



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Talita Pereira Silva

Variação temporal do estado trófico em um sistema estuarino tropical sob influência dos
eventos climáticos *El Niño* e *La Niña*

RECIFE- PE

2017

Talita Pereira Silva

Variação temporal do estado trófico em um sistema estuarino tropical sob influência dos eventos climáticos *El Niño* e *La Niña*

Dissertação apresentada à Coordenação do Departamento de Oceanografia do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito à obtenção do grau de mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Química

Orientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes

Coorientadora: Prof. Dra. Dóris Regina Aires Veleda

RECIFE- PE

2017

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S586v

Silva, Talita Pereira.

Variação temporal do estado trófico em um sistema estuarino tropical sob influência dos eventos climáticos *EL NIÑO* e *LA NIÑA* / Talita Pereira Silva. - 2017.

88 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Dóris Regina Aires Veleda.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2017.

Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Variação temporal. 3. Estado trófico. 4. Anomalias Climáticas. 5. Estuário. I. Flores Montes, Manuel de Jesus (Orientador). II. Veleda, Dóris Regina (Coorientadora). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-152

Variação temporal do estado trófico em um sistema estuarino tropical sob influência dos
eventos climáticos *El Niño* e *La Niña*

Dissertação defendida e aprovada em: 22 de fevereiro de 2017

Banca Examinadora:

Dóris Regina Aires Velela (Coorientadora) - Presidente da Banca

Fernando Antônio do Nascimento Feitosa (PPGO-UFPE) - Examinador Interno

Werônica Meira de Souza (UFRPE) - Examinador Externo

Sigrid Neumann Leitão (PPGO-UFPE) - Suplente Interno

Felipe Lima Gaspar - Suplente Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceber saúde e o bom ânimo para início dessa jornada.

A meus pais, Romildo e Gracinete, por todo incentivo e amor.

À minha querida irmã Tami, que mesmo tão distante se fazia tão presente com suas palavras sábias e confortantes para que nunca deixa-se a fé de lado e sempre acreditasse que todo esforço despendido valeria a pena.

Ao meu querido Ítalo, pessoa incrível no qual tenho o prazer de conviver, tanto me ajudou e continua a ajudar. É impossível expressar em palavras a gratidão que tenho por ti.

A Manuel, meu orientador, que desde o início, me recebeu com grande carisma e atenção.

À Dóris, pessoa incrível ao qual tive a honra de ser coorientada.

Aos meus queridos amigos LOQuim, sem a ajuda e os ensinamentos de vocês seria impossível. Agradeço em especial a Keyla, Josi e Felipe, que abriram meus caminhos para as rotinas laboratoriais. Em seguida, mas não menos importante, agradeço aos demais integrantes Brenno, Lucas, Jamerson, Bruna, Thaíse e Bárbara pelos árduos e divertidos momentos de análises.

Agradeço a todos os colegas do Laboratório de Fitoplâncton (Ísis, Nayana, Nize e Laisa), em especial Fernando Feitosa e Amanda Yumi, pelo apoio, simpatia e grande alegria ao tratar assuntos dos mais variados aspectos, seja para a pesquisa ou um simples encontro de corredor.

À Sabrininha pela ajuda valiosa com os materiais da UFRPE.

Aos amigos que adquiri no curso de mestrado, em especial à Cibeles Rodrigues.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Oceanografia.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida através do Edital Ciências do Mar II, projeto DICAM 1975/2014.

E claro, não poderia faltar o meu muito obrigada a todos os estudiosos que se dedicaram ao Canal de Santa Cruz – Canal mais lindo do Brasil.

RESUMO

As influências dos fenômenos *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN) sobre os padrões hidrológicos e índice de estado trófico - TRIX foram pesquisados na região do Complexo Estuarino Canal de Santa Cruz (CECSC), Itamaracá, Pernambuco, Brasil. A área em epígrafe detém atividades impactantes como agricultura, carcinicultura, atividades industriais e ocupação urbana. Dessa forma, foi realizado um levantamento de dados hidrológicos não-contínuos disponíveis no período de 1974 a 2014 e coleta de dados primários no período de 2015 a 2016, com o objetivo de determinar a amplitude das variações dos principais parâmetros físicos, químicos e biológico (clorofila – *a*), e posteriormente, tais parâmetros foram separados em dois manuscritos. O primeiro manuscrito, utilizou tais parâmetros para o índice de estado trófico - TRIX. Para análise das influências dos eventos EN e LN, padrões de precipitação foram analisados, utilizando uma série de dados mensais (42 anos) disponibilizados pela APAC e INMET. O segundo manuscrito analisou os padrões de precipitação e a influência de EN e LN sobre os nutrientes e clorofila-*a*. Os resultados de influências de LN sobre as chuvas na área em estudo, indicaram máxima de 150,95% acima da média histórica (1963-2016) em dezembro de 1974, enquanto que a mínima, indicando a influência de EN, de -83,83% abaixo da média histórica, em abril de 2015. A análise temporal de TRIX no CECSC nos revelou uma diferença significativa ($p < 0,05$) indicando o aumento entre o ano inicial de análise (1974) e 2007, 2008, 2013 e 2015. A partir da interpretação dos dados de anomalias de TRIX e precipitação, verificamos o valor mínimo para anomalia negativa e o valor máximo para a positiva encontrada para precipitação de -250,25mm em abril de 2012, e de 456,13mm em maio de 1974, ano de marcante LN, respectivamente. A anomalia máxima para o TRIX foi de 2,83 em novembro de 2013, e a mínima anomalia negativa encontrada para TRIX foi de -3,02 em novembro de 2010, onde nesse período se instalava LN. A relação crescimento populacional ($R^2=0,99$) e TRIX ($R^2=0,91$), obteve relação direta entre estes parâmetros. O registro temporal da concentração de clorofila-*a* para os anos de 2015 e 2016 apresentaram redução de 37% e 86% em relação a mediana histórica das concentrações de clorofila-*a*, destoando da tendência de aumento verificada até 2014. Para o NID e fosfato também foi verificada uma redução nas concentrações nos anos de 2015 e 2016, anos de marcante EN. A relação nutrientes *versus* sazonalidade demonstrou maiores concentrações do NID e clorofila-*a* no período chuvoso e menor concentração do fosfato. Os resultados aqui apresentados indicam que LN e EN geram alterações nos padrões de chuva, mas não alteram o estado trófico do sistema, sendo as alterações encontradas em decorrência das ações antrópicas. Estudar a relação de eventos climáticos sobre áreas estuarinas é relevante para compreensão do grau de influência sobre os parâmetros químicos e biológicos em ecossistemas estuarinos. E a partir do estudo dessa relação, poder inferir as consequências e previsões, caso os ditos eventos alcancem maior frequência.

Palavras-Chave: Variação temporal. Estado trófico. Anomalias climáticas. Estuário.

ABSTRACT

The influences of the phenomena *El Niño* (EN) and *La Niña* (LN) on the hydrological patterns and trophic state index - TRIX were investigated on the Estuarine Complex Santa Cruz Channel (ECSCC), Itamaracá, Pernambuco, Brazil. The area in question has impacting activities such as agriculture, shrimp farming, industrial activities and urban occupation. Thus, a survey of non-continuous hydrological data available from 1974 to 2014 and primary data collection was carried out in the period from 2015 to 2016, aiming to determine the amplitude of variations of the main physical, chemical parameters and biological (chlorophyll - *a*). Moreover, the results were divided in chapters. The first chapter used these parameters to calculate the trophic state index (TRIX). For the analysis of the influences of the EN and LN events, precipitation patterns were analyzed using a series of monthly data (42 years) made available by APAC and INMET in the ECSCC area. In the second chapter it was analyzed the precipitation patterns and the influence of EN and LN on nutrients and chlorophyll-*a*. The LN event of december 1974 influenced the rainfall over the study area with a maximum pluviometry 150.95% above the historical average (1963-2016), while the minimum, pluviometry registered on april 2015 with the influence of EN, of 83, 83% below the historical average. There was a negative tendency for rainfall in the ECSCC. The temporal analysis of TRIX revealed a significant difference ($p < 0.05$) indicating the increase between the first year of analysis (1974) and later years (2007, 2008, 2013 and 2015). From the analysis of TRIX anomaly and precipitation, we verified the minimum value for negative anomaly and the maximum value for the positive found for precipitation of -250.25 mm in April 2012 and 456.13 mm in May of 1974, year of LN, respectively. The maximum anomaly for the TRIX was 2.83 in November 2013, and the minimum negative anomaly found for TRIX was -3.02 in November 2010, during a strong LN event. The relationship between population growth ($R^2 = 0.99$) and TRIX ($R^2 = 0.91$), obtained a direct relation between these parameters. The chlorophyll-*a* concentration showed that the years 2015 and 2016 presented a reduction of 37% and 86% in relation to the historical median of chlorophyll-*a* concentrations, disregarding the trend of growth up to 2014. For NID and phosphate, a reduction in concentrations was also observed in the years 2015 and 2016, a significant year of EN. The relationship nutrients *versus* seasonality showed higher NID and chlorophyll-*a* values in the rainy season and lower phosphate value. The results presented here indicate that external natural phenomena, such as LN and EN generate changes in rainfall patterns in the ECSCC, but do not alter the trophic state of the system, and the alterations are found due to the anthropic actions that are induced to worsen the water quality by up to about 50.94%. Studies about the relationship of climatic events on estuarine areas are relevant to understand the degree of influence on chemical and biological parameters in estuarine ecosystems.

Keywords: Temporal variation. Trophic state. Climate anomalies. Estuary.

LISTA DE FIGURAS - MANUSCRITO I

Figure 1. Map of the study area showing the location of collection stations (black dots) from 2015 and 2016 in the Santa Cruz Channel. The collection stations of the other years are located in the channel area.....	39
Figure 2. Monthly rainfall medians from 1974 to 2016.	44
Figure 3. Total annual precipitation and distribution of <i>El Niño</i> events (EL) and <i>La Niña</i> (LN) events from 1963 to 2016.	45
Figure 4. Temporal analysis of TRIX and TRIX scale classification of water quality (high, good, moderate, and degraded).....	46
Figure 5. Seasonality of the TRIX from 1974 to 2016.....	47
Figure 6. Precipitation anomalies and TRIX anomalies from 1974 to 2016.....	48
Figure 7. Relationship between population growth in the municipalities of the Santa Cruz Channel area and TRIX average by decade.....	49

LISTA DE FIGURAS - MANUSCRITO II

Figura 1. Mapa da área de estudo com a localização das estações de coleta (pontos pretos) dos anos de 2015 e 2016 no Canal de Santa Cruz. As estações de coleta dos demais anos localizam-se na área de abrangência do Canal.	63
Figura 2. Médias mensais de 2015 - 2016 e médias do recorte histórico de 1963 a 2016	66
Figura 3. Médias trimestrais de precipitação pluviométrica na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE.....	66
Figura 4. Número de dias por ano com precipitação ≥ 1 mm, ≥ 10 mm e ≥ 20 mm na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE.	67
Figura 5. Número de dias por ano com precipitação ≥ 50 mm na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE.....	67
Figura 6. Maior precipitação acumulada em um dia na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE	68
Figura 7. Análise temporal da Clorofila- a e distribuição dos eventos <i>El Niño</i> (EN) e <i>La Niña</i> (LN) , no Canal de Santa Cruz-PE, destaque em negrito para os anos considerados de forte relevância.....	69
Figura 8. Análise temporal da concentração de NID- Nitrogênio Inorgânico Dissolvido ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) no Canal de Santa Cruz-PE	69
Figura 9. Análise temporal da concentração do fosfato ($\mu\text{mol.l}^{-1}$) no Canal de Santa Cruz-PE	71
Figura 10. Concentração média dos nutrientes (Fosfato, Nitrato, Nitrito e Amônia) e Clorofila -a de acordo com a sazonalidade no período de 1974 a 2016 no Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz-Itamaracá, PE-Brasil	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Efeitos potenciais da eutrofização. Adaptado de Smith & Schindler, 2009.....	20
Tabela 2. Atividades impactantes na bacia do Rio Igarassu. Adaptado CPRH, 2002.....	25
Tabela 3. Atividade impactantes na bacia do Rio Botafogo. Fonte: LIMA, 2006	27
Tabela 4. Relação detalhada de dados pretéritos utilizados no presente trabalho	30
Tabela 5. Relação detalhada de dados primários utilizados no presente trabalho.....	32
Tabela 6. Lista de valores e designações da escala TRIX (Vollenweider <i>et al.</i> , 1998).....	33

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1.	Sistema Estuarino	18
2.2.	Eutrofização	19
2.3.	Índice de estado trófico	21
2.4.	<i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> e suas influencias em áreas estuarinas	22
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
3.1.	Localização da área de estudo	25
3.2.	Uso e ocupação do solo	25
3.3.	Rios que deságuam no Canal de Santa Cruz	26
4.	METODOLOGIA.....	29
4.1.	Coletas de dados.....	30
4.1.1.	<i>Levantamento bibliográfico</i>	30
4.1.2.	<i>Dados Primários</i>	31
4.2.	Medições dos parâmetros abióticos primários.....	32
4.2.1.	<i>Climatologia</i>	32
4.2.2.	<i>Análise das águas de superfície</i>	32
4.2.2.1.	<i>Temperatura da água (°C)</i>	32
4.2.2.2.	<i>Salinidade</i>	32
4.2.2.3.	<i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	32
4.2.2.4.	<i>Nutrientes Dissolvidos</i>	32
4.3.	Parâmetros bióticos	33
4.3.1.	<i>Biomassa primária (Clorofila -a)</i>	33
4.4.	Aplicação do índice trófico.....	33
4.4.1.	<i>Índice TRIX</i>	33
5.	MANUSCRITO I.....	35
6.	MANUSCRITO II	59
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
	REFERÊNCIAS.....	83

1. INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas estuarinos são sistemas complexos, com grande variação dos fatores físicos e químicos nos quais há um fluxo constante de matéria e energia (GONZALEZ *et al.*, 2006). A característica principal destes sistemas é a brusca mudança das variáveis ambientais em um curto espaço de tempo devido aos fluxos de marés. Além disso, se distingue por apresentar intensa produtividade primária devido a grande quantidade de nutrientes trazidos, naturalmente, pela drenagem terrestre (ALVES *et al.*, 2013).

A produção primária é fundamental para a sustentação de todas as formas de vida na estruturação dos ecossistemas, pois através desse processo, viabilizam-se fluxos de matéria e energia entre o meio abiótico e biótico. Os altos níveis de produção primária, frequentemente observados nesses sistemas, são associados diretamente ao grande suprimento de nutrientes inorgânicos dissolvidos, tanto de origem natural, quanto antrópica (FONSECA *et al.*, 2002; DODDS & WHILES, 2010) que são transportados para os ambientes costeiros adjacentes.

A importância em determinar a capacidade produtiva de um ecossistema consiste em poder avaliar as suas condições de manter todos os níveis da teia trófica, através da relação produção fitoplânctônica/biomassa primária. É possível ainda, através dessa relação, classificar o referido ambiente quanto ao seu grau de eutrofização (PASSAVANTE *et al.*, 2004; LOURENÇO & JÚNIOR, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2013).

É relevante salientar que a eutrofização (excesso de nutrientes que provoca um aumento excessivo de algas) de águas estuarinas é um processo natural acentuado pelo desenvolvimento costeiro (WHITE *et al.*, 2004). Particularmente nas últimas décadas, tem-se mostrado claro que esse fenômeno constitui um problema geral nas zonas costeiras (CLOER, 2001; MOSER, 2002; GUENTHER *et al.*, 2015). A urbanização de sistemas estuarinos é capaz de alterar o funcionamento do ecossistema através do aporte de efluentes domésticos afetando a magnitude das concentrações de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e a produção primária, em escala temporal e espacial nos estuários, gerando distúrbios no equilíbrio dos organismos e deterioração da qualidade de suas águas (WHITE *et al.*, 2004; GLIBERT *et al.*, 2010).

Segundo Cloer (2001), nitrogênio e fósforo são nutrientes que quando presentes em altas proporções no meio natural acarretam mudanças na concentração de biomassa primária, na metabolização do sistema e disponibilidade de oxigênio dissolvido. Ainda de acordo com o referido autor, a estimulação da taxa de crescimento do fitoplâncton leva ao decorrer do tempo, a um desequilíbrio entre os processos de produção e consumo de algas, seguido por

sedimentação da matéria orgânica em decorrência da decomposição microbiana e consequente consumo de oxigênio.

A associação temporal entre o enriquecimento de nutrientes nas bacias hidrográficas e os surtos de eutrofização costeira apontam para a natureza antropogênica do fenômeno. Dessa forma, sobrepostos a esta tendência de eutrofização do final do século XX e início do século XXI, são encontrados fortes sinais climáticos que afetam a salinidade estuarina, os lançamentos de nutrientes, a produtividade primária e a magnitude da depleção de oxigênio dissolvido (JUSTIĆ *et al*, 2005; RABALAIS *et al.*, 2009).

Quantificar as ligações entre a variabilidade climática e a eutrofização costeira é importante, tendo em conta as previsões de que o clima da terra poderá tornar-se mais variável ao longo dos próximos 100 anos (IPCC, 2001). Precipitação, evapotranspiração e escoamento devem aumentar globalmente (MILLER e RUSSELL, 1992), e eventos extremos como secas e chuvas intensas podem se tornar mais comuns e mais intensos (WETZ & YOSKOWITZ, 2013). As mudanças nas temperaturas globais e no ciclo hidrológico podem influenciar os estuários através da magnitude e os padrões sazonais dos insumos de nutrientes que por sua vez, alterariam e influenciariam a produtividade costeira controlada pelos nutrientes. Além disso, as mudanças podem afetar as características do ambiente físico, afetando a susceptibilidade dos ecossistemas costeiros e estuarinos à eutrofização. (JUSTIĆ; RABALAIS; TURNER, 2005)

No intuito de esclarecer mais rapidamente o grau de eutrofização que o ambiente se encontra, Vollenweider *et al.*, (1998), desenvolveram um índice multivariado, o Índice de Estado Trófico (TRIX), onde o grau de eutrofização pode ser avaliado por meio deste índice, através de variáveis de causa e efeito envolvidas no processo de degradação, onde é possível, a partir deste, determinar o estado de saúde dos sistemas costeiros. O TRIX tem por finalidade classificar corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, analisa a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas (CLOERN, 2001). Ainda de acordo com Cloern (2001), o TRIX vem sendo, sobretudo, utilizado para caracterizar os sistemas que recebem nutrientes de origem antrópica, como os já citados, nitrogênio e fósforo.

Destaca-se, no Litoral Norte do Estado de Pernambuco-Brasil, o Complexo Estuarino Canal de Santa Cruz (CECSC) como o maior do estado, com uma área de aproximadamente 824 km². O CECSC reúne uma complexidade de habitats na zona costeira marinha do litoral norte de Pernambuco, como: área recifal, prados de fanerógamas marinhas, manguezal e estuários, sendo dessa forma, um ambiente com alta produtividade, biodiversidade marinha,

alta conectividade e produção pesqueira. De acordo com monitoramento da CPRH (2004), na bacia de drenagem do CECSC estão localizadas várias indústrias dentre as quais se destacam: as metalúrgicas, químicas, têxtil, de beneficiamento de alimentos e fibra de coco, de produção de papeis, plásticos, tintas e cimento. Destarte, em tal realidade, os recursos naturais apresentam-se, como relatou Rasp (1999), em progressiva deterioração devido, além da atividade industrial supracitada, ao destino inadequado do lixo, pesca predatória, desmatamento do manguezal para fins imobiliário e para a carcinicultura, e poluição proveniente de efluentes domésticos.

Deste modo, tendo sempre como pano de fundo os diferentes usos antrópicos no recorte espacial, foi avaliada nesta pesquisa a variação temporal do estado trófico do ecossistema estuarino do CECSC usando o Índice de Estado Trófico (TRIX) como ferramenta para monitorar e sistematizar informações sobre o Complexo Estuarino de Itamaracá, entre os anos de 1974 a 2016 e revelar suas relações com os fenômenos *El Niño* e *La Niña*.

Decidiu-se estudar tal fenômeno através do referido recorte espacial, pois trata-se de um dos ecossistemas mais importantes do litoral do Estado de Pernambuco, em virtude de sua grande biodiversidade, produtividade primária e secundária, sendo uma unidade ecológica de grande significado ambiental e socioeconômico (CPRH, 2010).

Portanto este estudo descreveu e interpretou a evolução trófica no recorte espacial em análise e relacionou tal evolução aos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, além de ter identificado e discutido os principais fatores forçantes de variabilidade e mudança ao longo dos anos.

1.1 Justificativa

Devido ao crescente processo de ocupação das áreas costeiras, e consequentes impactos no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, é de grande importância identificar a influência dos impactos das atividades antrópicas sobre o estado trófico, principalmente no que se refere à disponibilidade de nutrientes inorgânicos dissolvidos, a partir de fontes naturais, costeiros-fluvial, lixiviação, fontes antrópicas. Assim como sua relação com o equilíbrio ecológico e a produtividade primária nos ecossistemas estuarinos, visto que os ambientes marinhos costeiros são bem conhecidos por sua elevada produção de biomassa e capacidade de sustentar atividades pesqueiras importantes ao redor do mundo (FLORES MONTES *et al.*, 2002). Apesar da existência de estudos sobre o complexo estuarino Canal de Santa Cruz-PE, como os de Flores Montes *et al.* (1998); Flores Montes *et al.* (2002), este, apresenta a necessidade constante de monitoramento e ampliação no enfoque científico.

Nesse sentido, busca-se avaliar, qualitativa e quantitativamente, o estado trófico deste complexo estuarino, por meio da realização de um estudo que traga um registro temporal das prováveis variações da área em consequência do uso do solo, dos resíduos das atividades antrópicas e dos eventos *El Niño* e *La Niña*.e suas repercussões climáticas.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo geral*

- Determinar as mudanças temporais dos processos climáticos e antrópicos, que influenciam no estado trófico do sistema estuarino do Canal de Santa Cruz.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Classificar o nível de eutrofização em um sistema estuarino tropical, aplicando uma ferramenta de avaliação do estado trófico, o índice TRIX;
- Quantificar as variações do estado trófico no sistema estuarino do Canal de Santa Cruz nos últimos 42 anos;
- Determinar o grau das influências da ocupação antrópica, e das variações meteorológicas da região associadas aos eventos de *El Niño* e *La Niña*, no estado trófico do sistema estuarino do Canal de Santa Cruz-PE.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Sistema Estuarino

Para quem detém os conhecimentos vinculados às áreas da biologia marinha, oceanografia e geografia, certamente está bem habituado com o termo 'estuário'¹. Porém, descrever uma definição consensual deste, ainda não é possível. Dentro desta conjuntura, podemos visualizar na literatura, diversos conceitos e definições acerca desse sistema costeiro, como as de Pritchard (1967); Dionne (1963); Fairbridge (1980); Dalrymple *et al.*(1992); Perillo (1995) e Dyer (1997), todas discutíveis (ROBINS *et al.*, 2016), visto que cada ambiente possui interações e particularidades que podem atuar distintamente em cada sistema ambiental. Portanto, estuários, detém características singulares que independem de sua localização, e apresentam predicativos importantes do ponto de vista ambiental, social e econômico.

No que concerne a valoração ambiental, os estuários estão entre as áreas mais produtivas na terra e ocupam importantes áreas da zona costeira. Os aspectos que explicam a razão de sua elevada produtividade são, a capacidade de reter matéria orgânica e nutrientes, devido a sua geomorfologia e ao fluxo das marés; a rápida remineralização de nutrientes, que resultam em elevadas biomassas de fitoplâncton, macroalgas, fanerógamas marinhas, algas emergentes e manguezais (NASCIMENTO *et al.*, 2003; THURMAN; BURTON, 2001). Além de fornecerem a ciclagem da matéria orgânica, abrigo e alimento para crustáceos, moluscos, aves e fases juvenis e adultas de peixes.

