



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL E DOS RECURSOS HÍDRICOS

PEDRO HENRIQUE CAMPOS SOUSA

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE TRIX E O'BOYLE EM ESTUÁRIOS
AMAZÔNICOS

BELÉM-2019

PEDRO HENRIQUE CAMPOS SOUSA

APLIACAÇÃO DO ÍNDICE DE TRIX E O'BOYLE EM ESTUÁRIOS
AMAZÔNICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Orientadora: Prof^ª Dra. Maria de Lourdes Souza Santos.

BELÉM-2019

PEDRO HENRIQUE CAMPOS SOUSA

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE TRIX E O'BOYLE EM ESTUÁRIOS
AMAZÔNICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Avaliado em 25 de fevereiro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos - Orientadora
Universidade Federal Rural de Amazônia – UFRA
Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos – ISARH

Prof. Dr. Maamar El-Robrini
Universidade Federal do Pará - UFPA
Instituto de Geociências - IG

Prof. Dr. Carlos Esteban Delgado Noriega
Universidade Federal de Pernambuco– UFPE
Centro de Tecnologia, Departamento de Oceanografia

Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA
Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos – ISARH

Prof. Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo - Suplente
Universidade Federal Rural da Amazônia – ISARH/UFRA

Dedico este trabalho A minha Mãe Maria das Graças campos Sousa e Meu Pai Pedro Sérgio da Silva Sousa (in memoria) que sempre acreditaram no meu potencial.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me fortaleceu para que eu pudesse chegar até aqui, me ergueu e se fez presente nos momentos em que cheguei a imaginar que esse sonho não se tornaria uma realidade. Sem a minha fé nada teria se concretizado.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Maria de Lourdes Souza Santos, meus agradecimentos pela compreensão, paciência na orientação e disponibilidade de todo o suporte necessário para a conclusão desta dissertação.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e aos docentes do Programa de Pós Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais (PPGAQRAT), a CAPES por conceder auxílio financeiro, e a todos que contribuíram diretamente e indiretamente em minha formação, me proporcionando ensinamentos que me auxiliarão por toda a vida.

À minha mãe Maria das Graças Campos Sousa, que sem o seu apoio, dedicação e esforço eu não teria chegado nem a metade dessa jornada, agradeço pela compreensão e por sempre acreditar na minha capacidade, e ao restante da família que sempre me ajudou nos momentos em que precisei. E a minha outra mãe Valdene Marinho e sua família que sempre se preocupavam comigo em relação aos meus estudos e ao bem estar e o pelo apoio.

Agradeço em memória de meu pai Pedro Sérgio da Silva Sousa por ter me proporcionado muitos ensinamentos de vida e conselhos que me transformaram na pessoa que sou hoje e me fizeram chegar até aqui. Obrigada por estar sempre presente em meu coração e em meus pensamentos, me fazendo ter a cada dia mais força para seguir em frente e conquistar esse objetivo que sem dúvidas também sempre foi um sonho seu.

Agradeço a minha namorada e futura esposa Ariele Souza pelo amor, carinho, companheirismo, conselhos, paciência nos momentos difíceis durante este período, tendo uma importância fundamental em minhas conquistas.

Aos amigos de longas datas e os novos que conheci durante essa trajetória, Nelson Gouveia, Fabio Pamplona, Jessica Almeida, Odair, Melo, Tiago Catuxo, Savio Guerreiro, Alex Silva. Às companheiras (o) do LQA que sempre me incentivaram e me ajudaram e ensinaram o que sei hoje em especial a Francianne Mourão, Ana Carolina, Rosa Mendes, Karina Mesquita, André Saraiva e Rosinette Santos. E a equipe de estagiários Andrew Varela, Gustavo, Matheus Aviz e Adriano Joaquim.

“Viver no mundo sem tomar consciência do significado do mundo é como vagar por uma imensa biblioteca sem tocar nos livros.” (Dan Brown - O símbolo perdido)

