

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ESTUDO DA SALINIDADE NO ESTUÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO EM DECORRÊNCIA DA REDUÇÃO DAS VAZÕES DEFLUENTES DA BARRAGEM DE XINGÓ

*Sândira Livia Moraes Fonseca*¹; *Aline Almeida de Jesus Magalhães*²; *Vânia Palmeira Campos*³ & *Yvonilde Dantas Pinto Medeiros*⁴

RESUMO – A salinidade é uma característica química da água suscetível à alterações em decorrência das variações nas vazões do rio e está intrinsecamente associada à qualidade do ecossistema. Entretanto, a salinização pode ocasionar danos irreversíveis à estrutura e função das comunidades aquáticas e também à população ribeirinha. Este trabalho analisou o efeito das sucessivas reduções de vazões defluentes da barragem de Xingó na salinidade da água no estuário do rio São Francisco, Brasil. Dados secundários de qualidade da água de 12 pontos de monitoramento foram analisados. A partir de 2013, com as reduções das vazões defluentes houve aumento significativo da salinidade no ponto amostral distante da foz 9 km, e com a continuidade das reduções de vazões, pontos mais afastados da foz apresentaram valores elevados de salinidade no fundo e na superfície.

ABSTRACT– Salinity is a chemical characteristic of water that is susceptible to changes due to variations in river flows and is intrinsically associated with the quality of the ecosystem. However, salinization can cause irreversible damage to the structure and function of aquatic communities and also to the riverside population. This work analyzed the effect of successive reductions in defluent flows from the Xingó dam on the water salinity of the São Francisco river estuary, Brazil. Secondary water quality data from 12 monitoring points were analyzed. Since 2013, with the reduction of the defluent flows, there was a significant increase in salinity at the sampling point located 9 km from the mouth, and with the continuity of the flow reductions, points further away from the mouth presented high values of salinity at the bottom and surface.

Palavras-Chave – Cunha salina, Rio São Francisco, vazão defluente de barragem

¹) Instituto Federal da Bahia – IFBA/COMAB-Campus Eunápolis/Ba, Av. David Jonas Fadini, S/Nº, Rosa Neto - Eunápolis – Ba, CEP: 45823-341, (71) 99373-9965, sandiramoraeslf@gmail.com

²) Instituto Federal da Bahia – IFBA/CEAMB-Campus Vitória da Conquista/Ba, Av. Sérgio Vieira de Mello, 3150 - Zabelê, Vitória da Conquista - BA, 45078-300 CEP: 45078-900, (75) 99256-5756, eng.alineaajm@gmail.com

³) Universidade Federal da Bahia – UFBA/LAQUAM-Campus Salvador/Ba. Campus Universitário de Ondina, R. Barão de Jeremoabo, 147 - Ondina, Salvador - BA, 40170-115 CEP: 40170-115, (71) 9995-60573, vpalmeiracampos@gmail.com

⁴) Universidade Federal da Bahia – UFBA/DEA-Campus Salvador/Ba. R. Prof. Aristίδes Novis, 2 - Federação, Salvador - BA CEP:540210-910, (71) 99961-5439, yvonilde.medeiros@gmail.com

1) INTRODUÇÃO

A alteração de fluxo dos rios é o fator que mais impacta os ecossistemas (Bunn e Arthington, 2002), podendo exercer forte influência na salinidade (Khanom, 2016). A variação sazonal da salinidade nos estuários é controlada pelo fluxo de água doce dos rios, e pode exercer impactos na manutenção do equilíbrio do ecossistema (Whitfield, 2005). Por exemplo, a biota aquática possui diferenças de preferência de faixas de salinidade, sendo comumente classificada nessas faixas (Schröder et al., 2015), portanto, a salinidade é um componente abiótico fundamental em todos os corpos d'água, mas, principalmente para o estuário, cujas características da água são bastante afetadas pela sua variação (Miranda et al., 2002).

