

# Revista de Gestão Costeira Integrada

## Journal of Integrated Coastal Zone Management

### Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização

Regina Célia Macêdo do Nascimento<sup>1</sup>, Cibele Rodrigues Costa<sup>1,2</sup>,  
Mateus G. Magarotto<sup>1,3</sup>, Jacqueline Santos Silva-Cavalcanti<sup>4</sup>, Monica Ferreira Costa<sup>1,5</sup>

@ Corresponding author: [nascimento.regina@live.com](mailto:nascimento.regina@live.com)

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Laboratório de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos

<sup>2</sup> Email: [cibele.crc@gmail.com](mailto:cibele.crc@gmail.com)

<sup>3</sup> Email: [mateusmagarotto@gmail.com](mailto:mateusmagarotto@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia. Email: [jacque\\_ss@hotmail.com](mailto:jacque_ss@hotmail.com)

<sup>5</sup> Email: [mfc@ufpe.br](mailto:mfc@ufpe.br)

**RESUMO:** Os estuários são ambientes de alta produtividade biológica que fornecem diversos serviços ecossistêmicos, como por exemplo, alimento e abrigo. Sua qualidade de água é fundamental para a manutenção o mais próximo do possível dos padrões ecológicos originais que garantem esses serviços. Dessa forma, este estudo objetivou comparar a qualidade da água de três estuários tropicais com diferentes histórias de ocupação e graus de urbanização. Os estuários dos Rios Goiana, Capibaribe e Jaboatão estão localizados no Estado de Pernambuco, Brasil. Foram analisadas as variáveis: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, cor, salinidade e fósforo total. Os dados foram obtidos pela Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH) entre os anos de 2006 a 2009, como parte de seu programa de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas. Os três estuários, independentemente de seu status de conservação, apresentaram sua qualidade da água comprometida por níveis acima do recomendado de fósforo total (0,18 mg L<sup>-1</sup> de acordo com a legislação nacional) e baixas concentrações de oxigênio dissolvido (entre 0,0 e 6,7 mg L<sup>-1</sup>, neste trabalho), muitas vezes (~38% das amostras) inferior a 2 mg L<sup>-1</sup>, caracterizando eventos de hipóxia – possivelmente ajudados pelas altas temperaturas da água (24,5 a 30,0°C). Esses resultados refletem a falta de saneamento básico nas três bacias, independente de seus graus de urbanização. Essa situação soma-se a outros impactos advindos da cultura secular de cana-de-açúcar, como o desmatamento, escoamento de fertilizantes, lixiviação do solo e outras cargas poluidoras.

**Palavras-chave:** Bacias hidrográficas, Monitoramento da qualidade da água, Conservação aquática.

**ABSTRACT:** Estuaries are environments of high biological productivity that provide diverse ecosystem services, such as food or shelter. Its water quality is fundamental for the development and maintenance as close as possible to the original ecological standards that guarantee these services. Thus, this study aimed to compare the water quality of three tropical estuaries with different occupation histories and degrees of urbanization. The Goiana, Capibaribe and Jaboatão estuaries are located in Pernambuco State, Brazil. The variables analysed were: water temperature, pH,

*dissolved oxygen, oxygen saturation, biochemical oxygen demand, turbidity, colour, salinity and total phosphorus. All data were obtained from the Pernambuco State Environmental Agency (CPRH) from 2006 to 2009, as part of its water quality monitoring program. The three estuaries, regardless of their conservation status, are under poor water quality conditions, with high levels of total phosphorus (0.18 mg L<sup>-1</sup> Brazilian guidelines) and low dissolved oxygen concentrations (entre 0.0 and 6.7 mg L<sup>-1</sup>, present work). Even with seasonal changes and over the years, oxygen levels are often less than 2.0 mg L<sup>-1</sup> characterizing hypoxia - possibly helped by high water temperatures (24.5 to 30.0°C). As a general scenario, even with different urban contribution, the three estuaries need attention regarding water quality. Results reflect the lack of basic sanitation in the three basins, regardless of their degree of urbanization. This situation adds to other impacts from the centuries old sugarcane plantations and milling, such as deforestation, fertilizer runoff, soil leaching and other polluting loads.*

*Keywords: River basins, Water quality monitoring, Aquatic conservation.*

## 1. INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes costeiros, semiconfinados, localizados na zona de transição entre o continente e o mar, assim, recebem influência direta dos rios e das águas costeiras adjacentes que adentram o canal com as variações das marés (Kennish, 1991; Hallett *et al.*, 2016). Esses ambientes apresentam uma combinação única de características ambientais, como a alta produtividade biológica, resultante do grande aporte de nutrientes inorgânicos e matéria orgânica autóctone e alóctone provenientes da bacia de drenagem, o que lhes confere grande relevância ecológica em todo o mundo (Harrison e Whitfield, 2006; Telesh e Khlebovich, 2010). Nas regiões costeiras ocupadas, os estuários também desempenham importante papel social (ex. estabelecimento de cidades, pesca artesanal, abastecimento de água) e econômico (ex. pesca, portos, aquacultura, diluição de efluentes).

Devido ao oferecimento de oportunidades de abrigo, alimentação e espaço para o desenvolvimento de espécies biológicas, os estuários de grande valor para as populações humanas face aos recursos naturais que abrigam e serviços ecossistêmicos que prestam (abastecimento de água, diluição de efluentes, recursos pesqueiros etc.) (Barletta e Costa, 2009; Mohebbi *et al.*, 2013). Assim, a proximidade de diversas atividades humanas, o crescimento populacional e urbano tem gerado grandes perturbações nos estuários, tanto nas margens quanto alterando a qualidade da água. Esses conflitos entre os assentamentos humanos e o meio ambiente costeiro, sobretudo estuarino, na maioria das vezes, é histórico e não ocorre rapidamente. No entanto, atualmente, nota-se que problemáticas entre o homem e o ambiente tem se agravado pela ausência de gestão urbana e ambiental adequadas, resultando em degradação ambiental e dificuldade de convivência harmoniosa entre e os estuários e as cidades que os cercam (Tagliani, 2018; Barletta *et al.*, 2019).

A alteração dos padrões sazonais de qualidade da água é especialmente destacada, pois modifica significativamente o ambiente aquático, dando origem a situações extremas (ex. anóxia), que podem ocasionar perda de biodiversidade aquática, alterações no ambiente físico-químico, interferência e mau funcionamento ou até mesmo interrupção de serviços ecossistêmicos (Kennish, 1991; Karydis e Kitsiou, 2013).

