo do rio fica sujeito por maior tempo a valores de salinidade elevados e sendo esta seção mais próxima à foz, é natural que no fundo haja maior permanência de sais.

Ao avaliar a Figura 17, percebe-se que há uma tendência linear inversa entre vazões e salinidades da superfície e do fundo no ponto ESF14, distante da foz 7,3 Km, inferindo que as reduções de vazões exercem forte influência no aumento dos níveis de salinidade nesta seção. No entanto, apenas a correlação entre as vazões e as salinidades da superfície foi significativa ao nível de significância de 95% ($n = 45$, $r = -0,678752$; $p = 0,0000$)

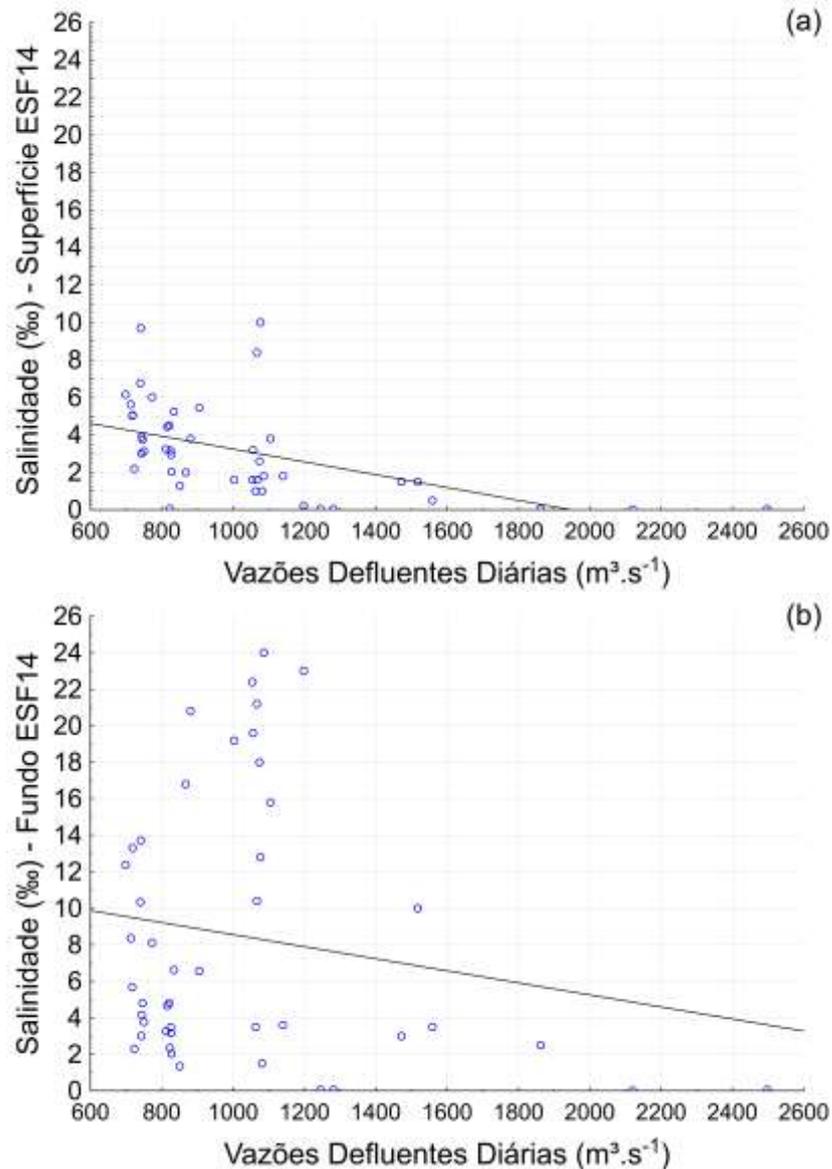


Figura 17 - Relações lineares entre valores de vazões defluentes diárias (m³/s) e valores de salinidade na superfície e no fundo no ponto ESF14, respectivamente, para os períodos de 2008-2010 e 2013-2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Com relação ao ponto ESF18, distante da foz 9,3 Km, observa-se que as vazões defluentes diárias apresentam correlação negativa significativa com os valores de salinidade da superfície ($n = 45$, $r = -0,6223$; $p = 0,0000$) e do fundo ($n = 45$, $r = -0,8685$; $p = 0,0000$), ao nível de significância de 95% ($p < 0,05$), evidenciando a forte influência das reduções das vazões defluentes nesta seção (Figura 18).

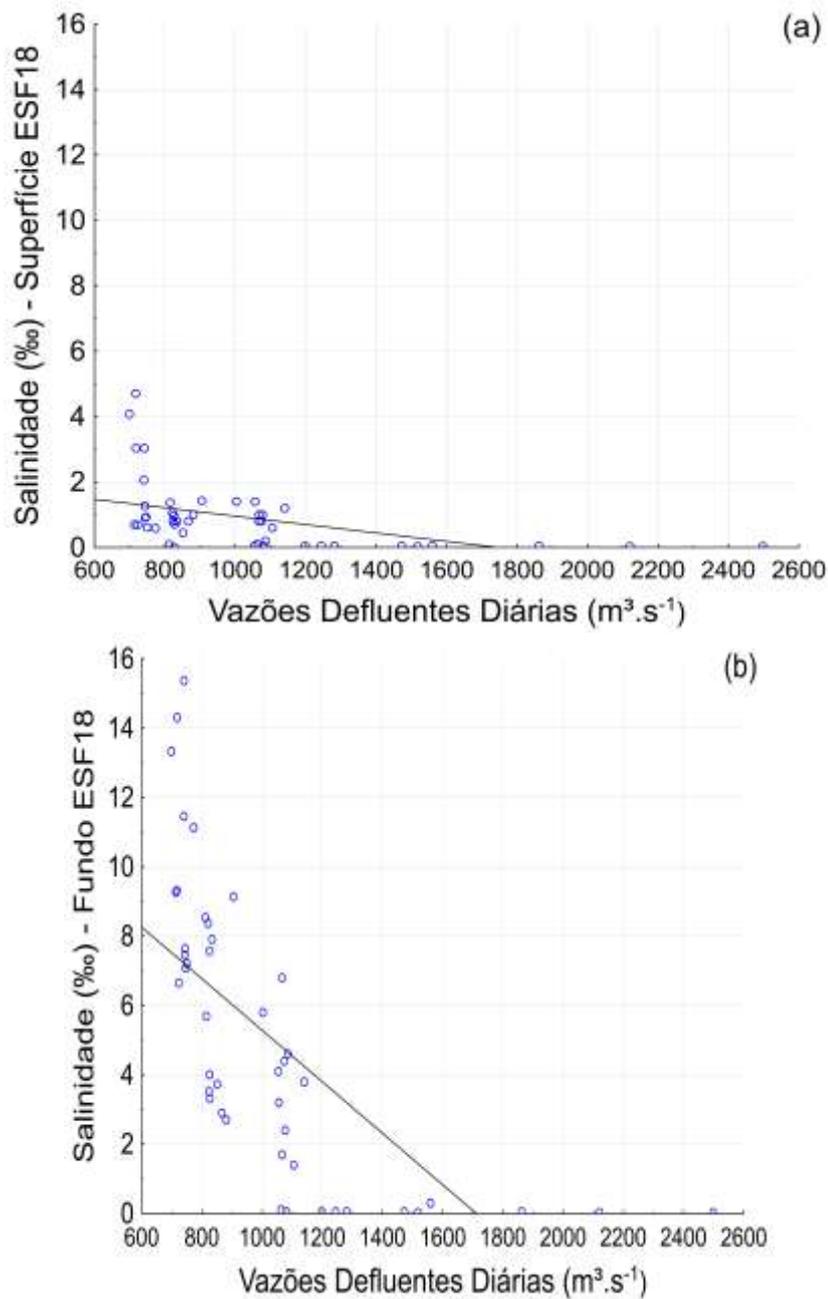


Figura 18 – Relações lineares entre valores de vazões defluentes diárias (m^3/s) e valores de salinidade na superfície e no fundo na seção 11, respectivamente, para os períodos de 2008-2010 e 2013-2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf.

6.4 Análise do avanço da cunha salina no trecho estuarino

6.4.1 Avanço da cunha salina no trecho de referência

Para o estudo do avanço da cunha salina, determinou-se que o mais adequado era realizar a análise por seções. Dessa forma, traçou-se seções nos pontos estudados nos itens anteriores, ESF10, ESF14 e ESF18, sendo estas seções, 13, 12 e 11, respectivamente. A Figura 19 ilustra o comportamento da salinidade na superfície, nas três seções que compõem o trecho de referência.

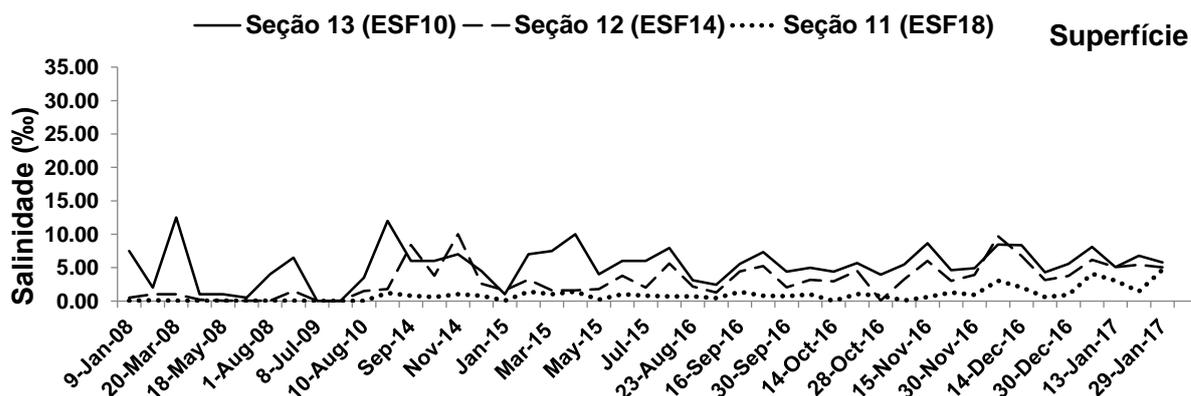


Figura 19– Distribuição da salinidade na superfície durante a preamar de sizígia, respectivamente, nas seções 13 (ponto ESF10), 12 (ponto ESF14) e 11 (ponto ESF18) em preamar de sizígia, durante os períodos de 2008-2010 e 2013-2017

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Os valores de salinidade na seção 13, distante da foz 5,3 Km apresentaram oscilação no período de janeiro de 2008 a maio de 2013; resultados semelhantes foram encontrados por Barbosa (2011), que estudou a salinidade em um ponto próximo, distante da foz cerca de 5,1 Km. Segundo o autor, a salinidade apresentou valores abaixo de 0,1 ‰ em março, julho e outubro de 2008, e abril e julho de 2009, exceto em janeiro de 2009, que apresentou valores iguais a 5 na superfície e 10 no fundo. Com o início da redução das vazões, percebe-se que há uma tendência da salinidade de oscilar entre 5 a 10 ‰ (Figura 19).

Na seção 14, distante da foz 7,3 Km, é nítida a mudança nos valores de salinidade do período de 2008 a 2010 (antes das reduções) onde a salinidade prevalecia com valores menores que 1 ‰, em relação ao período de 2013 a 2017 (depois das reduções), quando apresentava valores maiores que 5 ‰ (Figura 19).

A seção 11, distante da foz 9,3 Km apresentou valores abaixo de 0,05 ‰ no período sem redução de vazão (2008 a 2013), resultados compatíveis com Barbosa (2011) que estudou também a salinidade a 8,1 km da foz e encontrou resultados abaixo de

0,1 ‰, tanto na superfície quanto no fundo, nos anos de 2008 e 2009; no entanto, com as reduções, é possível perceber uma elevação dos valores de salinidade nos anos 2016 e 2017 na Figura 19.