Com uma intensa seca, iniciada em 2012 (ANA, 2017), o índice pluviométrico na bacia do rio São Francisco reduziu consideravelmente nos trechos alto e médio do rio, regiões que mais contribuem com as vazões na bacia. Diante desta situação, os órgãos ambientais responsáveis (ANA e IBAMA), autorizaram a partir do ano de 2013, sucessivas reduções da vazão defluente nos reservatórios de Sobradinho e Xingó, no médio e baixo trecho do rio, respectivamente (ANA, 2017), com a finalidade de garantir que os reservatórios acumulassem volume de água suficiente para atender as demandas dos diversos usos da bacia. Desde então surgiram na região do baixo trecho, queixas da população ribeirinha, relativas ao aumento da salinidade da água (CBHSF, 2016). Diante disso, este estudo analisou o efeito do comportamento da salinidade no trecho estuarino do rio São Francisco em decorrência das sucessivas reduções das vazões defluentes resultantes da operação dos reservatórios na bacia do rio São Francisco (Fonseca, 2018).

2) MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo situa-se no estuário da Bacia do Rio São Francisco, entre Sergipe e Alagoas (Figura 1), apresentando uma distância de aproximadamente 16 Km a partir da foz.

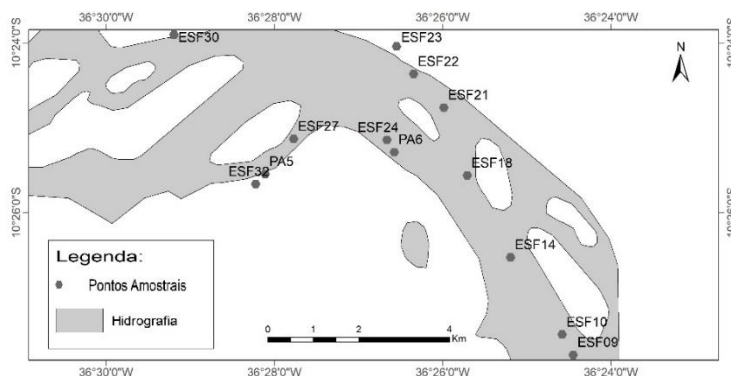


Figura 1 – Pontos de Monitoramento no Estuário do Rio São Francisco

Foram utilizados dados secundários de vazão e salinidade, disponibilizados pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) em dois períodos: antes das reduções das vazões (2008 a 2010), e depois das reduções de vazões defluentes, (2013 a 2017). Dos pontos monitorados pela Chesf, foram escolhidos três, ESF10, ESF14, ESF18, distantes da foz 5,3 Km, 7,3, Km e 9,3 Km, respectivamente, para compor o *trecho de referência* para o estudo. A partir destas seções, analisou-se o avanço da cunha salina em seções mais afastados da foz nos pontos situados na margem esquerda (ESF21, ESF22, ESF23 e ESF30), Piaçabuçu-AL, e nos pontos situados na margem direita (ESF24, ESF27 e ESF32), Brejo Grande-SE.

3) RESULTADOS

3.1 Análise do comportamento da salinidade no trecho de referência

O comportamento da salinidade na superfície, nas três seções que compõem o trecho de referência, (ESF10, ESF14 e ESF18), encontra-se representado na Figura 2.