RESUMO

A Zona Costeira Amazônica brasileira representa cerca de 35% da costa do País, estendendo-se por mais de 2.500 km, desde a foz do Rio Oiapoque, no Amapá, até a Baía de São Marcus, no Maranhão. Nesta região encontra-se a maior zona estuarina do mundo, localizada na Plataforma Continental do Amazonas (PCA) além de inúmeros estuários como o Furo do Muriá – FM em Curuçá e o Furo da Laura – FL em Vigia que compõem a paisagem local e favorecem a produtividade primária como ricas em nutrientes considerados essenciais, como o nitrogênio, o fósforo e o silício. Para a avaliação desse processo fazem-se necessários estudos envolvendo a avaliação do estado trófico dos ambientes estuarinos e marinhos. Neste segmento este trabalho tem como o objetivo utilizar o *index trophic* (TRIX) e O'Boyle para determinar o estado trófico na área da PCA e nos FL e FM, com intuito de comparar os resultados e relacioná-los com a descarga fluvial da área da PCA e a sazonalidades dos furos. Na PCA a coleta foi realizada a bordo do navio ANTARES entre o Cabo Orange/AP e a foz do rio Pará/PA. Os dados foram obtidos na campanha Norte III no período de 28 de maio a 13 de junho de 1999 de máxima descarga do rio Amazonas e Norte IV onde foi a menor descarga do rio Amazonas entre o dia 11 de julho e 10 de setembro de 2001. No decorrer da coleta de água foram distribuídas ao longo de 11 perfis, totalizando 41 estações. O FL fica localizado no município de Vigia, distante 93 km de Belém. As amostras foram coletadas durante o período de maior precipitação e menor de precipitação totalizando 6 meses de coleta na maré enchente e vazante totalizando 8 amostras por campanha no ano de 2011 e 2012. O FM fica localizado no município de Curuçá, a 140 km da capital Belém. As coletas de águas foram realizadas em 21 pontos distribuídos ao longo do Furo durante 9 meses abrangendo o período seco e chuvoso e maré enchente e vazante totalizando 42 amostras por campanha no ano de 2015. Nos três estuários coletados foram obtidos os dados de temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio dissolvido *in situ* posteriormente em laboratório as amostras foram filtradas para a análises de nitrito, nitrato, amônia, fosfato e clorofila *a* para aplicar os índices TRIX e O'Boyle. Para o TRIX os maiores valores foram encontrados no FL e PCA, e menores valores foram no FM. Para o índice de O'Boyle o maior valor foi no FL e FM e menor na PCA. Ao comparar o índice de O'Boyle com o TRIX foi possível observar que a classificação foi parecida para ambos índices apenas na PCA no período de máxima descarga do rio Amazonas (eutrófizado) e variou um pouco na mínima descarga (potencialmente eutrófizado para O'Boyle e eutrófizado para o TRIX). Essa diferença pode ser explicada pelas variáveis adicionais no TRIX, como por exemplo, os nutrientes e a clorofila *a*. Para os furos o cenário foi totalmente diferente, onde fica evidente que o TRIX obteve maior variação devido apresentar em sua composição os nutrientes inorgânicos dissolvidos (NID e PID) e por ser calculado pontualmente oscilando de forma diferente para cada furo. Enquanto, o índice de O'Boyle é calculado com a utilização de percentis de 5 e 95% com isso retirando valores discrepantes. Contudo, o índice de O'Boyle tem a vantagem de não ter a necessidade de tantas variáveis para aplicação, porém em ambientes que ocorrem altas variações dos componentes que compõem o índice, tendem a ter valores elevados, o que foi observado neste trabalho. Ambos os índices podem ser aplicados para explicar de forma simples e direta as condições de eutrofização de áreas estuarinas de modo que a abordagem conjunta e multiparamétrica dos índices traz informações complementares sobre a dinâmica dos ambientes estudados através do seu grau de trófia

Palavra chave: clorofila - a, taxa de saturação de oxigênio dissolvido, nutrientes inorgânicos dissolvido.

ABSTRAC

The Brazilian Amazonian coastal zone represents approximately 35% of the country's coast, extending for more than 2500 km, From the mouth of the Oiapoque River, in Amapá, until the Bay of São Marcus, in Maranhão, in this region is the largest estuarine area of the world, located on the continental shelf of the Amazonas (CSA) In addition to numerous estuaries such as the Furo of Muriá – FM in Curuçá and the Furo of Laura – FL in Vigia that comprise the local landscape and favor the primary productivity as rich in nutrients considered essential, such as nitrogen, phosphorus and silicon. For the evaluation of this process are required studies involving the assessment of the trophic state of the estuarine and marine environments. This segment this work has as objective to use the index trophic (TRIX) and O'Boyle to determine the trophic state in the area of CSA and we in order to compare the results and relate them with the fluvial discharge in the area of SCA and the seasonality of furos. In CSA the collection was performed aboard the ship *ANTARES* between the Orange Cable/ AP and the mouth of the river Pará/PA. The data were obtained in the campaign America III in the period from 28 May to 13 June 1999 of maximum discharge of the Amazon River and North IV where he was the smallest discharge the Amazon River between 11 July and 10 September 2001. In the course of the collection of water were distributed along 11 profiles, totaling 41 stations. The FL is located in the village of Vigia, distant 93 km from Belém. The samples were collected during the period of higher rainfall and lower precipitation totaling 6 months of collection in the flood and ebb tide totaling 8 samples per campaign in the year of 2011 and 2012. The FM It is located in the municipality of Curuçá, 140 km from the capital Belém. Water samplings were performed in 21 points distributed along the hole during 9 months covering the dry season and rainy and flood and ebb tide totaling 42 samples per campaign in the year 2015. In the three estuaries collected were obtained from the data of temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, dissolved oxygen saturation in situ later in the laboratory samples were filtered for the analyzes of nitrite, nitrate, ammonia, phosphate and chlorophyll *a* content to fit the indexes TRIX and O'Boyle. For the TRIX the highest values were found in the FL and CSA and lower values were in FM. For the index of O'Boyle, the greatest value was in FL and FM and lower in CSA. To compare the index of O'Boyle with the TRIX it was possible to observe that the classification was similar for both indexes only in SCA in the period of maximum discharge of the Amazon River (eutrófizado) and varied a bit at the minimum discharge (potentially to eutrófizado O'Boyle and eutrófizado for TRIX). This difference can be explained by the additional variables in the TRIX, as for example, the nutrients and chlorophyll *a*. For the holes in the scenario was totally different, where it is evident that the TRIX obtained greater variation due present in its composition the dissolved inorganic nutrients (DIN and DIP) and to be calculated punctually oscillating differently for each hole. While the index of O'Boyle is calculated with the use of percentiles of 5 and 95% with this by removing outliers. However, the index of O'Boyle has the advantage of not having the need of so many variables for application, but in environments that occur high variations of the components that make up the index tend to have high values, which was observed in this study. Both indices can be applied to explain in a simple and direct the conditions of eutrophication of estuarine areas so that the joint approach and MMS extension of indices brings additional information about the dynamics of the studied environments through its degree of trophic.