Em relação ao comportamento da salinidade, a seção 11 (ponto amostral ESF18) mais distante da foz, à medida que as vazões são reduzidas (anos 2013 a 2017), torna-se gradativamente semelhante das seções mais próximas da foz. É possível perceber na Figura 19 a semelhança no comportamento da salinidade na superfície das seções, principalmente a partir de agosto de 2016, período onde se intensificou a redução da vazão como já discutido.

Na Figura 19 é possível também observar que a seção 12 (ponto amostral ESF14) distante da foz 7,3 Km, após o início das reduções da vazão defluente em Xingó em 2013, passa a apresentar comportamento de salinidade semelhante à seção 13 (ponto amostral ESF10) distante da foz 5,3 Km.

É possível então inferir que após o início das reduções da vazão defluente, houve aumento significativo da salinidade nas seções 12 e 11 atingindo a superfície do estuário, evidenciando o avanço da cunha salina no trecho de referência por cerca de 4 Km, a partir da seção 13.

6.4.2 Comportamento da salinidade na seção 11

A Figura 20 apresenta a evolução da salinidade na seção 11, localizada entre a cidade de Brejo Grande-SE e Piaçabuçu-AL, onde os dados de salinidade do ponto amostral ESF18 foram relacionados com as vazões defluentes em Xingó. A seção 11 está localizada a 9,3 Km distantes da foz, 5,5 km a jusante da cidade de Brejo Grande-SE e 2,3 Km a jusante da cidade de Piaçabuçu-AL, sendo dessa forma uma seção estratégica para avaliação do avanço da cunha salina nas seções mais afastadas da foz.

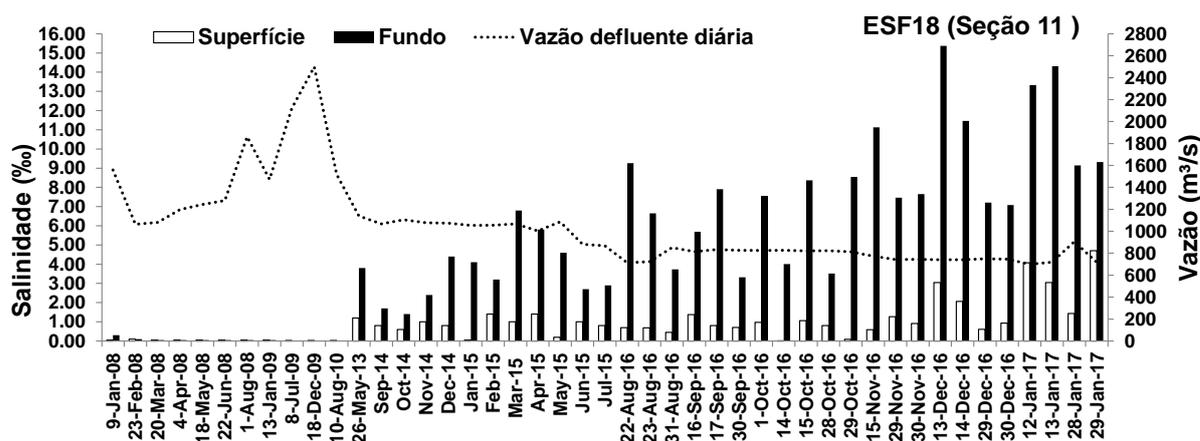


Figura 20 – Relação entre salinidade na superfície e fundo e vazões defluentes, em Piranhas, na seção 11 (ponto ESF18), localizada entre Brejo Grande-SE e Piaçabuçu-AL, distante 9,3 Km da foz

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Observa-se na Figura 20 que no período de 2008 a 2010 os valores de salinidade na seção 11, tanto na superfície quanto no fundo estavam abaixo de 0,1‰, dentro do limite de água doce, resultados que corroboram com Barbosa (2011). Já após o início das reduções da vazão defluente em Xingó (ano 2013), os valores de salinidade do fundo na seção 11 se apresentaram cerca de 8 a 64 vezes mais altos que no período sem redução de vazão (2008 a 2010). Dentro do período com redução de vazão (2013 a 2017), a salinidade no fundo variou de 1,4 ‰, com vazão igual a 1105 m³/s em outubro de 2014, a 15,4 ‰ com vazão igual a 741 m³/s em dezembro de 2016, resultados estes, que diferem de Souza (2015), que encontrou próximo a esta seção (8,8 Km distante da foz) água doce, da superfície ao fundo.

Na superfície, a salinidade passou a apresentar valores acima de 0,5 ‰ a partir de 2014 com vazão de restrição mínima igual a 1100 m³/s, chegando a 4,7 ‰, com vazão defluente igual a 717 m³/s. No período sem redução de vazão, a salinidade se manteve em torno de 0,03‰.

Observou-se ainda que apesar das vazões praticamente estáveis (em torno de 700 m³/s), no ano de 2016, ainda assim a salinidade tendeu a aumentar. Provavelmente, além do avanço da cunha salina, está havendo acúmulo de sais nesta seção, intensificando ainda mais os impactos causados pela alteração de fluxo nas imediações dessa localidade.

6.4.3 Comportamento da salinidade nas seções mais afastadas da foz

Com finalidade de verificar se o aumento da salinidade constatado na seção 11 (ponto ESF18) afeta pontos mais afastados da foz, foram analisados os valores secundários de salinidade disponíveis nas seções à montante seguindo pelas localidades de Brejo Grande-SE (margem direita) e Piaçabuçu-AL (margem esquerda), além de levantamento de dados primários em duas seções amostrais em Brejo Grande-SE. Como já salientado, foram obtidos dados secundários nas margens direita e esquerda apenas em duas seções; nas demais, ora têm-se dados na margem direita e ora na margem esquerda. A análise seguiu a partir da seção 11, a montante do estuário.

6.4.4 Estudo do comportamento da salinidade na seção 10

A seção 10 localiza-se no estuário, a jusante da cidade de Brejo Grande-SE, na margem direita e no início da cidade de Piaçabuçu, na margem esquerda.

- **Margem esquerda**

Apresenta-se na Figura 21 o levantamento dos dados secundários do ponto amostral ESF 21 localizado na margem esquerda da seção 10. A partir desse ponto amostral, as medições iniciaram-se pela Chesf no ano de 2014, e tiveram como objetivo o monitoramento da salinidade durante o período de vazão reduzida.

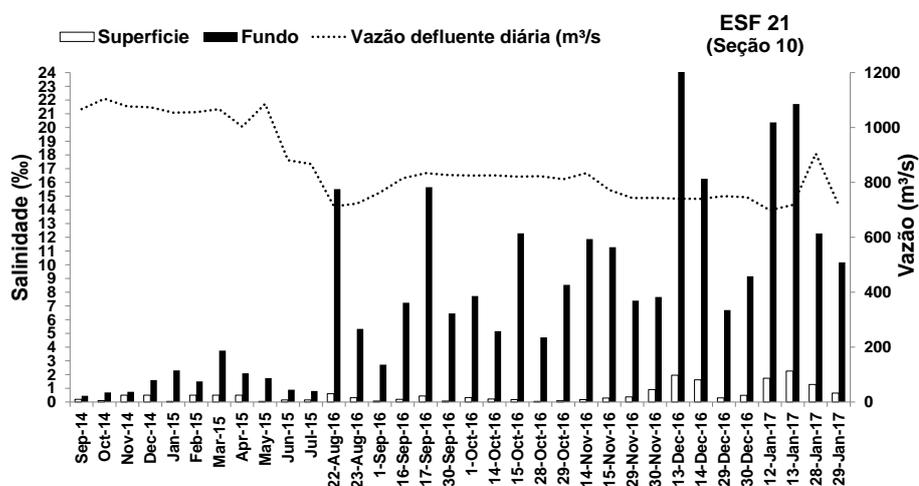


Figura 21—Relação entre salinidade da superfície e fundo, e vazões defluentes em Piranhas, na margem esquerda da seção 10 (ponto ESF21) - Piaçabuçu-AL, distantes 10,6 km das foz

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Observa-se que com a decisão de manutenção da vazão de restrição mínima entre 1100 m³/s, que estava em vigor em setembro de 2014 até março de 2015, e 1000 m³/s, em vigor de março a junho de 2015, a salinidade no fundo variou de 0,5 a 4 ‰. Entretanto, com a continuidade da redução das vazões com faixas entre 900 a 700 m³/s entre julho de 2015 a janeiro de 2017, a salinidade no fundo passou a variar com valores próximos de 3 a 25 ‰. Na superfície, onde a salinidade, com as vazões em torno de 1000 m³/s chegavam a 0,2 ‰, passaram a alcançar valores acima do limite de água doce, chegando a 2,3 ‰ em janeiro de 2017, com a vazão defluente em torno de 700 m³/s (Figura 21).

Apesar de não haver medições nessa seção antes das reduções das vazões defluentes (período de 2008 a 2010), é possível inferir o que ocorreu nesta seção, com base no comportamento da salinidade na seção 11, onde neste período a salinidade se manteve em torno de 0,05 ‰. Dessa forma, se na seção 11 distante da foz 9,3 km a água apresentava salinidade tanto na superfície quanto no fundo em torno de 0,05 ‰, a seção 10, distante da foz 10,5 Km certamente apresentava também valores baixos de salinidade. Logo, pode-se concluir que a cunha salina, avançou da seção 11, mais 1,6 Km até a seção 10 pela margem esquerda, após as reduções de vazões.

- **Margem direita**

Na margem direita foram obtidos dados primários de perfil de salinidade no ponto amostral PA6, distante da foz 10,6 km. O perfil de salinidade apresentou valores elevados, acima do limite de água doce na superfície, no meio e fundo, chegando ao fundo a valores iguais a 1,7 ‰ e na superfície a 0,7 ‰ na maré cheia. Na maré baixa, os valores de salinidade se mantiveram em torno 0,1 ‰ (Figura 22)

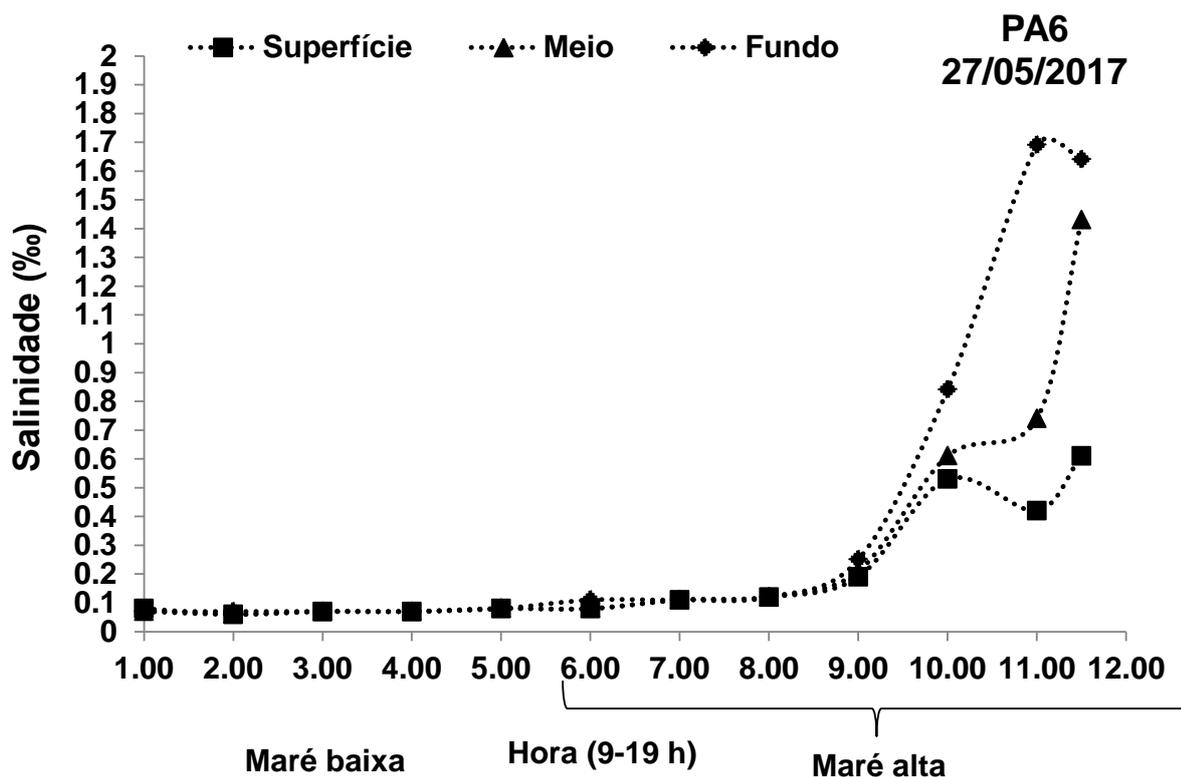


Figura 22 –Perfil vertical de salinidade, na superfície, meio e fundo, durante maré de sizígia, margem direita da seção 10 (ponto amostral PA6), 10,3 Km distante da foz, seção Piaçabuçu-AL/Brejo Grande-SE

Fonte: Próprio Autor

Estes resultados indicam que a cunha salina avançou cerca de 1,4 km pela margem direita desde a seção 11 até a 10.