Nesse sentido, de acordo com Thurman e Burton (2001), os estuários e zonas costeiras executam serviços valiosos para a sociedade humana, como: habitat para mais de 75% das capturas de peixe comercial da América e por 80-90% das capturas de peixe de recreio; recebe água de escoamento dos planaltos, carrega sedimentos, nutrientes e poluentes; à medida que a água flui, grande parte dos sedimentos e poluentes são filtrados; atuam, ainda, como “sistemas tampão”, impedindo que os efeitos de tormentas e outros eventos climáticos oriundos dos oceanos se propaguem pelos continentes adentro (NOAA, 2005; PINTO-COELHO; HAVENS, 2015).

-
- ¹Segundo Fairbridge, R.W. (1980): “Um estuário é uma entrada do mar que inunda a bacia fluvial até o limite superior da subida das marés, que pode ser dividido em três setores: a) o marinho, ou estuário inferior, com livre comunicação com o mar adjacente; b) o estuário médio, com intensa mistura de água do mar com água doce e máxima turbidez, e c) o estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce, mas sujeito à ação diária das marés”

No Brasil, processos estuarinos são diretamente afetados pelas atividades antrópicas, tais como aquicultura e pesca predatória, e, indiretamente, por atividades como a agricultura, desmatamento, urbanização.

De tal modo, é possível exemplificar os principais tensores antrópicos sofridos por determinados estuários, como a intensa urbanização e lançamento de efluentes verificadas na bacia do Pina, Pernambuco (NASCIMENTO *et al.*, 2003); carcinicultura e lançamento de efluentes na bacia do Rio Potengi, Rio Grande do Norte (RAMOS E SILVA *et al.*, 2007; SOUZA; SILVA, 2011); agricultura e pecuária no delta do Parnaíba (DE PAULA FILHO; MARINS; DE LACERDA, 2015); construções de barragens no Rio São Francisco, alterando a dinâmica estuarina (MEDEIROS *et al.*, 2011); grande descarga de poluentes urbanos na baía da Guanabara, Rio de Janeiro (KJERFVE *et al.*, 1997); pesca na baía de Paranaguá, Paraná (LANA *et al.*, 2001); atividades portuárias, esgoto doméstico, atividades industriais e fertilizantes fosfatados carregados para a área que compreende a baía de Santos, em São Paulo (BERBEL; FAVARO; BRAGA, 2015); recreação e turismo, uso da água para abastecimento e irrigação, receptor de esgotos domésticos e industriais, pesca e aquicultura no complexo da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul (TYRRELL; GEORGE, 2004), dentre outros.

Contudo, as atividades humanas têm alterado bacias hidrográficas não apenas no Brasil, mas em todo o mundo (THURMAN; BURTON, 2001). Elevada quantidade de nutrientes ocorrem naturalmente em sistemas aquáticos à medida que envelhecem, mas o crescimento da população humana se acelerou e a acumulação destes nutrientes acontece muitas ordens de magnitude mais rápida, do que ocorreria naturalmente. Altas taxas de aporte de nutrientes nos estuários podem contribuir para a doença em peixes, proliferação de algas tóxicas e não tóxicas, baixos teores de oxigênio dissolvido, e mudança acentuada no plâncton e estrutura da comunidade bentônica.

Nesse sentido, ao se avaliar e monitorar um sistema estuarino deve-se observar a complexidade que o meio detém. Observando ainda, que tipos de tensores existem na área e qual nível de influência que estes exercem sobre o sistema.

2.2.Eutrofização

Desde a revolução industrial, as atividades humanas têm motivado alterações agudas e crônicas na estrutura e na função dos ecossistemas.

O crescimento da população humana é assinalado por ocasionar demandas de usos crescentes dos ecossistemas aquático e terrestre, e as mudanças ocorrem através do desmatamento, agricultura, silvicultura, pecuária, urbanização e por alteração nos ciclos hidrológicos. Ademais, as atividades humanas também detêm impactos profundos sobre os ciclos biogeoquímicos globais, como por exemplo, nitrogênio e fósforo (SMITH *et al.*, 1999; VITOUSEK *et al.*, 1997a).

A entrada de tais nutrientes, originários do continente, são responsáveis por elevarem a carga de matéria orgânica nos corpos d'água. Esses entram na forma dissolvida ou particulada em Lagos, represas e Rios, sendo transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas e carregados para região costeira (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI; RODRÍGUEZ, 2003).

Por sua vez, a disponibilidade desses nutrientes em quantidade cada vez mais acentuadas favorece o crescimento excessivo de espécies pertencentes a base da teia alimentar, as algas, o que acaba impulsionando o processo de eutrofização² do sistema (DIAZ; ROSENBERG, 2008; MOORE *et al.*, 2013). Com isto, o ecossistema aquático passa por diversas fases de nutrição, ou seja, o estado trófico foi e está sendo modificado desde a condição oligotrófica, mesotrófica e eutrófica³.

Em termos gerais, como resposta direta da biota, ocorre o aumento na produção de fitoplâncton e aumento da biomassa, o que leva a uma acumulação e consequente aumento na decomposição do fitoplâncton derivado em matéria orgânica, resultando no consumo de oxigênio na coluna d'água (GUENTHER *et al.*, 2015). No entanto, algumas espécies que compõem o fitoplâncton podem ser nocivos para a saúde humana (por exemplo, através da produção de gás natural, biotoxinas), ou para uso humano do ecossistema (por exemplo, causando mortalidade dos peixes e restrição a exploração de moluscos) (DAVIDSON *et al.*, 2012).

² De acordo com a resolução do CONAMA N°344, Art. 2, Eutrofização é o processo natural de enriquecimento por nitrogênio e fósforo em lagos, represas, Rios ou estuários e, conseqüentemente, da produção orgânica; nos casos onde houver impactos ambientais decorrentes de processos antrópicos, há uma aceleração significativa do processo natural, com prejuízos à beleza cênica, à qualidade ambiental e à biota aquática.

³ O estado Oligotrófico é caracterizado por um ambiente que apresenta baixas concentrações de nutrientes e baixa produtividade primária, ao contrário de um ambiente Eutrófico, que apresenta alta concentração de nutrientes e alta produtividade primária, podendo ser seguido de efeitos mais severos como depleção de oxigênio dissolvido. O estado Mesotrófico é o intermédio entre as situações Oligotróficas e Eutróficas.

Dessa forma, podemos visualizar na tabela 1 os efeitos potenciais da eutrofização, causados por aportes excessivos de fósforo e nitrogênio para Lagos, reservatórios, Rios e áreas costeiras.

Tabela 1-Efeitos potenciais da eutrofização. Adaptado de Smith & Schindler, 2009.

Efeitos da eutrofização
• Aumento da biomassa de fitoplâncton e macrófitas • Aumento da biomassa das espécies de consumo • Deslocamento e florescimento de espécies de algas com potencial de toxicidade ou não comestíveis • Aumento em florações de zooplâncton gelatinoso (ambientes marinhos) • Aumento da biomassa de algas bentônicas e epífitas • Mudanças na composição de espécies de vegetação de macrófitas • Declínio na saúde nas comunidades de recifes de corais e possíveis perdas destas comunidades • Aumento da incidência da mortalidade de peixes • Reduções na diversidade de espécies • Reduções nos peixes cultiváveis e biomassa de marisco • Diminuição da transparência da água • Depleção do oxigênio • Declínios no valor estético das águas

2.3. Índice de estado trófico

No intuito de melhor interpretar o estado de deterioração de ecossistemas aquáticos por sequelas da eutrofização, alguns pesquisadores (CARLSON, 1977; NIXON, 1995; VOLLENWEIDER *et al.*, 1998), criaram e fizeram uso de índices capazes de classificar o estado ecológico que ambientes aquáticos se encontram. Os índices de estado trófico têm por finalidade avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas. Inicialmente os modelos foram aplicados para Lagos, vindo a ser aplicado posteriormente em sistemas estuarinos.

Dessa forma, é possível exemplificar alguns índices utilizados para avaliar a qualidade da água em sistemas aquáticos como o índice desenvolvido por Carlson (1977) para lagos que inclui em sua composição dados de transparência, obtidos através do disco Secchi, clorofila-*a* e fósforo total. O índice proposto por Nixon (1995) que avalia concentrações de nitrogênio e fósforo para ecossistemas estuarinos e costeiros. Outro proposto por Vollenweider *et al.*, (1998), que leva em consideração variáveis de clorofila- *a*, saturação de oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo inorgânico dissolvido. Um modelo trófico proposto por Bricker *et al.*, (2003) para avaliar estuários "Assessment of Estuarine Trophic Status" - (ASSETS), leva em consideração as forçantes hidrológicas (físico-químicas) e biológicas. O índice "Trophic Oxygen Status Index"- TOSI, proposto Viaroli & Christian (2004) em que relaciona o excesso

de produção primária com alterações na disponibilidade de oxigênio. Já o índice sugerido por Giordani *et al.*, (2009), para monitorar a qualidade das águas costeiras de transição, utiliza seis variáveis, sendo estas o oxigênio, clorofila- *a*, concentrações de nitrogênio e fósforo inorgânico dissolvido, cobertura de fanerógamas bentônicas e macroalgas oportunistas.

No presente trabalho, escolheu-se o uso da ferramenta TRIX (Trophic Index) descrita por Vollenweider *et al* (1998) visto que é um instrumento aplicável para áreas estuarinas, de fácil compreensão, capaz de reunir variáveis de fácil tratamento, além de ser bem empregadas em diversos trabalhos (FLORES MONTES *et al.*, 2011; ALVES *et al.*, 2013; CABRITA *et al.*, 2015; PAVLIDOU *et al.*, 2015; BÉJAOU *et al.*, 2016; MONTEIRO; JIMÉNEZ; PEREIRA, 2016;).

2.4. *El Niño* e *La Niña* e suas influencias em áreas estuarinas

O fenômeno *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS) é caracterizado por anomalias, positivas (*El Niño*) ou negativas (*La Niña*), de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico equatorial. A diferença de pressão ao nível do mar entre os setores centro-leste (Taiti) e oeste (Darwin) no Oceano Pacífico Tropical, está relacionada a um aquecimento anômalo de águas geralmente frias no lado leste desse oceano (NIEDZIELSKI, 2014). Este aquecimento anormal do Oceano Pacífico Equatorial que, combinado com o enfraquecimento dos ventos alísios na mesma região, provoca mudanças na circulação de grande escala da atmosfera, causando anomalias climáticas em várias regiões do globo (GRIMM *et al.*, 2000; VALIELA *et al.*, 2002; WILKERSON *et al.*, 2002; TOLAN, 2007; YEH *et al.*, 2009; FREIRE *et al.*, 2011; CHIODI & HARRISON, 2013; NIEDZIELSKI, 2014; SATHICQ *et al*, 2015; ANDRADE *et al.*, 2016 e outros).

Durante eventos de *El Niño* e *La Niña*, diversos autores têm registrado mudanças físicas e biológicas no ambiente, de tal modo, é possível exemplificar os principais efeitos sofridos por estuários, quando eventos deste tipo se tornam presentes, como o demonstrado por Sun & Furbish (1997) na Florida, onde relataram que em anos de *El Niño* e *La Niña* foram detectados maior e menor nível de água subterrânea, respectivamente; Desaparecimento quase completo das espécies de copépodos neríticos boreais (*Pseudocalanus mimus*, *Calanus marshallae* e *Acartia longiremis*) e sua substituição por espécies subtropicais como *Calanus pacificus*, *Paracalanus parvus*, *Ctenocalanus Vanus*, *Corycaeus anglicus* e várias espécies de *Clausocalanus* durante o *El Niño* de 1997 na costa central de Oregon, ainda de acordo com o estudo, essas espécies persistiram nas águas costeiras até o final de 1998

(PETERSON *et al.*, 2002); Baixos níveis de salinidade durante períodos de *El Niño* na Baía Tampa - Florida, em decorrência de precipitação elevada (SCHMIDT & LUTHER, 2002); Baixas concentrações de nutrientes durante o *El Niño* de 1998 no golfo de Farallones, Califórnia (WILKERSON *et al.*, 2002); Abundância cinco vezes menor de grupos de peixes no estuário da Lagoa dos Patos no sul do Brasil durante o *El Niño* de 1997/1998 (GARCIA *et al.*, 2003); Alta concentração de larvas de peixes no inverno e na primavera de 2010 como resultado direto do *El Niño* e das condições quentes do oceano no norte da Califórnia (AUTH *et al.*, 2015); Sathicq *et al.*(2015), no período de 2005 a 2012 no estuário do *Río de la Plata* - Argentina, onde durante as fases de *El Niño* verificaram alterações na estrutura do fitoplâncton, redução significativa da diversidade e diminuição da densidade de biomassa e fitoplâncton; Redução na salinidade e aumento nas concentrações de nutrientes dissolvidos e biomassa de fitoplâncton que se refletiu na menor riqueza e diversidade de espécies de copépodos no estuário de Taperaçu, no norte do Brasil durante o evento de *La Niña* de 2011 (ANDRADE *et al.*, 2016); Enfraquecimento da circulação no estuário do Yangtze - China, durante o evento de *El Niño* de 2002/2003 (ZHANG *et al.*, 2016);

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área de estudo

A área objeto da pesquisa é o Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz (CECSC), Itamaracá-PE, localizada na parte norte do litoral pernambucano (Figura 1) entre as latitudes 7°34'S e 7°55'S e longitudes 34°48'W e 34°52'W. A região que compreende o CECSC estão recolhidos no Decreto nº 32.488, de 17 de outubro de 2008 que declara como Área de Proteção Ambiental – APA a região que compreende os Municípios e Itamaracá e Itapissuma e parte do Município de Goiana. O canal ocupa uma área de 824 km², extensão de 22 km, largura máxima de 1,5 km, separando a ilha de Itamaracá ao continente (PASSAVANTE, 1979).

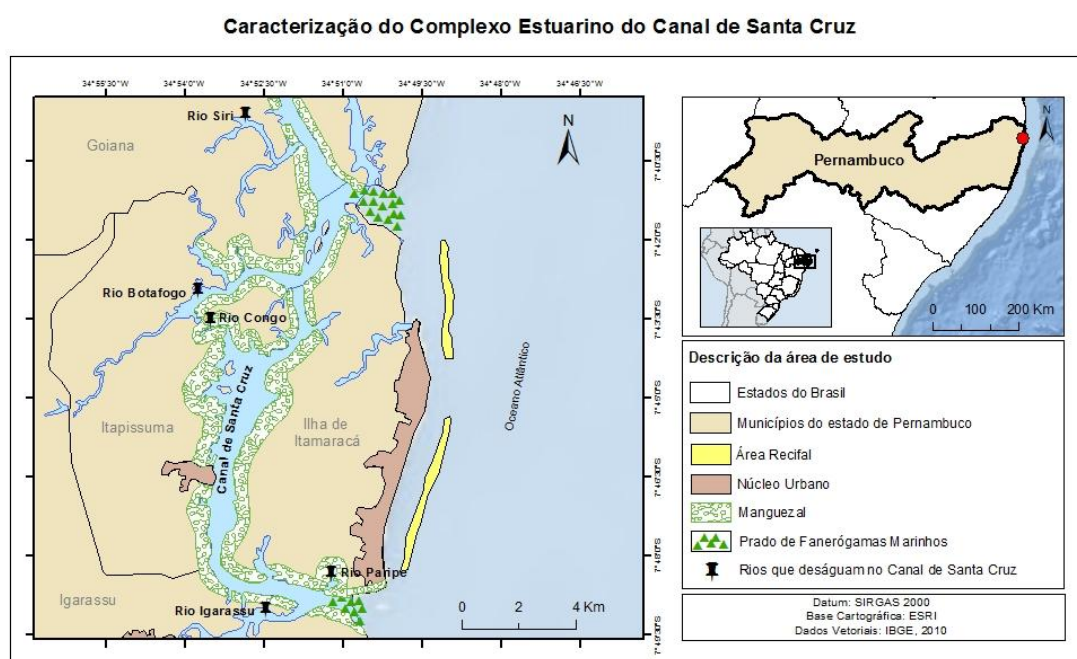


Figura 1. Canal de Santa Cruz-Itamaracá, Pernambuco, Brasil.

3.2. Uso e ocupação do solo

De acordo com o relatório de zoneamento da Área de Proteção Ambiental do CECSC (CPRH, 2010), os usos predominantes de atividades humanas no entorno do CECSC são: Residencial urbano; Residencial rural; Comunidades agrárias e tradicionais (pescadores); Agropecuária (monocultura, culturas diversificadas e pastagem); Aquicultura; Indústria e comércio; Existência de famílias economicamente dependentes da localidade, incluindo o uso como domicílio comunidades tradicionais (Ilhéus e pescadores) com dependência da pesca e da coleta estuarina e marítima (peixes, moluscos, crustáceos, etc.).

3.3 Rios que deságuam no Canal de Santa Cruz

O CECSC recebe influência continental através de vários Rios, sendo os principais: Igarassu e Paripe na parte Sul, e Congo, Botafogo, Siri e Carrapicho ao Norte. Exatamente por tal característica, o CECSC é um ambiente altamente complexo e rico em biodiversidade, sendo capaz de refugiar espécies vegetais e animais de suma importância econômica e ambiental.

Nesse sentido, para compreendermos o quão complexo é o CECSC, vamos fazer o esforço de detalhar as principais atividades realizadas nas proximidades de cada estuário, anteriormente mencionados, que deságuam no canal;

1) **Rio Igarassu:** O Rio Igarassu, localizado entre as coordenadas 7°49'3"S - 34°51'40"W, nasce a sudoeste da cidade homônima, possui 10 km de extensão, e sua foz está situada no CECSC. Este está localizado entre os municípios de Igarassu (81,7%), Abreu e Lima (16,1%), Itapissuma (1,9%) e Paulista (0,3%), possuindo uma área de 14.341,20 ha (CPRH, 2001). O Rio recebe como principais afluentes pela margem esquerda, o Riacho do Paulo, Rio Conga e o Rio Tabatinga e, pela margem direita, o Rio Bonança, Rio Utinga, Rio Monjope e o Rio Maniguara (CPRH, 2004). Na tabela 2, encontra-se a relação das fontes poluidoras encontradas ao longo da bacia do Rio Igarassu.

A ocupação de sua bacia dá-se por granjas e chácaras, silvicultura, policultura, indústria de vinho na porção superior, e cultivo de coco e indústrias de papel, papelão na porção central, matadouro e indústria de metais e alimentos na porção inferior. No curso médio do Rio Tabatinga existe o Refúgio Charles Darwin, área de conservação remanescente da Floresta Atlântica com 60 hectares (CPRH, 2004; LEÃO *et al.*, 2008).

Tabela 2. Atividades impactantes na bacia do Rio Igarassu. Adaptado CPRH, 2002.

Nomes dos Rios/Canal	Unidades Impactantes	Tipologias
Rio Bonança	Barragem de Bonança	Abastecimento Público
Rio Utinga	Barragem de Cruz de Rebouças	Abastecimento Público
Rio Monjope	Musashi do Brasil e Zacarias Têxtil	Indústria mecânica e têxtil
Riacho do Paulo	Engarrafadora Igarassu LTDA	Indústria de vinhos
Rio Congo	A montante-Barragem Chã de Ambrósio	Abastecimento Público

Rio Conga	A jusante-Ondunorte II, Fortfio Carne e Queijo	Papéis e derivados Distribuidora de alimentos
Rio Igarassu	Fibras do Nordeste LTDA	Comércio de produto de fibra
Rio Tabatinga	Matadouro	
Rio Maniguara	Indústria de alimentos Sampaio e Lever	Alimentos
Deságue-Canal de Santa Cruz	-	-

2) **Rio Paripe:** Está situado ao sul da ilha de Itamaracá entre as coordenadas, 7°48'38'' S e 34° 51' 27''W. O Rio apresenta 4 km de extensão, e profundidade máxima de 3 metros em preamar de sizígia, seu estuário possui cerca de 1,6 km de comprimento (EL-DEIR, 1998). Próximo a seu estuário encontra-se a vila de pescadores denominada Vila velha, esta possui uma estreita afinidade com o Rio, utilizando de seus recursos para subsistência e residindo em suas margens (EL-DEIR, 1998). A ação antropogênica neste ambiente é considerada mínima, vivendo a população local, basicamente, da atividade agrícola e da pesca (LACERDA, 1994; SANTOS, 2001). No entanto, El-Deir (1998) alertara sobre as condições precárias de saneamento vividas pelas comunidades próximas ao Rio e que possivelmente poderia influenciar a dinâmica do sistema hídrico.

3) **Rio Congo:** Está localizado no Município de Itapissuma, situado nas coordenadas 7°46'26"S e 34°53'27"W. Possui uma extensão de aproximadamente 2,4 km, nasce na região central da cidade de Itapissuma no Chã da Misericórdia, percorrendo todo o norte do município como filetes de água e pequenos córregos, formando um riacho ao norte, o riacho Pitanga que se incorpora a outros córregos formando o Rio Congo, e este finalmente desemboca no Canal de Santa Cruz (FERNANDES, 1997).

4) **Rio Botafogo:** A bacia dos Rios Botafogo-Aratuca é a mais extensa dentre aquelas totalmente inseridas no Litoral Norte, medindo 47. 679,36 ha. A bacia do Rio Botafogo, localizada na parte norte da região metropolitana do Recife, está inserida no Grupo de Pequenas Bacias Litorâneas – GL1. Apresenta extensão aproximada de 265 km², abrange áreas dos municípios de Araçoiaba, Abreu e Lima, Igarassu, Itapissuma, Itaquitinga e Goiana, sendo delimitada pelos paralelos de -07° 41' 45'' e de -07° 55' 14'' de latitude Sul e os meridianos de -34° 52' 40'' e de -35° 09' 37'' de longitude Oeste. O Rio apresenta 93 km de extensão, desses, 34,8% corresponde a área litorânea, além disso o Botafogo é formado pela

junção de diversos cursos d'água situado ao norte e oeste, pela bacia do Rio Goiana, ao sul, pelas bacias do Rio Capibaribe e a leste pelo Canal de Santa Cruz, que por sua vez conecta-se através de suas margens norte e sul ao oceano atlântico. O estuário está situado a cerca de 35 km da capital, Recife. Na tabela abaixo, encontra-se a relação das fontes poluidoras e cidades localizadas no Rio Botafogo.

Tabela 3. Atividade impactantes na bacia do Rio Botafogo. Fonte: LIMA, 2006.

Nomes dos Rios/Canal	Unidades Poluidoras	Tipologias
Riacho Pilão	Araçoiaba	Cidade
Rio Cumbe	Três Ladeiras	Cidade
Rio Catucá	ReservatóRio Botafogo	Abastecimento Público
Rio Cumbe	Usina São José	Usina de Açúcar /destilaria de álcool
Rio Botafogo	Nordesclor S/A	Produtos químicos
Rio Botafogo	Companhia AgroIndustrial Igarassu (CAII)	Produtos químicos
Rio Botafogo	INAGRO (DESATIVADA)	Produtos orgânicos
Rio Botafogo	Vila do Araripe	Povoado
Canal de Santa cruz	Carcinicultura marinha	Criação de camarões

5) **Rio Siri**: Possui pequena profundidade, pertence à bacia do Rio Itapessoca, localizada no município de Goiana, situado nas coordenadas 7° 40' 90" Lat. S e 34° 51' 180" Long. W está localizado na parte extrema norte do Canal de Santa Cruz. Como fontes poluidoras neste Rio a CPRH (2001), descreve agricultura, avicultura e a exploração de areia.

6) **Bacia do Rio Itapessoca/Carrapicho**: Pertence à bacia do Rio Itapessoca, que está localizado na porção sul- oriental do município de Goiana. Com uma área total de 12.584,06 ha, o que representa 9,2% da superfície do litoral norte e 25,3% do município de Goiana. Possui aproximadamente 10 km de extensão, sendo considerado um dos principais tributários do CECSC.

Na bacia do Rio Itapessoca/Carrapicho, as atividades que resultam em impactos para o ecossistema são as culturas da cana-de-açúcar, coco, avicultura, e exploração de areia, bem como a extração de calcário para a produção de cimento (Ilha de Itapessoca). Além de possuir ação poluidora dos produtos utilizados na cana-de-açúcar, na avicultura, resíduos de origem doméstica (Tejucopapo e povoados na bacia) e industrial (matadouro de Tejucopapo).