Keywords: chlorophyll *a*, dissolved oxygen saturation, Dissolved inorganic nutrients

LISTA DE TABELA

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Total de amostras de água analisadas na Plataforma Continental do Amazonas.....	18
Tabela 2: Metodologia utilizada para análises dos parâmetro físico-químico e biológicos dos estuários estudados.....	18
Tabela 3: Total de amostras analisadas no Furo da Laura em Vigia-PA.....	21
Tabela 4: Total de amostras analisadas no Furo do Muriá em Curuçá-Pará.....	25
Tabela 5: Classificação segundo o Índice de O'Boyle (O'Boyle et al., 2013).....	26
Tabela 6: Classificação segundo o Índice de Estado Trófico - TRIX (Vollenweider et al. 1998).	27

CAPÍTULO 3

Tabela 1: Metodologia utilizada para análises dos parâmetro físico-químico e biológicos dos estuários estudados.....	64
Tabela 2: Valores mínimo (Mín), máximo (Máx), média e desvio padrão (DP), das variáveis obtidas na Plataforma Continental do Amazonas (PCA), em Vigia – Furo da Laura (FL) e Curuçá – Furo do Muriá (FM).....	71

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1: Mapa de localização das estações oceanográficas na Plataforma Continental do Amazonas.	17
Figura 2: Mapa com localização do município de Vigia – Pará	19
Figura 3: Mapa de localização da região e pontos de coleta, no Furo da Laura, Vigia-Pará.....	21
Figura 4: Mapa com localização do município de Curuçá-PA.	22
Figura 5: Mapa de localização da região e pontos de coleta, no Furo do Muriá, Curuçá-Pará ...	24

CAPÍTULO 3

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo Plataforma Continental do Amazonas (PCA), Vigia - Furo da Laura (FL) e Curuçá – Furo do Muriá (FM).....	55
Figura 2: Precipitação pluviométrica no município de Vigia – Furo da Laura (1982 a 2012) com o total por mês de setembro de 2011 a agosto de 2012 e Curuçá – Furo do Muriá (1982 a 2015) com o total por mês no ano 2015.....	61
Figura 3: Média da distribuição da velocidade dos ventos em Vigia – Furo da Laura (setembro de 2011 a agosto de 2012) e Curuçá – Furo do Muriá.....	62
Figura 4: Box Plot dos parâmetros Temperatura, Salinidade, pH, Clorofila – a, Oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio, nitrogênio inorgânico dissolvido, fosforo inorgânico dissolvido.....	64
Figura 5: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos na Plataforma Continental do Amazonas (PCA), Vigia – Furo da Laura (FL) e Curuçá – Furo do Muriá (FM).....	65
Figura 6: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos das duas componentes principais, entre os períodos de máxima e mínima do rio Amazonas na Plataforma Continental do Amazonas (PCA).....	67
Figura 7: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos das duas componentes principais, entre os períodos chuvoso e menos chuvoso no Furo da Laura.....	68
Figura 8: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos das duas componentes principais, entre os períodos chuvoso e menos chuvoso no Furo do Muriá.....	69
Figura 9: Distribuição dos valores nas três áreas de estudo PCA, FL e FM.....	69
Figura 10: Distribuição dos valores do índice TRIX na Plataforma Continental do Amazonas, em Vigia – Furo da Laura e Curuçá – Furo do Muriá.....	70
Figura 11: Distribuição dos valores do índice de O’Boyle na Plataforma Continental do Amazonas, em Vigia – Furo da Laura e Curuçá – Furo do Muriá.....	71

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1 PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS	16
Área de estudo	16
4.1.1 Amostragem e processamento dos parâmetros da água.....	17
4.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NA PCA, VIGIA E CURUÇÁ.	18
4.3 VIGIA.....	19
4.3.1 Área de estudo.....	19
4.3.2 Amostragem e processamento dos parâmetros	20
4.4 CURUÇÁ.....	22
4.4.1 Área de estudo.....	22
4.4.2 Amostragem e Processamento dos parâmetros	24
4.5 ÍNDICES.....	25
4.5.1 Índice de O’Boyle	25
4.5.2 Índice de estado trófico (TRIX).....	26
4.6 Análise dos dados.	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	28
CAPÍTULO 2.....	37
ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTES AQUÁTICOS	
1. HISTORICO DOS ÍNDICES	39
2. DIFERENÇA DE EUTROFIZAÇÃO E ESTADO TRÓFICO.....	40
3. IMPORTÂNCIA DOS ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTES ESTUARINOS.....	42
4. OS PRINCIPAIS ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO UTILIZADOS NO BRASIL.....	44
5. CONCLUSÃO	46

6. REFERÊNCIAS.....	46
CAPÍTULO 3.....	51
UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE TRIX E O'BOYLE EM ESTUÁRIOS AMAZÔNICOS	
1. INTRODUÇÃO.....	52
2. MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1 Área de estudo.....	53
2.1.1 Plataforma Continental do Amazonas (PCA)	53
2.1.2 Furo da Laura – Vigia (FL) e Furo do Muriá (FM)	56
2.2 Amostragem.....	57
2.3 Processamento dos parâmetros da água.....	58
2 Variáveis ambientais	58
2.3 ÍNDICES	59
2.3.1 Índice de O'Boyle	59
2.4.2 Índice de estado trófico (TRIX)	59
2.4 Análises estatística.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
3.1 Regime de chuvas e ventos.....	61
3.1 Análise de componente principal	65
3.1.1 Plataforma Continental do Amazonas	66
3.1.2 Furo da Laura	67
3.1.3 Furo do Muriá.....	68
3.2 Índice TRIX.....	69
3.3 Índice de O'Boyle.....	71
4. CONCLUSÃO	72
REFERENCIAS	73

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A Zona Costeira Amazônica brasileira representa cerca de 35% da costa do País, estendendo-se por mais de 2.500 km, desde a foz do Rio Oiapoque, no Amapá, até a Baía de São Marcos, no Maranhão (ISSAC e BARTHEM, 1995).