Os valores de salinidade diferem nas margens, sendo mais elevados na margem esquerda, como observados por Melo (2017).

6.4.5 Estudo do comportamento da salinidade na seção 9

A seção 9 distante da foz 11 km passa em frente à cidade de Piaçabuçu-AL, tendo o ponto amostral mais próximo o ESF22, localizado imediatamente depois do centro principal da cidade de Piaçabuçu-AL, na margem esquerda, e o ponto amostral ESF24 em Brejo Grande-SE na margem direita.

- **Margem esquerda**

A Figura 23 apresenta os valores de salinidade obtidos pela Chesf no período de setembro de 2014 a janeiro 2017 no ponto ESF 22.

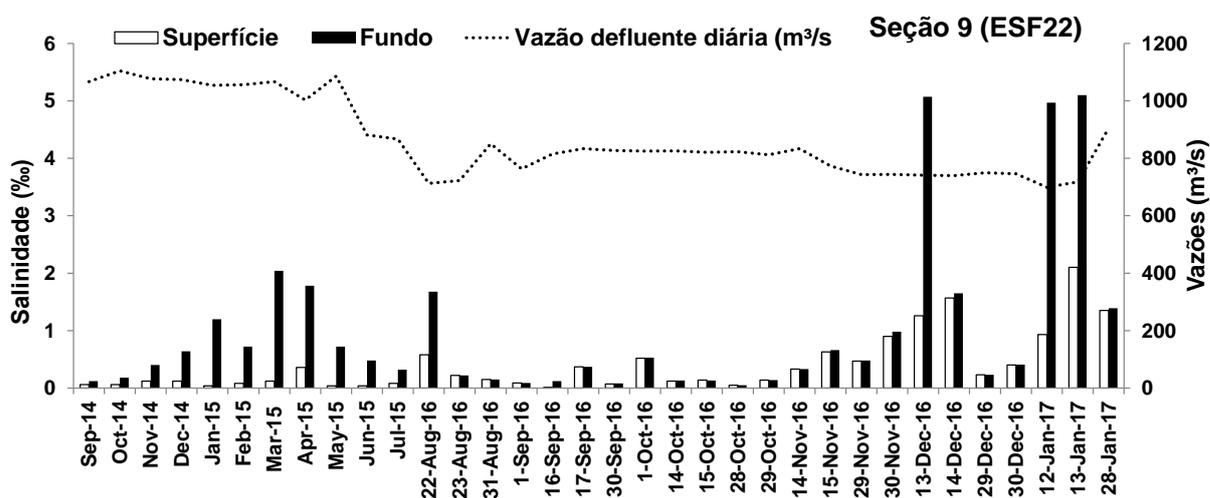


Figura 23–Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, com as vazões defluentes em Piranhas, na margem esquerda da seção 9 (ponto ESF22)-Piaçabuçu-AL, distante 11.7 km da foz

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Observa-se que os maiores valores alcançados, tanto no fundo quanto na superfície, foram inferidos em dezembro de 2016 a janeiro de 2017, com vazão defluente em torno de 700 a 800 m³/s. A oscilação observada para a salinidade justifica-se provavelmente, devido à forma com que foram feitas as medidas: os dados do ponto amostral ESF 22 não foram obtidos com medição de 13 horas em ponto fixo, dessa maneira, nem sempre, as medições foram realizadas no melhor horário da maré cheia. Ainda assim, é possível verificar que houve aumento considerável na salinidade intensificando a cunha salina em relação a seção 11, de referência, em torno de 2,7 Km pela margem esquerda.

- **Margem direita**

A Figura 24 apresenta os valores de salinidade do ponto amostral ESF 24, distante da foz 11 Km, do lado direito da seção 9.

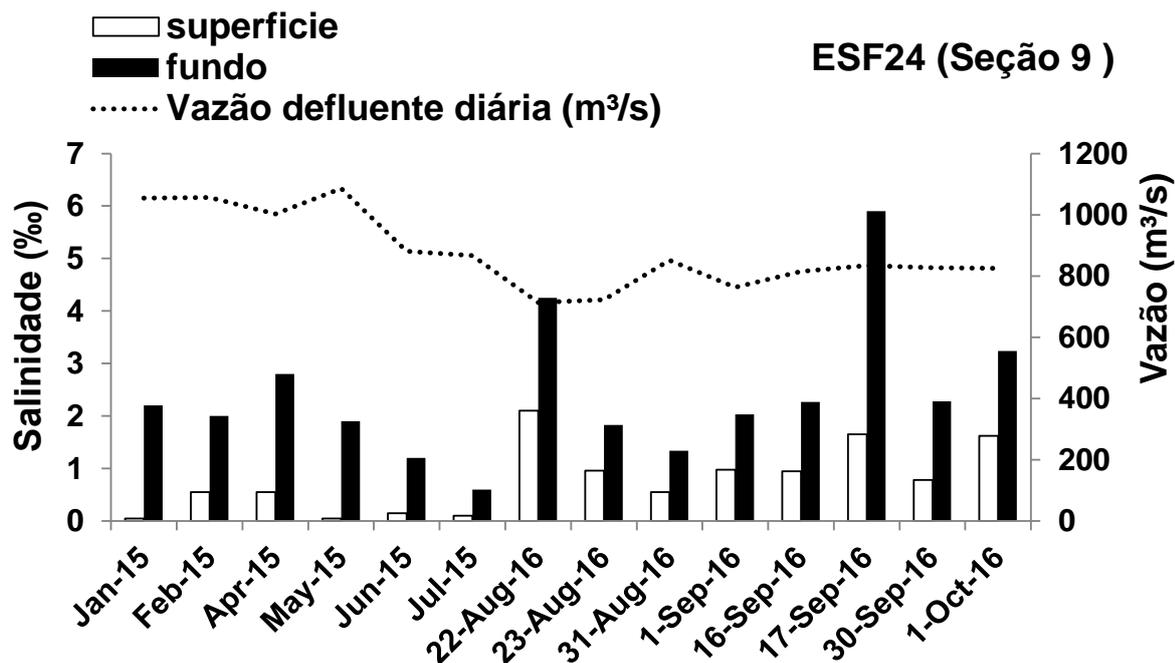


Figura 24 –Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, com as vazões defluentes em Piranhas, na margem direita da seção 9 (ponto ESF24), Brejo Grande-SE, distante 11 km das foz

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

As mesmas considerações realizadas nos itens anteriores se adequam nessa margem da seção; isto é, antes das reduções de vazões não foram constatados valores de salinidade acima de 0,5 ‰. Durante o monitoramento da salinidade no período de vazão reduzida, porém, no ano de 2015, com vazões defluentes em torno de 1000 m³/s, foram verificados valores acima de 0,5 ‰ no fundo, embora na superfície os valores tivessem sido mantidos dentro do limite de água doce. Já em 2016, com vazão reduzida em torno de 800 m³/s, foram encontrados valores elevados de salinidade na superfície e no fundo, chegando a 6 ‰ no fundo e acima de 2 ‰ na superfície.

Em relação a seção 11, de referência, houve um avanço da cunha salina pela margem direita em torno de 2,1 km.

6.4.6 Estudo do comportamento da salinidade na seção 8

A seção 8, distante da foz 11,8 km, passa na margem esquerda em frente ao ponto de captação de água em Piaçabuçu-AL e segue transversalmente até a margem

direita em Brejo Grande-SE. Nessa seção são analisados apenas os dados de salinidade da margem esquerda.

- **Margem esquerda**

Os valores de salinidade na seção 8 foram obtidos do ponto amostral ESF23, que dista 12,4 km da foz. Este ponto é o mais próximo da captação de água para abastecimento humano na cidade de Piaçabuçu-AL.

Como explicado anteriormente existem dois tipos de monitoramento da cunha salina realizado pela Chesf, e ambos foram realizados no ponto amostral ESF 23. A Figura 25 mostra os resultados mais críticos do monitoramento móvel na preamar de sizígia.

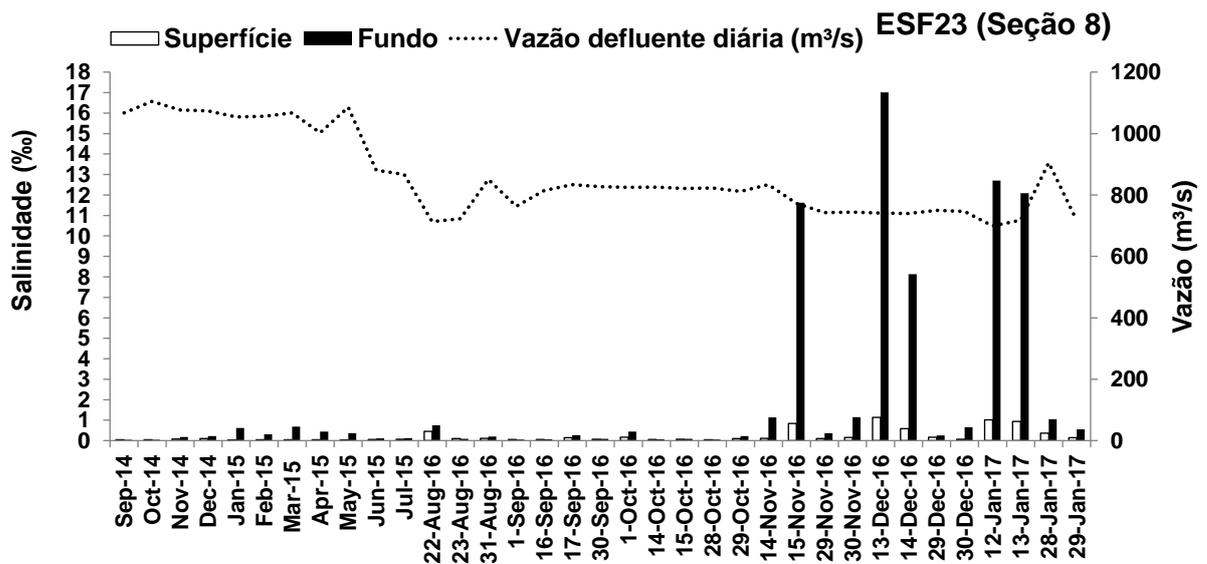


Figura 25 –Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, na maré alta, com as vazões defluentes, em Piranhas, na margem esquerda da seção 8 (ponto ESF23) - Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km das foz durante o monitoramento móvel de dados

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Os resultados da salinidade em 2014 estão de acordo com (Barbosa, 2011), que apresentou valores abaixo de 0,05 ‰, tanto na superfície quanto no fundo no mesmo período de estudo. Observa-se que com a vazão defluente em torno de 1000 a 1100 m³/s os valores de salinidade se mantêm abaixo de 0,5 ‰ na maior parte do tempo, nas duas posições, podendo chegar a 1 ‰ no fundo; no entanto, a partir de novembro de 2016, com a vazão defluente em torno de 700 a 800 m³/s, observou-se

picos de salinidade chegando a cerca de 18 ‰ no fundo e acima de 0,5 ‰ na superfície (Figura 25).