4. METODOLOGIA

METODOLOGIA

4.1. Coletas de dados

Os dados foram obtidos através de levantamento bibliográfico no banco de dissertações, teses das universidades UFPE e UFRPE, como também os dados da Agência Estadual de Meio Ambiente - CPRH e em artigos publicados em revistas científicas, para o levantamento de dados abióticos e bióticos, no período de 1974 a 2014.

4.1.1 Levantamento bibliográfico

A seleção de dados pretéritos foi realizada e os dados foram tabulados de forma que os parâmetros de interesse fossem selecionados. Para tanto, na tabela 4, detalhamos em ordem temporal, as pesquisas selecionadas no período de divulgação entre 1976 a 2014.

Tabela 4. Relação detalhada de dados pretéritos utilizados no presente trabalho.

Relação de dados pretéritos utilizados no presente trabalho			
Publicação	Título	Período	Autor
1976	Caracterização do Canal de Santa Cruz (Pernambuco-Brasil) em função dos parâmetros físico-químicos e pigmentos fotossintéticos.	Julho de 1974 a julho de 1975	Cavalcanti, L. B.
1979	Produção Primária do Fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco).	Março de 1976 a junho de 1977	Passavante, J. Z. O.
1992	Variação sazonal e espacial da produção, biomassa e densidade fitoplanctônica no estuário do Rio Paripe.	Junho de 1988 a maio de 1989	Silva, I. G.
1997	Produtividade fitoplanctônica relacionada com alguns aspectos ecológicos no estuário do Rio Congo (Itapissuma-PE).	Abril de 1995 a abril de 1996	Fernandes, M. A. A.
2002	Relatório de monitoramento ambiental de dados hidrológicos na área de influência do projeto de carcinicultura NETUNO, nos estuários dos Rios Congo e Botafogo.	Janeiro, abril e outubro de 2002	Relatórios - CPRH
2003	Relatório de monitoramento ambiental de dados hidrológicos na área de influência do projeto de carcinicultura NETUNO, nos estuários dos Rios Congo e Botafogo.	Janeiro, abril, julho e dezembro de 2003	Relatórios - CPRH
2004	Relatório de monitoramento ambiental de dados hidrológicos na área de influência do projeto de carcinicultura NETUNO, no Canal de Santa Cruz e nos Rios Congo e Botafogo.	Abril de 2004	Relatórios - CPRH
2005	Influência Hidrológica e Biomassa Fitoplanctônica nas Barras Orange e Catuama (Canal de Santa Cruz)-	Agosto de 2001	Figueiredo, J. A.

	Itamaracá-PE: Variação Nictemeral.		
2006	Relatório de monitoramento ambiental de dados hidrológicos na área de influência do projeto de carcinicultura NETUNO, no Canal de Santa Cruz e nos Rios Congo e Botafogo.	Agosto de 2006	Relatórios - CPRH
2006	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu-PE	Janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro de 2006	Relatórios - CPRH
2007	Nutrientes Dissolvidos e Biomassa Primária nos Estuários dos Rios Botafogo e Carrapicho-PE	Agosto de 2003 a agosto de 2004	Melo, A. A. S.
2007	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Janeiro, março, maio, setembro e novembro de 2007	Relatórios - CPRH
2008	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Março e maio de 2008	Relatórios - CPRH
2009	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Janeiro, maio, julho, setembro e novembro de 2009	Relatórios - CPRH
2010	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Janeiro, março, maio, setembro e novembro de 2010	Relatórios - CPRH
2011	Análise da Qualidade Ambiental no Estuário do Rio Botafogo: Determinação do Índice Trófico e Componentes do Fósforo na Coluna da água	Abril de 2007 a março de 2008	Travassos, R. K.
2011	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Janeiro, março, setembro e novembro de 2011	Relatórios - CPRH
2012	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro de 2012	Relatórios - CPRH
2013	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro de 2013	Relatórios - CPRH
2014	Uso de índices ambientais como ferramentas de avaliação do estado trófico (qualitativo e quantitativo) de estuários no estado de Pernambuco	Março de 2007 a março de 2008	Nascimento Filho, G. A.
2014	Monitoramento do estuário do Rio Igarassu e Botafogo-PE	Janeiro e maio de 2014	Relatórios - CPRH

CPRH: Agência Estadual de Meio Ambiente

4.1.2. Dados Primários

A seleção de dados primários foi realizada através de dados coletados *in loco*. Para tanto, na tabela 5, detalhamos em ordem temporal, o período e pontos de coleta nos anos de 2015 e 2016.

Tabela 5. Relação detalhada de dados primários utilizados no presente trabalho.

Relação de dados primários utilizados no presente trabalho		
Ano de coleta	Período	Estações de coleta
2015	Julho e novembro de 2015	1) Estuário do Rio Igarassu (Lat: 07,81311° Lon: -34, 85798°) 2) Canal de Santa Cruz (Lat:07,80452° Lon: 34,89044°) 3) Ponte de Itapissuma - Canal de Santa Cruz (Lat:07,77701° Log:34, 87762°)
2016	Março e julho de 2016	4) Estuário do Rio Congo (Lat: 07,74200° Lon: 34,87762°) 5) Estuário do Rio Botafogo (Lat:07,71105° Lon: 34, 86888°) 6) Barra de Catuama (Lat:07,67795° Lon:34,85577°)

4.2 Medições dos parâmetros abióticos primários

4.2.1 Climatologia

Os dados climatológicos foram obtidos através da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

4.2.2 Análise das águas de superfície

4.2.2.1 Temperatura da água (°C)

Para medição da temperatura da água foi utilizado um perfilador CTD Seabird.

4.2.2.2 Salinidade

Para determinação da salinidade foi utilizado um perfilador CTD Seabird.

4.2.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)

Para determinação do teor de oxigênio dissolvido (O.D.) na coluna de água, foram coletadas amostras de água em frascos âmbar, por meio de garrafas oceanográficas. As amostras foram fixadas em campo, e posteriormente encaminhadas para o laboratório de Oceanografia Química (LOQuim) para posterior análise, segundo metodologia modificada de Winkler, descrita por Strickland & Parsons (1972). Para cálculo da taxa de saturação de oxigênio, foi aplicada a correlação entre a temperatura e a salinidade da água, de acordo com a tabela da International Oceanographic Tables (UNESCO, 1973).

4.2.2.4 Nutrientes dissolvidos

As amostras de nutrientes dissolvidos coletadas na coluna de água foram armazenadas em garrafas plásticas previamente descontaminadas e resfriadas imediatamente para transporte ao laboratório, posteriormente foram filtradas e congeladas até o momento da

análise. Para determinação do nitrito-NO₂ e nitrato-NO₃ foram empregadas às técnicas descritas por Strickland e Parsons (1972), para nitrogênio amoniacal (NH₃+NH₄) e fosfato-P foi utilizada a metodologia descrita por Grasshoff *et al.* (1983).

4.3 Parâmetros bióticos

4.3.1 Biomassa primária

Foram coletadas amostras de água através de garrafas oceanográfica tipo Niskin, e armazenadas em garrafas plásticas, protegidas do sol e do calor até o momento de sua filtração no laboratório de fitoplâncton (LABFITO). O método para determinação da biomassa primária (clorofila – *a*) foi o da análise espectrofotométrica descrito em UNESCO (1966).

4.4 Aplicação do índice trófico

4.4.1 Índice TRIX

Para a caracterização do atual estado trófico do CECSC foi utilizado o índice multivariado do estado trófico TRIX (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998).

Os parâmetros utilizados foram: concentração de clorofila- *a*, taxa de saturação de oxigênio dissolvido, concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido e concentração de fósforo dissolvido (utilizado quando não havia existência dos nutrientes totais no levantamento de dados pretéritos) ou total (utilizado nos dados publicados nos anos de 2011, 2014 e nos dados primários de 2015 e 2016).

A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\text{TRIX} = (\log_{10}(\text{Cl } a \times |\%O_2| \times \text{NID} \times \text{PID}) + k) / m$$

Onde:

a) Fatores que são a expressão direta da produtividade:

Cl *a* = concentração de clorofila- *a*, em µg L⁻¹;

|%O₂| = Valor absoluto da porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, [abs |100 - %O|];

b) NID = nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato – NO₃, nitrito – NO₂, amônia – NH₄), em µg L⁻¹;

PID = fósforo inorgânico dissolvido, em µg L⁻¹.

As constantes *k* = 1,5 e *m* = 1,2, são valores de escalas introduzidos para ajustar o valor limite mais baixo do índice e a extensão da escala trófica relacionada, de 0 a 10 unidades TRIX. Foram utilizados os seguintes valores para descrever os sistemas:

Tabela 6. Lista de valores e designações da escala TRIX (Vollenweider *et al.*, 1998).

Escala TRIX	Estado da qualidade da água	Nível de eutrofização
0 - 4	Alta	Baixa
4 - 5	Boa	Média
5 - 6	Mal	Alta
6 - 10	Pobre	Elevada

5. MANUSCRITO I

MANUSCRITO I

Temporal variation of the trophic state in a tropical estuary: influences of climatic events *El Niño* and *La Niña*, and anthropogenic occupation

Abstract

The influences of the phenomena *El Niño* and *La Niña* can alter the trophic state and change the biodiversity of coastal areas. The Estuarine Complex of the Santa Cruz Channel (ECSCC), one of the most important in northeastern Brazil, high primary production due to the presence of mangroves, seaweed, marine phanerogams, and reef barriers, has been undergoing changes in its environmental quality because of direct or indirect anthropogenic activities. Our study identified temporal changes in the estuarine system, based on the surveying of hydrological data from 1974 to 2014. Primary data were collected from 2015 to 2016, to determine the extent of the variations of the main abiotic parameters (temperature, salinity, dissolved oxygen, oxygen saturation percentage, concentration of dissolved nutrients (ammonia, nitrite, nitrate and phosphate), and biological parameters (chlorophyll-*a*). The trophic state index – TRIX, was used to obtain a single reference value that could easily assess variations of water quality and level of eutrophication over time, and correlate them with the climatic events *El Niño* and *La Niña*, and/or increased human activities in the region. Rainfall patterns were analysed using a time series of 42 years of monthly data provided by the APAC and INMET, for the river basins that form this estuarine system. The results of the influence of *La Niña* on the rains in the study area revealed that the highest increase in the time series (1963-2016) was 150.95%, while in the period of *El Niño* was -83.83% related to the lowest historical median, throughout the analysis period. Temporal analysis of the TRIX in the ECSCC revealed a significant difference ($p < 0.05$) between the reference year (1974) with 2007, 2008, 2013 and 2015, reaching a maximum of 3.41, 7.86, 5.94, 6.18, and 5.39 in the respective years. The interpretation of anomalies in the data of TRIX and precipitation indicated weak correlation between these parameters. However, our analysis of the relationship between TRIX and population growth revealed a direct correlation of growth in both parameters. Remote phenomena, such as *La Niña* and *El Niño*, cause changes in rain patterns in northeastern Brazil, but they did not cause evident differences in the trophic state of the ECSCC. The observed changes were the result of the direct influence of anthropogenic actions that reduced the water quality by 50.94%, as noted in 2013, which, according to the TRIX, it was defined as having a high level of eutrophication and poor water quality.

Keywords: Eutrophication; Trophic State; Climate Anomalies; Estuaries

Introduction

Coastal areas in the Earth are highly vulnerable to the impacts of climate change, and these impacts can be intensified by natural phenomena such as *El Niño* and *La Niña* since they can have a significant effect on rainfall patterns and coastal dynamics (GARCIA *et al.*, 2003; SATHICQ, *et al.*, 2015; ANDRADE *et al.*, 2016).

According to the IPCC (2007), the *El Niño* event years of northeastern Brazil (NEB) are characterised as having a rainfall deficit in the rainy seasons and extreme drought in the

dry seasons, while the reverse occurs in *La Niña* event years, with more rainfall (CAVALCANTI, 2015; AWANGE *et al.*, 2016). The NEB shows a striking variation in the spatial and temporal distribution of rainfall due to the different levels of climate forcing (MOURA & SHUKLA 1981, RAO *et al.*, 1993, HASTENRATH, 2012). This region has highly contrasting climates, with low rainfall (400 mm) and high evaporation (2000 mm) in the semiarid areas, and an annual precipitation of 2000 mm (AMORIM *et al.*, 2014) in the coastal region, mainly from March to August.

The amount and frequency of precipitation can vary greatly each year. This rainfall variation of the NEB is partly associated with the variations of the inter-hemispheric gradient of anomalies of sea surface temperature (SST) in the tropical Atlantic, and the North-South migrations of the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ) (MOSCATI & GAN, 2007, HASTENRATH, 2012). The latitudinal seasonal migration across the equator of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) is one of the main mechanisms that control the level of precipitation in this region. The ITCZ reaches the greater South Latitude between March and April, in response to the seasonal warming of the tropical Atlantic Ocean. The interannual variability of the South movement of the ITCZ is deeply affected by the variation in sea surface temperatures and the seasonal pattern recorded in the tropical Atlantic. This oscillation of the ITCZ significantly influences interannual rainfall, which is controlled by the SSTs of tropical areas of the Pacific and Atlantic oceans, and can be influenced by large-scale weather events, such as *El Niño*.

Human have occupying the global estuarine areas, and tropical estuaries are being exposed to an increasingly complex set of environmental impacts that internally originate in their watersheds. Human activities resulted in alterations in the state of the estuaries, as the excessive input of nutrients from anthropogenic activities and changes in land use (MONTEIRO; JIMÉNEZ; PEREIRA, 2016) and climate changes, such as global warming, rising sea level, extreme rainfall or droughts (PAERL *et al.*, 2006). These processes can intensify or reduce environmental impacts in coastal/estuarine zones, due to reduced water quality, eutrophication, harmful changes in the structure and dynamics of the food web in several estuarine ecosystems. (CLOERN, 2001; PAERL *et al.*, 2006; RABALAIS *et al.*, 2009; WERTZ & YOSKOWITZ, 2013). *El Niño* can influence tropical estuarine areas in different kinds, including the reduction in freshwater and nutrient transport, the consequent limitation of the primary production, the intrusion of the salt wedge as a consequence of the lower fluvial discharge (ANDREOLI & KAYANO, 2007; SATHICQ *et al.*, 2015). On the contrarily, the increase in precipitation levels resulting from *La Niña* could increase both soil

leaching and river discharge, resulting in enrichment by dissolved inorganic nutrients and organic matter and can lead to excessive algal growth and chlorophyll-*a* (PEREIRA *et al.*, 2013; DITTMANN *et al.*, 2015; WILD-ALLEN & ANDREWARTHA, 2016).

The intensity of these phenomena, *El Niño* and *La Niña*, can induce environmental changes, such as disturbances in the balance of aquatic organisms and in water quality, and intensification in the processes of eutrophication and loss of biodiversity (ATTRILL & POWER, 2000; ABREU *et al.*, 2010; GLIBERT *et al.*, 2010; LEMLEY *et al.*, 2015).

Progressive enrichment or biodiversity loss, demand tools to management of coastal zone, that can support studies of water quality and the trophic status of estuaries using biotic and abiotic variables to define eutrophication progress (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998; SALAS *et al.*, 2008; GIORDANI *et al.*, 2009; FLORES MONTES *et al.*, 2011; PRIMPAS & KARYDIS, 2011; LEMLEY *et al.*, 2015; BÉJAOUÏ *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2016).

The Santa Cruz Channel estuarine complex is one of the most important coastal ecosystems of northeastern Brazil, due to its great biodiversity and primary and secondary productivity, and it is an ecological protection area of great environmental and socioeconomic significance (CPRH, 2010). This estuarine complex receives effluents from several sources, such as domestic, agriculture (especially sugarcane), shrimp farming, and industries, that are carried through the drainage system of important coastal rivers (Igarassu, Paripe, Congo, Botafogo, Siri and Carrapicho rivers).

There is a relevant importance of identifying the impacts of global climate change in tropical coastal areas, and the aim of this manuscript was identified trophic changes during the past four decades. Which the relation with *El Niño* and *La Niña* phenomena, and the major forcing factors of variability and change in water quality over the years. It will also be very important in defining local and global coastal management due to the threats to estuaries, pollution and sea level rise, around the world.

Materials and Methods

Time Series Dataset

We conducted a survey of the availability of abiotic and biotic data from 1974 to 2014 that resulted in a non-continuous database given the absence of information in some periods. Primary data from 2015 to 2016 were obtained by measuring some physical parameters (air and water temperatures, rainfall, salinity and oxygen saturation), chemical parameters

(dissolved oxygen, concentration of dissolved nutrients (ammonia, nitrite, nitrate, phosphate). and biological parameters (chlorophyll-*a*) in the Santa Cruz Channel (Figure 1).

The values corresponding to precipitation in the time series were obtained at the Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) and the National Institute of Meteorology (INMET) of the municipality of Igarassu, PE, since this location has the largest amount of rainfall in the Santa Cruz Channel region.

Data regarding population growth and sanitation conditions were extracted from the database of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE Cidades), the Municipal Development Foundation (FIDEM), and the Brazilian Ministry of Health. To this end, we searched for data referent to the studied decades (1970 - 2010).

Monthly anomalies of the TRIX and precipitation variables were calculated by removing the annual cycle and using the TRIX values and monthly climatology of the historical period as basis.

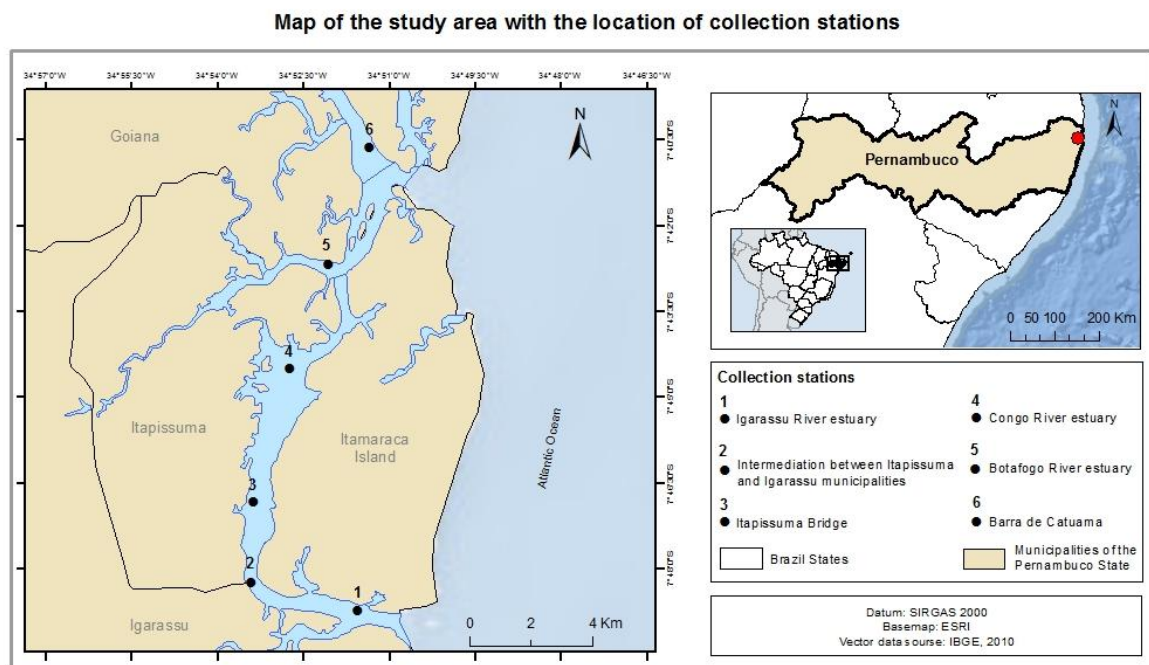


Figure 1. Map of the study area showing the location of collection stations (black dots) from 2015 and 2016 in the Santa Cruz Channel. The collection stations of the other years are located in the channel area.

Dataset Sampling, Field and Laboratory Procedures

Table 2 shows the sampling period, number of collection stations, studied parameters, analytical methods, and references for each period of the dataset. Data sampling from 1974 to

2014 was based on the surveying of past data. Primary data of the 2015 - 2016 period were collected from the surface water in six sampling stations, during low and high tide. Water samples were collected to analyse dissolved inorganic nutrients (ammonia- $\text{NH}_3^{++} + \text{NH}_4$, nitrite- NO_2^- , nitrate- NO_3^- , orthophosphate- PO_4^{3-}) and phytoplankton biomass (Chl-*a*). Vacuum filtrations through Whatman GF/C filters were performed to subsequently determine the concentration of nutrients and the concentration of Chl-*a*. Temperature and salinity were determined using a temperature/salinity profiler (CTD Seabird 19 plus). The correlation between water temperature and salinity was calculated using the rate of saturation in accordance with the International Oceanographic Table (UNESCO, 1973).

The trophic state index in the estuarine complex of the Santa Cruz Channel was calculated using the multivariate trophic state index - TRIX (Trophic Index), developed by Vollenweider *et al.* (1998). This index is based on the aggregation of biological variables (chlorophyll-*a*) and physicochemical variables (oxygen, nutrients - Dissolved Nitrogen - DIN, and Dissolved Phosphorous - DIP), to characterise the process of eutrophication of coastal waters, described as:

$$\text{TRIX} = (\log_{10} [\text{Cl } a \times |\% \text{ O}_2| \times \text{DIN} \times \text{DIP}] + k) / m.$$

Where:

CL *a* = concentration of chlorophyll in mg m^{-3} ;

Percentage of absolute value of dissolved oxygen saturation [$\text{abs } |100 - \% \text{ O}_2| = \% \text{ O}_2$];

DIN = dissolved inorganic nitrogen (nitrate - NO_3 , nitrite - NO_2 , ammonia - NH_4), in mg.m^{-3} ;

DIP = dissolved inorganic phosphorus, in mg.m^{-3} .

The constants $k = 1.5$ and $m = 1.2$ are to adjust the scale of TRIX values with the level of eutrophication.

Table 1. List of values and the designations of the TRIX scale (Vollenweider *et al.*, 1998).

TRIX Scale	State water quality	Level of eutrophication
0-4	High	Low
4-5	Good	Medium
5-6	Moderate	High
6-10	Degraded	Elevated

Data Analytical Methods

The monthly median was used as a more representative measure of the variability of monthly rainfall during the different years, and for the TRIX variation in relation to the tide. The normality of the data between the treatments was determined using the Shapiro Wilk method. In case of a significant difference between the years at a significance level of 5%, we applied Dunnett's tests for multiple comparisons.

Table 2. Sample period, collection stations, studied parameters, analytical methods, and references for each dataset.

Period	Stations	Parameters	Methods	References
July 1974 - June 1975	5	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Strickland and Parsons (1965) Richards and Thompson (1952), modified by Creitz and Richards, (1955) (Strickland & Parsons, 1963, 1965) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1965)	Cavalcanti (1976)
March 1976 - June 1977	5	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Strickland and Parsons (1965) Acetone 90% (Strickland & Parsons, 1963, 1965) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Passavante (1979)
June 1988 - May 1989	3	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Acetone 90% (Strickland & Parsons, 1963, 1965) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Silva (1992)
April 1995 - April 1996	3	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Fernandes (1997)
August - 2001	2	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Figueiredo (2005)
January, April, and October 2002	4	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Unpublished
January, April, July, and December 2003	4	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Unpublished
August 2003 - August 2004	8	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Melo (2007)
April - 2004	5	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Unpublished
January, March, May, July, September, and November 2006	1	DIN and DIP ($\text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Chl <i>a</i> Oxygen	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	CPRH (2006)
August - 2006	4	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PO}_4$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Unpublished

January, March, May, September, November 2007	2	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Chl <i>a</i> Oxygen	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	CPRH (2007)
March 2007 - March 2008	3	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Nascimento Filho(2014)
April - 2007 to March - 2008	3	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Fluorometry (Strickland & Parsons 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	Travassos (2011)
January, March, May, July, September, and November - 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, and 2014	2	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Chl <i>a</i> Oxygen	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	CPRH (2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, and 2014)
July and November 2015	6	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Acetone 90% (Strickland & Parsons, 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	
March and July 2016	6	DIN and DIP ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Chl <i>a</i> Oxygen	Grasshoff (1976), Strickland and Parsons (1972) Acetone 90% (Strickland & Parsons, 1972) Winkler, modified (Strickland & Parsons, 1972)	

CPRH: Agência Estadual de Meio Ambiente

Results

La Niña and El Niño

The characteristics rainfall patterns of the region is a rainy season between March and August and a dry season between September and February (Figure 2). Median rainfall of the time series between 1963 – 2016, obtained by analysing total annual rainfall (Figure 3), was 2008.05 mm. Throughout the analysed period, anomalous weather events were recorded, such as *La Niña* and *El Niño* (Figure 3), showing the influence of these events on the rainfall patterns.