Nesta região encontra-se a maior zona estuarina do mundo, localizada na Plataforma Continental do Amazonas (PCA), além de inúmeros estuários que compõem a paisagem local e favorecem a produtividade primária. As águas estuarinas são descritas por diversos autores (DEMASTER e POPE, 1996; SANTOS, 2000 e 2004; PROTAZIO et al. 2004; SANTOS et al. 2007 e 2008; SILVA et al. 2009) ricas em nutrientes considerados essenciais, como o nitrogênio, o fósforo e o silício.

Na área da PCA já foi descrito acontecimentos de *bloom* de diatomáceas por Edmond et al, (1981) relacionados ao transporte de nutrientes oriundos das águas do rio Amazonas. A PCA é descrita como um ambiente altamente complexo, onde processos oceanográficos atuam em conjunto (DIÉGUES, 1972).

A água doce proveniente do rio Amazonas se mistura com águas oceânicas formando uma pluma superficial de baixa salinidade, pluma de água amazônica que é transportada para noroeste pela corrente Norte do Brasil (GIBBS, 1970; HELLWEGGER & GORDON, 2002; SILVA et al., 2005; FFIELD, 2007).

Em outros locais, como o Furo do Muriá e o de Vigia (este último, também conhecido como Furo da Laura ou estuário do Rio Guajará-Mirim), autores descreveram enriquecimento da produtividade pela entrada de águas ricas em nutrientes (CARDOSO, 2009; COSTA, 2010) oriundos de fontes naturais e antrópicas.

Para a avaliação desse processo faz-se necessário estudos envolvendo a avaliação do estado trófico dos ambientes estuarinos e marinhos, que servem como importantes ferramentas de investigação para a proteção, monitoramento e gerenciamento costeiro (FERREIRA et al., 2007). Neste contexto a utilização de indicadores ecológicos que simplificam uma série de variáveis bióticas e abióticas em valores inteiros, de fácil compreensão pelo público, torna-se uma ferramenta cada vez mais utilizada no gerenciamento ambiental (SALAS et al., 2008).

Dois índices estão sendo utilizados em diversas áreas estuarinas e marinhas no mundo todo (SANTOS ,2015; SALAS et al., 2008; BERTOLDI, BORGES, NASCIMENTO FILHO

2014; GIOVANARDI e VOLLENWEIDER, 2004; COTOVICZ JUNIOR., et al 2012): o índice de estado trófico-TRIX (VOLLENWEIDER et al. 1998) e o índice de O' Boyle (O'BOYLE et al., 2013).

Neste segmento este trabalho determinar o estado trófico PCA e nos Furos do Muriá e da Laura utilizando os índices de estado trófico – TRIX e O'Boyle, com intuito de comparar os resultados e relaciona-los com a descarga fluvial da área do rio Amazonas e a sazonalidade dos furos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os índices TRIX e O'Boyle nas águas da Plataforma Continental do Amazonas e nas águas dos Furos do Muriá e da Laura, visando comparar ambientes estuarinos com características diferenciadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os índices de O'Boyle e TRIX nas águas superficiais da Plataforma Continental do Amazonas, em função da descarga do rio Amazonas;
- Avaliar os índices de O'Boyle e TRIX nas águas do furo do Muriá em Curuçá e no furo da Laura em Vigia, em função da sazonalidade local;
- Comparar os resultados obtidos entre os índices e também com outros locais do mundo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

Área de estudo

A Plataforma Continental Brasileira (PCB) constitui uma faixa de largura variável, com extensão de 2.510 km, ocupando uma área de 315.000 km² (PALMA, 1979; PAIVA, 2001). A Plataforma Continental do Amazonas é localizada entre o estuário do rio Pará e o Cabo Orange, e a isóbata de 75 e 115 m delimita a quebra da plataforma (NITTROUER e DeMASTER, 1986; BAPTISTA NETO e SILVA, 2004), entre as latitudes 4°N e 2°S onde, a largura varia consideravelmente ao longo de sua extensão e, aumenta em direção à desembocadura do rio Amazonas, onde alcança 320 km, e então diminui em direção ao norte, medindo 210 km em frente ao Cabo Norte e 125 km junto ao Cabo Orange (CASTRO e MIRANDA, 1998).

A descarga do rio Amazonas na foz é de ordem de 1 trilhão m³.ano⁻¹ fazendo com que seja considerado a maior zona estuarina do mundo drenando uma área de mais 6 milhões de km², onde cerca de 16% de água doce é despejada nos oceanos e 10% dos sedimentos lançados anualmente nas águas do oceano Atlântico são oriundos do rio Amazonas com 11 a 13 x 10⁸ ton.ano⁻¹ (SORRIBAS et al., 2016; CALLEDE et al., 2010; DAI & TRENBERTH, 2002; NITTROUER et al., 1991; MÜLLER-KARGER et al., 1988; GIBBS, 1972).

A descarga do rio Amazonas tem uma variação sazonal, com máximo em torno de 2,5 x 10⁵ m³.s⁻¹ em maio, e mínimo de 1 x 10⁵ m³.s⁻¹ em novembro (Dai & Trenberth, 2002; Marengo & Hastenrath, 1992), com descarga de sedimentos de 115 x 10⁷ ton. ano⁻¹ constituídos por 90% de silte e argila (Milliman & Meade, 1983; Dagg et al., 2004). A água doce proveniente do rio Amazonas forma uma pluma superficial que pode exceder mais de 1000 km *offshore* (MOLLERI et al., 2010; COLES et al., 2013; FOURNIER et al., 2015).