A análise dos valores mais altos de salinidade na superfície e fundo obtidos no monitoramento fixo, mostra que os valores de salinidade na superfície são mais elevados no ano de 2016, se aproximando de 6 ‰. E como já indicado pelo monitoramento móvel, a salinidade chega a 18 ‰ no fundo (Figura 26).

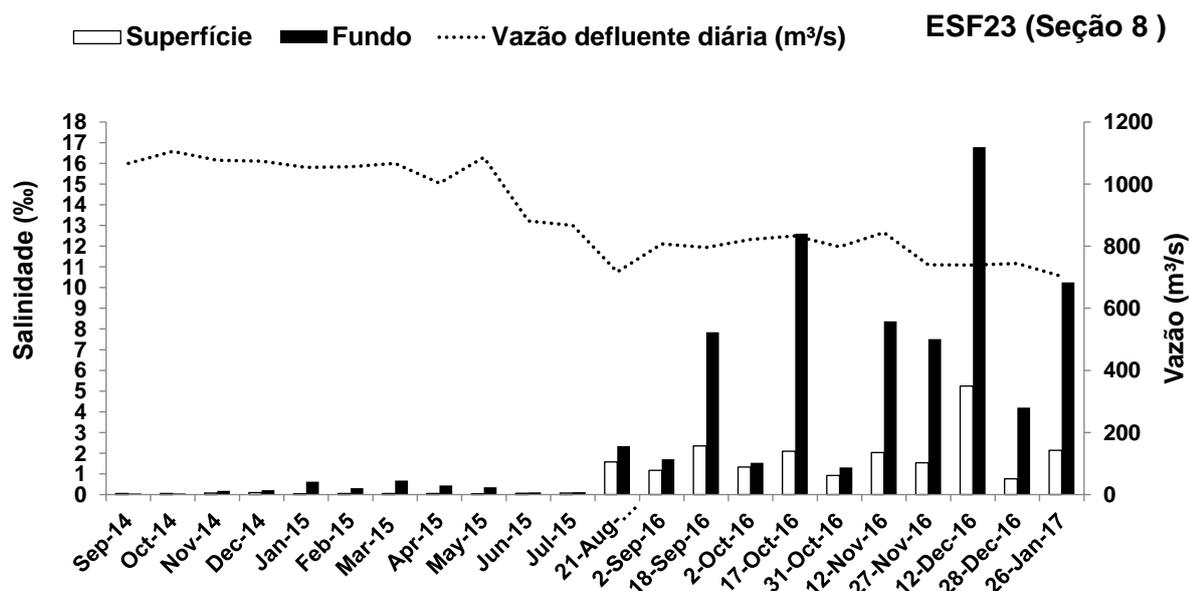
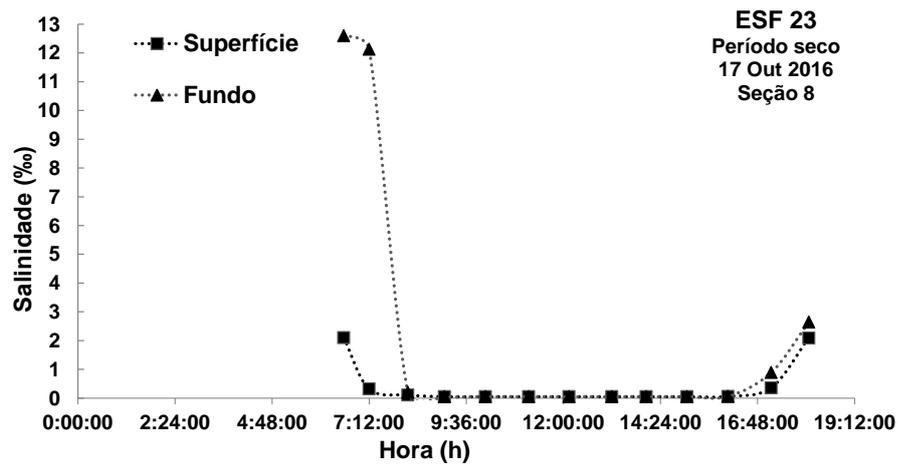


Figura 26 – Relação entre valores de salinidade da superfície e fundo, e vazões defluentes em Piranhas na margem esquerda da seção 8 (ponto ESF23)-Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km da foz (ponto fixo)

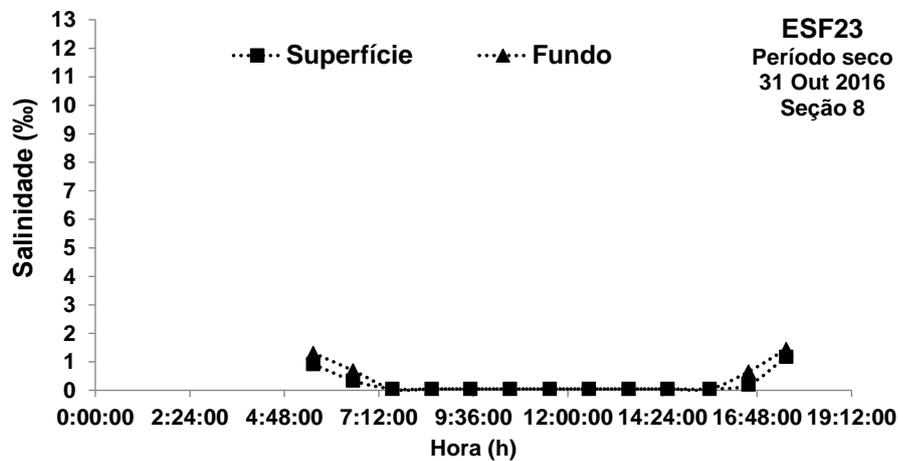
Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Comparando os resultados obtidos no monitoramento móvel e fixo, observa-se que no monitoramento fixo se obtém com maior fidelidade o comportamento da salinidade. Isso ocorre devido à maior possibilidade de se fazer as medições localmente nos horários mais precisos no ciclo de maré.

Como foram feitas muitas medidas neste ponto amostral, foram selecionados os dias de coleta com valores de salinidade mais baixos e mais altos para a construção dos perfis de salinidade nos períodos seco e úmido (Figuras 27 e 28).



(a) Valores mais altos



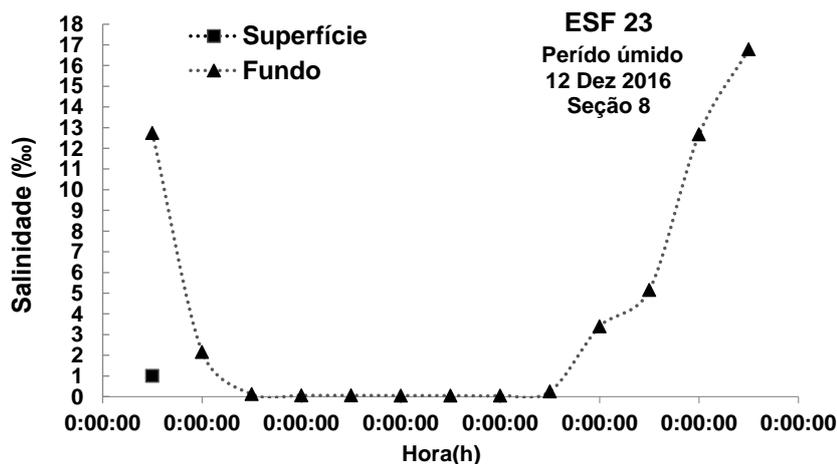
(b) Valores mais baixos

Figura 27–Valores mais altos e mais baixos alcançados nas campanhas da Chesf nos anos 2016-2017 (período de vazão reduzida) na margem esquerda da seção 8 no período seco (ponto ESF23) - Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km da foz

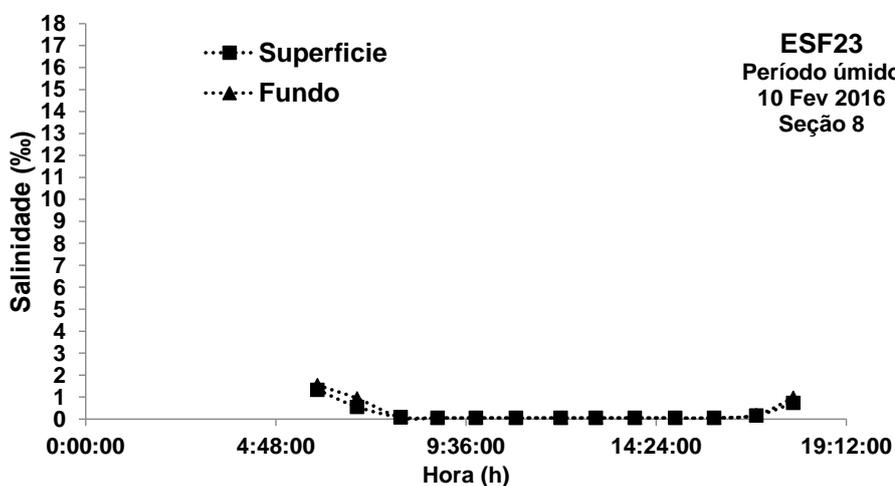
Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

No período seco foram observados valores extremos de salinidade variando de 1,5 ‰ a 12 ‰ no fundo, e 1 a 2 ‰ na superfície (Figura 27).

No período úmido foram identificados valores extremos de salinidade variando de 1 ‰ a 17 ‰ no fundo e na superfície, de 1 ‰ a 6 ‰. Na maré de baixa mar é possível perceber que a água apresenta características de água doce (Figura 28).



(a) Valores mais altos



(b) Valores mais baixos

Figura 28– Valores mais altos e mais baixos alcançados nas campanhas da Chesf nos anos 2016-2017 (período de vazão reduzida) na margem esquerda da seção 8 (ponto ESF23) - Piaçabuçu-AL, distante 12,4 km da foz

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

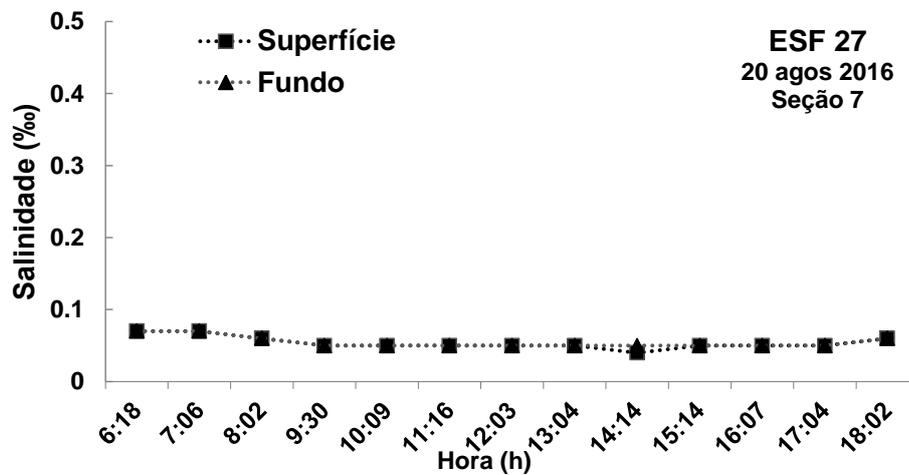
Os valores mais altos de salinidade encontrados no período úmido na seção 8 estão de acordo com o estudo da influência da sazonalidade na salinidade, realizados no trecho de referência.