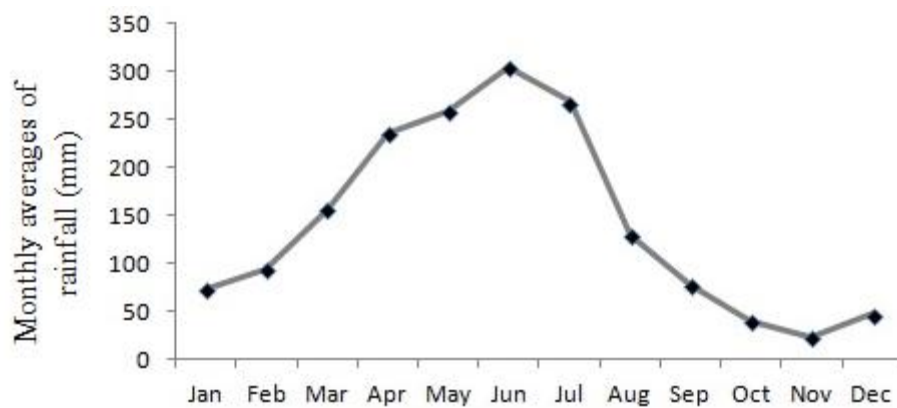


Figure 2. Monthly rainfall medians from 1974 to 2016.

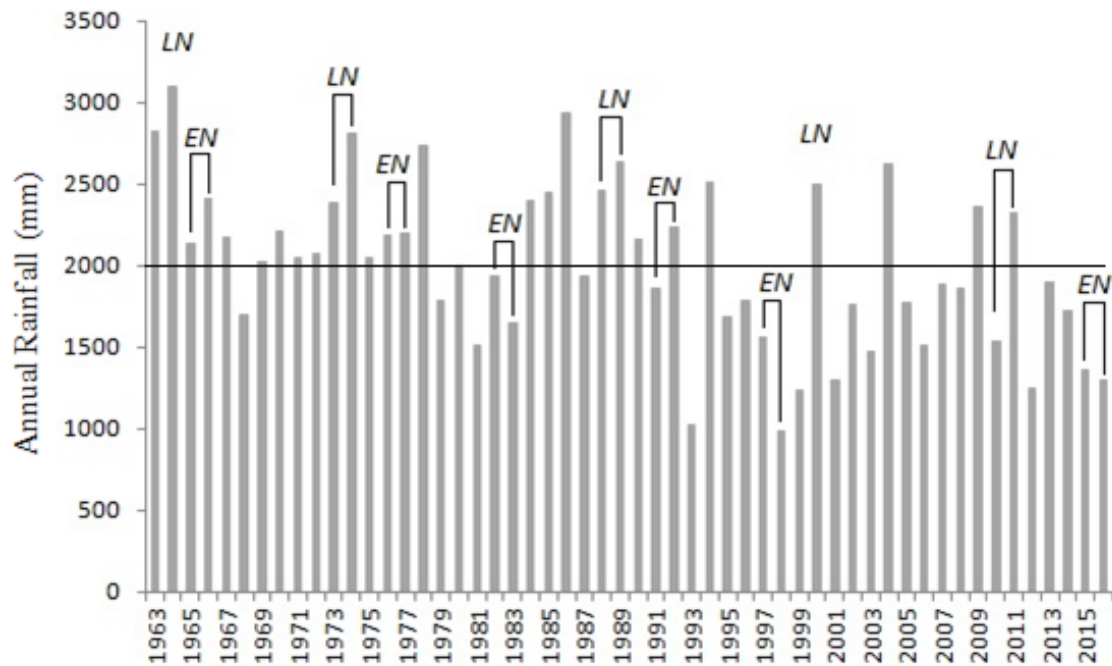


Figure 3. Total annual precipitation and distribution of *El Niño* events (EL) and *La Niña* (LN) events from 1963 to 2016. The annual average is 2000mm in the Estuarine Complex of the Santa Cruz Channel.

During the *La Niña* event of 1974, there was an increase in precipitation for the historical time series (1963 - 2016), with a maximum of 161.84% in the dry season and a maximum of 138.5% during the rainy season, and a minimum of 61.83%, above the historical average in the dry season of 2011.

The inverse was registered during the presence of *El Niño*, and the extreme values were 35.04%, in the dry season of 1994, and -83.83% in the rainy season of 2015.

In early of 2016, despite the short influence of *El Niño* phenomenon, there was a significant drop in precipitation in the area, especially in February with -42.88% mm of rain. For the months of March, April, and June, which refer to the rainy season, the reductions in rainfall due to *El Niño* event were -8.94%, -19.53%, and -60.17%, respectively.

TRIX

The temporary results of the trophic state index (TRIX) indicated a median in the time series of 3.00, with a minimum of 0.27 in April 2004 and maximum of 7.86 in July 2007 (Figure 4). With these results, the trophic state fluctuated between low and high, while the water quality oscillated from high to poor. In addition, there was a significant increase in TRIX from the beginning of the study (Dunnett's, $p < 0.05$) in 2007, 2008, 2013, and 2015,

with maximum values of 7.86, 5.94, 6.18, and 5.39, respectively, in relation to 1974, which had a maximum of 3.41.

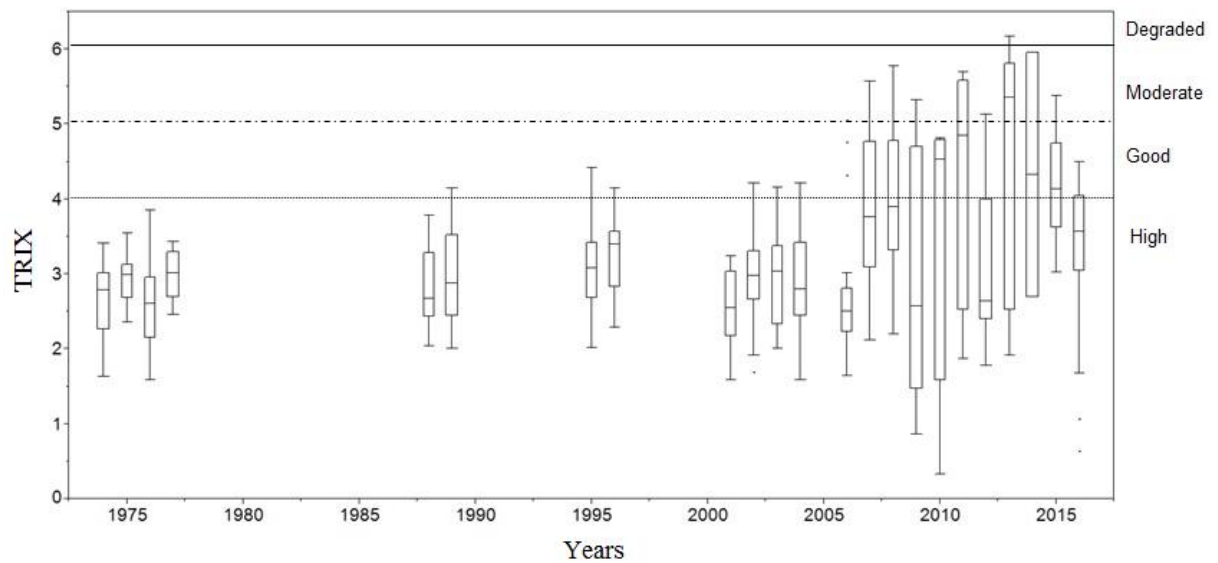


Figure 4. Temporal analysis of TRIX and TRIX scale classification of water quality (high, good, moderate, and degraded).

TRIX and seasonality

The temporal variation of the TRIX did not show significant influence of seasonal climatic variation (Figure 5), since no statistically significant differences were identified between the rainy and dry periods, which had a median of 3.035 and 3.025, respectively. The amplitude was higher during the rainy season, when there is greater transport of nutrients coming from the submerged areas.

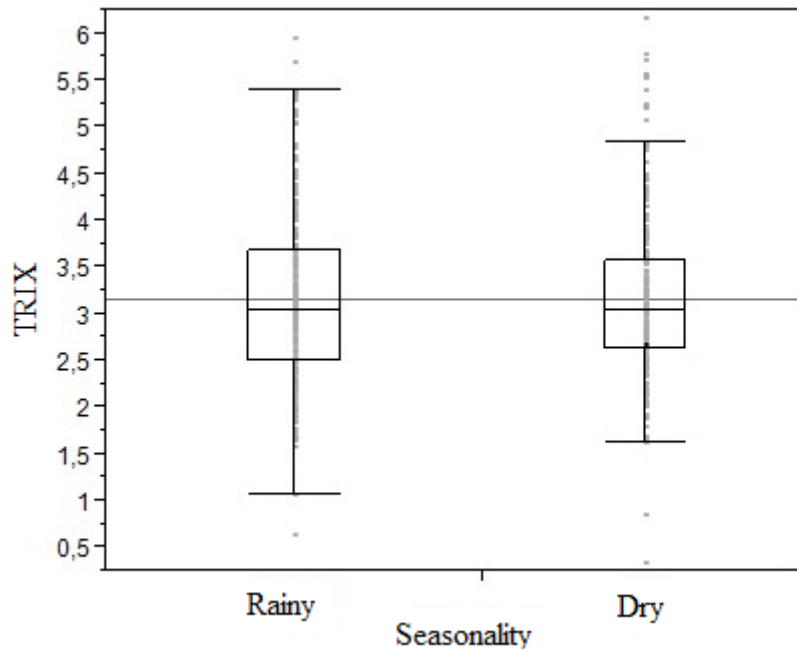


Figure 5. Seasonality of the TRIX from 1974 to 2016.

TRIX and rainfall events

Figure 6 shows the positive and negative anomalies for TRIX and precipitation. These values changed from -250 mm in April 2012 to 456.13 mm in May 1974, a strong *La Niña* year. For TRIX, the variations were between 2.83 in November 2013 and -3.02 in November 2010, coinciding with the beginning of a strong *La Niña*.

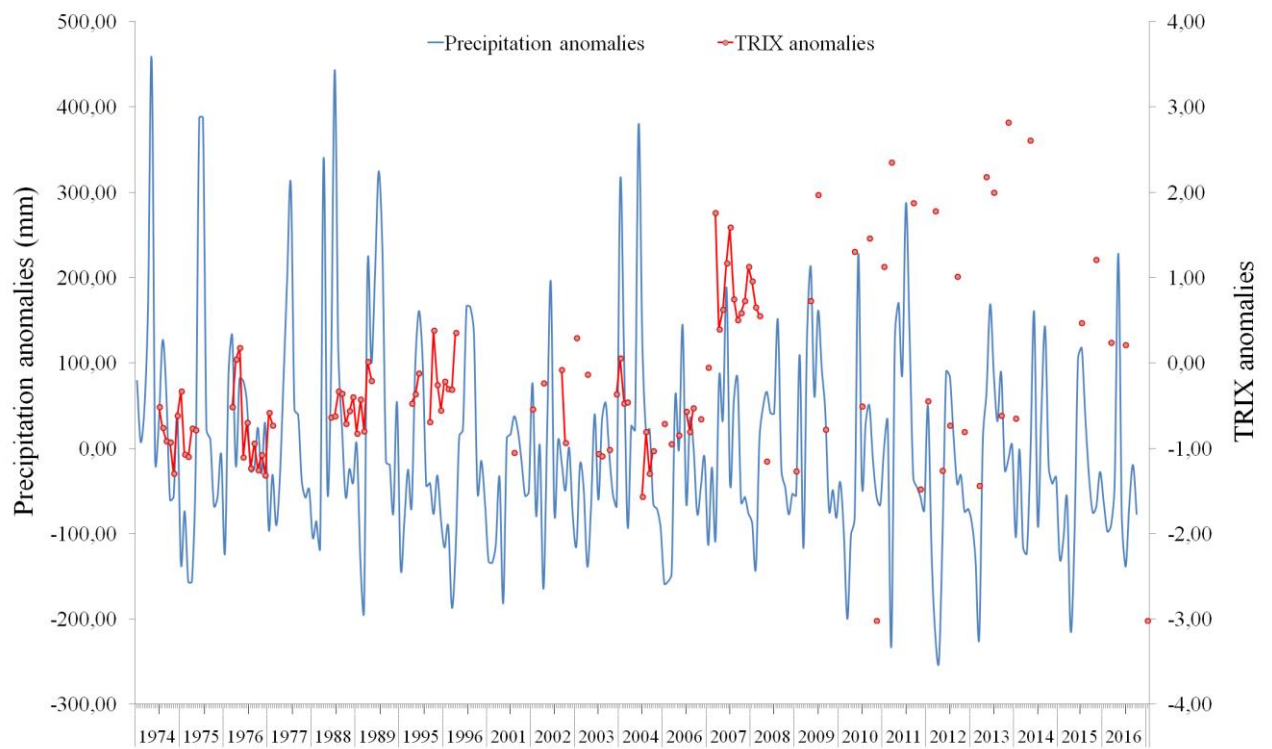


Figure 6. Precipitation anomalies and TRIX anomalies from 1974 to 2016.

TRIX and population density

When considering the relative population growth ($R^2 = 0.99$) and TRIX ($R^2 = 0.91$), we found a direct relationship between these parameters, as shown in Figure 7. The population density in the initial analysis was approximately 113.78 thousand residents in the municipalities of the ECSCC area, and this number almost twofold to 223.31 thousand in 2010.

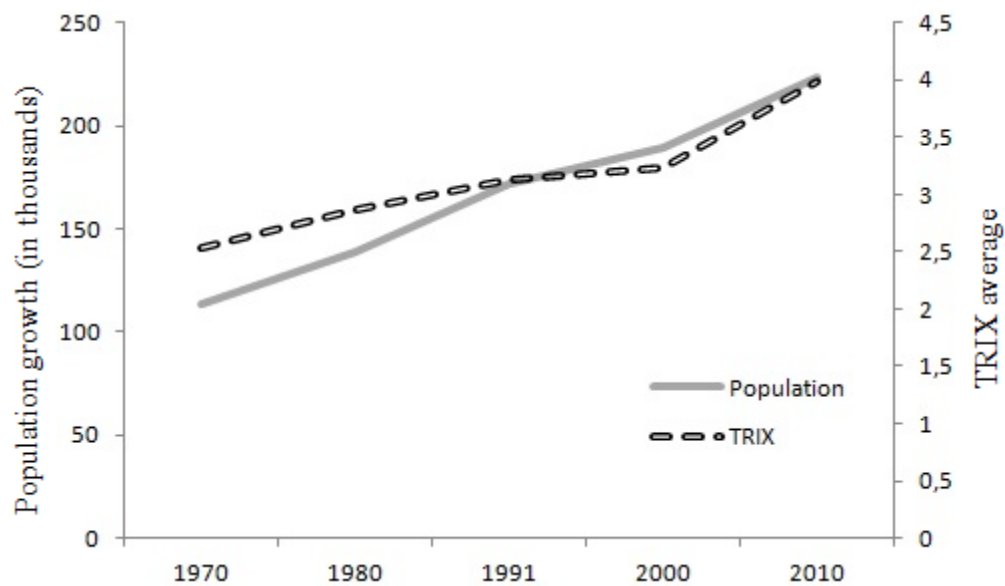


Figure 7. Relationship between population growth in the municipalities of the Santa Cruz Channel area and TRIX average by decade.

According to data of the federal government, over 90% of the resident population of the municipalities launch untreated domestic waste into the environment (FIDEM, 2000). The latest analysis conducted by the Brazilian Ministry of Health in 2012 revealed that only 35% of households in the municipalities of the Santa Cruz Channel area have a sewerage system.

Discussion

The seasonal and interannual patterns associated with *El Niño* and *La Niña* events indicated an influence of different intensities on the amount of precipitation in the northeastern Brazil (FREIRE, LIMA & CAVALCANTI, 2011; MARENGO *et al.*, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2011; CAVALCANTI, 2015). However, the studies reviewed indicated the process on the semiarid northeastern area than on the coastal area.

Hounsou-gbo *et al.* (2015) found a strong correlation between the South Atlantic SST and positive anomalies of rainfall in the eastern part of the NEB. These authors identified a propagation of SST anomalies of the South-East Atlantic Ocean heading to the coast of the NEB, following the trajectory of the South Equatorial Current. Coastal management is moving toward integrate coastal studies, and it is necessary to link the influence of the South Atlantic climate indexes on the water quality of the tropical estuaries.

The trophic state index (TRIX) indicated that water quality in the Santa Cruz Channel has been suffering a process of eutrophication. This process is related to the progressive enrichment of nitrogenous wastes in SCC watershed. The TRIX variation did not show a significant connection ($p > 0.05$) with the seasonality and the natural events *El Niño* and *La Niña*.

The index value indicated that the trophic state has been altered significantly since 2007, when human activities became more evident, resulting in the increase of organic waste from shrimp farming and agroindustry, and of domestic effluents. These wastes were dumped in the various tributaries of the river basins that make up this estuarine system. (CPRH, 2001, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, and 2014). With increased rainfall, continental leaching also increases, which has been aggravated by deforestation, resulting in strong environmental changes both in the increasing concentrations of dissolved chemicals and the increasing concentration of calcium-silicate clay particles, which, in turn, reduces light penetration in the water column.

Although that no direct influences were detected in the TRIX, during *El Niño* periods, the increase in the insolation rate resulted in increased water temperature, a reduction in the dissolved oxygen diffusion rate, and a reduction of the leaching processes, which decreases inputs of organic and inorganic compounds. The ESSCC is a meso-tidal local, and the temporal variation of the tidal energy will influence and intensify the processes of dissolution and dispersion of fractions, particulates, and dissolved organic matter and other dissolved elements (SHORT, 1991; RABALAIS *et al.*, 2009).

Sathicq *et al.*, (2015) described the pressures suffered by the estuary of the Río de la Plata, Argentina, and the stress when increased the human pressures and climatic oscillation. These authors related that changes in use and erosion of the soil, inputs of nutrients and untreated sewage, heavy rains, river discharge, and the presence of occasional *El Niño* events, correspond to the major risks to the estuarine systems. The results revealed by Sathicq *et al.*, (2015) of the influences of *El Niño* and *La Niña* events as significant forcing mechanisms in estuaries are also mentioned by Clara *et al.* (2014) in the estuary of the Río de la Plata, and Solari *et al.* (2014) in the Salado River, both in Argentina. Different of our results, when at this moment, the anthropogenic activities was the major cause of the eutrophication and the increase in the nutrient load was the main element that forced changes in the trophic state, as related in the studies of Salas *et al.* (2008) and Jennerjahn and Mitchell (2013). The sea level

rise is one of many processes influenced by climate change, and in the future flooding could result in complete submergence the estuarine areas (IPCC, 2007).

Alves *et al.* (2013) studied a highly urbanised tropical estuary and found a high eutrophication process, which related to the continental drainage processes. These relations, as stated by Díaz and Rosenberg (2008), are consistent when we consider the use and occupation of land, and the continuous emission of waste from the mainland to the estuarine areas.

The geological and geographical characteristics may limit or intensify anthropogenic impacts in estuarine systems (GLIBERT *et al.*, 2010; JICKELLS, 1998; JICKELLS *et al.*, 2014). Since the studied estuarine complex has a semi-open configuration and the great influence of marine waters by transport processes through inter-tidal flows, self-depuration induced by mangroves may be decreasing the residence time of waters rich in nutrients coming from coastal rivers. This could justify the predominant low and medium level of eutrophication of the system, although it showed a tendency to increase in the studied time series. Other authors found similar results when they studied other systems with open and dynamic configurations (VILLATE, 1989; NAGY, 2005; JICKELLS *et al.*, 2014). According to Nagy (2005), in these systems the state of eutrophication does not depend only on the nutrient load and the physical factors, but because the estuaries are also very sensitive to macro-scale influences, with increasing CO₂ and climate change. Contrarily, in most closed systems like lakes and lagoons, where the water residence time is greater, the trophic state dynamics is more damaging to the health of the environment (AUBRIOT, 2005; MARTÍNEZ & PALACIOS, 2015; CONY *et al.*, 2016; CORDÓN *et al.*, 2016; POI *et al.*, 2016). The geographical size and characteristics of the drainage basins generate substantial differences in hydrodynamics (ADOLF & HARDING Jr, 2006; SARAIVA *et al.*, 2007).

The influence of the anthropogenic effluents, mainly on the intensification of eutrophication processes, linked to population growth in the counties of developing countries with a rapid urbanisation process is based on deficits (financial and administrative). Jacobi and Besen (2011), discussed about the capacity to provide infrastructure and basic services like water, sanitation, garbage collection and proper disposal, and housing, and to ensure the control of environmental quality for the population.

The increasing occupancy rates and dumping of untreated effluents, threaten the environmental quality of this estuarine system, which contributes with more than 50% of fishing production in the state of Pernambuco (MOURA & FLORES MONTES, 2009).

Therefore, the population growth of these counties, in the last two decades, is associated with the absence of a sustainable coastal management. This problem ranges from the unordered occupation of land and the destruction of vegetation cover, to the increase of organic wastes to the Estuarine System of Santa Cruz Channel. This results in environmental degradation and loss of ecological niches and natural nurseries. Koenig *et al* (2012) made the first record of *Akashiwo sanguinea* (Dinophyta) in estuarine waters in the state of Pernambuco, at ESSCC estuarine system. This microalgae is associated to blooms which have coincided with depletion of dissolved oxygen and mortality of fish and shellfish in various parts of the world. The dynamics of the eutrophication process can be potentiated by climate change, that are changing the rainfall regime and surface water temperature.

IPCC climate models predict that precipitation will increase at higher levels in the tropics, close to the Equator, and decrease in subtropics and mid-latitudes. These changes will lead to changes in freshwater runoff and they will impact estuarine ecosystems (IPCC, 2007).

Conclusions

We found a direct relationship between TRIx and population growth that reflects in the gradual deterioration of water quality over the years, which was not demonstrated with the interannual events *El Niño* and *La Niña* and the variability of the trophic state index - TRIx. However, periods of extreme events such as *El Niño* and *La Niña* have led to changes in temporal oscillations in temperature and precipitation. These oscillations can be considered as being indirect consequences of these interannual events, that can be intensified if the frequency of these events increases.

The inordinate growth of the occupation rate of the watershed areas, without the basic services of waste treatment, caused processes of environmental degradation. Further studies on the relationship of direct and indirect anthropogenic influences can support land occupation policies and territorial planning in municipalities since, inasmuch as these parameters behave in direct proportionality, they will indicate a possible failure in the management and planning of environmental governance policies.

A multidisciplinary management of coastal zones is the way to protect estuarine areas and to better understand the relationship between the dynamics of global and local processes.

Acknowledgements

We very thank the Laboratory of Chemical Oceanography of the Universidade Federal de Pernambuco, for its logistical support on data analysis, and the Laboratory of Phytoplankton for helping with the analysis of biological data. This research was supported by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), through funding of the "DICAM" project (CM II 1975/2014).