A dispersão desta pluma está ligada as Corrente Norte do Brasil (CNB), Contra Corrente Norte do Brasil (CCNE) e Corrente das Guianas (CG) (Richardson & Reverdin, 1987). O transporte da pluma do rio Amazonas apresenta dois padrões de comportamento que é: (i) o fluxo contínuo que ocorre entre os meses de fevereiro e junho, onde a direção da corrente flui em direção a nordeste rente a plataforma; (ii) após esse período a CNB retroflete para leste alimentando a CCNE entre junho a fevereiro (FLAGG et al., 1986; FIELD, 2005).

O fator meteorológico na PCA que influencia o ciclo da precipitação na BHRA está relacionado com a migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual alcança uma

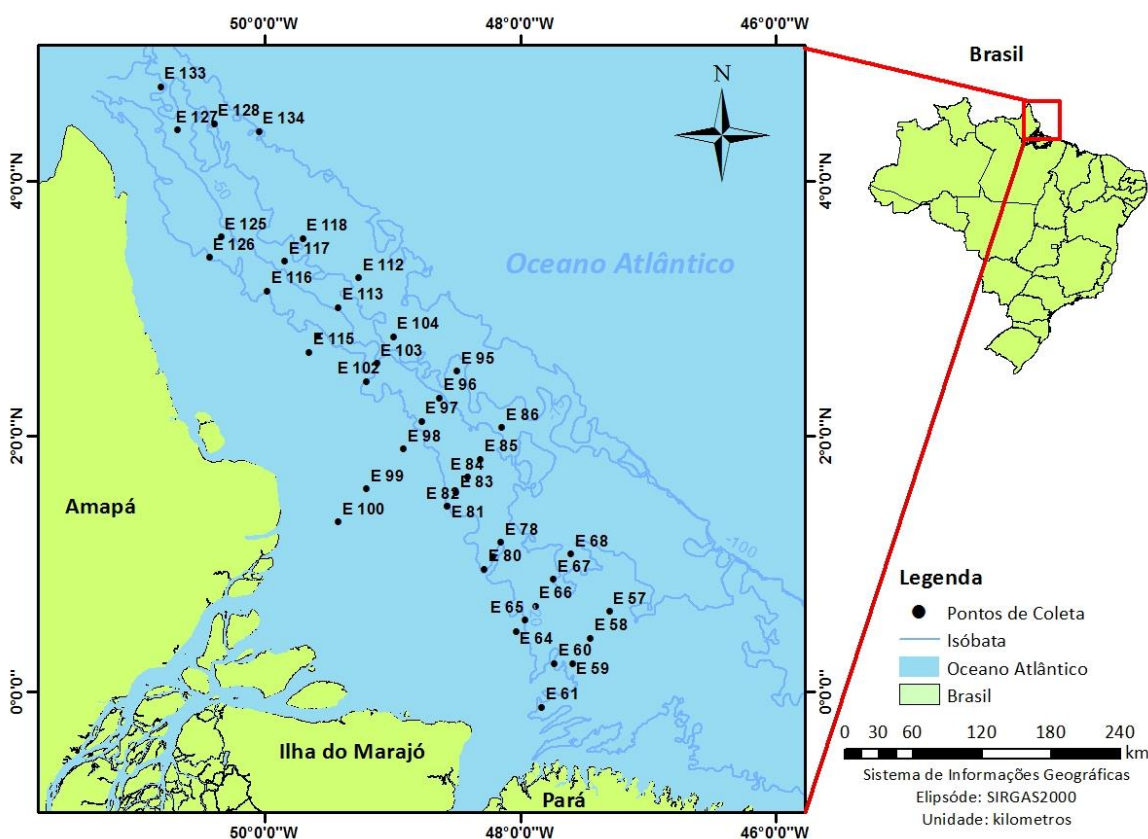
posição mais ao sul entre o verão e o outono austral (aproximadamente 4° S) e mais ao Norte durante o inverno (10° N no Atlântico) (XIE & CARTON, 2004).

4.1.1 Amostragem e processamento dos parâmetros da água

As coletas de água foram realizadas à bordo do navio ANTARES, pertencente à Marinha do Brasil, com finalidade de obter informações de natureza biótica e abiótica na ZEE Norte, entre o Cabo Orange/AP e a foz do rio Pará/PA. Os dados foram obtidos durante a campanha Norte III de (28 de maio a 13 de junho de 1999) caracterizando a descarga máxima do rio Amazonas e Norte IV a menor descarga do rio Amazonas (11 de julho e 10 de setembro de 2001).

A coleta foi distribuída ao longo de 11 perfis, totalizando 41 estações (Figura 1). Os parâmetros físico-químicos foram determinados à bordo do navio, tais como, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio dissolvido, pH e transparência da água (Tabela 2).

Figura 1: Mapa de localização das estações oceanográficas na Plataforma Continental do Amazonas.



Fonte: Programa REVIZZE, operação Norte III e IV

Tabela 1: Total de amostras de água analisadas na Plataforma Continental do Amazonas.

Estação	Descarga do Amazonas/Período	Total de Amostras	Total de Análises
41	Máxima/ Chuvoso	41	369
41	Mínima/ Menos Chuvoso	41	369
TOTAL		82	738

Fonte: Autor

As amostras de água para as análises físico-químicas e biológicas foram coletadas através de garrafa de Niskin de 5 litros, em uma Rosette acoplada ao CTD (Conductivity, Temperature, Depth), onde foram coletadas em superfície a temperatura, salinidade, pH, e analisados o oxigênio dissolvido e a taxa de saturação de oxigênio dissolvido (tabela 3).

Em seguida, no Laboratório de Oceanografia da Universidade Federal do Pará, foram realizadas as análises após a filtragem para a determinação de amônia, nitrato, nitrito, fosfato. As análises de clorofila *a*, foram analisadas no Laboratório de produtividade Primária do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco. Os métodos utilizados para as análises dos parâmetros químicos e biológicos estão descritos na tabela 3.