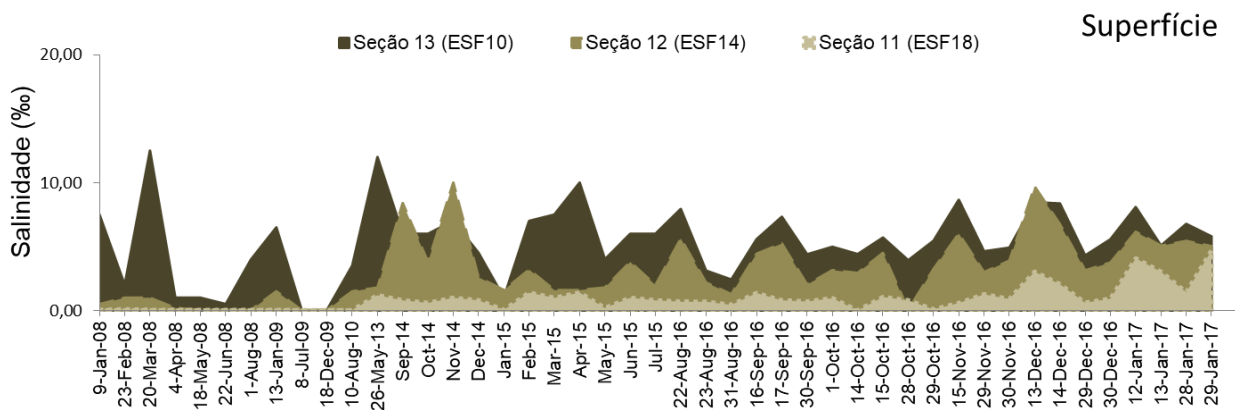


Figura 2 – Distribuição da salinidade na superfície dos pontos ESF10, ESF14 e ESF18 no estuário do Rio São Francisco. Período 2008-2010 e 2013-2017. Adaptado de Fonseca (2018)

Os valores de salinidade no ponto ESF10, distante da foz 5,3 km apresentaram oscilação no período de janeiro de 2008 a maio de 2013. Neste estudo, observou-se pela Figura 2 que no início da redução das vazões, havia uma tendência da salinidade oscilar entre 5 e 10 ‰. Esse resultado é corroborado por Barbosa (2011), que estudou a salinidade em um ponto distante da foz cerca de 5,1 km e encontrou salinidade abaixo de 0,1 ‰ em março, julho e outubro de 2008 e abril e julho de 2009; em janeiro de 2009, encontrou valores iguais a 5‰ na superfície e 10‰ no fundo.

No ponto ESF14, distante da foz 7,3 km, a salinidade em 2008 a 2010 (antes das reduções de vazão) prevalecia abaixo de 1‰; já de 2013 a 2017 (depois das reduções), os valores apresentaram-se mais altos do que 5 ‰ (Figura 2). Na seção 11 (ESF18), mais distante da foz (9,3 km), os valores eram baixos e menores do que 0,05 ‰ no período sem redução de vazão (2008 a 2013), resultados compatíveis com Barbosa (2011), que estudou 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.

Verificou-se que o ponto ESF14, distante da foz 7,3 km, após o início das reduções da vazão defluente, em Xingó, em 2013, passou a apresentar comportamento de salinidade semelhante ao ponto ESF10, indicando que com as reduções da vazão, houve aumento significativo da salinidade nos respectivos pontos, atingindo a superfície do rio, o que pode evidenciar o avanço da cunha salina no trecho de referência por cerca de 4 km.

Observou-se também que no ponto ESF18, mais distante da foz, ao passo que as vazões defluentes foram reduzidas (anos 2013 a 2017), o comportamento da salinidade se tornou gradativamente semelhante ao das seções mais próximas da foz, principalmente a partir de agosto de 2016, onde ocorreu a intensificação da redução da vazão.

Realizou-se também análise do comportamento da salinidade na superfície e fundo, nos períodos úmido e seco (Figura 3), nos respectivos pontos.

O ponto ESF10, distante da foz 5,3 Km, apresenta salinidade variando até 35 ‰, onde ocorrem misturas das massas de água e equivalência dos forçantes fluvial e de maré, que corresponde à Zona de Mistura (Miranda et. al. 2002) e equivale ao médio estuário.

Observa-se que o ponto ESF14, distante da foz 7,3 Km também pertence a esta zona, porém sofreu acentuado aumento de salinidade, na superfície e no fundo com as reduções de vazões (Figura 3).