6.4.7 Estudo do comportamento da salinidade na seção 7

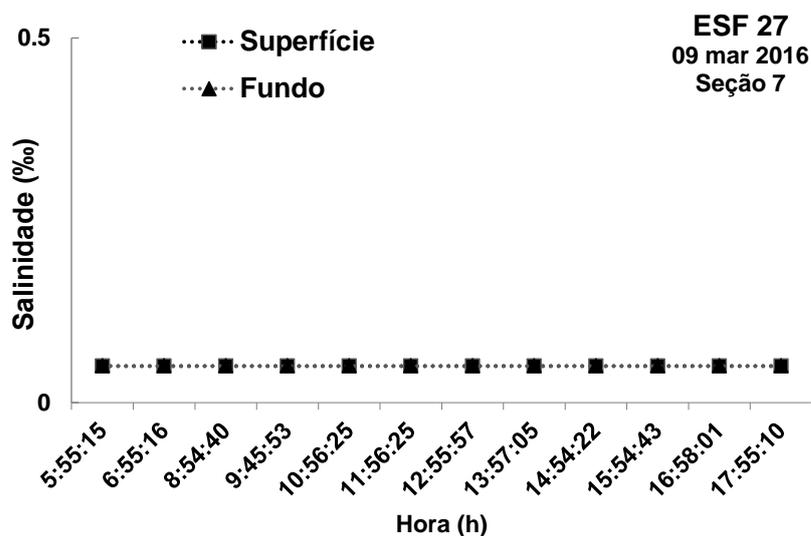
A seção 7, distante da foz 14,4 km, passa próximo ao centro da cidade de Brejo Grande-SE e chega a Piaçabuçu-AL na margem esquerda. Nessa seção há dados na margem direita no ponto amostral ESF 27.

- Margem direita

Nessa seção, em virtude da quantidade de dados, preferiu-se representar a salinidade pelo seu perfil. Foram escolhidos os dias de coleta que revelaram os valores mais altos de salinidade obtidos no monitoramento fixo, no ponto ESF27 (distante da foz 13,4 km) no período seco e úmido (Figura 29).



(a)



(b)

Figura 29 –Perfil de salinidade no período seco (a) e no período úmido (b) na margem direita da seção 7 (ponto ESF27) - Brejo Grande-SE, distante 13.4 Km das foz

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

Os valores de salinidade da água se mantiveram dentro do limite de água doce na margem direita da seção 7.

6.4.8 Estudo do comportamento da salinidade na seção 6

- Margem esquerda

A seção 6 distante da foz 15,2 km, passa em frente ao centro da cidade de Brejo Grande-SE e chega a Piaçabuçu-AL na margem esquerda. Nessa seção foram levantados dados primários no ponto amostral PA5 apenas na margem direita.

Os valores no perfil de salinidade permaneceram abaixo de 0,5 ‰, tanto na baixamar quanto na preamar, indicando característica de água doce (Figura 30).

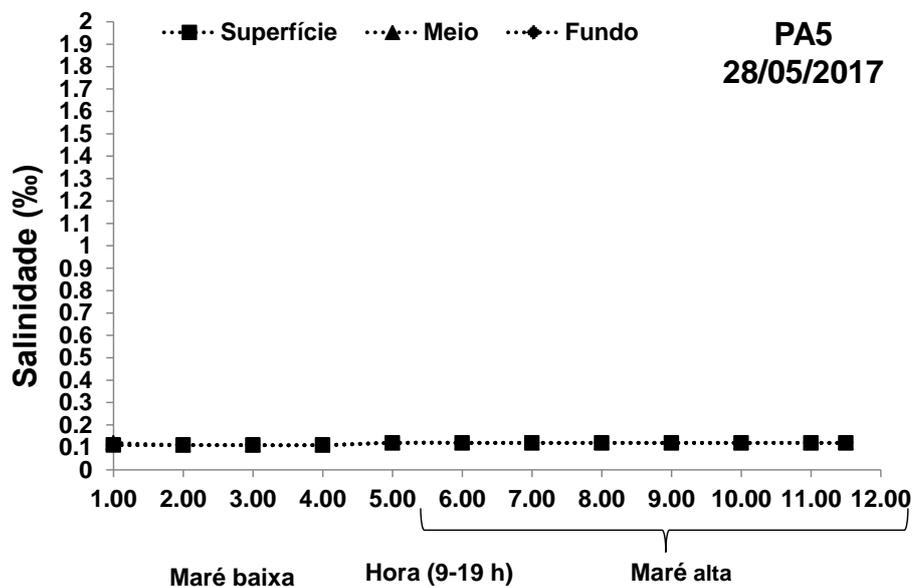


Figura 30– Perfil vertical de salinidade, na superfície, meio e fundo, durante maré de sizígia, na margem direita da seção 6 (ponto amostral PA5), distante da foz 14 km, na seção Brejo Grande-SE / Piaçabuçu-AL

Fonte: Próprio Autor

6.4.9 Estudo do comportamento da salinidade na seção 5

A seção 5 distante da foz 15,5 km, passa por Piaçabuçu-AL na margem esquerda e Brejo Grande-SE, margem direita, próximo ao ponto de captação de água para abastecimento humano.

- **Margem esquerda**

Os dados da margem esquerda dessa seção foram disponíveis no ponto amostral ESF30. Os valores de salinidade permanecem em torno de 0.05 ‰, o que evidencia que a maré não tem força, até o momento, para atingir a margem esquerda da seção (Figura 31).

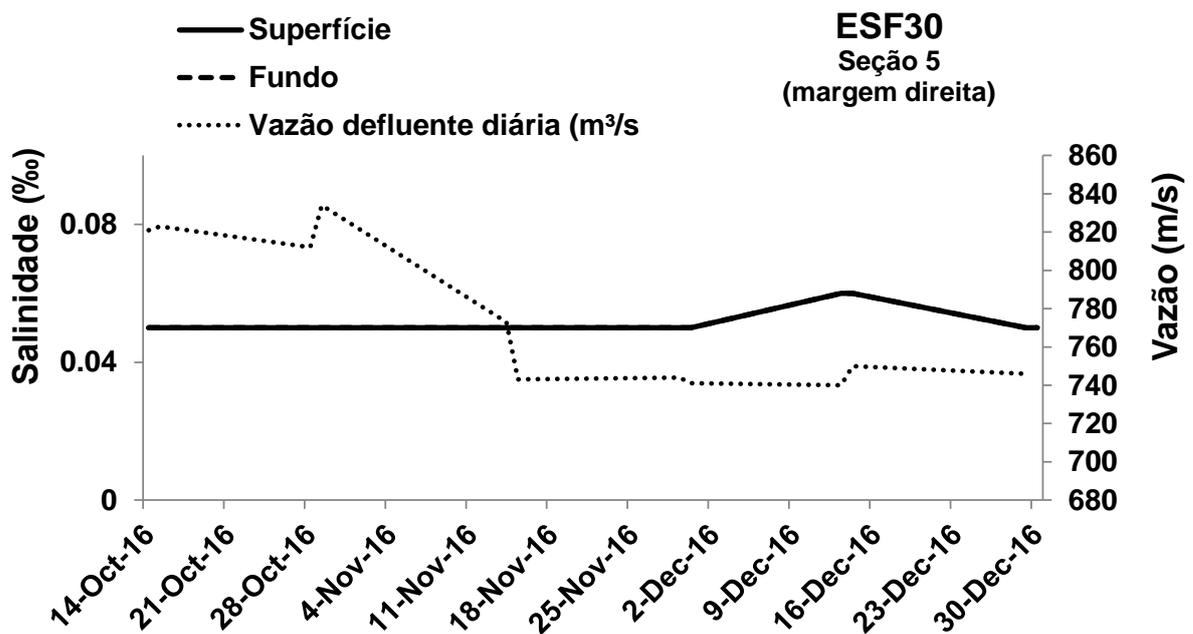
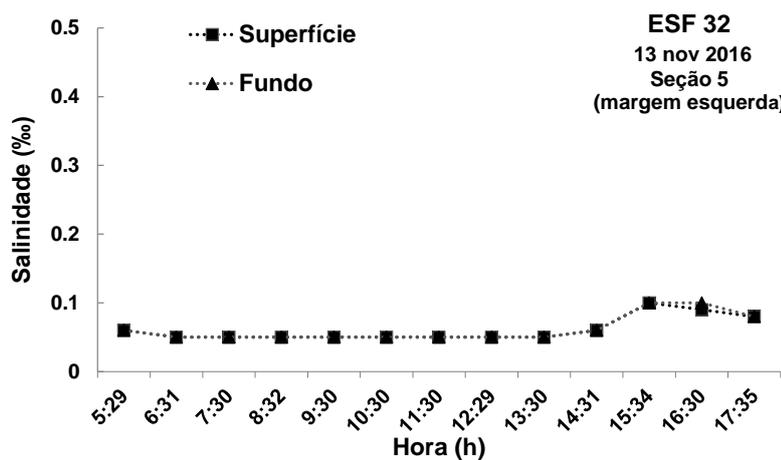


Figura 31– Relação entre salinidade da superfície e fundo, e vazões defluentes, em Piranhas, na margem esquerda da seção 5 (ponto ESF30)-Piaçabuçu-AL, distante 17 km das foz

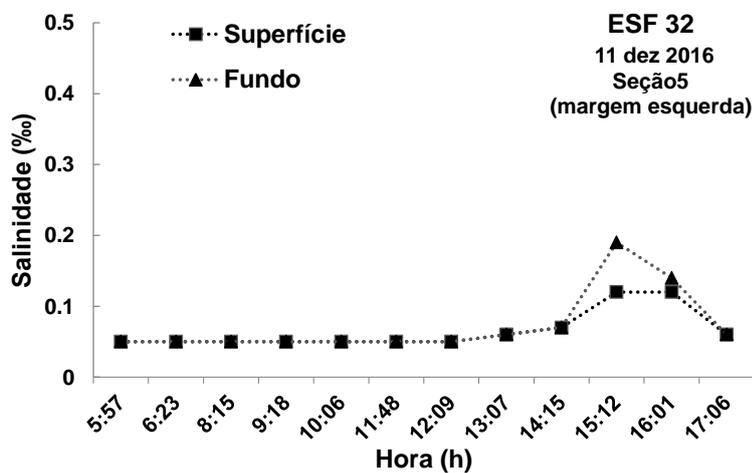
Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

- **Margem direita**

O ponto ESF 32, próximo à captação de água, foi utilizado para o estudo na margem direita da seção 5. Os valores de salinidade nesse ponto também não estão acima do limite de água doce, apesar do trecho sofrer a influência da maré. Este comportamento foi verificado tanto no período seco quanto no úmido (Figura 32).