4.2 MÉTODOS UTILIZADOS PARA ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NA PCA, VIGIA E CURUÇÁ.

Tabela 2: Metodologia utilizada para análises dos parâmetro físico-químico e biológicos dos estuários estudados.

Parâmetros	Metodologia
Temperatura e Salinidade	CTD SeaBird SBE 9-plus ^a , Medidor da marca HANNA ^{b, c} .
Ph	pHmetro da marca HANNA. ^{a, b & c}
Oxigênio Dissolvido – OD*	Winkler descrito em Strickland e Parsons (1972). ^{a, b & c}
Taxa de Sat. OD*	International Oceanographic Tables (UNESCO, 1973). ^{a, b & c}
Fosfato	Formação do íon fosfomolibdato em meio ácido descrito em Grasshoff et al., (1983) ^{a, b & c}
Nitrito	Formação do íon diazóico, descrito em Grasshoff et al. (1983). ^{a, b & c}
Nitrato	Redução pela coluna de cádmio, descrito em Grasshoff et al. (1983). ^{a, b & c}
N-amoniacal	Formação de Idofenol descrito em Grasshoff et al. (1983) ^a ; Nessler, adaptado de APHA (1995) método HACH 380 ^{b & c} .
Clorofila <i>a</i>	Espectrofotométrico descrito UNESCO (1966) e Teixeira (1973). ^{a, b & c}

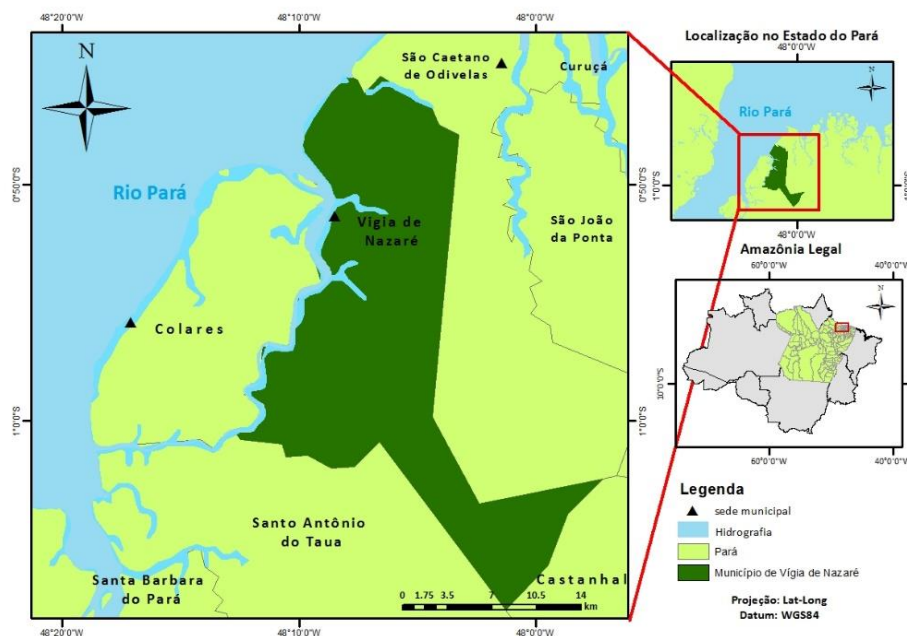
*OD = Oxigênio Dissolvido; (a) Plataforma Continental do Amazonas, (b) Curuçá, (c) Vigia

4.3 VIGIA

4.3.1 Área de estudo

A cidade de Vigia está localizada na mesorregião nordeste do estado do Pará e Microrregião do Salgado, distante 93 km de Belém, em um importante estuário, o do rio Guajará-Mirim (Figura 2) e à sede municipal apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 00° 51' 12" de latitude sul e 48° 08' 41" de longitude oeste de Greenwich (LIRA et al., 1989, PARÁ, 2016). Vigia destaca-se pela importante atividade pesqueira. Parte da produção é exportada para outros municípios inclusive Belém, outra é consumida pelos moradores da localidade. A pesca é predominantemente artesanal (PARÁ, 2005).

Figura 2: Mapa com localização do município de Vigia – Pará



Fonte: Autor.

O clima da região Amazônica especificadamente na região NE (litoral ou costa Amazônica) é do tipo Am (Tropical Úmido), quente úmido (Clima Equatorial Amazônico) conforme a classificação de Köppen (1948). Desta forma a pluviosidade é elevada, com média anual de 2.500 mm/ano e a temperatura apresenta uma pequena variação anual, oscilando de 18° C a 33° C, com média de 27° C, podendo alcançar valores máximos de 42° C em agosto e outubro (El - Robrini et al., 2006).

Como característica peculiar da mesorregião a que pertence, Vigia não foge à regra da estrutura geológica dos municípios das Zonas Bragantina, Salgado e Guajarina, onde ocorrem sedimentos do Terciário (Grupo Barreiras), e do Quaternário Antigo e Recente. Este último é mais

incidente na porção que se volta para o mar (baixadas semi-litorâneas) e, também, nos terraços e várzeas dos cursos d'água existentes (PARÁ, 2016).

A compartimentação do relevo é apenas uma decorrência do modelo da estrutura geológica apresentada, constituída pelos tabuleiros ou baixos platôs pediplanados e rebaixados, localizados nas áreas da Grupo Barreiras e pelos terraços e várzeas, que constituem os níveis mais baixos, inseridos na unidade morfoestrutural que constitui o Planalto Rebaixado da Amazônia (do Baixo Amazonas) (PARÁ, 2016).