Dados públicos de monitoramentos da qualidade da água em praias e bacias hidrográficas estão amplamente disponíveis em diversas partes do mundo. No Brasil isso não é diferente, sendo sua produção um compromisso socioambiental de entes federativos, em sua maioria de responsabilidade das Agências Estaduais de Meio Ambiente. Infelizmente, esses dados se encontram subutilizados, mesmo possuindo grande potencial na geração de informações que possam subsidiar decisões políticas e administrativas em prol da sociedade e do meio ambiente.

No estado de Pernambuco, apesar de existirem programas de monitoramento robustos de bacias hidrográficas e praias dentro de uma mesma agência, por motivos históricos e gerenciais esses se encontram desconectados. Os estuários, ambiente transicional e altamente impactados por atividades humanas, são os menos eficientemente atendidos por esses programas.

O monitoramento da qualidade da água permite avaliar o ambiente aquático, seu funcionamento enquanto mantenedor da vida e logo sua capacidade de continuar prestando serviços à flora, fauna e sociedade. A análise dos resultados de monitoramentos da qualidade da água de bacias é essencial para subsidiar a gestão hídrica, incluindo a conservação aquática (Kitsiou e Karydis, 2011; Karydis e Kitsiou, 2013). Os programas de monitoramento da qualidade da água podem ser mais ou menos complexos, variando suas escolhas de variáveis, frequência (variações temporais) e densidade espacial de informações recolhidas/tratadas/interpretadas de

acordo com seu objetivo e desenho amostral. No entanto, algumas variáveis são quase sempre presentes tais como, temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido,  $\text{NH}_3$ , P e coliformes fecais (Nascimento *et al.*, 2018).

O presente estudo tem como objetivo comparar qualidade da água de três estuários tropicais com diferentes graus de urbanização no Estado de Pernambuco (Brasil) entre os anos de 2006 a 2009. Esses estuários representam a diversidade de corpos d'água do estado de Pernambuco e suas diferentes histórias de ocupação humana. O período de tempo de quatro anos foi analisado por outros trabalhos realizados nesses estuários (ex. Costa *et al.*, 2017), mas de forma independente, com foco no estuário do Rio Goiana, como também a investigação de períodos mínimos necessários para se detectar mudanças significativas na qualidade da água (Costa *et al.*, 2018; Barletta *et al.*, 2019). Este período se torna relevante também por possuir um conjunto de dados pré-existente que permite testar abordagens já empregadas em trabalhos anteriores. Essa testagem proporciona a expansão da utilização da metodologia de avaliação da qualidade da água.

Esta é uma iniciativa preliminar de comparação entre diferentes cenários em uma mesma região.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Área de estudo**

Todas as três bacias hidrográficas escolhidas para esse estudo são alvo de um programa de monitoramento da qualidade de águas por parte da Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH). No entanto, esse programa só contempla monitoramento até o alto-médio estuário de cada rio, deixando seu curso inferior e sua contribuição para as águas costeiras adjacentes sem cobertura amostral. Desta forma, não se afere a qualidade das águas que adentram as áreas costeiras adjacentes, ou aquilo que é efetivamente exportado para o mar a partir dessas bacias de diferentes e diversificados padrões de ocupação, uso do solo e gestão socioambiental em nível de bacia ou municipal. Sabe-se, no entanto que devido ao volume de água nas três bacias ser bastante mais importante no seu trecho final, que é o uso do solo do entorno do alto-médio estuários que determina a qualidade da água exportada.

O estuário do Rio Goiana ( $7^{\circ}30'S - 34^{\circ}47'W$ ) resulta da junção de dois rios menores (Capibaribe Mirim e Tracunhaém) que cruzam esse município. Dos três estuários selecionados para este estudo, o do Rio Goiana é o que possui menor grau de urbanização. O estuário do Rio Goiana está situado na fronteira entre os estados de Paraíba e Pernambuco (figura 1). Apresenta

urbanização principalmente em sua cabeceira, e margens ocupadas por agricultura de cana-de-açúcar, florestas de manguezal, policulturas e pecuária (Costa *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2018; CPRH, 2018). As águas desta bacia hidrográfica (465.549 hab. em 2.878,30  $\text{km}^2$ ) também são destinadas a abastecimento, irrigação e recepção de efluentes (domésticos, industriais, agroindustriais e agropecuários) (Costa *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2018; CPRH, 2018). Esse estuário integra uma Unidade de Conservação Federal do tipo Reserva Extrativista, a RESEX Acaú-Goiana.

O sistema estuarino do Rio Jaboatão ( $8^{\circ}14'S - 34^{\circ}55'W$ ), pode ser considerado aqui como tendo uma urbanização intermediária, está em uma bacia circunscrita à Zona da Mata Pernambucana (1.347.05 hab. em 1.022,01  $\text{km}^2$ ), e deságua no município de Jaboatão dos Guararapes (figura 1), caracterizando assim, uma área costeira urbana (Barcellos *et al.*, 2016). Com a presença humana em suas margens, o rio está vulnerável a contaminações tais como de atividades agrícolas, domésticas e industriais (Köchling *et al.*, 2017). Esse estuário também resulta da junção de dois rios (Jaboatão e Pirapama) que se encontram já próximo à foz, fazendo uma contribuição conjunta para o mar. O estuário do Rio Jaboatão é considerado uma Zona de Proteção Ecológica e Zona Agrícola Florestal pelo Governo do Estado de Pernambuco.

O estuário do Rio Capibaribe, o de maior grau de urbanização ( $8^{\circ}4'S - 34^{\circ}53'W$ ) considerado neste trabalho, corta Recife, a capital do estado de Pernambuco (figura 1). O Capibaribe é um dos principais rios de Pernambuco (1.328.361 hab. em 7.557,41  $\text{km}^2$ ) e do Recife, o qual, desde o início da urbanização há 5 séculos, desenvolveu uma estreita relação sociocultural com a população da cidade (Bezerra *et al.*, 2018). Devido ao desenvolvimento desordenado em suas margens, verificam-se muitos impactos ambientais nesse rio como a supressão de manguezais, disposição de esgoto doméstico e aporte urbano e assoreamento do corpo d'água (Xavier *et al.*, 2016; Bezerra *et al.*, 2018). Na sua foz, no porto do Recife, encontra-se com o estuário do Rio Beberibe e outros pequenos rios (Pina, Jordão e Jiquiá-Tejipió), e juntos deságuam no Oceano Atlântico. O estuário do rio Capibaribe é considerado uma Zona Especial de Proteção ambiental pela Prefeitura da Cidade do Recife.