References

- Abreu, P. C., Bergesch, M., Proença, L. A., Garcia, C. A., & Odebrecht, C. (2010). Short-and long-term chlorophyll a variability in the shallow microtidal Patos Lagoon estuary, Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, 33(2), 554-569.
- Adolf, J. E., & Harding Jr, L. W. (2006). Anthropogenic and climatic influences on the eutrophication of large estuarine ecosystems. *Limnol. Oceanogr*, 51(1 part 2), 448-462.
- Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) - Monitoramento Pluviométrico. (2017). <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>.
- Agência Estadual de Meio Ambiente-CPRH, Zoneamento ambiental da área de proteção ambiental - Apa Santa Cruz – Itapissuma, Itamaracá E Goiana, PE. (2010). Fundação Apolônio de Desenvolvimento Educacional.
- Agência Estadual de Meio Ambiente- CPRH (2001, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014). *Monitoramento de Bacias Hidrográficas do estado de Pernambuco-Brasil*, <http://www.cprh.pe.gov.br/>.
- Alves, G., Flores-Montes, M., Gaspar, F., Gomes, J., & Feitosa, F. (2013). Eutrophication and water quality in a tropical Brazilian estuary. *Journal of Coastal Research*, 65(sp1), 7-12.
- Amorim, A. C. B., Chaves, R. R., & e Silva, C. M. S. (2014). Influence of the tropical Atlantic Ocean's sea surface temperature in the Eastern Northeast Brazil precipitation. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4(05), 874.
- Andrade, M. P., Magalhães, A., Pereira, L. C., Flores-Montes, M. J., Pardal, E. C., Andrade, T. P., & Costa, R. M. (2016). Effects of a *La Niña* event on hydrological patterns and copepod community structure in a shallow tropical estuary (Taperaçu, Northern Brazil). *Journal of Marine Systems*, 164, 128-143.

- Andreoli, R. V., & Kayano, M. T. (2007). A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(1), 63-74.
- Attrill, M. J., & Power, M. (2000). Modelling the effect of drought on estuarine water quality. *Water Research*, 34(5), 1584-1594.
- Aubriot Benia, L. E., Bonilla Santibañez, S. E., Britos Abella, A., Conde Scalone, D. N., & Hein, V. (2005). Vulnerabilidad de una laguna costera en una Reserva de Biósfera: indicios recientes de eutrofización (No. DOC 0667). *Taller internacional de eutrofización de lagos y embalses*. En: CYTED XVIIIB. Chile, p. 65-85.
- Awange, J. L., Mpelasoka, F., & Goncalves, R. M. (2016). When every drop counts: Analysis of Droughts in Brazil for the 1901-2013 period. *Science of The Total Environment*, 566, 1472-1488.
- Béjaoui, B., Armi, Z., Ottaviani, E., Barelli, E., Gargouri-Ellouz, E., Chérif, R., & Aleya, L. (2016). Random Forest model and TRIx used in combination to assess and diagnose the trophic status of Bizerte Lagoon, southern Mediterranean. *Ecological Indicators*, 71, 293-301.
- Cavalcanti, L. B. (1976). *Caracterização do Canal de Santa Cruz (Pernambuco-Brasil) em função dos parâmetros físico-químicos e pigmentos fotossintéticos*. Tese de livre docente. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, 1- 107.
- Cavalcanti, I. F. A. (2015). The influence of extratropical Atlantic Ocean region on wet and dry years in North-Northeastern Brazil. *Frontiers in environmental science*, 3, 34.
- Clara, M. L., Simionato, C. G., D'Onofrio, E., Fiore, M., & Moreira, D. (2014). Variability of tidal constants in the Río de la Plata estuary associated to the natural cycles of the runoff. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 148, 85-96.
- Cloern, J. E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine ecology progress series*, 210, 223-253.
- Cony, N., Ferrer, N., Martínez, A., & Cáceres, E. (2016). Productividad, estado trófico y dinámica fitoplanctónica en la laguna Sauce Grande y su afluente homónimo (pcia. de Buenos Aires, Argentina). *Biología Acuática*, (31).
- Cordón, M. R. A., Vanegas Chacón, E. A., & García Álvarez, N. (2016). Evaluación del estado trófico del Lago de Izabal, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 28-31.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *science*, 321(5891), 926-929.
- Dittmann, S., Baring, R., Baggalley, S., Cantin, A., Earl, J., Gannon, R., & Noble, W. (2015). Drought and flood effects on macrobenthic communities in the estuary of Australia's largest river system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, 36-51.

Fernandes, M. P. A. (1997) *Produtividade Fitoplanctônica Relacionada com Alguns Aspectos Ecológicos no Estuário do Rio Congo (Itapissuma-PE)*. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, pp. 120.

Figueiredo, J. A. D. (2005). Influência hidrológica e biomassa fitoplanctônica nas Barras Orange e Catuama (canal de Santa Cruz)-Itamaracá-PE; variação nictemeral.

Flores Montes, M. D. J., Paulo, J. G., do Nascimento Filho, G. A., Gaspar, F. L., Feitosa, F. A., Santos, A. C., ... & Pitanga, M. E. (2011). The trophic status of an urban estuarine complex in Northeast Brazil. *Journal of Coastal Research*, (64), 408.

Freire, J. L. M., Lima, J. R. A., & Cavalcanti, E. P. (2011). Análise de Aspectos Meteorológicos Sobre o Nordeste do Brasil em Anos de *El Niño* e *La Niña* (Analysis of Meteorological Aspects on the Northeast of Brazil in *El Niño* and *La Niña* Years). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4(3), 429-444.

Garcia, A. M., Vieira, J. P., & Winemiller, K. O. (2003). Effects of 1997–1998 *El Niño* on the dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Estuarine, coastal and shelf Science*, 57(3), 489-500.

Giordani, G., Zaldívar, J. M., & Viaroli, P. (2009). Simple tools for assessing water quality and trophic status in transitional water ecosystems. *Ecological Indicators*, 9(5), 982-991.

Glibert, P. M., Allen, J. I., Bouwman, A. F., Brown, C. W., Flynn, K. J., Lewitus, A. J., & Madden, C. J. (2010). Modeling of HABs and eutrophication: status, advances, challenges. *Journal of marine systems*, 83(3), 262-275.

Hastenrath, S. (2012). Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change*, 112(2), 243-251.

Hounsou-Gbo, G. A., Araujo, M., Bourlès, B., Velela, D., & Servain, J. (2015). Tropical Atlantic contributions to strong rainfall variability along the Northeast Brazilian coast. *Advances in meteorology*, 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)-. Censo, 2010. (2016). <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>.

INMET-Instituto Nacional de Meteorologia.(2016) <http://www.inmet.gov.br/portal/>.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Climate change: Impacts, adaptation and vulnerability. (2007). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., van der, Hanson, C.E. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. p. 976.

Jacobi, P. R., & Besen, G. R. (2011). Solid waste management in São Paulo: the challenges of sustainability. *Estudos Avançados*, 25(71), 135-158.

- Jennerjahn, T. C., & Mitchell, S. B. (2013). Pressures, stresses, shocks and trends in estuarine ecosystems—An introduction and synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 1-8.
- Jickells, T. D. (1998). Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science*, 281(5374), 217-222.
- Jickells, T. D., Andrews, J. E., Parkes, D. J., Suratman, S., Aziz, A. A., & Hee, Y. Y. (2014). Nutrient transport through estuaries: the importance of the estuarine geography. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 150, 215-229.
- Koenig, M. L., Flores Montes, M. J., Eskinazi Leça, E., & Tiburcio, A. S. X. S. (2014). New record of *Akashiwo sanguinea* (Dinophyta) in the tropical estuarine waters of Northeastern Brazil (Western Atlantic). *Brazilian Journal of Biology*, 74(1), 191-198.
- Lemley, D. A., Adams, J. B., Taljaard, S., & Strydom, N. A. (2015). Towards the classification of eutrophic condition in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 164, 221-232.
- Marengo, J. A., Alves, L. M., Beserra, E. A., & Lacerda, F. F. (2011). Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Medeiros SS, Gheyi HR, Galvão CO, Paz VPS, organizadores. *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 384-422.
- Martínez, M. L.L., & Madroñero Palacios, S. M. (2015). A trophic state of tropical lake high mountain: case of laguna de La Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42.
- Melo, A. A. S. (2007). *Nutrientes Dissolvidos e Biomassa Primária nos Estuários dos Rios Botafogo e Carrapicho-PE*. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil. 1-90.
- Ministério da Saúde Brasileiro - Saneamento básico. (2016). Sistema de Informação da Atenção Básica. Disponível em: <http://www.deepask.com/>.
- Monteiro, M. C., Jiménez, J. A., & Pereira, L. C. C. (2016). Natural and human controls of water quality of an Amazon estuary (Caeté-PA, Brazil). *Ocean & Coastal Management*, 124, 42-52.
- Moscatti, M. C. L., & Gan, M. A. (2007). Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. *International Journal of Climatology*, 27(4), 493-512.
- Moura, A. D., & Shukla, J. (1981). On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38(12), 2653-2675.
- Moura, R.T.; Flores-Montes, M. J. (2009). Aspectos gerais da hidrobiologia do litoral norte de Pernambuco, Brasil. Brasília, DF: IBAMA. 01 ed. v.01, 1-138.

Nagy, G. J. (2005). Vulnerabilidad de las Aguas del Río de la Plata: Cambio de estado trófico y factores físicos. *El cambio climático en el Río de la Plata*, 145-155.

Nascimento Filho, G. A. (2014). Uso de índices ambientais como ferramentas de avaliação do estado trófico (qualitativo e quantitativo) de estuários no estado de Pernambuco. Tese. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, 1-83.

Paerl, H.W., Valdes, L.M., Peierls, B.L., Adolf, J.E., Harding, L.W. (2006) Anthropogenic and climatic influences on the eutrophication of large estuarine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 51, 448–462.

Passavante, J. Z. O. (1979). *Produção Primária do Fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco) (PE—Brasil)*. Tese. Universidade Federal de Pernambuco -UFPE, PE, Brasil, 1-171.

Pereira, L. C. C., de Oliveira, S. M. O., da Costa, R. M., da Costa, K. G., & Vila-Concejo, A. (2013). What happens on an equatorial beach on the Amazon coast when *La Niña* occurs during the rainy season?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 135, 116-127.

FIDEM: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Social. Fundação de Desenvolvimento Municipal. (2000). Litoral de Pernambuco: Um estudo propositivo, Recife. 1-76.

Poi, A. S. G., Casco, S. L., Neiff, J. J., Carnevali, R. P., & Gallardo, L. I. (2016). Lagunas periurbanas de Corrientes (Argentina): de la mesotrofia a la eutrofia un camino de ida y vuelta en 20 años. *Biología Acuática*, (31).

Primpas, I., & Karydis, M. (2011). Scaling the trophic index (TRIX) in oligotrophic marine environments. *Environmental monitoring and assessment*, 178(1-4), 257-269.

Rabalais, N. N., Turner, R. E., Díaz, R. J., & Justic, D. (2009). Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 66(7), 1528-1537.

Rao, V. B., de Lima, M. C., & Franchito, S. H. (1993). Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern northeast Brazil. *Journal of Climate*, 6(9), 1754-1763.

Rodrigues, R. R., Haarsma, R. J., Campos, E. J., & Ambrizzi, T. (2011). The impacts of inter-*El Niño* variability on the tropical Atlantic and northeast Brazil climate. *Journal of Climate*, 24(13), 3402-3422.

Salas, F., Teixeira, H., Marcos, C., Marques, J. C., & Pérez-Ruzafa, A. (2008). Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: the Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 65(8), 1442-1448.

- Saraiva, S., Pina, P., Martins, F., Santos, M., Braunschweig, F., & Neves, R. (2007). Modelling the influence of nutrient loads on Portuguese estuaries. *Hydrobiologia*, 587(1), 5-18.
- Sathicq, M. B., Bauer, D. E., & Gómez, N. (2015). Influence of *El Niño* Southern Oscillation phenomenon on coastal phytoplankton in a mixohaline ecosystem on the southeastern of South America: Río de la Plata estuary. *Marine pollution bulletin*, 98(1), 26-33.
- Short, A. D. (1991). Macro-meso tidal beach morphodynamics: an overview. *Journal of Coastal Research*, 417-436.
- Silva, I. G. (1992). *Variação sazonal e espacial da produção, biomassa e densidade fitoplanctônica no estuário do Rio Paripe*. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco—UFRPE, PE, Brasil, 1-102.
- Solari, L. C., Gabellone, N. A., Claps, M. C., Casco, M. A., Quaíni, K. P., & Neschuk, N. C. (2014). Phytoplankton chlorophyte structure as related to ENSO events in a saline lowland river (Salado River, Buenos Aires, Argentina). *Ecology and evolution*, 4(7), 918-932.
- Travassos, R. K. (2011). *Análise da Qualidade Ambiental no Estuário do Rio Botafogo: Determinação do Índice Trófico e Componentes do Fósforo na Coluna da água*. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE. PE, Brasil, 1- 94.
- UNESCO. (1973). International Oceanographic Table. Wormly, v. 2, 1-141.
- Villate, F., Franco, J., Ruiz, A., & Orive, E. (1989). Caracterización geomorfológica e hidrológica de cinco sistemas estuáricos del País Vasco. *Kobie*, 18, 157-170.
- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., & Rinaldi, A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9(3), 329-357.
- Wetz, M. S., & Yoskowitz, D. W. (2013). An ‘extreme’future for estuaries? Effects of extreme climatic events on estuarine water quality and ecology. *Marine Pollution Bulletin*, 69(1), 7-18.
- Wild-Allen, K., & Andrewartha, J. (2016). Connectivity between estuaries influences nutrient transport, cycling and water quality. *Marine Chemistry*, 185, 12-26.
- Wu, M. L., Wang, Y. S., Wang, Y. T., Sun, F. L., Sun, C. C., Cheng, H., & Dong, J. D. (2016). Seasonal and spatial variations of water quality and trophic status in Daya Bay, South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1), 341-348.

6. MANUSCRITO II

MANUSCRITO II

Características temporais de nutrientes e clorofila-*a* no sistema estuarino do Canal de Santa Cruz sob influências do *El Niño* e *La Niña*, Itamaracá/Pernambuco-Brasil

Resumo

A partir da era industrial, vem sendo mais frequente a verificação de perdas de qualidade ambiental de estuários, em consequência das atividades humanas. Estas influências não alteram unicamente a qualidade dos ecossistemas, em termos de produtividade do ecossistema e biodiversidade, de forma direta, mas também por efeitos indiretos como a magnitude das concentrações de nutrientes e com isso alterações na produção primária. Estes efeitos indiretos, podem, ainda, receber influências de eventos climáticos ocasionais e extremos, entre eles *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN). Portanto, no presente trabalho realizou-se um estudo sobre uma provável influência do EN e LN, nas mudanças temporais de nutrientes e clorofila-*a* no Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz (CECSC), situado a 50 km ao norte do Recife-PE. A área em epígrafe, atualmente detém atividades impactantes como agricultura, carcinicultura, atividades industriais e ocupação urbana, com sistemas precários de coleta de resíduos domésticos. Os dados foram obtidos através de um levantamento de estudos pretéritos, com o objetivo de determinar a amplitude das variações dos principais parâmetros físicos, químicos (temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, percentual de saturação de oxigênio, concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido [NID], fosfato [PO₄]) e biológicos (clorofila – *a*), no período de 1974 a 2014. Simultaneamente, foi realizada uma análise de dados primários dos anos de 2015 e 2016, para atualizar as informações existentes. A análise dos resultados, no recorte temporal, indicou uma tendência de redução da precipitação na área de abrangência do CECSC. Os resultados de clorofila-*a* indicaram que os anos de 2015 e 2016 tiveram uma redução de 37% e 86%, respectivamente, em relação a mediana histórica levantada, das concentrações de clorofila-*a*, invertendo a tendência de aumento verificada até o ano de 2014. Esta diminuição foi também registrada para os nutrientes nitrogenados, o NID, e o fosfato, nos anos de 2015 e 2016, com presença marcante de EN. A relação nutrientes *versus* a sazonalidade apresentou maiores valores do NID e clorofila-*a* no período chuvoso e maior concentração de fosfato no período seco. *La Niña* e *El Niño* geram alterações nos padrões de chuva no nordeste brasileiro, e essas alterações geram consequências na concentração de Clorofila-*a*, NID e fosfato no CECSC. Dessa forma, estas informações poderão servir de base para trabalhos de gerenciamento costeiro integrado, para melhor compreender o comportamento de parâmetros abióticos e bióticos sob influências de eventos climáticos em estuários.

Palavras-Chave: Variação Temporal; Estado Trófico; Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos

Introdução

O acréscimo na distribuição e na frequência da carga de nutrientes (WESTON; HOLLIBAUGH; JOYE, 2009) e o aumento da biomassa fitoplanctônica (YIN, 2002) indicam que muitos ecossistemas costeiros, em escala global, estão se tornando mais eutrofizados (KRONVANG *et al.*, 2005; BRICKER *et al.*, 2008; CONLEY *et al.*, 2009).

O principal fator de influência neste quadro são as ações antrópicas (WESTON *et al.*, 2009), que são responsáveis pela grande gama de problemas ambientais envolvidos no processo de eutrofização (SMITH & SCHINDLER, 2009), que resultam na diminuição da qualidade dos corpos hídricos, e alteração das funções ecossistêmicas (PAERL *et al.*, 2002). Entre as consequências relacionadas na literatura estão o aumento da biomassa primária (BRICKER *et al.*, 2008; HEISLER *et al.*, 2008), com intensificação da hipóxia, devido à respiração bacteriana do material orgânico (GRAY *et al.*, 2002).

Dessa forma, estuários são sistemas que vêm recebendo grande quantidade de resíduos das atividades humanas que vem provocando alterações na qualidade do ecossistema estuarino (COUTINHO, 1986; VITOUSEK *et al.*, 1997a). Ou seja, a condição da água e da estrutura estuarina em áreas densamente habitadas, sofre influências das atividades humanas localizadas não apenas ao longo da região estuarina, mas presentes em toda sua bacia hidrográfica (BILLEN *et al.*, 2001).

Os efeitos destas pressões podem, ao longo do tempo, motivar a hipereutrofização, devido ao enriquecimento por nitrogênio e fosfato nos corpos hídricos, que são responsáveis por transtornos no meio, visto que a introdução excessiva de tais nutrientes perturba a organização e o equilíbrio dos organismos (GLIBERT *et al.*, 2010; HEISLER *et al.*, 2008). Porém, os impactos no estuário, por se tratar de um sistema semi-aberto, podem ser acentuados ou amenizados de acordo com a geografia, ciclos de marés, características de descarga e variabilidades climáticas (GLIBERT *et al.*, 2010; JICKELLS, 1998; JICKELLS *et al.*, 2014).

A região Nordeste do Brasil (NEB) caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação e dos processos de escoamento, alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano (GALVÃO *et al.*, 2005). Estas características, segundo Andreoli & Kayano (2007), estão associadas às anomalias de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) no Atlântico Tropical (AT), que é denominada como a forçante dominante das anomalias de precipitação no NEB, e que pode atuar associada à zona de convergência intertropical-ZCIT (REBOITA *et al.*, 2010) e eventos temporais de fortes proporções como *El Niño* e *La Niña* (ANDREOLI & KAYANO, 2007; MARENGO, 2010). Estes últimos eventos têm despertado atenção especial da comunidade científica, visto seu potencial efeito sobre a dinâmica de fatores físico, químico e biológico em sistemas estuarinos (TOLAN, 2007; SATHICQ *et al.*, 2015; ANDRADE *et al.*, 2016; DOGLIOTTI *et al.*, 2016).

Diante de tais perspectivas, o presente trabalho, propôs-se a avaliar a variação das concentrações de nutrientes e biomassa fitoplanctônica, no Sistema Estuarino do Canal de Santa Cruz (CECSC), sob influência da variabilidade de precipitação ocasionada por eventos de *El Niño* e *La Niña*, no período de 1974 a 2016. Escolheu-se tal sistema estuarino, por ser uma área que é ecologicamente e economicamente importante para o litoral norte de Pernambuco, considerado o maior e mais fértil ecossistema estuarino do litoral pernambucano (CPRH, 2010). Por isso, é de fundamental importância o acompanhamento e avaliação dos impactos antrópicos na área, com o objetivo de aumentar o conhecimento científico, e auxiliar a conservação ambiental e alertar as autoridades e a população em geral.

Materiais e Métodos

Conjunto de dados de séries temporais

Um levantamento da disponibilidade de dados abióticos e bióticos para o período de 1974-2014 foi realizado, resultando em um banco de dados não contínuo em consequência de ausência de informações para alguns períodos. Dados primários para o período de 2015 a 2016, foram obtidos através da medição de parâmetros físicos (precipitação pluviométrica), químicos (concentração de nutrientes dissolvidos (amônia, nitrito, nitrato, fosfato)) e biológicos (clorofila – *a*) no Canal de Santa Cruz (figura 1).

Os valores correspondentes a precipitação pluviométrica no recorte temporal, foram obtidos através da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) bem como do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do município de Igarassu-PE, visto que este detém a maior quantidade de series pluviométricas na região de abrangência do Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz.

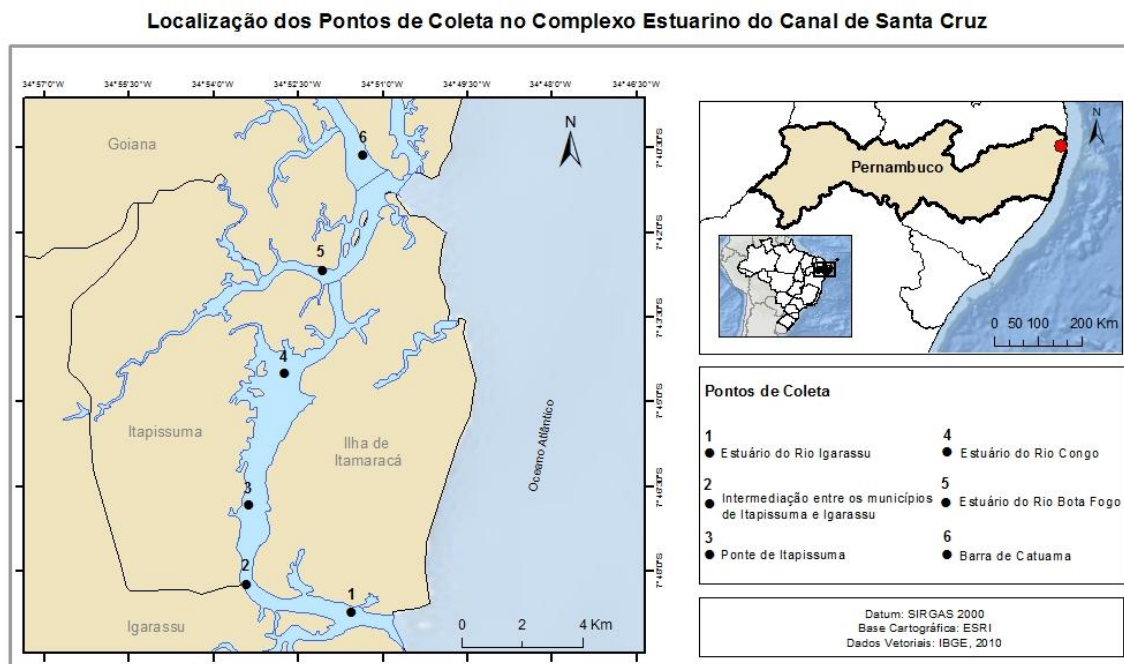


Figura 1. Mapa da área de estudo com a localização das estações de coleta (pontos pretos) dos anos de 2015 e 2016 no Canal de Santa Cruz. As estações de coleta dos demais anos, localizam-se na área de abrangência do Canal.

Amostragem de dados, campo e procedimentos laboratoriais

O período de amostragem, quantidade de estações de coleta, parâmetros estudados, métodos analíticos, e referências para cada período do conjunto de dados são apresentados na Tabela 1. A amostragem de dados no período de 1974 a 2014 foi realizada a partir de levantamento de dados pretéritos. A coleta de dados primários do período de 2015 e 2016 foi realizada na camada superficial da água, ao longo de 6 estações de coleta, nos estofos de baixamar e preamar. Amostras de água foram obtidas para análise de nutrientes inorgânicos dissolvidos (Amônia- $\text{NH}_3^+ + \text{NH}_4$, Nitrato- NO_3^- , Nitrito- NO_2^- , Ortofosfato- PO_4) e biomassa fitoplanctônica (Clorofila- *a*). Filtrações à vácuo através de filtros GF/C, marca Whatman foram realizadas para posterior determinação da concentração dos nutrientes e para a determinação da concentração de Clorofila- *a*.