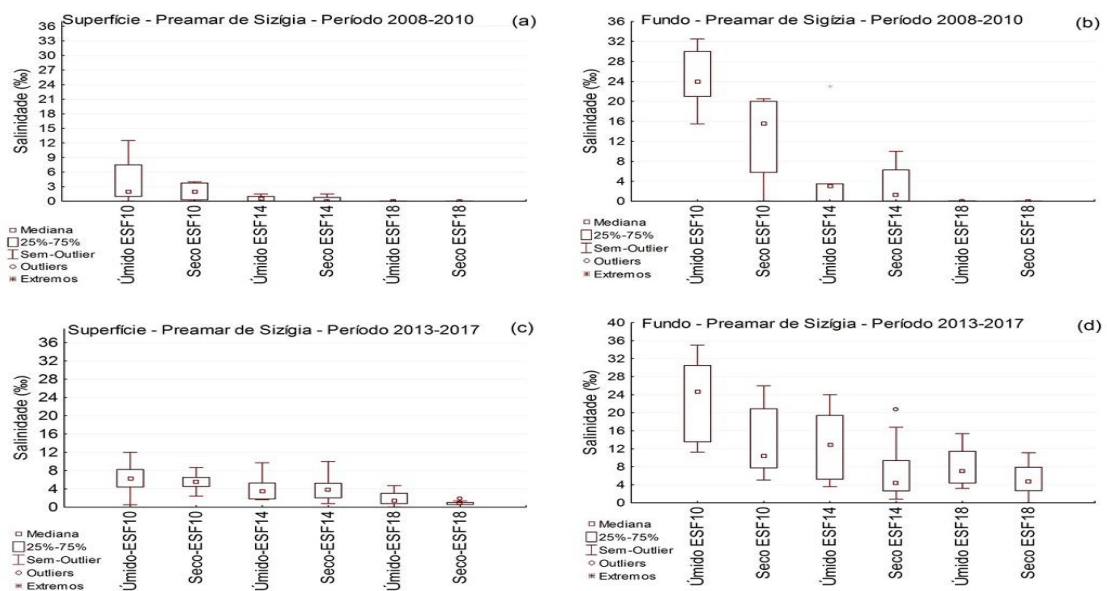


Figura 3 – Distribuição da salinidade nos pontos ESF10, ESF14 e ESF18 nos períodos úmido e seco antes (a, b) e após (c, d) as reduções de vazões no estuário do Rio São Francisco. Fonte: Fonseca, et al (2020).

Já o ponto ESF18, distante da foz 7,3 Km, apresentou valores de salinidade com características de água doce (até 0,5 ‰) antes da redução das vazões (Figuras 3 a, b), característica de Zona de Maré do Rio (estuário fluvial), onde a salinidade varia até 1 ‰. Após as reduções das vazões (Figura 3 c, d) este ponto do estuário perde suas características de estuário fluvial, passando a Zona de Mistura com salinidades chegando a 5 ‰ na superfície a e a 15 ‰ no fundo.

Em relação aos padrões de variação vertical da salinidade na coluna d'água, observou-se que o estuário do rio São Francisco é estratificado, em forma de cunha salina: a força fluvial predomina em relação à da maré. Logo, na superfície, os valores de salinidade são bem mais baixos em relação ao fundo e no perfil da coluna d'água vertical ocorre grande variação salina (Dyer, 1997). Sendo

assim, presume-se que, apesar da força da maré ter aumentado com as reduções de vazões ocorridas no período de 2013 a 2017, alterando os valores de salinidade no estuário, o forçante fluvial ainda prevaleceu, impedindo que o estuário se tornasse homogêneo.

Em relação à influência da sazonalidade, no ponto mais próximo à foz (ESF10) e no ponto mais afastado (ESF18), os valores de salinidade são mais elevados no período úmido, sendo que neste último ponto esta observação só é possível de ser realizada nos períodos de redução de vazão (Figura 3 c, d). No ponto intermediário, ESF14 distante da foz 7,3 km, a salinidade antes das reduções de vazão apresentou-se mais elevada no período seco do que no período úmido, podendo ser explicado pela concentração que ocorre naquele período, de sais existentes na água. No entanto, após as reduções de vazão a salinidade passou a ser mais alta no período úmido (menos água no rio, com vazões mais baixas, sais carregados das margens pela chuva para dentro do rio, somam-se aos sais pré existentes, aumentando a salinidade).

3.2) Análise do avanço da cunha salina no trecho estuarino

A Figura 4 apresenta a evolução da salinidade no ponto ESF18, localizado em Piranhas, distante 9,3 km da foz e integrante da seção 11 entre Brejo Grande-SE e Piaçabuçu-AL, onde foi analisado o avanço da cunha salina a partir do trecho de referência.