### **2.2 Aquisição e tratamento de dados**

Dados mensais de pluviometria (total mensal - mm) foram obtidos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) das estações mais próximas ao ponto de coleta considerado para cada bacia (tabela 1).

Foram utilizados dados de qualidade de água gerados pela Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH) dos anos de 2006-2009. Os dados foram recolhidos a partir dos relatórios anuais consolidados disponibilizados online no site da agência, se tratando então de dados secundários que ainda não foram explorados e interpretados em conjunto. Cada bacia possui um número diferente de pontos totais monitorados e começou a ser monitorada em uma época diferente. Para este trabalho escolheu-se aqueles pontos mais representativos do alto estuário (Costa *et al.*, 2017; 2018; Barletta *et al.*, 2020) de cada uma das três bacias (tabela 1), para se avaliar a qualidade da água que adentra os estuários da RMR e, finalmente, chega ao mar. Esses pontos são os mais a jusante da foz monitorados pela agência como representantes das bacias hidrográficas acompanhadas pelo programa de monitoramento da instituição.

As variáveis consideradas para a análise foram: temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ), saturação de oxigênio (%), demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mg L}^{-1}$ ), turbidez (UNT), cor (Pt/Co), salinidade e fósforo total (particulado + dissolvido) ( $\text{mg L}^{-1}$ ). Todas as medições e análises químicas seguiram procedimentos padronizados e aceitos internacionalmente descritos em APHA (2005). Para efeito de referenciamento, os níveis de Oxigênio Dissolvido, Turbidez, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Cor encontrados foram comparados aos valores pré-estabelecidos para águas doces e salobras de classe II da normativa nacional vigente da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n $^{\circ}$  357/05; e índices de Oxigênio Dissolvido, pH e Cor com os limites na legislação Norte Americana da Environmental Protection Agency - EPA (EPA, 2015).



Figura 1. Localização dos estuários dos rios Goiana ( $7^{\circ}30'S - 34^{\circ}47'W$ ), Capibaribe ( $8^{\circ}4'S - 34^{\circ}53'W$ ) e Jaboatão ( $8^{\circ}14'S - 34^{\circ}55'W$ ) na RMR com sinalização dos pontos de coleta da CPRH utilizados neste estudo (GO-67; GO-80; GO-85; CB-80; JB-75).

Tabela 1. Pontos de coleta do programa de monitoramento da qualidade da água da Agência Estadual de Meio Ambiente do Estado de Pernambuco (CPRH) e códigos das estações pluviométricas da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) considerados neste estudo.

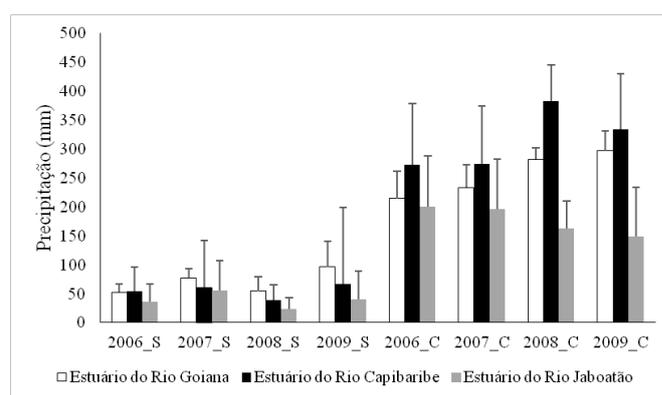
Estuário estudado	APAC (precipitação mm)	CPRH* (amostragens da água superficial)	*Distância (km) até a foz
Rio Goiana	28 Goiana (Itapirema - IPA)	GO-67; GO-80; GO-85	20
Rio Capibaribe	30 Recife (Várzea)	CB-80	16
Rio Jaboatão	268 Jaboatão dos Guararapes (Barragem Duas Unas)	JB-75	10

Essas nove variáveis são apenas algumas das que são medidas no programa de monitoramento, e foram escolhidas por serem as mais importantes na caracterização do estado da qualidade da água (Nascimento *et al.*, 2018), compõem diversos índices (CETESB, 2019; [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)) e apresentam maiores números e densidade de dados no período considerado.

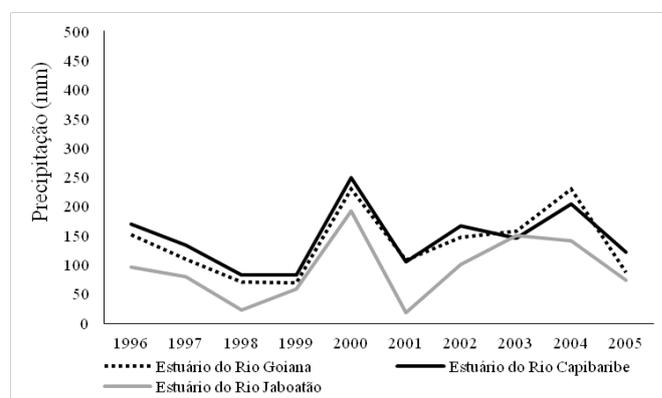
O programa de monitoramento da CPRH prevê amostragens das águas superficiais a cada dois meses, sendo assim possível obter-se até três amostragens no período seco (S) e três no chuvoso (C). O número de dados disponíveis para cada ponto em cada ano dependeu do cumprimento do desenho amostral pela agência. Para este trabalho, os dados existentes foram compilados e divididos em estações, seca (setembro a fevereiro) e chuvosa (março a agosto), de acordo com o mês de coleta (Barletta e Costa, 2009). Por fim, foram homogeneizados em médias ( $1 < N < 3$ ), onde foi possível observar o comportamento e as variações das variáveis ao longo do tempo analisado.