(a)



(b)

Figura 32 –Perfil de salinidade no período seco (a) e úmido (b) no ponto ESF32-Brejo Grande-SE, distante 14,7 km das foz

Fonte: Próprio Autor, baseado em dados disponibilizados pela Chesf

6.5 Análise da variação espacial da salinidade no trecho fluvial

Subindo o rio, à montante, as seções com os respectivos pontos amostrais localizados no meio³ da calha do rio, vão de PA4 a PA1. Os resultados obtidos nesta campanha não indicaram valores elevados de salinidade em nenhuma das seções analisadas, os quais permaneceram abaixo de 0.05 ‰, cerca de dez vezes menor que o limite de salinidade, que é igual a 0.5 ‰ estabelecido para água doce. A localização dos pontos e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2- Resultados do monitoramento longitudinal de salinidade (‰) na maré baixa e alta de Sizígia nas seções PA4, PA3, PA2 e P1, distantes da foz, respectivamente 21,6 km, 54,6 km, 102,3 km e 160,2 km

Seção	Ponto amostral	Localização (meio da calha)	Data da medição	Maré alta			Maré baixa		
				superfície	meio	fundo	superfície	meio	fundo
4	PA4	Ilha das Flores-SE- Penedo-AL	28/04/2017	0,030	0,032	0,037	0,030	0,030	0,031
3	PA3	Pindoba-SE- Xinaré-AL	27/04/2017	0,029	0,033	0,032	0,032	0,031	0,031
2	PA2	Gararu-SE- Traipu-AL	26/04/2017	0,035	0,031	0,032	0,030	0,030	0,030
1	PA1	Niterói-SE- Pão de Açúcar-AL	25/04/2017	0,029	0,033	0,033	0,030	0,030	0,030

Fonte: Próprio Autor

Os resultados indicam que no trecho fluvial não houve influência da maré no período em que as amostras foram coletadas; porém, seria necessário realizar monitoramento fixo na seção 4; isto é, medições de 13 horas na superfície, meio e fundo na maré de sizígia, a fim de validar estes resultados. Apesar da medição na seção 4 não ter sido realizada como mencionado, os resultados de dados secundários obtidos no alto do estuário, indicam que a cunha salina ainda não alcançou a seção 5, a mais distante da foz no estuário. Isso implica que a seção 4 e as subsequentes, provavelmente não sofrem com o avanço da cunha salina.

Nota 3: Na seção 4 não foi possível realizar a medição no meio da calha devido a presença de uma ilha, entretanto foram realizadas medições em ambas as margens da seção. Como os valores foram os mesmos, manteve-se o ponto amostral PA4 do lado direito da seção a fim de corroborar com as próximas seções amostrais de dados primários, seções 5 e

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Além do avanço da cunha salina, foi estudado, o comportamento da salinidade durante todo o período (2008 a 2017), nas marés de quadratura e de sigízia, a influência da sazonalidade na salinidade e por fim a co-relação entre a vazão e a salinidade, possibilitando perceber o comportamento temporal e espacial da salinidade no baixo trecho do rio São Francisco. Deste estudo pode-se concluir:

1. Após as reduções de vazão defluente, os pontos mais afastados da foz, no trecho de referência, ES14 (distante 7,3 km) e ESF18 (distante 9,3 km) passaram a apresentar o mesmo comportamento do ponto ESF10, mais próximo da foz, mostrando tanto na superfície quanto no fundo do rio a forte influência da redução das vazões defluentes, evidenciando o avanço da cunha salina em cerca de 4 km, após as reduções das vazões defluentes em 2013;
2. Naquele ponto mais próximo da foz (ESF10) os valores de salinidade em geral, deram mais altos no período úmido, o que pode ser explicado pela proximidade do ponto com as margens ou intensidade das chuvas que transportam sedimentos e sólidos totais dissolvidos para a calha do rio. Mas, é possível que o manejo e uso do solo estejam influenciando o resultado, além da possibilidade do acúmulo de sais no médio estuário.
3. Em relação à correlação entre as vazões defluentes e a salinidade no estuário, pode-se concluir que as reduções de vazões defluentes exercem forte influência no aumento da salinidade.
4. Com a continuidade das reduções de vazões, pontos mais afastados da foz passaram a apresentar valores elevados de salinidade tanto no fundo quanto na superfície, como foi evidenciado na seção 11 (ponto amostral ESF18), distante da foz 9,3 km, nos anos de 2013 a 2017, mostrando que as reduções das vazões defluentes, a partir do ano de 2013, contribuíram para o aumento da salinidade.

5. Nas imediações da cidade de Piaçabuçu-AL, pode-se inferir pelos resultados anteriores às reduções de vazão, entre os quais não haviam valores de salinidade acima de 0,5 ‰, que a água era sempre doce. Após as reduções de vazões, iniciadas em 2013, apesar dos valores de salinidade oscilarem com características de água doce à água salobra, valores elevados de salinidade ocorriam não apenas no fundo, mas também na superfície, chegando a atingir 18 ‰ no fundo e 13 ‰ na superfície. No período seco, os valores também ficavam acima de 0,5 ‰. Tais valores elevados de salinidade ocorreram principalmente na preamar de sizígia, sendo mais elevados no período úmido, nos anos de 2016 e 2017. Nos horários de baixa-mar, as características do rio nas imediações da cidade de Piaçabuçu são de água doce;

6. Evidencia-se que a situação de escassez de água que levou às reduções da vazão mínima de restrição defluente da barragem de Xingó, teve como consequência o avanço da cunha salina com forte impacto na qualidade da água em termos de salinidade com aumento dos valores de salinidade, inclusive acima dos limites de água doce (0,5 ‰), na preamar de sizígia.

REFERÊNCIAS

- ALBER, M. A. Conceptual Model of Estuarine Freshwater Inflow Management. *Estuaries*, v. 25, n. 6B, p. 1246-1261, 2002.
- ALMEIDA, G. M.; SILVA JUNIOR, G. C. Fatores Hidrogeológicos no Estudo da Intrusão Salina em Aquíferos Costeiros da Região Litorânea do Município de Maricá – RJ. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. v. 30_2, p. 104-117, 2007.
- AL-NASRAWI, A. K. M.; JONESA, B. G.; ALYAZICHIA, Y. M.; HAMYLTONA, S. M.; JAMEEL, M. T.; HAMMADIC, A. F. Civil-GIS incorporated approach for water resource management in a developed catchment for urban-geomorphic sustainability: Tallowa Dam, southeastern Australia. *International Soil and Water Conservation Research*, n.4, p. 304–313, 2016.
- AL-TAANI, A. A. Trend analysis in water quality of Al-Wehda Dam, north of Jordan. *EnvironMonitAssess*, n. 186, p. 6223–6239, 2014.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Relatório da ANA apresenta situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica (04/12/2017). Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ana/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>. Acesso em: : 5 dez. 2017.
- ARAÚJO, S.S.; Aguiar Netto, A.O.; SALES, J.M.J. O peixe, o pescador e a barragem de Xingó no baixo São Francisco em Sergipe e Alagoas no Brasil. *RevIPI, São Cristóvão*, v. 2, n.1, 2016.
- ASHBY, M.F. 2013. Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão. In: CALIJURI, M.do C.& CUNHA, D.G.F. (coordenadores). Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. ISBN: 978-85-352-5954-4
- ATTRILL, M. J.; RUNDLE, S. D.; THOMAS, R. M. The influence of drought-induced low freshwater flow on an upper-estuarine macroinvertebrate community. *Water Research*, n.30, p. 261-268, 1996.
- BACHMAN, P.M.; RAND, G, M. Effects of salinity on native estuarine fish species in South Florida. *Ecotoxicology*. v.17, p. 591–597, 2008.
- BANDEIRA, J.V; FARIAS, E. G. G.; LORENZZETTI, J, A; LÉCIO HANNAS; SALIM, L, H. Resposta morfológica da foz do Rio São Francisco, devido à retenção de sedimentos nos reservatórios. *VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias, Rio Grande*, v. 23, n. 1, p. 5-17, 2013.
- BARBOSA, W. F. A. Estrutura da comunidade fitoplanctônica do estuário do rio São Francisco. 2011. Dissertação- Mestrado em Oceanografia. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- BATE, G.C.; WHITFIELD, A.K; ADAMS, J.B.; HUIZINGA, P.; WOOLDRIDGE, T.H. The importance of the river-estuary interface (REI) zone in estuaries. *Water SA*, n. 28, p. 271-279, 2002.
- BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. *Estudos Avançados.São Paulo*, v. 21, n. 59, p. 139-153, 2007. Disponível em:

<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10211/11812>. Acesso em: 07, setembro, 2017.

- BLABER, S. J. M. Tropical estuarine fishes: ecology, exploitation and conservation. Queensland, Blackwell Science, London, 372 p, 2000.
- BRANDT, S. A. Conceptualization of hydraulic and sedimentary processes in downstream reaches during flushing of reservoirs. In: XXXI International Association of Hydraulic Engineering and Research Congress, Water Engineering for the Future: Choices and Challenges. Seoul, Korea. 2005.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. Brasília: SVS, 2011.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação DOU n. 53, de 18/03/2005, pag. 58-63. Brasília, 2005.
- BUNN, S.E.; ARTHINGTON, A.H. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management*, v. 30, n. 4, p. 492–507, 2002.
- CALLISTO, M.; REGINA, D.; GOMES, V. Macroinvertebrados bentônicos bioindicadores de qualidade de água: subsídios para a vazão ecológica no baixo rio São Francisco. XXVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: http://labs.icb.ufmg.br/benthos/index_arquivos/pdfs_pagina/CallistoDV2009.pdf f. Acesso: 04 de abril de 2017.
- CAMPO, J.; LORENZO, M.; PÉREZ, F.; PICÓ, Y.; FARRÉ, M.; BARCELÓ, D. Analysis of the presence of perfluoroalkyl substances in water, sediment and biota of the Jucar River (E Spain). Sources, partitioning and relationships with water physical characteristics. *Environmental research*, v. 147, p. 503-512, 2016.
- CAMPOS, J.N.S. Vulnerabilidade do semi-árido às secas, sob o ponto de vista dos recursos hídricos. Brasília, Projeto Áridas – RH, SEPLAN/PR, 1995 in BRASIL. Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao0303201_023538.pdf> Acesso: 5 nov. 2015.
- CAVALCANTE, A. J. B. D. Impactos nos processos morfológicos do baixo curso do rio São Francisco, decorrentes da construção de barragens. 2011- Dissertação- Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- CAVALCANTE, G., MEDEIROS, P. R. P., SOUZA, R. M. G. Circulation and salt intrusion under low river discharge conditions, São Francisco River Estuary (NE Brazil). In: VI Congresso Brasileiro de Oceanografia, n. 7, Anais. Associação Brasileira de Oceanografia, 2014.