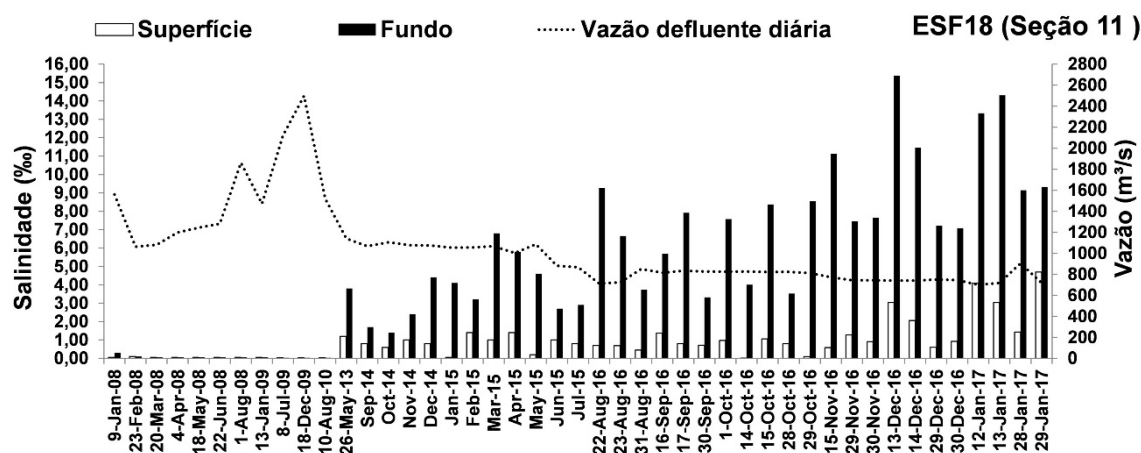


Figura 4 – Relação entre salinidade na superfície e fundo e vazões defluentes no ponto ESF18 (Seção 11) no estuário do Rio São Francisco, 2008-2017. Fonte: Fonseca, et al (2020).

Observou-se na Figura 4 que no período de 2008 a 2010 os valores, de salinidade no ponto ESF18 tanto na superfície quanto no fundo estavam abaixo de 0,1‰, dentro do limite de água doce, resultados que corroboram com Barbosa (2011). Após o início das reduções da vazão defluente em Xingó (ano 2013), os valores de salinidade apresentaram-se cerca de 8 a 64 vezes mais altos. No

período com redução de vazão (2013 a 2017), a salinidade no fundo variou de 1,4 ‰, para vazão de 1105 m³ s⁻¹ em outubro de 2014, a 15,4 ‰ para vazão de 741 m³ s⁻¹ em dezembro de 2016.

Na superfície, a salinidade que antes se mantinha em torno de 0,03 ‰, passou a apresentar valores acima de 0,5 ‰ a partir de 2014 com vazão de restrição mínima de 1100 m³ s⁻¹, chegando a 4,7 ‰, com vazão defluente de 717 m³ s⁻¹. Notou-se ainda que apesar das vazões praticamente estáveis (em torno de 700 m³ s⁻¹), no ano de 2016, ainda assim a salinidade tendeu a aumentar, ocorrendo provavelmente, acúmulo de sais nesta seção, intensificando ainda mais os impactos causados pela alteração de fluxo nas imediações dessa localidade.

O ponto amostral ESF 21, situado em Piaçabuçu-AL, margem esquerda da seção 10, distante 10,6 km da foz, teve seu monitoramento iniciado pela CHESF em 2014, com o objetivo de monitorar a salinidade durante o período de vazão reduzida.