### 3. RESULTADOS

Os resultados são apresentados a seguir na forma de estatística descritiva das variáveis ambientais consideradas neste trabalho. São destacados valores mínimo e máximo de cada variável em cada estuário. Esses valores podem ter ocorrido em estação (seca ou chuvosa) e ano (2006 a 2009) diferentes. A precipitação total média sazonal (6 meses) (figura 2A) variou no estuário do Rio Goiana de  $52,4 \pm 14,3$  mm em 2006 a  $296,6 \pm 35,3$  mm em 2009; no Capibaribe de  $39,3 \pm 25,5$  mm em 2008 a  $383,6 \pm 61,5$  mm do mesmo ano; no Jaboatão de  $24,2 \pm 19,2$  mm em 2008 a  $200,7 \pm 87,1$  mm no ano de 2006. Todos os menores registros de precipitação foram encontrados na estação seca e, conseqüentemente, os maiores valores na estação chuvosa. Cada estação foi semelhante ao longo dos quatro anos. No entanto, o padrão de diferença marcante entre as estações seca e chuvosa é utilizado como base da interpretação dos outros parâmetros a seguir.



a)



b)

Figura 2. Médias ( $\pm$ desvpad; N=6) da precipitação (mm) (A) considerando os seis meses em cada estação seca (S) e chuvosa (C) de cada ano estudado em cada bacia; (B) considerando a média histórica de 1996 a 2005.

A temperatura da água (figura 3) variou no estuário do Goiana de  $24,5 \pm 2,1^\circ\text{C}$  em 2009 a  $30,0 \pm 0,0^\circ\text{C}$  em 2006 e 2009; no Capibaribe de  $26,5 \pm 0,7^\circ\text{C}$  em 2008 a  $30,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$  em 2006 e 2007; no Jaboatão de  $24,0 \pm 0,0^\circ\text{C}$  em 2009 a  $29,0 \pm 1,2^\circ\text{C}$  do mesmo ano. Os menores valores foram encontrados nas estações chuvosas e, conseqüentemente, os maiores valores nas estações secas, seguindo como um padrão para os três estuários estudados. Ao aferir tal parâmetro, podemos verificar sua influência direta em fenômenos químicos e biológicos existentes no estuário.

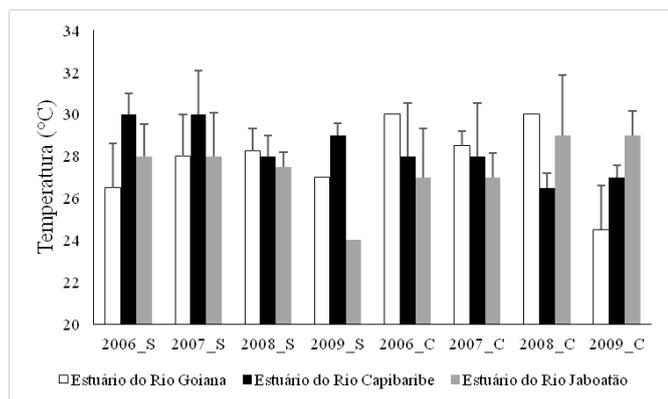


Figura 3. Médias ( $\pm$ desvpad;  $1 < N < 3$ ) sazonais da Temperatura da água (oC) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

A salinidade (figura 4) variou no estuário do Goiana de  $0,2 \pm 2,1$  em 2009 a  $6,4 \pm 0,0$  em 2008; no Capibaribe de  $0,1 \pm 0,7$  em 2008 e 2009 a  $0,4 \pm 0,1$  em 2006 e 2007; no Jaboatão de  $0,1 \pm 0,0$  em 2009 a  $6,8 \pm 4,1$  em 2006.

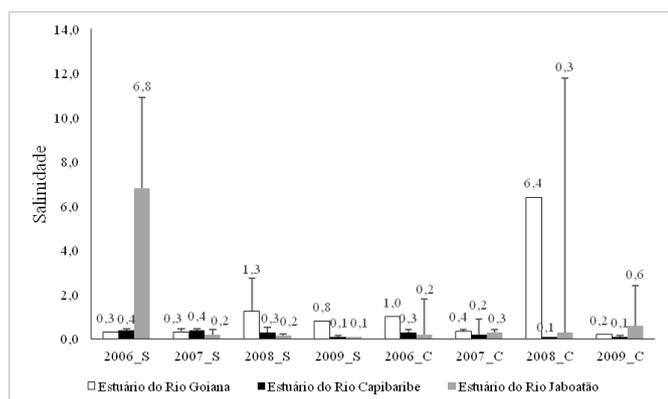


Figura 4. Médias ( $\pm$ desvpad;  $1 < N < 3$ ) sazonais Salinidade por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

O pH (figura 5) variou no estuário do Goiana de  $7,0 \pm 0,4$  em 2006 a  $8,0 \pm 0,0$  em 2009; no Capibaribe de  $6,8 \pm 0,4$  em 2007 e 2008 a  $7,2 \pm 0,3$  em 2007; no Jaboatão de  $6,0 \pm 0,0$  em 2009 a  $6,9 \pm 0,2$  em 2006.

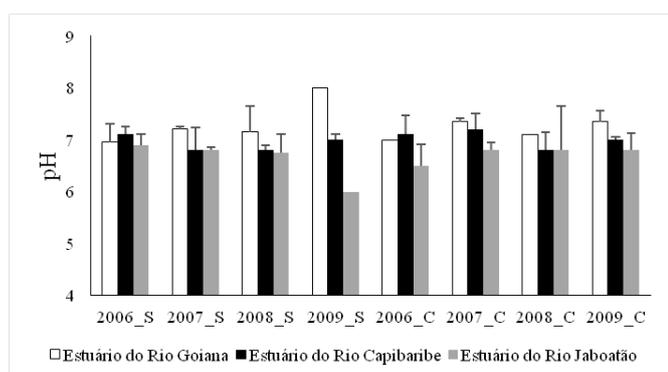
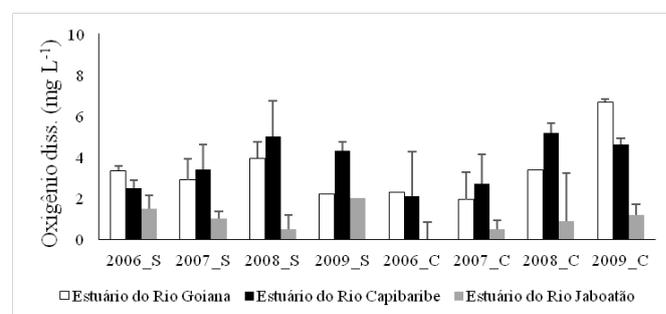
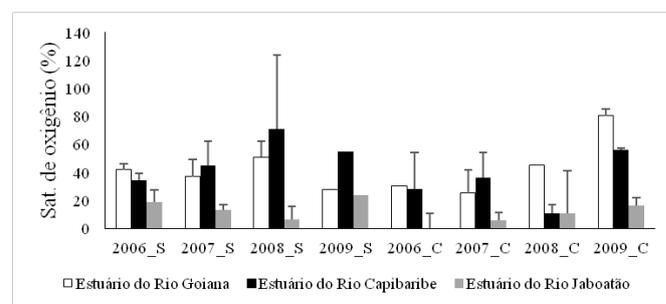