Tabela 1. Período amostral, estações de coleta, parâmetros estudados, métodos analíticos e referências para cada conjunto de dados.

Período	Estações	Parâmetros	Métodos	Referências
Julho 1974 - Junho 1975	5	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Strickland & Parsons (1965) Richards & Thompson (1952), modificado por Creitz & Richards, (1955) (Strickland & Parsons, 1963, 1965)	Cavalcanti (1976)
Março 1976 - Junho 1977	5	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Strickland & Parsons (1965) Acetona 90% (Strickland & Parsons, 1963, 1965)	Passavante (1979)
Junho 1988 - Maio 1989	3	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Acetona 90% (Strickland & Parsons, 1963, 1965)	Silva (1992)
Abril 1995 - Abril 1996	3	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Fernandes (1997)
Agosto - 2001	2	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Figueiredo (2005)
Janeiro, Abril, e Outubro 2002	4	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Não publicado
Janeiro, Abril, Julho, e Dezembro 2003	4	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Não publicado
Agosto 2003 - Agosto 2004	8	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Melo (2007)
Abril - 2004	5	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{PO}_4$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Não publicado
Janeiro, Março, Maio, Julho, Setembro, e Novembro 2006	1	NID & PID ($\text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Clorofila- <i>a</i>	"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"	CPRH (2006)
Agosto- 2006	4	NID & PID ($\text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Não publicado
Janeiro, Março, Maio, Setembro e Novembro 2007	2		"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"	CPRH (2007)
Março 2007 - Março 2008	3	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Nascimento Filho(2014)
Abril - 2007 a Março - 2008	3		Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Fluorometria (Strickland & Parsons 1972)	Travassos (2011)
Janeiro, Março, Maio, Julho, Setembro, e Novembro - 2008 a 2014	2	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Clorofila- <i>a</i> NID & PID ($\text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Clorofila- <i>a</i>	"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"	CPRH (2008 a 2014)
Julho e Novembro 2015	6	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Acetona 90% (Strickland & Parsons, 1972)	
Março e Julho 2016	6	NID & PID ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ + \text{PT}$) Clorofila- <i>a</i>	Grasshoff (1976), Strickland & Parsons (1972) Acetona 90% (Strickland & Parsons, 1972)	

CPRH: Agência Estadual de Meio Ambiente; NID: Nitrogênio Inorgânico Dissolvido; PID: Fósforo Inorgânico Dissolvido

Métodos analíticos de dados

Aplicativo ClimAp

O ClimAp - Aplicativo para análise de séries climáticas, foi um programa criado através das atividades curriculares no programa de pós graduação em meteorologia na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) por Salvador (2014), o software é capaz de analisar séries de dados meteorológicos diários de precipitação e de temperatura. Devido a sua boa aplicabilidade, optou-se por utilizá-lo no presente trabalho. Para tanto, após a obtenção e organização dos dados no Microsoft Excel, o ClimAp 1.1. 2014 foi utilizado, e com isso foi possível obter médias trimestrais e anuais de precipitação pluviométrica.

Os dados ausentes no recorte histórico de pluviometria, foram substituídos por NULL, de acordo com indicação do software ClimAp 1.1.2014.

Resultados

Variabilidade climática

Os padrões de chuvas característicos da região, apresentaram uma estação chuvosa entre março e agosto e uma estação de estiagem, entre setembro e fevereiro (figura 2). As médias históricas trimestrais (figura 3) de precipitação demonstraram uma tendência crescente ao aumento de precipitação entre os trimestres de fevereiro, março e abril (FMA), atingindo seu ápice no trimestre de maio, junho e julho (MJJ). A partir daí, fica evidente uma tendência de diminuição ao longo dos trimestres subsequentes, agosto, setembro e outubro (ASO), com um aumento pouco significativo entre novembro, dezembro e janeiro (NDJ). Os trimestres de FMA e ASO, demarcam um período de transição entre o aumento e diminuição das chuvas em Igarassu.

Na Figura 3, as médias de precipitação trimestrais apresentam índices históricos acima de 300 mm em maio, junho e julho (MJJ), enquanto as menores médias, abaixo de 50 mm, entre outubro, novembro e dezembro (OND).

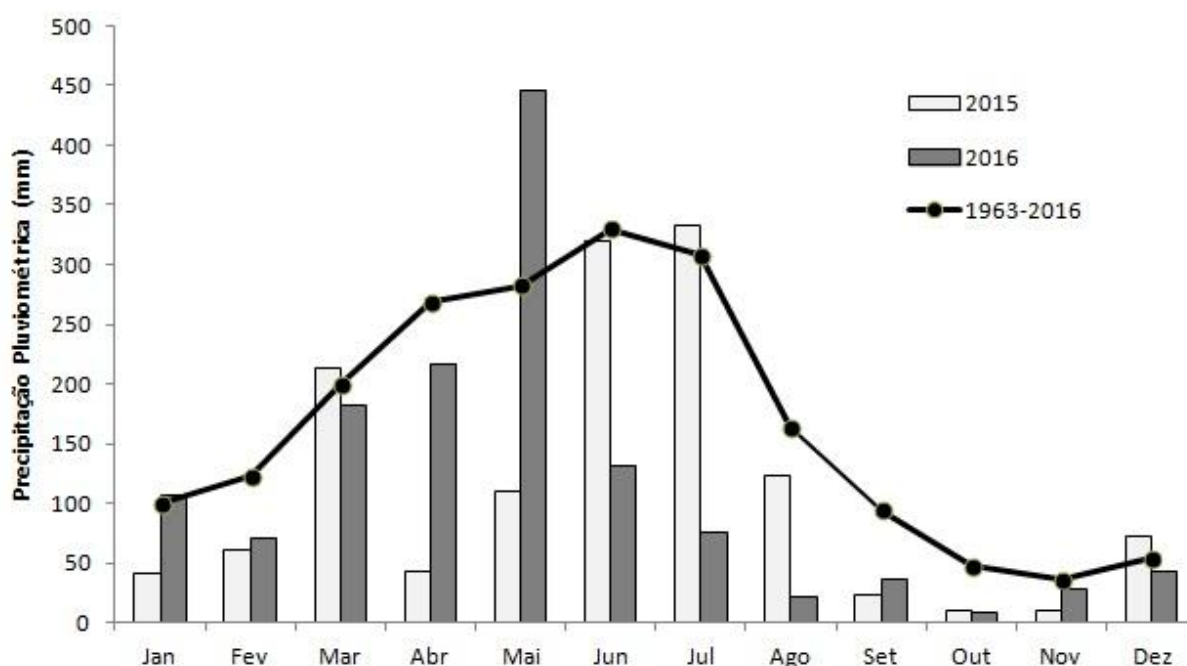


Figura 2. Médias mensais de 2015 - 2016 e médias do recorte histórico de 1963 a 2016.

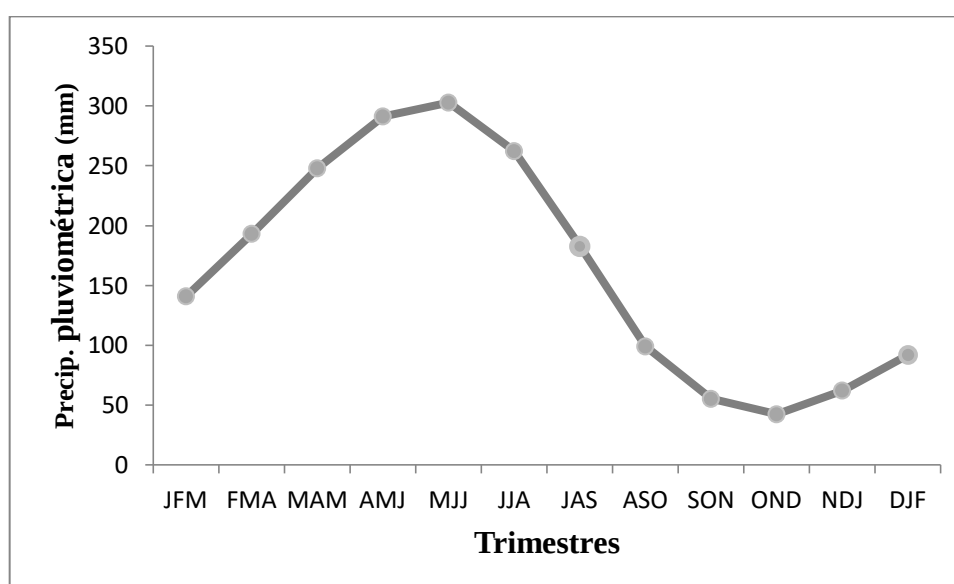


Figura 3. Médias trimestrais de precipitação pluviométrica na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE.

O número de dias (figura 4) no ano com chuva igual ou maior que 1 mm no período de 1974 a 2016 foi bastante elevado, variando de 100 a 200 ocorrências, enquanto os dias em que ocorreram precipitação maior ou igual a 10 mm variaram de 25 a 80 por ano, e eventos de número maior ou igual a 20 mm alternaram de 12 a 48. Na Figura 5, que reflete índices de dias chuvosos mais expressivos (maior ou igual a 50 mm), foram observadas historicamente

que as ocorrências variaram entre 1 e 15 ao longo dos anos ainda é possível observar nesta figura uma tendência a diminuição de ocorrências de chuvas maior ou igual a 50 mm no decorrer dos anos analisados.

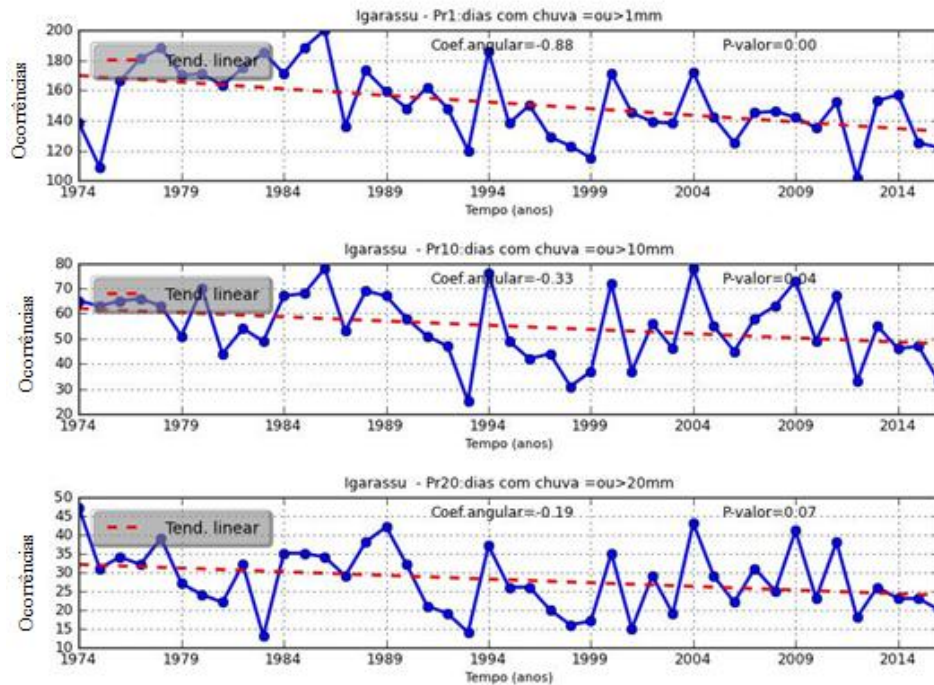


Figura 4. Número de dias por ano com precipitação ≥ 1 mm, ≥ 10 mm e ≥ 20 mm na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE.

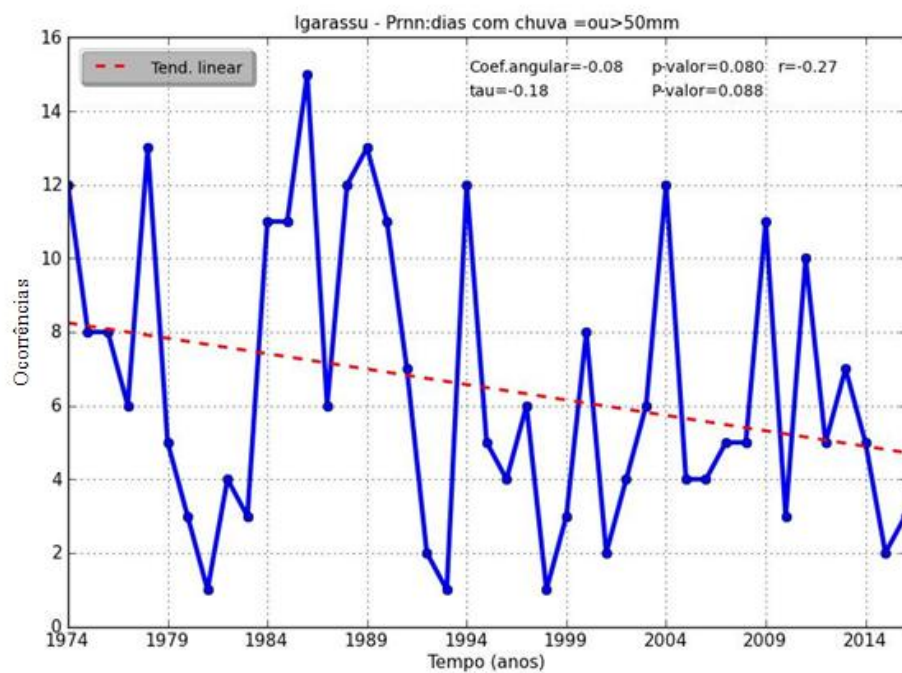


Figura 5. Número de dias por ano com precipitação ≥ 50 mm na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE.

Na figura 6 é exposta a maior precipitação acumulada em um dia por ano, que evidencia maior expressividade nos anos de 1986, 2000, 2002, 2010, 2011 e 2012, mas tendo seu pico em 1986, com um índice de 176, 40 mm acumulados em um dia. Na figura abaixo, ainda é possível verificar uma tendência a diminuição, pouco significativa no decorrer dos anos da escala de tempo estudada, estando este dado em conformidade com as tendências constatadas anteriormente na pesquisa (figuras 4 e 5).

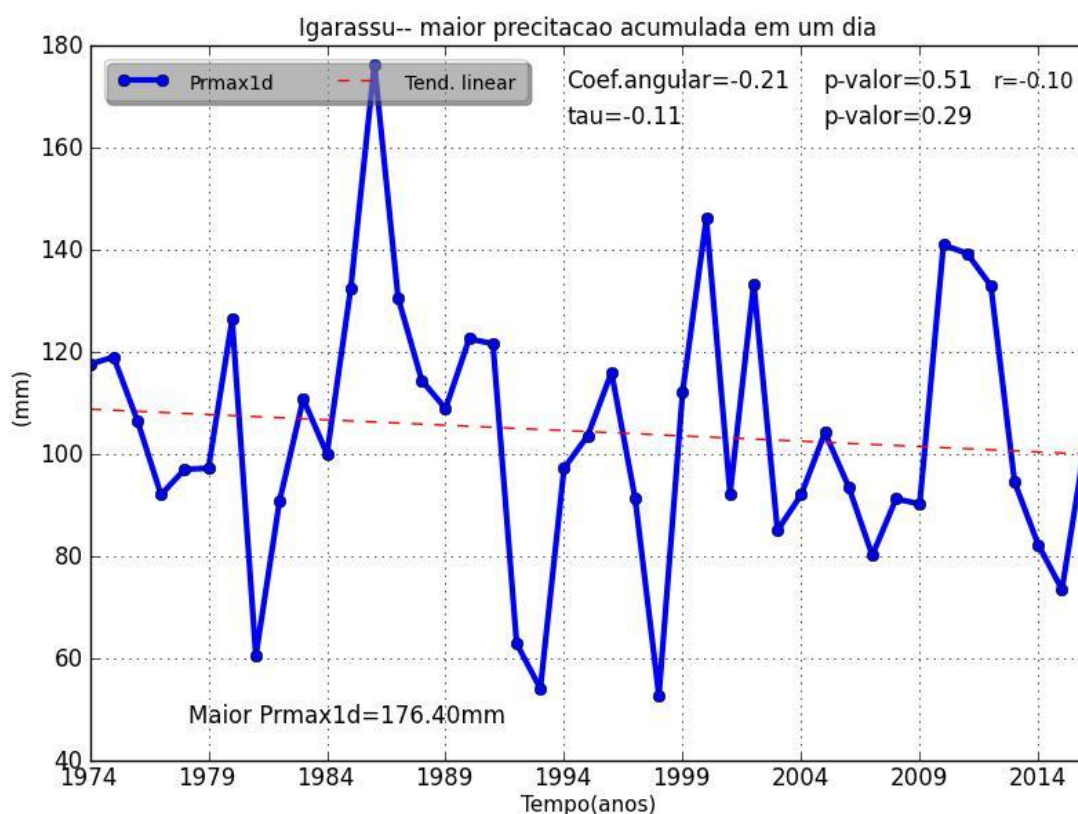


Figura 6. Maior precipitação acumulada em um dia na área de abrangência do Canal de Santa Cruz-PE.

Clorofila-a

O registro temporal da concentração de clorofila-a (figura 7) no complexo estuarino do Canal de Santa Cruz apresentou mediana de $7,22 \mu\text{g. L}^{-1}$, e valores que variaram de um mínimo de $0,02 \mu\text{g. L}^{-1}$ e máximo de $45 \mu\text{g. L}^{-1}$ no período de estiagem de 2013. Os anos de 2015 e 2016 (figura 7) apresentaram redução de 37% e 86%, em relação a mediana histórica das concentrações de clorofila-a no período em análise, invertendo a tendência de aumento identificada até 2014.

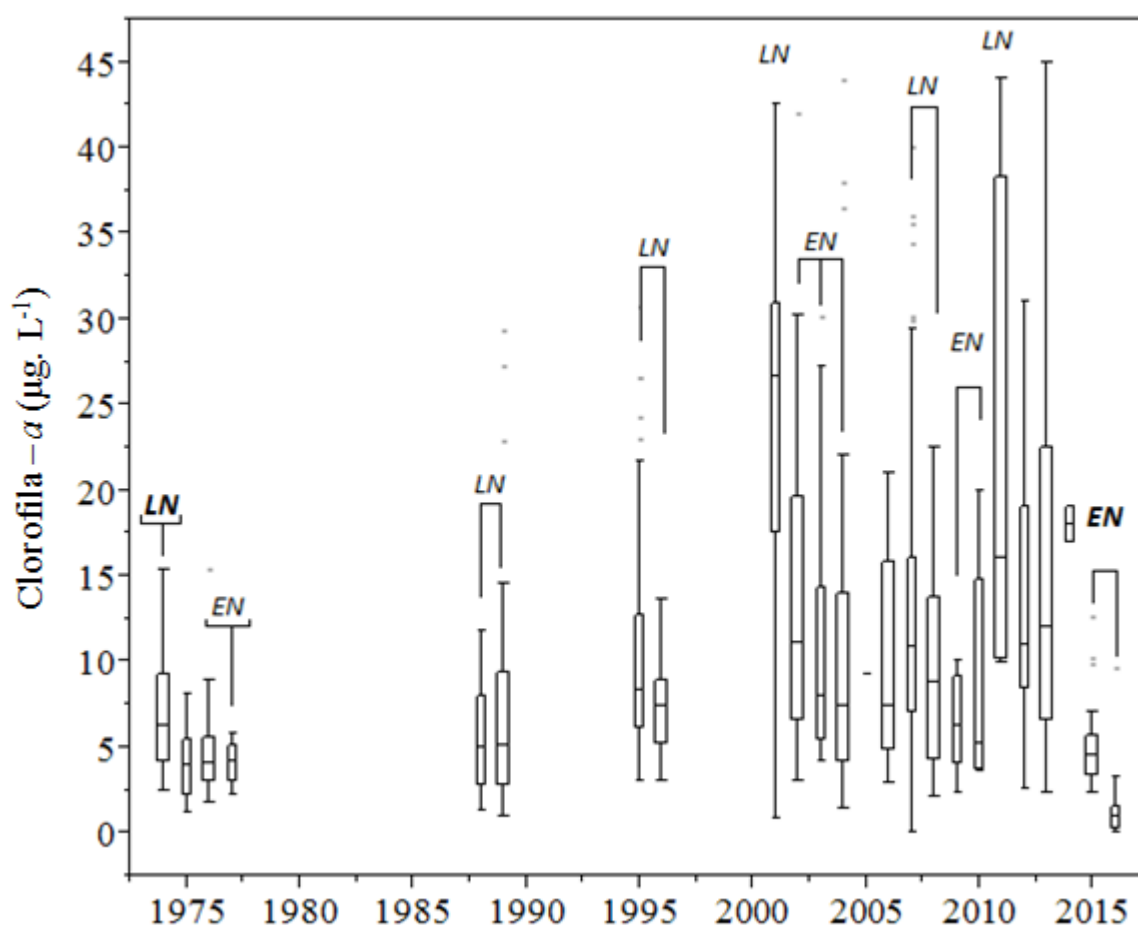


Figura 7. Análise temporal da Clorofila- *a* e distribuição dos eventos *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN) , no Canal de Santa Cruz-PE, destaque em negrito para os anos considerados de forte relevância.

Nutrientes

Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID)

Os resultados temporais da concentração de NID (figura 8) indicam uma mediana do recorte temporal, igual a $1,55 \mu\text{mol L}^{-1}$, com valor máximo de $92,23 \mu\text{mol L}^{-1}$ e mínimo de $0,06 \mu\text{mol L}^{-1}$ no período chuvoso de 2007 e período de estiagem de 1974, respectivamente, apresentando uma tendência ao aumento das concentrações de NID a partir do ano de 2007.

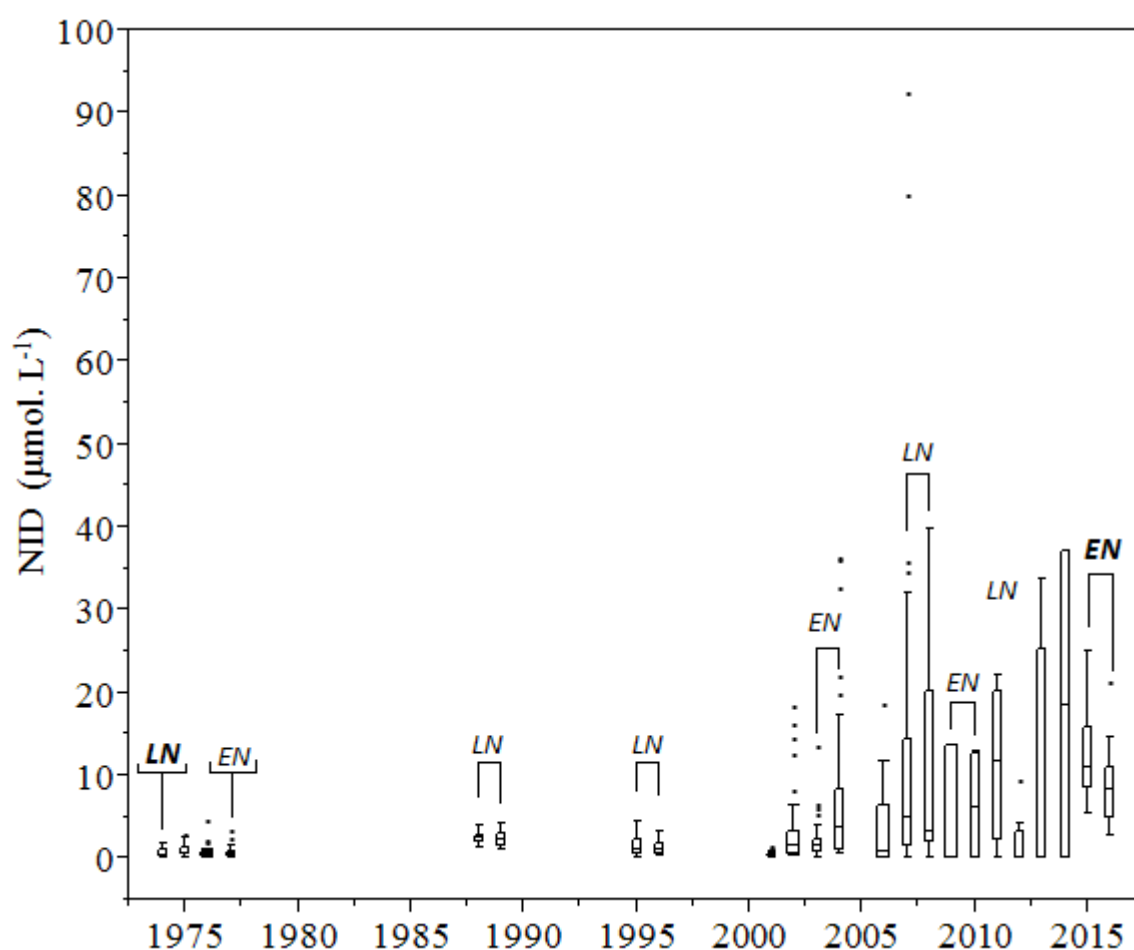


Figura 8. Análise temporal da concentração de NID- Nitrogênio Inorgânico Dissolvido ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) e distribuição dos eventos *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN) no Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz-PE, destaque em negrito para os anos considerados de forte relevância.