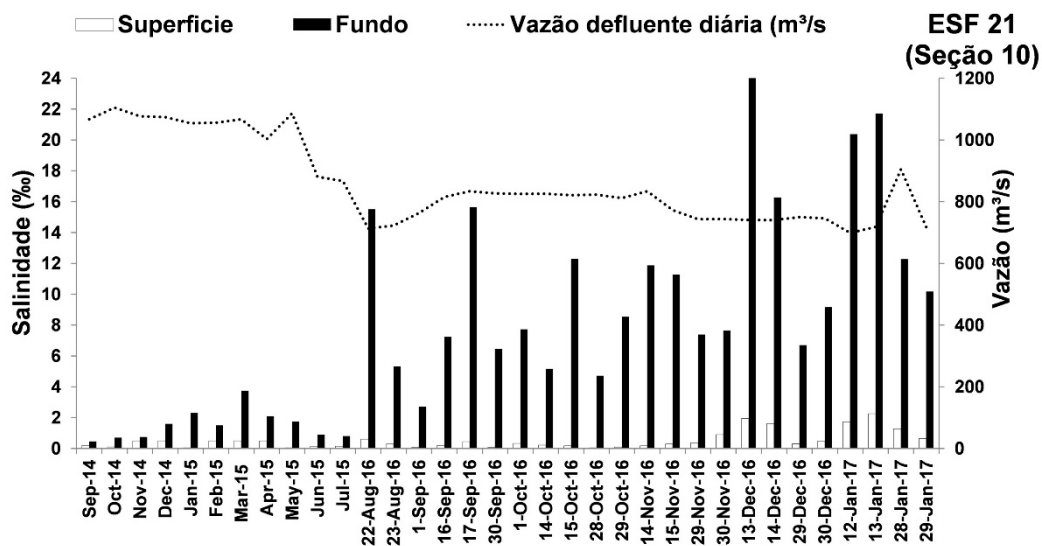


Figura 5 – Relação entre salinidade da superfície e fundo e vazões defluentes no ponto ESF21 (Seção 10) no estuário do Rio São Francisco, 2014-2017. Fonte: Fonseca, et al (2020).

Observou-se pela Figura 5 que com a manutenção da vazão de restrição mínima entre 1100 m³ s⁻¹, que estava em vigor em setembro de 2014 até março de 2015, e de 1000 m³ s⁻¹, em vigor de março a junho de 2015, a salinidade no fundo variou de 0,5 a 4 ‰. Entretanto, com a redução das vazões variando entre 900 a 700 m³ s⁻¹, 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 m³s⁻¹ 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⁻¹.

Da mesma forma, na seção 9, distante da foz 11 km, (ponto amostral o ESF22), localizado na margem esquerda em Piaçabuçu-AL, os valores de salinidade tanto no fundo quanto na superfície, aumentaram após as reduções da vazão defluente, chegando a 5‰ no fundo e 2 ‰ na superfície, em dezembro de 2016 a janeiro de 2017, quando a vazão defluente chegou a 700 a 800 m³ s⁻¹.

Os valores de salinidade no ponto mais próximo da captação de água para abastecimento humano na cidade de Piaçabuçu-AL, foram obtidos do ponto amostral ESF23, que dista 12,4 km da foz. A partir de novembro de 2016, com a vazão defluente em torno de 700 a 800 m³ s⁻¹, observou-se picos de salinidade chegando a cerca de 18 ‰ no fundo e acima de 0,5 ‰ na superfície.

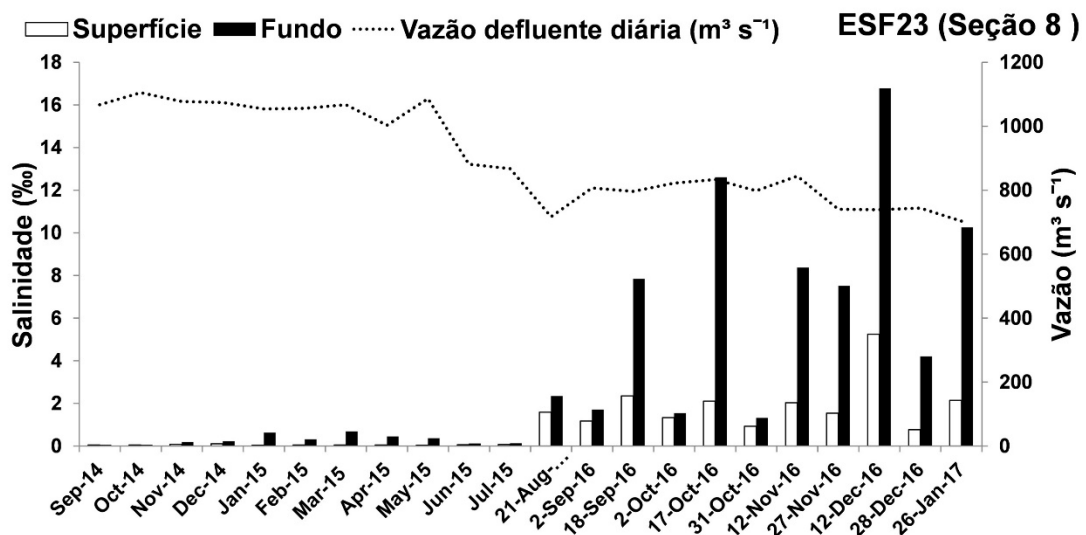


Figura 6 – Relação entre salinidade e vazões defluentes no ponto ESF23 (Seção 8) no estuário do Rio São Francisco Fonte: Fonseca, et al (2020).