- CAVALCANTE, G.; MIRANDA, L.B.; MEDEIROS, P.R.P. Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). *Brazilian Journal of Water Resources*, v. 22, e 31, 2017.
- CBHSF – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Módulo 1. Resumo Executivo. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco PBHSF (2004-2013). CBHSF: 2004.
- _____. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Apresentação Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco PBHSF (2016-2025). CBHSF: 2016.
- CHEEK, C.A., TAYLOR, C.M.: Salinity and geomorphology drive long-term changes to local and regional fish assemblage attributes in the lower Pecos River, Texas. *Ecology of Freshwater Fish*, n.25, p. 340–35, 2016.
- CHESF– Companhia Hidrelétrica do São Francisco. Inventário dos Ecossistemas Aquáticos do Baixo São Francisco Relatório Triannual Dezembro/2007 a Novembro/2010. CT-I– 92.2007.3540.00. Janeiro/2011.
- _____. Relatório de Impacto Ambiental –RIMA,1992.
- _____. Autorização Especial para operação das usinas hidrelétricas da Chesf no rio São Francisco. Relatório mensal 1.Junho/2013.
- _____. Continuação dos serviços do Programa de monitoramento do rio São Francisco durante o período de vazão reduzida. Setembro de 2014/Julho de 2015. CTNI - 92.2014.0050.00 Agosto/2015.
- _____. Monitoramento do rio São Francisco. Disponível em: <http://www.chesf.gov.br/sustentabilidade/Pages/MeioAmbiente/Monitoramento-do-Rio-Sao-Francisco.aspx>. Acesso: jul de 2017.
- _____. Envio dos dados de vazão para o Projeto AHIA da Rede HIDROECO-UFBA. sonali@chesf.gov.br Recebido em: 20 de abril e 06 de setembro de 2017.
- _____. Envio dos dados de qualidade da água para o Projeto AHIA da Rede HIDROECO –UFBA. thiagov@chesf.gov.br Recebido em: 12 de junho de 2017.
- _____. Programa de Monitoramento dos Ecossistemas Aquáticos do Reservatório de Xingó e Baixo São Francisco. 1º Relatório Quadrimestral 2013/2014. Abril/2014.
- COSTA, T. Apoio a decisão ao processo de definição da vazão ambiental: caso de estudo trecho baixo do rio São Francisco. 2010. Dissertação Mestrado – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- CUNHA, C. J. Regularização da vazão e sustentabilidade de agroecossistemas no estuário do rio São Francisco. 2015. Tese de Doutorado- Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências e Tecnologia Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2015

- DAVIS Jr., RICHARD A. "Coastal Sedimentary Environment". SpringerVerlag, n. 2, p. 716, 1985.
- DIMAGGIO, M. A., BRETON, T. S., KENTER L. W., DIESSNER, C.G., BURGESS A. I., BERLINSKY, D.L. The effects of elevated salinity on river herring embryo and larval survival. *Environ Biol Fish*, n. 99, p. 451–461, 2016.
- DYER, K. R., *Estuaries: A Physical Introduction*. Chichester, England, John Wiley & Sons Ltd, n.2, p.195, 1997.
- DYER, K.R., 1995. Sediment Transport Processes in Estuaries. In: Perillo, G. M. E. (ed). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Developments in Sedimentology, n. 53, Elsevier, p. 423-449.
- ELLIOTT, A J. 1982. Wind-driven flow in a shallow estuary. *Oceanologica Acta*, v. 5, n.1 p. 7-10.
- FADURPE. Monitoramento e Avaliação da Introdução da Cunha Salina no Estuário do rio São Francisco. (Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF, 2011, 178 p. (Relatório Final).
- FELIPPE M. F.; MAIA-RODRIGUES, A. B.; MAGALHÃES H. P. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na análise da dinâmica morfológica da foz do rio São Francisco no período de 1979 a 2008. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, p. 3737-3744, 2009.
- FETTWEIS, M; SAS, M. & MONBALIU, J., 1998. Seasonal, Neap-spring and Tidal Variation of Cohesive Sediment Concentration in the Scheldt Estuary, Belgium *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. n. 47, p. 21– 36.
- FONTES, A. S.; ARAGÃO, A. L.; MEDEIROS, Y.D.P. Estudo da alocação de água no rio São Francisco considerando a demanda ambiental. II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH, 2014. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/xiisrhn/apresentacoes.php>. Acesso 04/10/2015.
- FROTA, F. F; PAIVA, B. P.; SCHETTINI, C.A.F. Intra-tidal variation of stratification in a semi-arid estuary under the impact of flow regulation. *brazilian journal of oceanography*, v.61, n. 1, p.23-33, 2013.
- GEDDES, M.C.; BUTLER, A.J. Physicochemical and biological studies on the Coorong lagoons, South Australia, and the effect of salinity on the distribution of the macrobenthos. *Trans. R. Soc. S. Austrália*, n.108, p. 51-62, 1984.
- GENZ, F. Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo Sobre a Circulação Estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguape. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2006.
- GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A. J.; NIX H. A. *Salinisation of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies*. University of New South Wales Press Ltd., Sydney, Australia, 1995.
- GILLANDERS, B.M.; KINGSFORD, M.J. Impact of changes in flow of freshwater on estuarine and open coastal habitats and the associated organisms. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu*, n. 40, p. 233-309, 2002.
- GRAF W. L. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, n.79, p. 336-360, 2006.

- HOAGSTROM, C.W. Causes and impacts of salinization in the lower Pecos River. *Great Plains Research*, v.19, p. 27–44, 2009.
- HOAGSTROM, C.W. Historical and recent fish fauna of the lower Pecos. In: *Contributed papers from a special session within the thirty-third annual symposium of the desert fishes council*. Alpine, TX: Sul Ross State University. Occasional Papers, Museum of Texas Tech University. p. 21, 2003.
- HOLANDA, F.S.R.; SANTOS, L. G. C. ; SANTOS, C. M.; CASADO , A. P. B.; PEDROTTI, A. ; RIBEIRO, G. T. Riparian vegetation affected by bank erosion in the lower São Francisco River, northeastern Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.327-336, 2005.
- JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, Canadá, v. 106, p. 110-127, 1989.
- KEFFORD, B.J.; HICKEY, G.L.; GASITH, A.; BEN-DAVID, E.; DUNLOP, J.E.; PALMER, C.G.; PISCART, C. Global scale variation in the salinity sensitivity of riverine macroinvertebrates: Eastern Australia, France, Israel and South Africa. *Plos One*, v.7, n.5, p. 35224, 2012.
- KHANOM, T, Effect of salinity on food security in the context of interior coast of Bangladesh, *Ocean & Coastal Management*. n. 130 p. 205 e 212, 2016.
- KINGSFORD, R. T.; HANKIN, C. The impact of the proposed Tillegra Dam on the Hunter River Estuary, its Ramsar wetland and migratory shorebirds. *Australian Wetlands and Rivers Centre*, University of NSW, Sydney, 2010. Disponível em: https://www.ecosystem.unsw.edu.au/files/Impact-of-proposed-Tillegra-Dam_Kingsford-and-Hankin_2010.pdf
- KNOPPERS, B.; MEDEIROS, P. R. P.; SOUZA, W. F. L.; JENNERJAHN, T. The São Francisco estuary, Brazil. In: WANGERSKY, P. (Ed.). *The handbook of environmental chemistry – Water Pollution: estuaries*. Berlin: Springer Verlag, v. 5 p. 1-20, 2005.
- LIMA, G. M. P.; LESSAAC, G. C.; FRANKLINA, T. S. Avaliação dos impactos da barragem de Santa Helena no trecho estuarino do rio Jacuípe, litoral norte da Bahia - Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 2, n.1, p.40-54, 2010.
- LOTZE, H.K.; LENIHAN, H.S.; BOURQUE, B.J.; BRADBURY, R.H., COOKE, R.G.; KAY, M.C.; KIDWELL, S.M.; KIRBY, M.X.; PETERSON, C.H.; JACKSON, J.B.C. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, v. 302, n. 312, p.1806-1809, 2006.
- LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R.; HAITH, D. A. *Water resource systems planning and analysis*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, p.559, 1981.
- LUNDQVIST, J. Avert looming hydrocide. *Ambion*. v. 27, p. 428– 433, 1998.
- LUZ, L.D. (Coord.). Identificação de regime hidrológico compatível com objetivos ecológicos para o baixo curso do Rio São Francisco. Relatório Final – Projeto de Pesquisa Estudo do regime de vazões ecológicas para o baixo curso do rio São Francisco: uma abordagem multicriterial. Universidade Federal da Bahia/Grupo de pesquisa em Geo-Eco-Hidrologia, 2010.

- MEDEIROS, P. R. P. (Coord.) Influência das oscilações das marés na concentração de nutrientes e do plâncton no estuário do rio São Francisco. In: Programa de Pesquisa e Desenvolvimento P&D para o ciclo 2003/2004. Contrato CTI 92.2005.7480.000. Maceió. 2006.
- MEDEIROS, P. R. P. In: I congresso ibero-americano de oceanografia. Anais do III Congresso Ibero-Americano de Oceanografia, Fortaleza-CE. 2008.
- MEDEIROS, P. R. P. KNOPPERS, B. A.; SANTOS JÚNIOR, R. C.; SOUZA, W.F.L. Aporte fluvial e dispersão da matéria particulada em suspensão na zona costeira do estuário do rio São Francisco (SE/AL). *Geochimica Brasiliensis*, v. 21, n. 2, p. 209- 228, 2007.
- MEDEIROS, P.R.P.; CAVALCANTE-SEGUNDO, G.H.; MELO MAGALHÃES, E.M.Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). *Geochimica Brasiliensis*, v. 29, n.1, p. 35-44,2015.
- MEDEIROS, Y.; PINTO, I. M.; STIFELMAN, G. M.; FARIA, A. S.; PELLI, J. C. S.; RODRIGUES, R. F.; SILVA, E. R.; COSTA, T.; BOCCACIO, M. X.; SILVA, E. B. G. Participação Social no Processo de Alocação de Água, no Baixo Curso do Rio São Francisco. Projeto de pesquisa MCT/CNPq/CT-Hidro no 45/2006, 2010.
- MELO, E. R. Processos hidrodinâmicos e implicações na carga de nutrientes no estuário do rio São Francisco decorrente das reduções de vazões. 2017- Dissertação- Programa de pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas.
- MELO-MAGALHÃES, E. M.; MOURA, A. N. ; MEDEIROS, P. R. P. , LIMA, E. L. R. , Koenig, M. I. Phytoplankton of the São Francisco river estuarine region (NORTHEASTERN BRAZIL): A Study of its Diversity- *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, v. 15, n. 1, p. 95-105, 2011.
- 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
- MIYAMOTO, S. Flow, salts, and trace elements in the Rio Grande: a review. Technicalreport TR-169, Texas: Water Resources Institute,1995.
- NASCIMENTO, M. C.; RIBEIRO JÚNIOR, C.E.; AGUIAR NETTO, A.O. Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco. CBHSF, Maceió, AL, 175p, 2013
- ODUM, E.P. Fundamentals of ecology. 3 ed. Philadelphia, Saunders, 1971, 574 p.
- OLIVEIRA, A. M. Estudo Hidrodinâmico-Sedimentológico do Baixo São Francisco, Estuário e Zona Costeira Adjacente (AL/SE). Projeto GEF São Francisco (ANA/ GEF/ PNUMA /OEA). UFAL, 2003. 81 p. (Relatório Final).
- OLIVEIRA, A. M.; MEDEIROS, P.R.P.; LIMA, E.L.R.;HERNANDEZ, A.O. Dinâmica da formação da cunha salina no estuário do rio São Francisco. In:

Congresso Brasileiro de Oceanografia 3, Fortaleza. Anais...Fortaleza: AOCEANO, 2008.