Fosfato

A análise temporal da concentração de fosfato (figura 9) no sistema estuarino do Canal de Santa Cruz apresentou mediana de $1,88 \mu\text{mol L}^{-1}$ e valor máximo de $59,97 \mu\text{mol L}^{-1}$ no período chuvoso de 2007. Esta concentração ultrapassou em 90% o limite estabelecido pela resolução CONAMA 357 (2005) para águas salobras classe II, que são referentes a águas destinadas à proteção das comunidades aquáticas, aquicultura e à atividade da pesca.

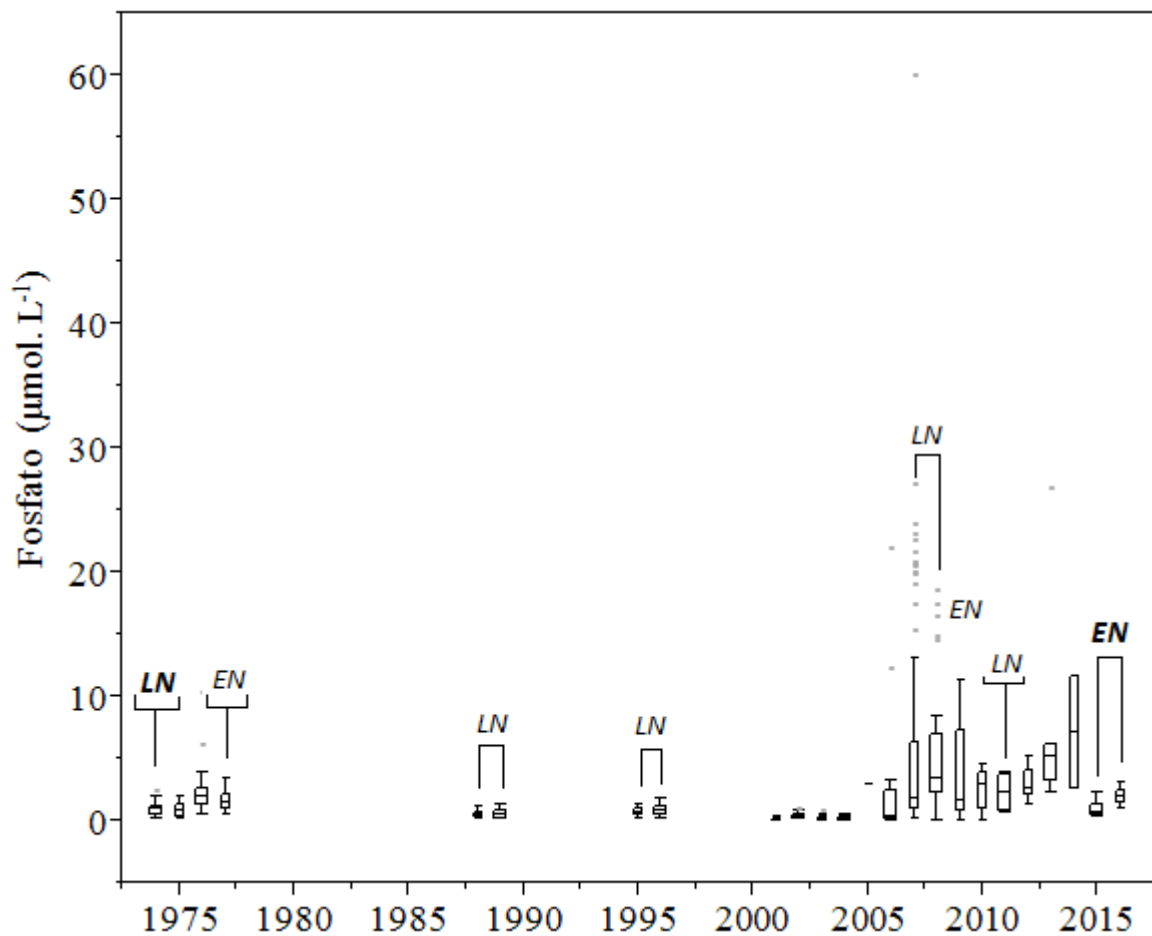


Figura 9. Análise temporal da concentração do fosfato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) e distribuição dos eventos *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN) no Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz-PE, destaque em negrito para os anos considerados de forte relevância.

Nutrientes, Clorofila- *a* e sazonalidade

A variação temporal dos nutrientes e clorofila-*a* apresentou influências das condições climáticas (figura 10), sendo as concentrações de clorofila -*a*, amônia, nitrito e nitrato maiores no período chuvoso, exceto para o fosfato, quando sua concentração foi maior no período de estiagem.

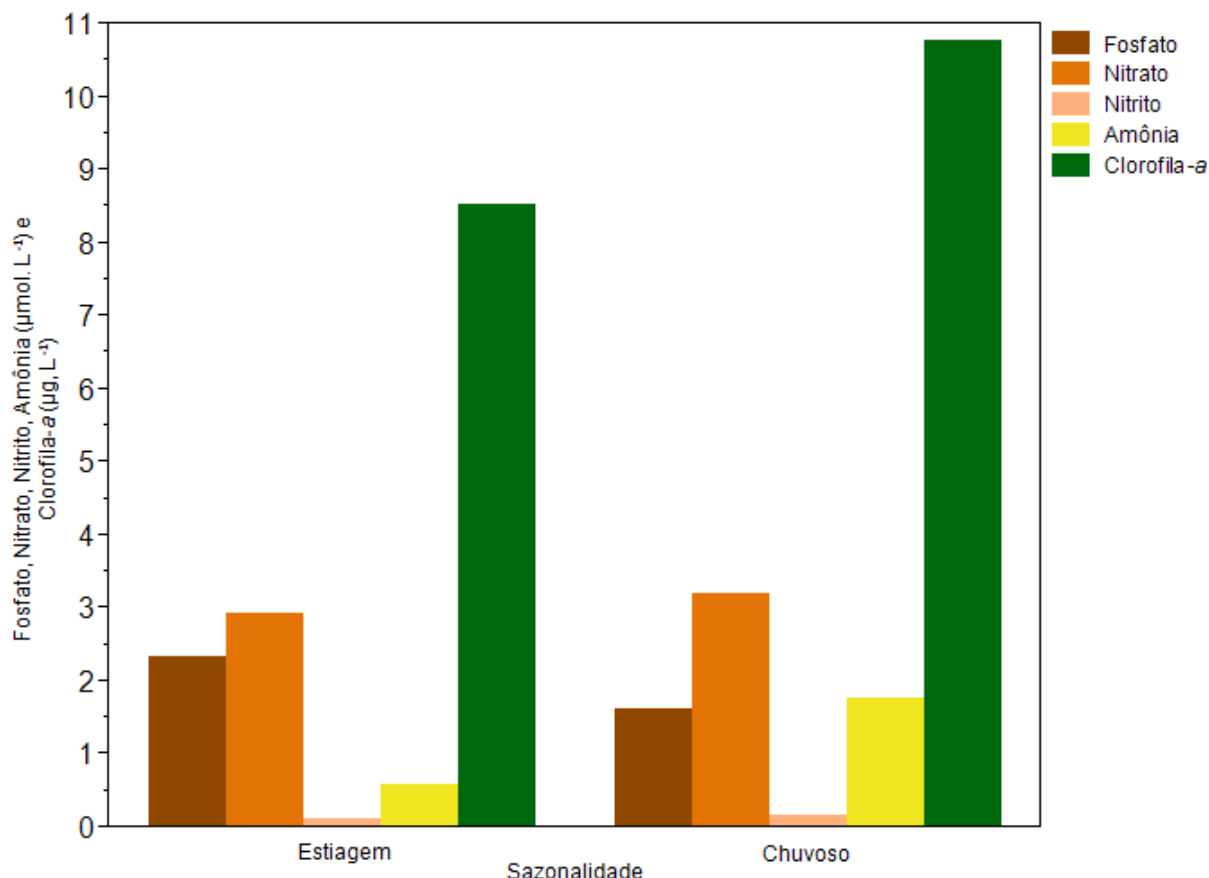


Figura 10. Concentração média dos nutrientes (Fosfato, Nitrato, Nitrito e Amônia) e Clorofila -a de acordo com a sazonalidade no período de 1974 a 2016 no Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz-Itamaracá, PE-Brasil.

As médias dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, amônia, nitrito e nitrato no período de estiagem foram de $0,60 \mu\text{mol L}^{-1}$, $0,13 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $2,94 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente. No período chuvoso foram de $1,77 \mu\text{mol L}^{-1}$, $0,17 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $3,20 \mu\text{mol L}^{-1}$ para amônia, nitrito e nitrato, respectivamente. A média de concentração da clorofila-a foi de $10,77 \mu\text{g L}^{-1}$ no período chuvoso e $8,52 \mu\text{g L}^{-1}$ no período de estiagem. A amplitude foi maior no período chuvoso, pois nesse período existe um maior carreamento de nutrientes advindos de áreas emersas, o que favorece o aumento na concentração de clorofila- a. A mediana para o fosfato no período de estiagem foi de $2,33 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $1,63 \mu\text{mol L}^{-1}$ no período chuvoso.

Discussão

Analisar e identificar os efeitos dos eventos climáticos como *El Niño* e *La Niña*, em áreas estuarinas, pode ser importante para compreender cenários futuros de possíveis aumentos na frequência destes eventos e suas consequências a longo prazo (CANE, 2005; CAI *et al.*, 2014).

Dessa forma, este conjunto de dados do Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz (CECSC) contribuirá para o entendimento dos padrões de precipitação pluviométrica associados aos eventos *El Niño* e *La Niña*. De acordo com o banco de dados da Central de Previsão Climática-NOAA (2017), os anos de 1974, 1975, 1988, 1989, 2007, 2008 e 2011 tiveram eventos de *La Niña*, enquanto que os anos de 1976, 1977, 2002, 2004, 2009, 2015 e 2016, por sua vez, com eventos de *El Niño*. Corroborando com tais informações, verificamos no presente estudo as ações desses fenômenos sobre os padrões de precipitação na área em destaque, e notou-se sua relação com a maior (*La Niña*) ou menor (*El Niño*) concentração dos nutrientes inorgânicos nitrogenados e clorofila - *a*.

Os dados pluviométricos no presente trabalho indicaram tendência a diminuição de chuva na área analisada, fato que foi igualmente verificado por autores como Lacerda *et al.* (2009), que identificaram uma diminuição da precipitação, no período de 1965 a 2004, porém, na área da bacia do Pajeú, sertão de Pernambuco. Isto nos inclina a afirmar que as influências desses eventos não se limitam ao recorte semiárido do NEB, mas que extrapola tal região e alcança as áreas litorâneas. Moncunill (2006) reforça tal hipótese, ao pesquisar a tendência de precipitação no estado do Ceará-Brasil, utilizando 32 estações pluviométricas no período de 1974 a 2003. Igualmente, como o presente trabalho, este autor encontrou uma tendência de diminuição na precipitação total anual em 27 das 32 localidades analisadas, sendo algumas dessas litorâneas.

Por outro lado, destoando das previsões sobre o quadro de redução da precipitação discutido anteriormente no NEB, Santos & Brito (2007) nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, no período médio de 65 anos, compreendido entre 1935 a 2000, encontraram tendência de aumento no total anual de precipitação pluviométrica em 19 localidades; Santos *et al.*, (2009) no estado do Ceará, utilizando uma série climatológica referente ao período de 1936 a 2006, encontraram tendência de aumento de precipitação; Araújo & Brito (2011) nos estados da Bahia e Sergipe, no período de 45 anos verificaram um acréscimo no número de dias com chuva.

Essas mudanças regionais na frequência de precipitação total, podem estar relacionadas às temperaturas da superfície do mar (SSTs) e circulação atmosférica, que por sua vez, influenciam-se retroativamente com os eventos anômalos *El Niño* e *La Niña* (HAYLOCK *et al.*, 2006). Em geral, os efeitos do *El Niño* no NEB são conhecidos por períodos quentes e de menor precipitação, o que ocasiona uma menor entrada de água doce no

sistema estuarino, e tal fato, segundo Wetz & Yoskowitz (2013), deve igualar a matéria orgânica alóctone reduzida aos insumos de nutrientes e consequentemente também reduzir a atividade de floração do fitoplâncton - base da teia trófica, o que para áreas estuarinas de importante biodiversidade, como é o caso do CECSC, é bastante prejudicial ao equilíbrio e sustentabilidade do meio (MOURA & FLORES MONTES, 2009). A variação observada na concentração de clorofila-*a* ao longo dos anos no CECSC, demonstrou uma evidente redução nas concentrações de clorofila-*a* nos anos de 2015 e 2016, anos em que a presença do fenômeno *El Niño* foi considerada de grande plenitude (NOAA,2017) e aumento das concentrações de clorofila-*a* nos anos de 2001 e 2011, quando a presença do evento *La Niña* se encontrava atuante. Estas últimas características também foram relatadas por Cloern *et al.*, (2007) e Andrade *et al.*, (2016) na *La Niña* de 1999 na Baía de São Francisco-Califórnia e *La Niña* de 2011 no estuário Taperaçu-Norte do Brasil, respectivamente.

As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos (NID), apresentaram uma tendência ao aumento das concentrações no decorrer do tempo, e esta característica deve-se ao fato de que a área do CECSC recebe efluente não tratado ou minimamente tratado das descargas urbanas, industriais e agrícolas (SANTOS, 2013; CPRH, 2014). Tais características foram comparáveis aos resultados encontrados no estuário do Tejo por Gameiro & Brotas (2010), quando estas autoras também verificaram uma tendência ao aumento num recorte temporal de 27 anos. No entanto, a tendência crescente apresentada neste estudo, não se manteve por todo o recorte em análise. 2015 e 2016, por exemplo, apresentaram redução na concentração de NID e tal fato coincidiu com a forte presença do fenômeno *El Niño* (NOAA, 2017). Este evento é responsável, na região do NEB, por afetar a circulação atmosférica e diminuir o volume de chuva precipitada (FREIRE *et al.*, 2011). Estes nutrientes, sofrem ainda influência dos efeitos da circulação marinha, aumentando a taxa de dispersão e diluição durante o fluxo e refluxo das marés (DITTMAR & LARA, 2001; PEREIRA-FILHO *et al.*, 2001) e aos processos de consumo pelos produtores primários, bem como, de nitrificação e desnitrificação pela ação bacteriana (WARD, 2012).

Assim como para o NID, a concentração do fosfato apresentou variação semelhante ao longo dos anos, exceto para os anos de 2015 e 2016, devido à redução das chuvas nesse período. A principal fonte de fosfato é a lixiviação das rochas fosfóricas ou fosforita, portanto, a redução do volume de chuva resultará na redução do transporte continente-água (STATHAM, 2012; WETZ & YOSKOWITZ, 2013).

As concentrações dos nutrientes nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) mais elevadas no período chuvoso, foi também relatado por outros pesquisadores, como Valiela *et al.*,(2012),

e associaram com o enriquecimento das águas estuarinas, tanto por deposição direta, bem como, por advecção dos nutrientes terrestres até a costa do Panamá. As concentrações de clorofila-*a* no CECSC também foram maiores no período chuvoso, o que também foi demonstrado por Travassos (2011) e Otsuka *et al.* (2013) no estuário do Rio Botafogo, estuário inserido no CECSC. Resultados semelhantes não foram observados para o fosfato, sendo encontradas concentrações maiores no período de estiagem, confirmando os resultados descritos por Flores Montes *et al.* (1998) e Travassos (2011) na área de abrangência do CECSC, onde os autores relataram que o período de estiagem obteve maiores concentrações de fosfato, pois tais características deve-se à existência de depósitos naturais de fosfato em toda a região costeira entre Olinda e a Ilha de Itamaracá (FLORES MONTES *et al.*, 2002) o que explica o suprimento natural de fósforo no Complexo Estuarino do Canal de Santa Cruz.

Conclusão

Os eventos de *El Niño* e *La Niña* não apresentaram uma clara influência nas concentrações de nutrientes e clorofila – *a*, no CECSC, no período de 1974 a 2016, apesar da grande variabilidade de precipitação pluviométrica no decorrer do recorte histórico. Porém, no período de 2015 a 2016, período de *El Niño*, existiu uma forte relação entre a diminuição da chuva, e as concentrações de clorofila- *a*, NID e fosfato.

Identificar correlação entre os impactos resultantes das atividades antrópicas, que se reflete no aumento da concentração de nutrientes e clorofila- *a*, e sua associação com as variações climáticas vinculadas aos eventos de *El Niño* e *La Niña*, são o primeiro caminho para compreensão e mitigação de problemas futuros.

Um gerenciamento costeiro multidisciplinar é fundamental para entender a relação fatores climáticos nos fatores abióticos e mudanças no equilíbrio ambiental, com o objetivo de conservar os ecossistemas costeiros.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Oceanografia Química da Universidade Federal de Pernambuco pelo apoio logístico na análise de dados e ao Laboratório de Fitoplâncton por auxiliar na análise de dados biológicos. Esta pesquisa foi apoiada pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), através do financiamento do projeto "DICAM" (CM II 1975/2014).

Referências

- ANDRADE, M. P. *et al.* Effects of a *La Niña* event on hydrological patterns and copepod community structure in a shallow tropical estuary (Taperaçu, Northern Brazil). **Journal of Marine Systems**, v. 164, p. 128-143, 2016.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 63-74, 2007.
- ARAÚJO, W. S & BRITO, J. I. B. Índices de tendências de mudanças climáticas para os estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários e sua relação com TSM do Pacífico e Atlântico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, 541 - 554, 2011.
- BILLEN, G. *et al.* Modeling the Response of Water Quality in the Seine River Estuary to Human Activity in its Watershed Over the Last 50 Years. **Estuaries** v. 24, n. 6B, p. 977-993, 2001.
- BRICKER, S. B. *et al.* Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change. **Harmful Algae**, v. 8, n. 1, p. 21-32, 2008.
- CAI, W. *et al.* Increasing frequency of extreme El Nino events due to greenhouse warming. **Nature Clim. Change**, v. 4, n. 2, p. 111-116, 2014.
- CANE, M. A. The evolution of *El Niño*, past and future. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 230, n. 3-4, p. 227-240, 2005
- CAVALCANTI, L. B. **Caracterização do Canal de Santa Cruz (Pernambuco-Brasil) em função dos parâmetros físico-químicos e pigmentos fotossintéticos**. Tese de livre docente. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, pp. 107, 1976.
- CLOERN, J. E. *et al.* A cold phase of the East Pacific triggers new phytoplankton blooms in San Francisco Bay. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 47, p. 18561-18565, 2007.
- CONLEY, Daniel J. *et al.* Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. **Science**, v. 123, p. 1014-1015, 2009.
- COUTINHO, P. N. Sugestões para gerenciamento de estuários. **Arq.Ciêñ.Mar**,25: 77-86, 1986.
- CPRH- Agencia Estadual de Meio Ambiente. **Monitoramento de Bacias Hidrográficas do estado de Pernambuco-Brasil**, 2001, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014.
- CPRH- Zoneamento ambiental da área de proteção ambiental - Apa Santa Cruz – Itapissuma, Itamaracá E Goiana, PE. **(Agência Estadual de Meio Ambiente)- Fundação Apolônio de Desenvolvimento Educacional**, 2010.
- DITTMAR, T.; LARA, R. J. Driving Forces Behind Nutrient and Organic Matter Dynamics in a Mangrove Tidal Creek in North Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 52, n. 2, p. 249-259, 2001.

DOGLIOTTI, A. I.; RUDDICK, K.; GUERRERO, R. Seasonal and inter-annual turbidity variability in the Río de la Plata from 15 years of MODIS: *El Niño* dilution effect. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 182, Part A, p. 27-39, 2016.

FERNANDES, M. P. A. **Produtividade Fitoplanctônica Relacionada com Alguns Aspectos Ecológicos no Estuário do Rio Congo (Itapissuma-PE)**. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, pp. 120, 1997.

FIGUEIREDO, J. A. *et al.* Hidrologia e biomassa fitoplanctônica nas barras Orange e Catuama (canal de Santa Cruz), em Itamaracá-PE: Variação Nictemeral. **Ciências do Mar**, v. 39, p. 5-17, 2005

FLORES MONTES, M. de J. *et al.* Variação nictemeral do fitoplâncton e elementos nutrientes no Canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 26, n. 1, p. 13-26, 1998.

FLORES MONTES, M. J.; MACÊDO, S. J.; KOENING, M. L. N:Si:P atomic ratio in the Santa Cruz Channel, Itamaracá-PE (Northeast Brazil): a nyctemeral variation. **Brazilian Archives of Biology and Technology (Impresso)**, v. 45, n. 2, p. 115-124, 2002.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E.P. Análise de Aspectos Meteorológicos Sobre o Nordeste do Brasil em Anos de *El Niño* e *La Niña* (Analysis of Meteorological Aspects on the Northeast of Brazil in *El Niño* and *La Niña* Years). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 429-444, 2011.

GALVÃO, C. O. *et al.* Climatic predictability, hydrology and water resources over Nordeste Brazil. **Regional Hydrological Impacts of Climatic Change—Impact Assessment and Decision Making (ed. By T. Wagener *et al.*)**, p. 211-220, 2005.

GAMEIRO, C.; BROTAS, V. Patterns of Phytoplankton Variability in the Tagus Estuary (Portugal). **Estuaries and Coasts**, 2010.

GLIBERT, P. M. *et al.* Modeling of HABs and eutrophication: Status, advances, challenges. **Journal of Marine Systems**, v. 83, n. 3–4, p. 262-275, 2010.

GRAY, J. S.; WU, R. S.; OR, Y. Y. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. **Marine Ecology Progress Series**, v. 238, p. 249-279, 2002.

HAYLOCK, M. R., *et al.* Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

HEISLER, J. *et al.* Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. **Harmful Algae**, v. 8, n. 1, p. 3-13, 2008.

JICKELLS, T. D. Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone. **Science**, v. 281, n. 5374, p. 217-222, 1998.

JICKELLS, T. D. *et al.* Nutrient transport through estuaries: The importance of the estuarine geography. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 150, Part B, p. 215-229, 2014.

KRONVANG, B. *et al.* Nutrient pressures and ecological responses to nutrient loading reductions in Danish streams, lakes and coastal waters. **Journal of Hydrology**, v. 304, n. 1–4, p. 274-288, 2005.

LACERDA, F. F.; VIEIRA, A. V. P.. M; SOARES, Deivide Benicio. Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú–PE: Mudanças climáticas ou variabilidade. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2009.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MELO, A. A. S. **Nutrientes Dissolvidos e Biomassa Primária nos Estuários dos Rios Botafogo e Carrapicho-PE**. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil. pp. 90, 2007.

MONCUNILL, D. F. The rainfall trend over Ceara and its implications. In **8ª Conferência Internacional de Meteorologia e Oceanografia do Hemisfério Sul, Foz do Iguaçu**.pp. 315-323, 2006.