No ponto amostral ESF30, distante da foz 15,5 km, os valores de salinidade permaneceram em torno de 0,05 ‰, o que evidencia que a cunha salina não avançou até este ponto.

Na margem direita, Brejo Grande-SE, foram avaliados dados secundários no ponto amostral ESF 24, distante 11 km da foz no ponto ESF27, distante da foz 14,4 km e no ponto ESF32, distante da foz 15,5 km próximo à captação de água.

No ponto ESF24, no ano de 2015, com vazões defluentes em torno de 1000 m³ s⁻¹, 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⁻¹, foram encontrados valores elevados de salinidade na superfície e no fundo, chegando a 6 ‰ no fundo e acima de 2 ‰ na superfície. Já nos pontos ESF27 e ESF 32, apesar do trecho sofrer a

influência da maré, os valores de salinidade mantiveram-se abaixo do limite de água doce. Foram obtidos dados primários de perfil de salinidade no ponto amostral PA6, distante da foz 10,6 km e no ponto amostral PA5, distante da foz 15,2 km. O perfil de salinidade no ponto PA6 apresentou valores elevados, acima do limite de água doce na superfície, no meio e fundo, onde chegaram 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 ‰. No ponto PA5, os valores no perfil de salinidade permaneceram abaixo de 0,5 ‰, na baixa mar e na preamar, indicando característica de água doce (Fonseca, 2018).

4) CONCLUSÕES

Após as reduções das vazões defluentes, em 2013, os pontos mais afastados da foz, no trecho de referência, ES14 e ESF18, distantes 7,3 e 9,3 km, respectivamente, 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 daquelas vazões, evidenciando o avanço da cunha salina em cerca de 4 km no trecho de referência.

Evidenciou-se que a situação de escassez de água que levou às mudanças de regras na operação da barragem teve forte impacto na qualidade da água em termos de salinidade, modificando as características do estuário, passando parte do trecho com características de Alto Estuário, ou seja, Zona de Maré do Rio (de 9,3 a 11,8 Km) para Médio Estuário (Zona de Mistura), sendo o avanço da cunha salina 7,1 km pela margem esquerda, e de 5,4 Km pela margem direita, inclusive afetando pontos próximos da captação de água doce em Piaçabuçu.

5) REFERÊNCIAS

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.

BARBOSA, W. F. A. *Estrutura da comunidade fitoplancônica do estuário do rio São Francisco*. 2011. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. 2011.

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. 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.

_____. *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.

_____. *Programa de Monitoramento dos Ecossistemas Aquáticos do Reservatório de Xingó e Baixo São Francisco*. 1º Relatório Quadrimestral 2013/2014. Abril/2014.

_____. *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.

DYER, K. R., *Estuaries: A Physical Introduction*. Chichester, England, John Wiley & Sons Ltd, n.2, p.195, 1997.

FONSECA, S. L. M. Efeito da redução da vazão de restrição defluente da barragem de Xingó na salinidade da água no baixo trecho do rio São Francisco. 2018 Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) – MAASA, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. 2018.

FONSECA, S. L. M; Magalhães, A. A. J; Campos, V. P.; Medeiros, Y. D.P. Effect of the reduction of the outflow restriction discharge from the Xingó dam in water salinity in the lower stretch of the São Francisco River. *Brazilian Journal of Water Resources*, RBRH, Porto Alegre, v. 25, e4, 2020.

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

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.

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

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.

SCHRÖDER, M., SONDERMANN, M., SURES, B., HERING, D.: Effects of salinity gradients on benthic invertebrate and diatom communities in a German lowland river. *Ecological Indicators*, n. 57, p. 236-248, 2015.

WHITFIELD, A.K. Fishes and freshwater in southern African estuaries: a review. *Aquatic Living Resources*, n.18, p. 275-289, 2005.