Figura 5. Médias ( $\pm$ desvpad;  $1 < N < 3$ ) sazonais pH por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

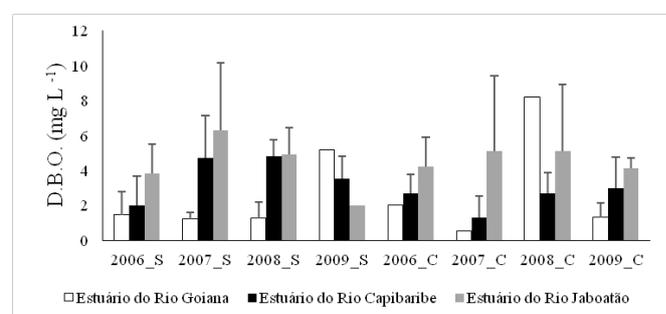
Os níveis de Oxigênio Dissolvido (O.D.) (figura 6A) presentes nos estuários foram baixos. No Goiana variou de  $2,0 \pm 0,0$  mg L<sup>-1</sup> em 2007 a  $6,7 \pm 0,1$  mg L<sup>-1</sup> em 2009; o Capibaribe de  $2,1 \pm 2,2$  mg L<sup>-1</sup> em 2006 a  $5,2 \pm 6,4$  mg L<sup>-1</sup> em 2008; e o Jaboatão de  $0,0 \pm 0,9$  mg L<sup>-1</sup> em 2006 a  $2,0 \pm 0,0$  mg L<sup>-1</sup> do mesmo ano. A saturação percentual de oxigênio dissolvido (figura 6B) nos três estuários estudados acompanhou o desempenho do O.D.. As variações ocorrem entre  $25,0 \pm 17\%$  a  $80,5 \pm 4,9\%$  no Goiana;  $28,0 \pm 26,3\%$  a  $73,0 \pm 0,0\%$  no Capibaribe; e de  $0,0 \pm 11,0\%$  a  $24,0 \pm 0,0\%$  no Jaboatão. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O.) (figura 6C) no estuário do Rio Goiana variou de  $0,5 \pm 0,0$  mg L<sup>-1</sup> em 2007 a  $8,2 \pm 0,0$  mg L<sup>-1</sup> em 2008; no Capibaribe de  $1,3 \pm 1,2$  mg L<sup>-1</sup> em 2007 a  $4,8 \pm 1,0$  mg L<sup>-1</sup> em 2008; no Jaboatão de  $2,0 \pm 0,0$  mg L<sup>-1</sup> em 2009 a  $6,3 \pm 3,9$  em 2007.



a)



b)



c)

Figura 6. Médias ( $\pm$ desvpad;  $1 < N < 3$ ) sazonais (A) O.D. (mg L<sup>-1</sup>), (B) Saturação percentual de Oxigênio e (C) D.B.O. (mg L<sup>-1</sup>) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

O Fósforo total (figura 7) variou no estuário do Rio Goiana de  $0,1\pm0,0$  mg L<sup>-1</sup> em 2009 a  $1,5\pm0,0$  mg L<sup>-1</sup> em 2006; no Capibaribe de  $0,2\pm0,1$  mg L<sup>-1</sup> em 2009 a  $0,4\pm0,1$  mg L<sup>-1</sup> em 2008; no Jaboatão de  $0,2\pm0,2$  mg L<sup>-1</sup> em 2009 a  $0,5\pm0,2$  mg L<sup>-1</sup> em 2007 e 2009.

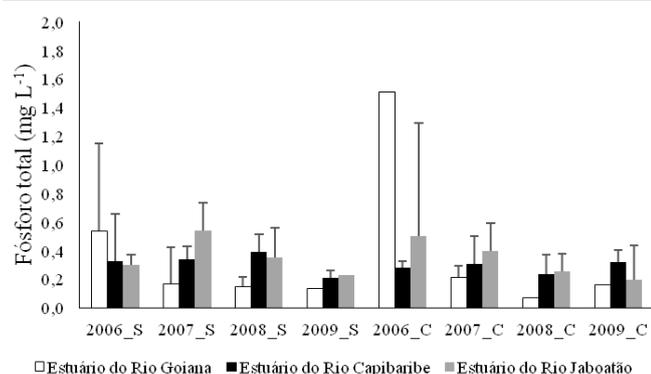
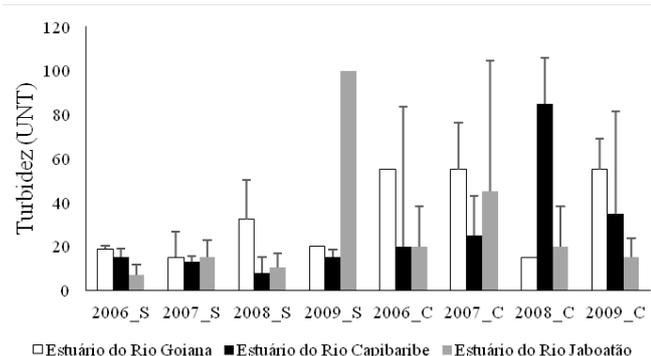
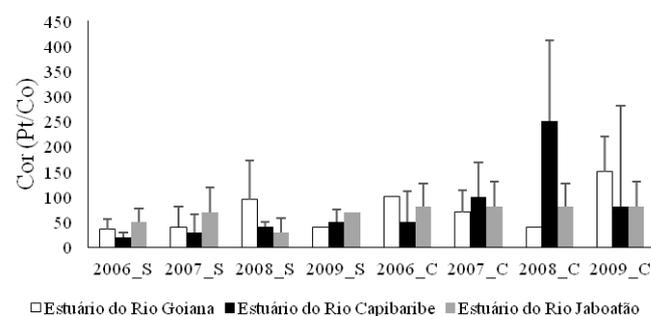


Figura 7. Médias ( $\pm$ desvpad;  $1 < N < 3$ ) sazonais do Fósforo total (mg L<sup>-1</sup>) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.



a)



b)

Figura 8. Médias ( $\pm$ desvpad;  $1 < N < 3$ ) sazonais da (A) Turbidez (UNT) e da (B) Cor (Pt/Co) por estação (S) seca e (C) chuvosa, ano e estuário estudado.