MOURA, R.T.; FLORES-MONTES, M. J. Aspectos gerais da hidrobiologia do litoral norte de Pernambuco, Brasil. Brasília, DF: **IBAMA**. 01 ed. v.01, 138p, 2009.

NASCIMENTO FILHO, G. A. **Uso de índices ambientais como ferramentas de avaliação do estado trófico (qualitativo e quantitativo) de estuários no estado de Pernambuco**. Tese. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, pp. 83, 2014.

NOAA. NOAA's National Weather Service. **Climate Prediction Center, Cold and Warm Episodes by Season**. Disponível em: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Acesso: 24/01/2017.

OTSUKA, A. Y.*et al.* Condições Ambientais do Estuário do Rio Botafogo (Itamaracá-Peranmbuco-Brasil): Clorofila - *a* e algumas variáveis ambientais. **Tropical Oceanography**. 2013.

PAERL, H.W., DENNIS, R.L., WHITALL, D.R. Atmospheric deposition of nitrogen: implications for nutrient over-enrichment of coastal waters. **Estuaries** 25 (4B), 677 – 693, 2002.

PASSAVANTE, J. Z. O. **Produção Primária do Fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco) (PE—Brasil)**. Tese. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, PE, Brasil, pp. 171, 1979.

PEREIRA-FILHO, J. *et al.* Intratidal variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and chlorophyll *a* in the Camboriú River estuary, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 53, n. 2, p. 249-257, 2001.

REBOITA, M. S.; *et al.*, Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 - 204, 2010

SALVADOR, M. A. **Análise da variabilidade climática na nova fronteira agrícola do Brasil: região do Matopiba**. Tese (Doutorado). Campina Grande, UFCG, 2014.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SANTOS, C. A. C. *et al.* Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, P. C. P. **Avaliação de parâmetros hidrobiológicos e ambientais do Rio Itapessoca, Goiana - PE.** Mestrado profissional em tecnologia ambiental, Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, 2013.

SATHICQ, M. B.; BAUER, D. E.; GÓMEZ, N. Influence of *El Niño* Southern Oscillation phenomenon on coastal phytoplankton in a mixohaline ecosystem on the southeastern of South America: Río de la Plata estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, n. 1–2, p. 26-33, 2015.

SILVA, I. G. **Variação sazonal e espacial da produção, biomassa e densidade fitoplanctônica no estuário do Rio Paripe.** Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco—UFRPE, PE, Brasil, pp. 102. 1992.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009.

STATHAM, P. J. Nutrients in estuaries — An overview and the potential impacts of climate change. **Science of The Total Environment**, v. 434, p. 213-227, 2012.

TOLAN, J. M. *El Niño*-Southern Oscillation impacts translated to the watershed scale: Estuarine salinity patterns along the Texas Gulf Coast, 1982 to 2004. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 72, n. 1–2, p. 247-260, 2007.

TRAVASSOS, R. K. **Análise da Qualidade Ambiental no Estuário do Rio Botafogo: Determinação do Índice Trófico e Componentes do Fósforo na Coluna da água.** Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE. PE, Brasil, pp. 94, 2011.

UNESCO. **International Oceanographic Table.** Wormly, v. 2, 141p, 1973.

VALIELA, I. *et al.* Increased rainfall remarkably freshens estuarine and coastal waters on the Pacific coast of Panama: Magnitude and likely effects on upwelling and nutrient supply. **Global and Planetary Change**, v. 92–93, p. 130-137, 2012.

VITOUSEK, P. M. *et al.* Human Domination of Eath's Ecosystems. **SCIENCE**, v. 277, 1997a.

WARD, Bess. The global nitrogen cycle. **Fundamentals of geobiology**, p. 36-48, 2012.

WESTON, N. B.; HOLLIBAUGH, J. T.; JOYE, S. B. Population growth away from the coastal zone: Thirty years of land use change and nutrient export in the Altamaha River, GA. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 10, p. 3347-3356, 2009.

WETZ, M. S.; YOSKOWITZ, D. W. An 'extreme' future for estuaries? Effects of extreme climatic events on estuarine water quality and ecology. **Marine Pollution Bulletin**, v. 69, n. 1–2, p. 7-18, 2013

YIN, K. Monsoonal influence on seasonal variations in nutrients and phytoplankton biomass in coastal waters of Hong Kong in the vicinity of the Pearl River estuary. **Marine Ecology Progress Series**, v. 245, p. 111-122, 2002.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confirmou-se, neste estudo, que a utilização do Índice de Estado Trófico-TRIX é uma ferramenta útil e de boa aplicabilidade para ambientes estuarinos, possibilitando uma fácil compreensão do estado do CECSC ao longo de 42 anos de análise. Da mesma forma, o ClimAp, software utilizado para compreensão de ocorrência no volume de chuvas precipitado, dias com chuva e maior precipitação acumulada em um dia, se mostrou eficiente para esclarecimento da tendência de diminuição de volume de chuva na área investigada.

Os dados aqui apresentados revelam, de maneira geral, influências diretas do crescimento populacional sobre o TRIX, tal relação revelou a degradação gradativa sofrida pelo CECSC, prejudicando dessa maneira os corpos d'água. Os efeitos sobre o NID, fosfato e clorofila-*a*, diferentemente do aumento demonstrado pelo TRIX, mostrou-nos que os anos de 2015 e 2016 sofreram uma forte redução de suas concentrações, certamente em consequência da diminuição da chuva neste período.

Se a frequência dos eventos climáticos tais como *El Niño*, que sabidamente influenciam nas reduções da chuva no NEB, aumentarem, os estuários poderão sofrer consequências tais como redução dos aportes de nutrientes advindos de áreas costeiras e dessa forma, diminuir a produtividade estuarina, sendo tal situação prejudicial para o CECSC que é um ambiente altamente complexo e rico em biodiversidade, sendo capaz de refugiar espécies vegetais e animais de suma importância econômica e ambiental. Por outro lado, os efeitos trazidos por fortes chuvas (podendo ser ocasionados por *La Niña*), podem induzir o maior escoamento de resíduos terrestres para as áreas estuarinas adjacentes. No contexto aqui analisado, trata-se de um escoamento carregado não apenas por nutrientes naturalmente existentes no solo, mas carregado pelos resíduos químicos da produção da cana-de-açúcar e dos resíduos frutos das precárias condições de saneamento.

Por fim, os resultados obtidos nesta pesquisa podem servir como ponto de partida para que gestores compreendam as fragilidades existentes nos municípios de abrangência do CECSC e, com isso, possam assumir planos de ação que visem minimizar os impactos humanos neste sistema estuarino.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. *et al.* Eutrophication and water quality in a tropical Brazilian estuary. **Journal of Coastal Research**, n. 65, 2013.
- ANDRADE, M. P. *et al.* Effects of a *La Niña* event on hydrological patterns and copepod community structure in a shallow tropical estuary (Taperaçu, Northern Brazil). **Journal of Marine Systems**, v. 164, p. 128-143, 12// 2016.
- AUTH, T. D.; BRODEUR, R. D.; PETERSON, J. O. Anomalous ichthyoplankton distributions and concentrations in the northern California Current during the 2010 *El Niño* and *La Niña* events. **Progress in Oceanography**, v. 137, Part A, p. 103-120, 9// 2015.
- BÉJAOU, B. *et al.* Random Forest model and TRIX used in combination to assess and diagnose the trophic status of Bizerte Lagoon, southern Mediterranean. **Ecological Indicators**, v. 71, p. 293-301, 12// 2016.
- BERBEL, G. B. B.; FAVARO, D. I. T.; BRAGA, E. S. Impact of harbour, industry and sewage on the phosphorus geochemistry of a subtropical estuary in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 93, n. 1–2, p. 44-52, 4/15/ 2015.
- BRICKER, S. B.; FERREIRA, J. G.; SIMAS, T. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. **Ecological Modelling**, v. 169, n. 1, p. 39-60, 11/1/ 2003.
- CABRITA, M. T. *et al.* Assessing eutrophication in the Portuguese continental Exclusive Economic Zone within the European Marine Strategy Framework Directive. **Ecological Indicators**, v. 58, p. 286-299, 11// 2015.
- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes1. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.
- CAVALCANTI, L. B. **Caracterização do Canal de Santa Cruz (Pernambuco-Brasil) em função dos parâmetros físico-químicos e pigmentos fotossintéticos**. Tese de livre docente. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, pp. 107, 1976.
- CLOERN, J. E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. **Marine Ecology Progress Series**, v. 210, p. 223-253, 2001.
- CHIODI, A. M.; HARRISON, D. E. *El Niño* impacts on seasonal US atmospheric circulation, temperature, and precipitation anomalies: The OLR-event perspective. **Journal of Climate**, v. 26, n. 3, p. 822-837, 2013.
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. **Diagnóstico Sócioambiental do Litoral Norte de Pernambuco**. 254p. 2001.
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. **Relatório de Monitoramento de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco**. Grupo de Pequenos Rios Litorâneos-GL1. 4p. 2004.
- CPRH- Zoneamento ambiental da área de proteção ambiental - Apa Santa Cruz – Itapissuma, Itamaracá E Goiana, PE. (Agência Estadual de Meio Ambiente)- Fundação Apolônio de Desenvolvimento Educacional, 2010.

CPRH- Agencia Estadual de Meio Ambiente. **Monitoramento de Bacias Hidrográficas do estado de Pernambuco-Brasil**, 2001, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B. A.; BOYD, R. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. **J Sediment Petrol**, v. 62, n. 1, p. 130-146, 1992.

DAVIDSON, K. *et al.* Harmful algal blooms: How strong is the evidence that nutrient ratios and forms influence their occurrence? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 115, p. 399-413, 12/10/ 2012.

DE PAULA FILHO, F. J.; MARINS, R. V.; DE LACERDA, L. D. Natural and anthropogenic emissions of N and P to the Parnaíba River Delta in NE Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, Part A, p. 34-44, 12/5/ 2015.

DIAZ, R. J.; ROSENBERG, R. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. **Science**, v. 321, n. 5891, p. 926-929, 2008.

DIONNE, J. C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. **Zeitschr. F. Geomorph**, v. 7, n. 1, p. 36-44, 1963.

DODDS, W. K.; WHILES, M. R. Chapter 18 - Trophic State and Eutrophication. In: (Ed.). **Freshwater Ecology (Second Edition)**. London: Academic Press,. p.469-507. ISBN 978-0-12-374724-2, 2010.

DYER, K. R. Estuaries: a physical introduction. **John Wiley and Sons**, v. 2nd ed, p. 195, 1997.

EL-DEIR, S. G. **O Homem Pescador; Um estudo de etnobiologia da comunidade de Vila Velha, Itamaracá-PE (Brasil)**. Dissertação de mestrado em oceanografia biológica, Departamento de Oceanografia, UFPE. Recife, 1998. 142p.

FAIRBRIDGE, R. W. The estuary: its definition and geodynamic cycle. **Chemistry and biogeochemistry of estuaries**, v. 1136, 1980.

FERNANDES, M. P. A. **Produtividade Fitoplanctônica Relacionada com Alguns Aspectos Ecológicos no Estuário do Rio Congo (Itapissuma-PE)**. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, pp. 120, 1997.

FIGUEIREDO, J. A. *et al.* Hidrologia e biomassa fitoplanctônica nas barras Orange e Catuama (canal de Santa Cruz), em Itamaracá-PE: Variação Nictemeral. **Ciências do Mar**, v. 39, p. 5-17, 2005

FLORES MONTES, M.J. *et al.* Variação nictemeral do fitoplâncton e elementos nutrientes no Canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 26, n. 1, p. 13-26, 1998.

FLORES MONTES, M. J.; MACÊDO, S. J.; KOENING, M. L. N:Si:P atomic ratio in the Santa Cruz Channel, Itamaracá-PE (Northeast Brazil): a nyctemeral variation. **Brazilian Archives of Biology and Technology (Impresso)**, v. 45, n. 2, p. 115-124, 2002.

FLORES MONTES, M. D. J. *et al.* The Trophic Status of an Urban Estuarine Complex in Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 64, p. 408 - 411, 2011.

FONSECA, A.; BRAGA, E. S.; EICHLER, B. B. Distribuição espacial dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctônica no sistema pelágico da lagoa da Conceição, Santa Catarina, Brasil. **Atlântica, Rio Grande**, v. 2, n. 24, p. 69-83, 2002.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E.P. Análise de Aspectos Meteorológicos Sobre o Nordeste do Brasil em Anos de *El Niño* e *La Niña* (Analysis of Meteorological Aspects on the Northeast of Brazil in *El Niño* and *La Niña* Years). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 429-444, 2011.

GARCIA, A. M.; VIEIRA, J. P.; WINEMILLER, K. O. Effects of 1997–1998 *El Niño* on the dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 57, n. 3, p. 489-500, 6// 2003.

GIORDANI, G.; ZALDÍVAR, J. M.; VIAROLI, P. Simple tools for assessing water quality and trophic status in transitional water ecosystems. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 5, p. 982-991, 9// 2009.

GLIBERT, P. M. *et al.* Modeling of HABs and eutrophication: Status, advances, challenges. **Journal of Marine Systems**, v. 83, n. 3–4, p. 262-275, 11// 2010.

GONZALEZ, J. L. *et al.* Role of Particle Sorption Properties in the Behavior and Speciation of Trace Metals in Macrotidal Estuaries: The Cadmium Example. **Handbook of Environmental Chemistry**, 2006.

GRASSHOFF, K. *et al.* **Methods of seawater analysis**. New York. **Velag Chemie**, 1983. Ed. 2, 317p.

GRIMM, A. M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. Climate variability in southern South America associated with *El Niño* and *La Niña* events. **Journal of climate**, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.

GUENTHER, M. *et al.* Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, n. 2, p. 537-547, 2/28/ 2015.

JUSTIĆ, D.; RABALAIS, N. N.; TURNER, R. E. Coupling between climate variability and coastal eutrophication: Evidence and outlook for the northern Gulf of Mexico. **Journal of Sea Research**, v. 54, n. 1, p. 25-35, 7// 2005.

KJERFVE, B. *et al.* Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 11// 1997.

LACERDA, S.R. (1994) **Variação diurna e sazonal do fitoplâncton no estuário do Rio Paripe (Itamaracá/Pernambuco/Brasil)**. [Dissertação de Mestrado] – Recife (PE): Universidade Federal de Pernambuco.

LANA, P. C. *et al.* The Subtropical Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: SEELIGER, U. e KJERFVE, B. (Ed.). **Coastal Marine Ecosystems of Latin America:**

Springer Berlin Heidelberg, v.144, cap. 11, p.131-145. (Ecological Studies). ISBN 978-3-642-08657-1, 2001.

LIMA, A. C. G. **Monitoramento da qualidade das águas na bacia do Rio Botafogo, em Pernambuco, com ênfase para a concentração de mercúrio total em água e sedimentos.** Dissertação do curso de mestrado em Gestão e Políticas Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, 101 pag. 2006.

LOURENÇO, S. O.; JÚNIOR, A. N. M. Produção Primária Marinha. In: PEREIRA, R. C. e SOARES-GOMES, A. (Ed.). **Biologia Marinha**. 2. Rio de Janeiro, 2009.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Changes in Nutrient Loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the Construction of Dams **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 2, p. 387-397, 2011.

MELO, A. A. S. **Nutrientes Dissolvidos e Biomassa Primária nos Estuários dos Rios Botafogo e Carrapicho-PE.** Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil. pp. 90, 2007.

MILLER, James R.; RUSSELL, Gary L. The impact of global warming on river runoff. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 97, n. D3, p. 2757-2764, 1992.

MONTEIRO, M. C.; JIMÉNEZ, J. A.; PEREIRA, L. C. C. Natural and human controls of water quality of an Amazon estuary (Caeté-PA, Brazil). **Ocean & Coastal Management**, v. 124, p. 42-52, 5// 2016.

MOORE, C. M. *et al.* Processes and patterns of oceanic nutrient limitation. **Nature Geosci**, v. 6, n. 9, p. 701-710, 09//print 2013.

MOSER, G. A. **Aspectos da eutrofização no Sistema Estuarino de Santos: distribuição espaço-temporal da biomassa e produtividade primária fitoplanctônica e transporte instantâneo de sal, clorofila-a, material em suspensão e nutrientes.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, p. 410, 2002.

NASCIMENTO, F. C. R. D. *et al.* Disponibilidade nutricional da bacia do Pina e Rio Tejió (Recife- PE-Brasil) em relação aos nutrientes e biomassa primária **Tropical Oceanography**, v. 31, n. 2, p. 149-169, 2003.

NASCIMENTO FILHO, G. A. **Uso de índices ambientais como ferramentas de avaliação do estado trófico (qualitativo e quantitativo) de estuários no estado de Pernambuco.** Tese. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE, PE, Brasil, pp. 83, 2014.

NIEDZIELSKI, T. Chapter Two - *El Niño*/Southern Oscillation and Selected Environmental Consequences. In: RENATA, D. (Ed.). **Advances in Geophysics**: Elsevier, v. Volume 55. p.77-122. ISBN 0065-2687 2014.

NIXON, S. W. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v. 41, n. 1, p. 199-219, 1995/02/01 1995.

NOAA. **NOAA's National Ocean Service: Estuaries**, p. 74, 2005.

PASSAVANTE, J. Z. O. **Produção Primária do Fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco) (PE—Brasil)**. Tese. Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, PE, Brasil, pp. 171, 1979.

PASSAVANTE, J. Z. D. O.; FEITOSA, F. A. D. N. Dinâmica da Produtividade Fitoplanctônica na Zona Costeira Marinha. In: ESKINAZI-LEÇA, E. N.-L., S., ET AL (Ed.). **Oceanografia: Um Cenário Tropical**. Centro de Tecnologia e Geociências: UFPE, 2004. p.425-439.

PAVLIDOU, A. *et al.* Methods of eutrophication assessment in the context of the water framework directive: Examples from the Eastern Mediterranean coastal areas. **Continental Shelf Research**, v. 108, p. 156-168, 10/1/ 2015.

PERILLO, G. M. E. **Geomorphology and sedimentology and estuaries. Developments sedimentology**. Elsevier Science, 53, 1995.

PETERSON, W. T.; KEISTER, J. E.; FEINBERG, L. R. The effects of the 1997–99 *El Niño/La Niña* events on hydrography and zooplankton off the central Oregon coast. **Progress in Oceanography**, v. 54, n. 1–4, p. 381-398, 7// 2002.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. Estuários e Águas costeiras In: RECÓLEO (Ed.). **Crise nas Águas. Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas**. Belo Horizonte (MG), cap. 7, p.162, 2015.

PRITCHARD, D. W. What is an Estuary: Physical View Point. . In: LAUFF, G. H. (Ed.). **Estuaries**. Washington,: American Association for Advance of Science, 1967. p.3-5.

RAMOS E SILVA, C. A. *et al.* Dynamics of phosphorus and nitrogen through litter fall and decomposition in a tropical mangrove forest. **Marine Environmental Research**, v. 64, n. 4, p. 524-534, 10// 2007.

RASP, U. Ambiente e saúde: O caso de Vila Velha, Itamaracá-PE. **Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) Departamento de Saúde Coletiva, Instituto Ageu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz**, p. 104, 1999.

RABALAIS, Nancy N. et al. Global change and eutrophication of coastal waters. **ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil**, v. 66, n. 7, p. 1528-1537, 2009.

ROBINS, P. E. *et al.* Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 169, p. 119-135, 2/5/ 2016.

SANTOS, M.A.C. **Crustáceos decápodos de substratos móveis do mediolitoral do estuário do Rio Paripe – Itamaracá, PE – Brasil**. [Tese de Doutorado] – Recife (PE): Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

SATHICQ, M. B.; BAUER, D. E.; GÓMEZ, N. Influence of *El Niño* Southern Oscillation phenomenon on coastal phytoplankton in a mixohaline ecosystem on the southeastern of South America: Río de la Plata estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, n. 1–2, p. 26-33, 9/15/ 2015.

SCHMIDT, N.; LUTHER, M. E. ENSO impacts on salinity in Tampa Bay, Florida. **Estuaries**, v. 25, n. 5, p. 976-984, 2002.

SILVA, I. G. **Variação sazonal e espacial da produção, biomassa e densidade fitoplanctônica no estuário do Rio Paripe**. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco—UFRPE, PE, Brasil, pp. 102. 1992.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201-207, 4// 2009.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**, v. 100, n. 1-3, p. 179-196, // 1999.

SOUZA, F. E. S.; SILVA, C. A. R. E. Ecological and economic valuation of the Potengi estuary mangrove wetlands (NE, Brazil) using ancillary spatial data. **Journal of Coastal Conservation**, v. 15 n. 1, p. 195-206, 2011.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A Practical handbook of seawater analysis. 2 ed. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, Ottawa, v. 167, p. 207-211, 1972.

SUN, H.; FURBISH, D. J. Annual precipitation and river discharges in Florida in response to *El Niño*- and *La Niña*-sea surface temperature anomalies. **Journal of Hydrology**, v. 199, n. 1, p. 74-87, 1997/12/01 1997.

THURMAN, H. V.; BURTON, E. A. Coastal Waters and Marginal Seas. In: PRENTICE-HALL (Ed.). **Introductory Oceanography**. 9, p.339-344. ISBN 0-13-857061-2, 2001.

TOLAN, J. M. *El Niño*-Southern Oscillation impacts translated to the watershed scale: Estuarine salinity patterns along the Texas Gulf Coast, 1982 to 2004. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 72, n. 1-2, p. 247-260, 3// 2007.

TRAVASSOS, R. K. **Análise da Qualidade Ambiental no Estuário do Rio Botafogo: Determinação do Índice Trófico e Componentes do Fósforo na Coluna da água**. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE. PE, Brasil, pp. 94, 2011.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RODRÍGUEZ, S. L. Gerenciamento e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da Represa Carlos Botelho (Lobo-Broa). **IIE, IIEGA, PROAQUA, ELEKTRO**, 2003.

TYRRELL, D. A.; GEORGE, K. J. Finite Element Modelling of the Hydrodynamics and Water Quality of the Patos Lagoon System, Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 1594-1599, 2004.

UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea-water**. Working Group 17 with meat from 4 to 6 June 1964. Paris: [s.n.], 1966. 69 p. (Monography on Oceanography Methodology, 1).

UNESCO. **International Oceanographic Table**. Wormly, v. 2, 1973. 141p.

VALIELA, I. et al. Increased rainfall remarkably freshens estuarine and coastal waters on the Pacific coast of Panama: magnitude and likely effects on upwelling and nutrient supply. **Global and Planetary Change**, v. 92, p. 130-137, 2012.

VIAROLI, P.; CHRISTIAN, R. R. Description of trophic status, hyperautotrophy and dystrophy of a coastal lagoon through a potential oxygen production and consumption

index—TOSI: Trophic Oxygen Status Index. **Ecological Indicators**, v. 3, n. 4, p. 237-250, 1// 2004.

VITOUSEK, P. M. *et al.* Human Domination of Earth's Ecosystems. **SCIENCE**, v. 277, 1997a.

VOLLENWEIDER, R. A. *et al.* Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal of a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. **Environmetrics**, v. 9, p. 329 – 357, 1998.

WETZ, M. S.; YOSKOWITZ, D. W. An 'extreme' future for estuaries? Effects of extreme climatic events on estuarine water quality and ecology. **Marine Pollution Bulletin**, v. 69, n. 1–2, p. 7-18, 4/15/ 2013.

WILKERSON, F. P. *et al.* Hydrography, nutrients and chlorophyll during *El Niño* and *La Niña* 1997–99 winters in the Gulf of the Farallones, California. **Progress in Oceanography**, v. 54, n. 1–4, p. 293-310, 7// 2002.

WHITE, D. L.; PORTER, D. E.; LEWITUS, A. J. Spatial and temporal analyses of water quality and phytoplankton biomass in a urbanized versus a relative pristine salt marsh estuary. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 298, p. 255-273, 2004.

YEH, Sang-Wook *et al.* *El Niño* in a changing climate. **Nature**, v. 461, n. 7263, p. 511-514, 2009.

ZHANG, W. Y. *et al.* Response of nearshore circulation outside Yangtze Estuary to *El Niño* events. **Water Science and Engineering**, v. 9, n. 2, p. 145-154, 2016.