A vegetação da área se caracteriza pela presença de mata secundária, capoeiras e algumas reminiscências da vegetação do cerrado. É observado um predomínio de floresta secundária, como consequência dos desmatamentos ocorridos com grande intensidade e extensão, cujo objetivo foi o cultivo de espécies agrícolas de ciclo curto. Com isso, praticamente, pouco restou da floresta primitiva que é do subtipo floresta densa dos baixos platôs (LIRA et al., 1989).

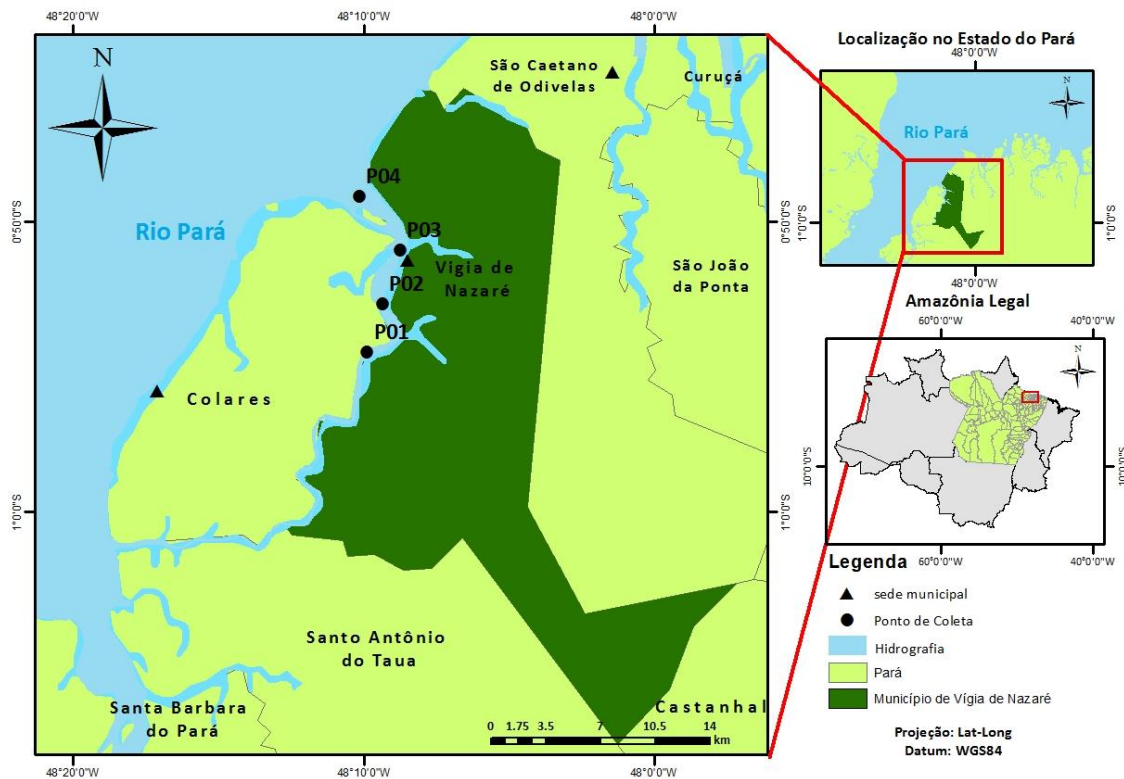
O rio Guajará-Mirim ou Furo da Laura é o principal acidente hidrográfico do município, às margens do qual está situada a cidade de Vigia, e tem como um dos principais tributários o rio Baiacu, além de vários igarapés menores (LIRA et al., 1989).

Segundo Lira et al (1989) o rio Guajará-Miri recebe contribuição de vários rios e igarapés, destacando-se o Tauapará, Itajurá, Mariteua, Fazenda, Maracajá e Itaqueçaua. Também fazem parte desta rede hidrográfica o rio Tupinambá e os igarapés Tauandeuá, Chácara, Arari, Boca Larga e outros que deságuam no Oceano Atlântico. O rio Guajará-Miri limita-se a leste com a cidade de Vigia, ao sul com a cidade de Santo Antônio do Tauá e ao norte com o Oceano Atlântico.

4.3.2 Amostragem e processamento dos parâmetros

Os pontos de coleta foram distribuídos cobrindo quatro áreas estratégicas do estuário Guajará-Mirim (Figura 3), a posição exata de cada ponto foi obtida com o auxílio de um GPS (Global Positioning System) da marca “Garmin”. Os pontos P01 e P02 estão localizados em uma área mais interna, o P03 está localizado em frente à cidade e o P04 é uma área mais externa do estuário.

Figura 3: Mapa de localização da região e pontos de coleta, no Furo da Laura, Vigia-Pará.



Fonte: Autor

As amostras foram coletadas durante o período de maior precipitação (janeiro, março e maio) e menor de precipitação (julho, setembro e novembro), durante a maré vazante e enchente (Tabela 4). As amostras de água do estuário foram obtidas à bordo de um barco regional, com o auxílio de uma garrafa hidrológica, onde são coletadas amostras de água da superfície, totalizando 8 amostras por campanha.

Tabela 3: Total de amostras analisadas no Furo da Laura em Vigia-PA.

Ano	Período	Maré	Total de amostras	Total de análises
2011 e 2012	Menos chuvoso	Enchente e Vazante	24	216
2011 e 2012	Chuvoso	Enchente e Vazante	24	216
Total			48	432

Fonte: Elaborado pelo autor.

No momento da coleta foram obtidos os dados de temperatura, pH, salinidade, com a utilização de uma sonda multiparamétrica da marca HANNA.

Para as demais análises, as amostras de água foram encaminhadas para o Laboratório de Química Ambiental (LQA), onde foram realizadas as análises oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio dissolvido. As amostras foram filtradas e realizadas a leitura de N-amoniaco, Nitrito e Nitrato, fosfato na Universidade Federal Rural da Amazônia. As metodologias empregadas encontram-se descritas na tabela 3.