A turbidez (figura 8A) variou no estuário do Rio Goiana de  $15,0\pm11,5$  UNT em 2007 a  $55,0\pm21,2$  UNT na estação chuvosa dos anos 2006, 2007 e 2009; no Capibaribe de

$8,0\pm7,2$  em 2007 a  $85,0\pm20,8$  em 2008; no Jaboatão de  $7,0\pm4,9$  UNT em 2006 a  $100,0\pm0,0$  em 2009. A cor (figura 8B) variou no estuário do Rio Goiana de  $35,0\pm21,2$  Pt/Co em 2006 na seca a  $100,0\pm0,0$  Pt/Co na estação chuvosa; no Capibaribe de  $20,0\pm8,7$  Pt/Co em 2006 a  $250\pm160,7$  Pt/Co em 2008; no Jaboatão de  $29,0\pm29,7$  Pt/Co em 2008 na seca a  $80\pm47,3$  Pt/Co em todos os anos da estação chuvosa.

#### 4. DISCUSSÃO

Os estuários têm papel importante na manutenção da qualidade ambiental, inclusive em áreas urbanas. No entanto, são vulneráveis às mudanças impostas pelo uso do solo em seu entorno, das águas e até a possíveis mudanças climáticas (Altieri e Gedan, 2015). Os estuários dos rios Goiana, Capibaribe e Jaboatão, se encontram sob regimes pluviométricos semelhantes, e por isso podem ser comparados entre si no que diz respeito às variações temporais marcadas pela oscilação entre seca e chuvas. Ainda, se comportaram de forma semelhante quanto às variações de temperatura da água, salinidade no alto estuário e pH, já que os níveis diferentes de urbanização não parecem influenciar essas variáveis monitoradas. Eles apresentaram uma pequena variação em sua temperatura da água, essa situação de acordo com Costa *et al.* (2017) é esperada, e observada devido ao clima tropical da região. Assim, as águas são permanentemente quentes, tipicamente acima de 25°C. O gradiente salino tem início nos pontos escolhidos para comparação e sendo assim, a partir desses pontos a salinidade média deve aumentar em direção ao mar, mas também sob a influência temporal das estações do ano. A diversidade da fauna e flora não foi avaliada neste estudo, mas sugere-se que a partir desses pontos de monitoramento, haverá uma mudança da comunidade para estuarina – mais tolerante a variações da qualidade da água em termos de salinidade (Van Diggelen e Montagna, 2016). O pH permaneceu de acordo com o esperado para esse tipo de ambiente de transição entre rios e o mar, entre 6,0 e 9,0.

A disponibilidade de oxigênio nas águas estuarinas é uma problemática que não só atinge o Brasil, mas sim, o mundo. Os estuários estudados diferem pouco quanto a concentração de oxigênio dissolvido em alguns momentos do período considerado, o que pode ser indiretamente devido aos diferentes graus de urbanização ou outros fatores não avaliados (ex. fluxo de água). A observação de eventos de hipóxia e anóxia nos estuários urbanos resulta da grande influência das atividades antropogênicas, sobretudo disposição de efluentes e aporte urbano, os quais contêm uma mistura complexa de matéria orgânica,

detritos inorgânicos e nutrientes provenientes (Goodman e Campbell, 2007). Essa alta carga de nutrientes na água pode causar o desenvolvimento de bolsões com baixo teor de oxigênio dissolvido que perduram até que exista um volume de água suficiente para sua diluição, a jusante (Li et al., 2018).

Ao observar em particular o Jaboatão, onde os menores e mais críticos índices de O.D. foram observados, de 2006 a 2009 todas as aferições encontravam-se em nível de hipóxia, ou seja, valores inferiores a 2,0 mg L<sup>-1</sup>. O baixo oxigênio pode ser associado a grande influência antrópica constante da região, tornando o ambiente vulnerável e sem tempo suficiente para que ocorresse a depuração natural dos nutrientes (Ekstrom et al., 2015).

Os estuários do Capibaribe e do Goiana conseguiram manter valores de O.D. superiores a 2,0 mg L<sup>-1</sup>, porém os níveis oscilaram entre o recomendado pela Resolução n° 357/05 do CONAMA de 5,0 mg L<sup>-1</sup> ao alerta de hipóxia. Dentre os estuários, o Goiana é o que ainda apresenta a maior resiliência, pois tem os melhores níveis de D.B.O. Porém, como foi visto a disponibilidade de oxigênio em suas águas, em média, também é baixa. Essa situação acarreta um estresse hídrico, o qual tende a piorar na estação seca, onde se pode verificar uma menor precipitação pluviométrica e menor fluxo de água (Lee et al., 2018). Nessa época, o estuário torna-se mais dependente da penetração das marés para a renovação de suas águas.

A concentração de fósforo total esteve acima do tolerável pela legislação internacional de 0,025 mg L<sup>-1</sup> (EPA, 2015) e nacional de 0,18 mg L<sup>-1</sup> (CONAMA n°357/05) nos três estuários. Isso é consistente com a falta de saneamento básico das três bacias e intensificando no Capibaribe e Jaboatão – mais urbanizadas. Eles provavelmente estão mais expostos ao aporte urbano advindo da maior impermeabilização do solo típica das cidades (Renjith et al, 2011; Qin et al., 2016; Wetz et al, 2016). A alta concentração de fósforo se dá principalmente pelos efluentes domésticos e industriais, como também fertilizantes agrícolas (Huang et al., 2003), que ainda persistem na bacia do Rio Jaboatão nas plantações de cana de açúcar restantes em áreas ainda não urbanizadas ou incorporadas a parques industriais. Esperava-se que nos meses chuvosos esse nutriente conseguisse obter uma boa diluição. Isso demonstra que o ambiente já pode estar no limite da sua resiliência, onde apenas o aporte pluvial não é mais suficiente para a diluição completa (Dixon et al., 2014; Eyre, 1997; Álvarez-Vázquez et al., 2016).

A turbidez da água está diretamente ligada aos índices pluviométricos, onde espera-se que em períodos chuvosos a quantidade de partículas seja maior, acarretando em

uma menor visibilidade do que na estação seca (Navatril et al., 2011; Robins et al., 2016; Anchete et al., 2017). A baixa visibilidade faz com que ocorra uma menor penetração de luz na água e baixa disponibilidade de oxigênio, o que irá implicar na diminuição da produtividade primária local (Brouwer e Schramkowski, 2018). Dessa forma, os dados obtidos nos três estuários corroboram com a literatura, apresentando uma baixa visibilidade nos períodos chuvosos, além de um declínio quanto a disponibilidade de oxigênio.