- PERILLO, G. M. E. Definitions and Geomorphologic Classification of Estuaries. In: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Chapter 2. *Developments in Sedimentology*, v 53. p. 17-47,1995.
- PESO - AGUIAR, M.; ZANATA, A. M.; ADORNO, E.V.; FIUZA, J. M. S.; MAFALDA, P. J.; ANDRADE, W. S.; SILVA, A. M.; BRUGER, R.; PEREIRA, F. C. B.; PENA, J. C. C.; PORTELA, K. L. T.; FRAGA, V. O. F. Relatório Final - Projeto 2.4 – Caracterização de ictiofaunabiocindicatora da vazão ecológica para o Baixo Curso do Rio São Francisco. In: *Estudo do regime de vazão ecológica para o Baixo curso do rio São Francisco: uma abordagem multicriterial*. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2009.
- PINHEIRO, Lidriana de Souza; MORAIS, J. O. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-Nordeste do Brasil. *Sociedade & natureza (UFU. Online)*, v. 22, p. 237-250, 2010.
- PISCART, C., MORETEAU, J.C., BEISEL, J.N.: Biodiversity and structure of macroinvertebrate communities along a small permanent salinity gradient (Meurthe River, France). *Hydrobiologia*, v. 551, n.1, p. 227–236, 2005.
- POFF NL, WARD JV. Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, n. 46, p.1805-1818, 1989.
- PRITCHARD, D. W. Estuarine Circulation Patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng*, v. 87, n.717, p.1-11, 1955.
- RAHMAN M. H.; LUNDB, T.; BRYCESON, I. Salinity impacts on agrobiodiversity in three coastal, rural villages of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, v. 54, n. 455 e 468, 2011.
- ROBINSON C. T.; UEHLINGER U. Experimental floods cause ecosystem regime shift in a regulatedriver. *Ecological Applications*, v.18, n. 2, p. 511–526, 2008.
- SCHRÖDER, M., SONDERMANN, M., SURES, B., HERING, D.: Effects of salinity gradients on benthic invertebrate and diatom communities in a German lowland river. *EcologicalIndicators*, n. 57, p. 236-248, 2015.
- SHAHID, S.A., ABDELFAHATTAH, M.A., TAHA, F.K. *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture*. Springer Science & Business Media, 2013.
- SILVA, T. R.; COUTO, G. A.; CAMPOS,V.P.; MEDEIROS,Y.D.P.: Influência do regime de vazão da usina hidrelétrica de Pedra do Cavalo no comportamento espacial e temporal da salinidade no trecho fluvioestuarino do baixo curso do rio Paraguaçu à baía do Iguape. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, p. 310-319. jun. 2015.

- SOUZA, R. M. G. Caracterização hidrodinâmica e estimativa do transporte de sal no estuário do rio São Francisco. 2015. Dissertação- Programa de Pós Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas.
- TRUCCOLO, E. C. & SCHETTINI, C. A. F. 2009. Condições meteorológicas costeiras na região do estuário o Rio Itajaí-Açú. In: BRANCO, J.O.; LUNARDONBRANCO, M. J. & BELLOTTO, V.R. (Org.). Estuário do Rio Itajaí-Açú, Santa Catarina: caracterização ambiental e alterações antrópicas. Editora UNIVALI, Itajaí, SC, p.75-90.
- WANG, D.P. Wind-driven circulation in the Chesapeake Bay, winter 1975. *Jour of Physical Oceanography*, v. 9, p. 564-572, 1979.
- WARD, J. V.; TOCKNER, K.; SCHIEMER, F. LAYZER, J. B. Biodiversity of floodplain ecosystems: Ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research and Management*, v.15, p.125–139, 1999.
- WEDDERBURN, S. D.; BAILEY, C. P.; DELEAN, S.; PATON D. C. Population and osmoregulatory responses of a euryhaline fish to extreme salinity fluctuations in coastal lagoons of the Coorong, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.168, p. 50-57, 2016.
- WHITFIELD, A.K. Fishes and freshwater in southern African estuaries e a review. *Aquatic Living Resources*, n.18, p. 275-289, 2005.
- WILLIAMS, W.D. Salinization of rivers and streams: an important environmental hazard. *Ambio*, v. 16, p.180–185, 1987.
- WILLIAMS, W.D. Australian salt lakes conductivity and salinity. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, v.2, n. 37, p. 177 – 182, 1986.
- WOLANSKI, E.; HUAN, N. N.; DAO, L. T.; NHAN, N. H. & THUY, N. N. Fine-sediment Dynamics in the Mekong River Estuary, Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.43, p. 565–582, 1996.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. Ecología de la zona costera: análisis de siete tópicos. México: AGT, 1986. 189 p.
- ZHANG, T.; ZHUANG, P.; ZHANG, L.; HOU, J.; WANG Y. The underlying fish community structure characteristics in the Yangtze Estuary Chinese sturgeon nature reserve. *Acta Ecologica Sinica*, v. 31, p.1687–1694, 2011.
- * Sival Ribeiro Senna. Geógrafo e Especialista em Geotecnologia. Contato: sivsennarb@gmail.com

ANEXO A-Resultados da campanha de perfil de salinidade no ponto amostral PA6

HORA	Posição	Altura	Ponto: PA 6 DATA: 27/05/2017. COORDENADAS: 10° 25' 17,3"S / 36° 26' 34,3" W							
			Parâmetros físico-químicos: Água							
			pH	Pot Redox (*.1 mEV)	O2 mg/L	O2 %	Condutividade µS/cm	S T D mg/L	Sal‰	T (°C)
8:51	S	0.2	7.84	40.8	7.12	87.9	167.9	79.7	0.08	26.67
9:06	M	1.5	7.89	43.6	7.34	90.9	147.2	69.7	0.07	26.83
9:20	F	4	7.77	37.2	7.17	89	144.2	68.3	0.07	26.87
9:54	S	0.2	7.72	33.9	7.13	88.6	137.2	64.9	0.06	26.97
10:04	M	1.5	7.84	40.8	7.26	90.2	138.8	65.7	0.06	26.93
10:16	F	4	7.74	35.1	7.1	85.5	140.1	66.3	0.07	27.07
11:00	S	0.2	8.89	99.3	6.98	86.5	150.3	71.2	0.07	26.9
11:10	M	1.5	7.66	30.8	6.89	85.8	153.2	72.6	0.07	27
11:20	F	3.8	7.78	37.6	6.95	86.6	155.5	73.7	0.07	27.03
11:57	S	0.2	7.78	37.6	6.78	84.6	159	75.4	0.07	27
12:08	M	1.5	7.87	42.5	7	87.3	160	75.8	0.07	27
12:16	F	3.5	7.82	39.5	6.9	84.6	160.3	76	0.07	27.17
13:00	S	0.2	7.73	34.8	6.65	83.2	163.7	77.6	0.08	27.17
13:03	M	1.5	8.23	62.8	6.84	85.4	164.2	77.9	0.08	27.1
13:12	F	3.1	7.71	33.6	6.89	86.2	163.7	77.6	0.08	27.1
13:56	S	0.2	8.21	61.5	6.65	83.2	164.6	78.1	0.08	27.07
14:07	M	2	7.81	38.9	6.95	86.8	165.1	78.3	0.08	26.97
14:14	F	4	7.81	39.1	7.11	88.6	232	110.5	0.11	26.93
15:03	S	0.2	7.79	48.1	6.84	85.7	236	112.4	0.11	27.2
15:07	M	2.3	7.88	42.9	7.1	88.3	235	112	0.11	26.9
15:17	F	4.6	7.76	36.1	7.24	89.6	239	114.1	0.11	26.73
16:00	S	0.2	7.71	33.4	6.83	85.3	245	116.8	0.12	27.03
16:07	M	2.4	7.72	34.3	7.03	87.5	246	117.2	0.12	27
16:14	F	4.8	7.74	35.5	7.08	88.3	250	119.4	0.12	27
16:54	S	0.2	7.79	38.3	6.93	86.4	398	191.4	0.19	27
17:04	M	2.5	7.95	47.1	7.16	89.2	446	215	0.21	27
17:10	F	5	7.96	47.5	7.16	89.3	513	248	0.25	26.77
17:30	S	0.2	8.06	52.9	6.96	86.9	1077	531	0.53	26.9
17:38	M	2.6	7.94	46.3	7.18	89.7	1233	611	0.61	27
17:48	F	5.2	7.93	46	7.26	90.4	1661	832	0.84	26.7
18:00	S	0.2	8.5	77.8	7	87.2	867	425	0.42	26.87
18:08	M	2.65	8.02	51.1	7.17	89.5	1473	735	0.74	26.9
18:16	F	5.3	8.02	50.6	7.32	90.9	3240	1673	1.69	26.8
18:30	S	0.2	8.52	79.1	6.99	87.2	1224	606	0.61	26.83
18:40	M	2.6	7,49*	21.3	7.2	89.7	2770	1413	1.43	26.03
18:52	F	5.2	7,62*	28	7.21	89.7	3140	1613	1.64	26.13

ANEXO B- Resultados da campanha de perfil de salinidade no ponto amostral PA5

HORA	Posição	Altura	Ponto: PA 5 DATA 28 /05/2017. COORDENADAS: 10° 25' 16,4" S / 36° 26' 34,6" W.							
			Parâmetros físico-químicos: Água							
			pH	Pot Redox (* -1 mEV)	O2 mg/L	O2 %	Condutividade µS/cm	ST D mg/L	Sal‰	T (°C)
8:35	S	0.2	9.18	115.9	6.44	81	240	114.7	0.11	27.33
8:46	M	1.95	7.72	34.27	6.71	83.4	245	117.1	0.12	27
8:53	F	3.9	7.73	34.8	6.65	82.6	244	116.2	0.11	26.9
9:31	S	0.2	8.3	66.6	6.2	76.9	242	115.4	0.11	26.93
9:37	M	1.8	7.66	31	6.5	80.8	242	115.4	0.11	26.93
9:41	F	3.6	8.59	82.6	6.45	80.1	242	115.5	0.11	26.8
10:30	S	0.2	8.03	51.6	6.22	77.2	242	115.3	0.11	26.9
10:36	M	1.75	7.66	30.9	6.46	80.2	241	115.1	0.11	27.17
10:41	F	3.3	8.07	53.9	6.41	79.7	242	115.4	0.11	27.23
11:32	S	0.2	7.62	28.6	6.09	75.6	242	115.4	0.11	26.87
11:36	M	1.7	7.6	27.6	6.47	80.5	242	115.4	0.11	26.9
11:42	F	3.4	7.57	25.8	6.48	80.6	242	115.2	0.11	26.9
12:30	S	0.2	7.7	32.9	6.2	77.3	247	117.8	0.12	27
12:35	M	1.5	7.67	31.3	6.5	81.1	248	118.3	0.12	26.9
12:41	F	3	7.68	31.9	6.55	81.6	247	117.8	0.12	26.93
13:30	S	0.2	8	49.5	6.3	78.6	248	118.3	0.12	27.07
13:34	M	1.4	8.13	56.9	6.34	84	247	118	0.12	26.93
13:40	F	2.8	7.67	31	6.62	82.5	252	120.3	0.12	27
14:30	S	0.2	7.81	39.3	6.44	80.1	247	117.8	0.12	27
14:35	M	1.45	7.63	29.1	6.61	82.5	247	117.8	0.12	27.1
14:40	F	2.9	8.06	53.1	6.6	82.5	247	117.8	0.12	27.1
15:30	S	0.2	7.91	44.5	6.25	78.6	247	117.7	0.12	27.23
15:35	M	1.75	7.61	28.2	6.72	84.1	247	117.7	0.12	27.13
15:41	F	2.5	8.02	50.8	6.63	83.1	246	117.6	0.12	27.13
16:30	S	0.2	8.01	50.2	6.3	78.6	247	117.9	0.12	27
16:34	M	2.05	7.58	26.3	6.77	84.3	247	117.9	0.12	27
16:43	F	4.1	7.61	28.1	6.65	82.9	246	117.6	0.12	26.97
17:30	S	0.2	8.07	53.4	6.26	78.1	248	118.1	0.12	27.07
17:37	M	2.4	7.58	26.2	6.66	82.8	248	118.1	0.12	27.07
17:42	F	4.9	8.09	55	6.6	82.2	247	118.1	0.12	27.07
18:30	S	0.2	7.61	28.62	6.32	78.8	246	117.6	0.12	27.03
18:38	M	2.4	8.22	62.3	6.7	83.5	247	117.9	0.12	26.97
18:43	F	4.8	7.6	27.7	6.62	82.4	248	118.2	0.12	26.87
19:00	S	0.2	7.67	31.5	6.56	81.2	247	118	0.12	26.8
19:05	M	2.05	7.64	29.4	6.73	83.5	249	118.7	0.12	26.87
19:07	F	4.15	7.6	27.6	6.64	82.5	249	119.1	0.12	26.87