Os estuários, independentes de seu estado de conservação, apresentam fatores que afetam seu funcionamento ecossistêmico (Micheli et al., 2016) como também o equilíbrio da qualidade ambiental (Halpern et al., 2018), sofrendo diretamente com a influência do homem, seja ela pelo uso direto e ocupação do solo, ou de maneira indireta (Xavier et al., 2016).

Em status de conservação, o Goiana apresenta suas margens com mais vegetação natural (manguezais) do que os urbanos, onde a vegetação deu lugar as grandes construções civis (Arruda-Santos et al., 2018), porém, todos os três estuários estão vulneráveis devido a combinação de altas temperaturas e grandes cargas de matéria orgânica e nutrientes (naturais e antropogênicos), o que reduz perigosamente os níveis de oxigênio dissolvido na água..

A disponibilidade de oxigênio, fator limitante para o desenvolvimento da vida e qualidade dos estuários (O'Boyle et al., 2009), vem sendo cada vez mais afetada, independente do status de conservação dos estuários. O Capibaribe, o mais urbanizado dos três estuários estudados, apresentou em seus dados, valores um pouco melhores de concentração de oxigênio dissolvido. Porém, é um estuário que necessita de atenção por apresentar uma hidrodinâmica particular (Schettini et al., 2016). Ele corta o principal centro urbano de Pernambuco, sendo fonte de abastecimento de água para a população além de meio de disposição de efluentes, usos claramente incompatíveis.

## 5. CONCLUSÕES

A comparação dos estuários com diferentes graus de urbanização através do recolhimento de dados disponíveis da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) dos anos de 2006-2009, demonstrou que os três estuários sofrem rotineiramente com a influência antrópica, acarretando problemáticas voltadas a sua qualidade hídrica.

Níveis de oxigênio dissolvido abaixo do recomendado mesmo pela legislação brasileira para a conservação da vida aquática foram encontrados, com maior agravamento no estuário do Rio Jaboatão, onde permaneceu inferior a 2,0 mg L<sup>-1</sup> (hipóxia permanente). Possivelmente isso

foi devido às descargas de esgoto doméstico *in natura*, aporte urbano, efluentes industriais e nutrientes da lixiviação do solo. Além disso, maiores concentrações de partículas na água dificultam a penetração da luz no estuário e a produção primária.

A periodicidade do monitoramento é fundamental para entendermos como os ambientes estão se comportando no decorrer das mudanças sazonais e dos anos. Para isso, é importante que se tenha um banco de dados consistente das variáveis para que, através de análises espaço-temporais, elas possam aferir de uma maneira mais precisa a qualidade da água e, conseqüentemente a potencialidade de cada estuário individualmente e de todos os corpos d'água de região em continuar prestando os serviços ecológicos previstos para ambientes costeiros de transição. Recomenda-se a repetição e expansão de estudos de comparação espaço-temporal como este. Por exemplo, a repetição decadal do estudo apresentado aqui com os anos de 2006 a 2009, poderia ser refeita entre 2016 e 2019, assim que os relatórios estivessem disponíveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a CAPES e a FACEPE pelo financiamento de projetos de pesquisa e bolsas de estudo, sobretudo durante o período de produção deste trabalho e, ao CICS. Nova da UNL pelo apoio institucional.

## REFERÊNCIAS

- Achete, F., Van Der Wegen, M., Roelvink, J. A. Jaffe, B. (2017). How can climate change and engineered water conveyance affect sediment dynamics in the San Francisco Bay-Delta system? *Climatic Change*, 142:375–389. DOI: 10.1007/s10584-017-1954-8
- Altieri, A.H., & Gedan, K.B. (2015). Climate change and dead zones. *Global Change Biology*, 21(4): 1395-1406. DOI: 10.1111/gcb.12754
- Álvarez-Vázquez, M. A., Prego, R., Ospina-Alvarez, N., Caetano, M., Bernárdez, P., Doval, M., ... Vale, C. (2016). Anthropogenic changes in the fluxes to estuaries: Wastewater discharges compared with river loads in small rias. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 179, 112–123. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.08.022
- Arruda-Santos, R.H., Schettini, C.A.F., Yogui, G.T., Maciel, D.C., Zanardi-Lamardo, E. (2018). Sources and distribution of aromatic hydrocarbons in a tropical marine protected area estuary under influence of sugarcane cultivation. *Science of The Total Environment*, 624: 935-944. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.174
- Barcellos, R.L., Flores-Montes, M.J., Alves, T.M.F., Camargo, P.B. (2016). Modern sedimentary processes and seasonal variations of organic matter in an urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. *Journal of Coastal Research*, 75(1): 38-42. DOI: 10.2112/SI75-008.1
- Barletta, M., & Costa, M. F. (2009). Living and Non-living Resources Exploitation in a Tropical Semi-arid Estuary. *Journal of Coastal Research*, (SI 56), 371–375.
- Barletta, M., Costa, M. F., Dantas, D. V. (2020). Ecology of microplastics contamination within food webs of estuarine and coastal ecosystems. *MethodsX*, 100861. DOI: 10.1016/j.mex.2020.100861.
- Barletta, M., Lima, A. R. A., & Costa, M. F. (2019). Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. *Science of The Total Environment*, 651, 1199–1218. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.276
- Bezerra, A.P.X.G., Gabriel, F.A., Lorena, E.M.G., Santos, I.G.S., Rolim Neto, F.C. (2018). Environmental Diagnosis of the Permanent Preservation Area (PPA) of the Capibaribe River in the city of Recife – PE. *Scientific Journal of Environmental Sciences*, (ISSN: 2447-0740) 4(1): 005-012.
- Brower, R.L., Schramkowski, G.P. (2018). Time Evolution of Estuarine Turbidity Maxima in Well-Mixed, Tidally Dominated Estuaries: The Role of Availability- and Erosion-Limited Conditions. *Journal of Physical Oceanography*, 48: 1629-1650. DOI: 10.1175/JPO-D-17-0183.1
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005. CONAMA, Brasília.
- Costa, C. R., Costa, M. F., Barletta, M., & Alves, L. H. B. (2017). Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12), 628. DOI: 10.1007/s10661-017-6343-2
- Costa, C. R., Ferreira, M. F., Dantas, D. V., & Barletta, M. (2018). Interannual and seasonal variations in estuarine water quality. *Front. Mar. Sci.*, 5(301). <https://doi.org/10.3389/finars.2018.00301>
- Costa, C.R., Costa, M.F., Barletta, M., Alves, L.H.B. (2017). Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. *Environmental Monitoring Assessment*, 189: 628. DOI: 10.1007/s10661-017-6343-2
- CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2018). Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco - 2017.
- Dixon, J. L., Osburn, C. L., Paerl, H. W., & Peierls, B. L. (2014). Seasonal changes in estuarine dissolved organic matter due to variable flushing time and wind-driven mixing events. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 151, 210–220. DOI: 10.1016/j.ecss.2014.10.013
- Ekstrom, J. A., Suatoni, L., Cooley, S. R., Pendleton, L. H., Waldbusser, G. G., Cinner, J. E. (2015). Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. *Nat. Clim. Chang.*, 5: 207–214. DOI: 10.1038/nclimate2508
- EPA - United States Environmental Protection Agency. 2015. Human Health Ambient Water Quality Criteria: 2015 Update.
- Eyre, B. (1997). Water quality changes in an episodically flushed sub tropical Australian estuary: A 50 year perspective. *Marine Chemistry*, 59, 177–187.
- Goodman, L. R., & Campbell, J.G. (2007). Lethal levels of hypoxia for Gulf Coast estuarine animals. *Marine Environmental Research*, 152(1): 37-42. DOI: 10.1007/s00227-007-0685-1

- Hallett, C. S., Valesini, F., & Elliott, M. (2016). A review of Australian approaches for monitoring, assessing and reporting estuarine condition: I. International context and evaluation criteria. *Environmental Science & Policy*, 66, 260–269. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.07.014
- Halpern B.S., Walbridge S., Selkoe K.A, Kappel, C.V, Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno. J.F., Watson, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319: 948–952. DOI: 10.1126/science.1149345.
- Harrison, T. D., & Whitfield, A. K. (2006). Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(1–2), 335–345. DOI: 10.1016/j.ecss.2005.09.010
- Huang, X.P., Huang, L.M., Yue, W.Z. (2003). The characteristics of nutrients and eutrophication in the Pearl River estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 47(1-6): 30-36. DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00474-5
- Karydis, M., & Kitsiou, D. (2013). Marine water quality monitoring: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1–2), 23–36. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.09.012
- Kennish, M. J. (1991). *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects*. CRC Press.
- Kitsiou, D., & Karydis, M. (2011). Coastal marine eutrophication assessment: A review on data analysis. *Environment International*, 37(4), 778–801. DOI: 10.1016/j.envint.2011.02.004
- Köchling, T., Sanz, J.L., Galdino, L., Florencio, L. Kato, M.T. (2017). Impact of pollution on the microbial diversity of a tropical river in an urbanized region of northeastern Brazil. *International Microbiology*, 20(1): 11-24. DOI: 10.2436/20.1501.01.281.
- Lee, J., K.-T. Park, J.-H. Lim, J.-E. Yoon, and I.-N. Kim. (2018). Hypoxia in Korean coastal waters: A case study of the natural Jinhae Bay and artificial Shihwa Bay. *Frontiers in Marine Science*, 5(70), 1-19. DOI: 10.3389/fmars.2018.00070
- Li, G., Liu, J., Diao, Z., Jiang, X., Li, J., ... Tan, Y. (2018). Subsurface low dissolved oxygen occurred at fresh- and saline-water intersection of the Pearl River estuary during the summer period. *Marine Pollution Bulletin*, 126: 585-591. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.061>
- Micheli, F., Heiman, K. W., Kappel, C. V., Martone, R. G., Sethi, S. A., Osio, G. C., Fraschetti, S.; Shelton, A.O.; Tanner, J. M. (2016). Combined impacts of natural and human disturbances on rocky shore communities. *Ocean Coast. Management*, 126:42–50. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.03.014.
- Mohebbi, M. R., Saeedi, R., Montazeri, A., Azam Vaghefi, K., Labbafi, S., Oktaie, S., ... Mohagheghian, A. (2013). Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI). *Ecological Indicators*, 30, 28–34. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.02.008
- Nascimento, R. C. M.; Guilherme, B.C. ; Araujo, M. C. B. ; Magarotto, M. ; Silva-Cavalcanti, J. S. (2018). Uso de Indicadores Ambientais em áreas costeiras: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 1, 052-069.
- Navratil, O., Esteves, M., Legout, C., Gratiot, N., Nemery, J., Willmore, S., Grangeon, T. (2011). Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. *J. Hydrol.* 398: 246–259. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.12.025.
- O'Boyle, S., McDermott, G., Wilkes, R. (2009). Dissolved oxygen levels in estuarine and coastal waters around Ireland. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11): 1657-1663. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.07.002
- Qin, H., He, K., & Fu, G. (2016). Modeling middle and final flush effects of urban runoff pollution in an urbanizing catchment. *Journal of Hydrology*, 534, 638–647. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.01.038
- Renjith, K. R., Chandramohanakumar, N., & Joseph, M. M. (2011). Fractionation and bioavailability of phosphorus in a tropical estuary, Southwest India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174(1–4), 299–312. DOI: 10.1007/s10661-010-1458-8
- Robins, P. E., Skow, M.W., Lewis, M.J., ..., Jago, C.F. (2016) Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 169: 119–135. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.12.016.
- Schettini, C.A.F., Miranda, J.B., Valle-Levinson, A., Truccolo, E.C., Domingues, E.C. (2016). The circulation of the lower Capibaribe Estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(3): 263-276. DOI: 10.1590/S1679-87592016119106403
- Tagliani, P. R. A. (2018). Base ecossistêmica para o ordenamento territorial na planície costeira do Rio Grande do Sul. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 44, 36–50. DOI: 10.5380/dma.v44i0.54997
- Telesh, I. V., & Khlebovich, V. V. (2010). Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 61(4–6), 149–155. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.02.008
- Van Diggelen, A.D. & Montagna, P.A. (2016). Is Salinity Variability a Benthic Disturbance in Estuaries? *Estuaries and Coasts* 39(4):967-980. DOI: 10.1007/s12237-015-0085-9
- Wetz, M. S., Hayes, K. C., Fisher, K. V. B., Price, L., & Sterba-Boatwright, B. (2016). Water quality dynamics in an urbanizing subtropical estuary (Oso Bay, Texas). *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 44–53. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.02.013
- Xavier, D.A., Barcellos, R.L., Figueira, R.C.L., Schettini, C.A.F. (2016). Evolução sedimentar do estuário do Rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização. *Tropical Oceanography*, 44(2): 74-88. DOI: 10.5914/2016.0126