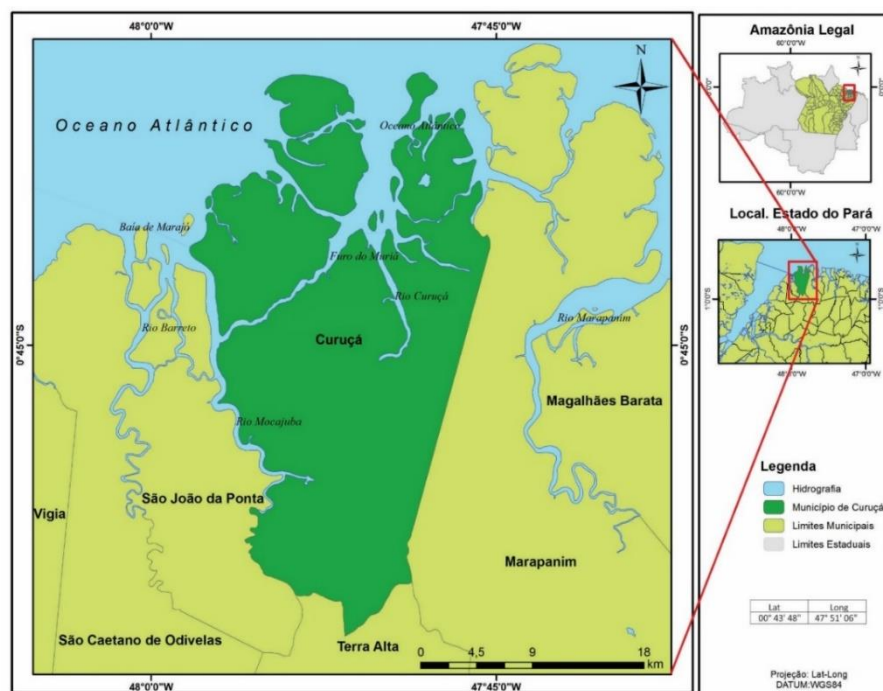
Para determinação da clorofila-*a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), as amostras foram coletadas na superfície da água em recipientes plásticos de 1 litro, sendo determinada por espectrofotometria, e calculada pela fórmula de Strickland e Parsons (1963), descrito detalhadamente por Teixeira (1973).

4.4 CURUÇÁ

4.4.1 Área de estudo

O Município de Curuçá (Figura 4) localiza-se na mesorregião do nordeste paraense e na microrregião do Salgado, a 140 km da capital Belém, e o acesso à cidade de Curuçá se dá pela rodovia BR-316 até Castanhal e depois pela PA-136, localizado dentro das coordenadas geográficas: 00°43'48" de Latitude Sul e 47°51'06" de Longitude Oeste de Greenwich. Limita-se ao norte com o oceano Atlântico, ao sul com o município de Terra Alta, a leste com o município de Marapanim e a oeste com o município de São Caetano de Odivelas (COSTA, 2010; PARÁ 2017).

Figura 4: Mapa com localização do município de Curuçá-PA.



Fonte: Autor

O furo do Muriá é formado pelo rio Mocajuba, sendo composto pelo igarapé pimenta e outros tributários menores, servindo de limite natural e a oeste entre os municípios de Curuçá e São Caetano de Odivelas. Apresenta-se largo, em grande parte de seu trecho são encontrados povoados de Nazaré do Mocajuba e Murajá, recebem vários afluentes sendo os da margem direita os de maior importância para o município, como o rio Tijoca, Candeua e o furo Marioanema ou Muriá (Pará, 2017), que banha a localidade de Beira Mar onde foram realizadas as coletas de água superficial.

O clima da região Amazônica especificadamente na região NE (litoral ou costa Amazônico) é do tipo Am (Tropical Úmido), quente úmido (Clima Equatorial Amazônico) conforme a classificação de Koppen (1948). Desta forma a pluviosidade é elevada, com média anual de 2.500 mm/ano e a temperatura apresenta uma pequena variação anual, oscilando de 18° C a 33° C, com média de 27° C, podendo alcançar valores máximos de 42° C em agosto e outubro (El - Robrini et al., 2006).

A geologia do município de Curuçá é em grande parte, formada pelos sedimentos do grupo Barreiras (Terciária), principalmente constituídos as partes mais internas de seu território e pelos sedimentos Quaternário (Atual e Subatual), localizados na zona litorânea (PARÁ, 2017).

Ocorrem planícies de inundações, terraços e esporádicos restos de tabuleiros inseridos em duas unidades morfoestruturais do relevo regional: Planalto Rebaixado da Amazônia (da Zona Bragantina) e Litoral de “Rias” (PARÁ, 2017).

A cobertura vegetal é representada principalmente por bosque de mangue com extensão no estuário de 116 km². As espécies dominantes são *Rhizophora mangle* L., seguida de *Avicennia germinans* em áreas mais elevadas, e em pequena quantidade por *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. No estuário inferior, em áreas de recém acumulação de sedimento, são encontradas, em forma de manchas, 3km² de marismas (*Spartina* spp) (PEREIRA FILHO et al. 2007).

O rio Mocajuba serve de limite natural a oeste dos municípios de Curuçá e São Caetano de Odivelas, onde o rio corre em direção a Sudeste-Noroeste formando meandros, para depois tomar a direção Norte, até desembocar no Oceano Atlântico. Apresenta-se largo, em grande parte do seu trecho, atravessando os povoados de Nazaré do Mocajuba e Murajá, recebe vários afluentes sendo os da margem direita os de maior importância, para o município, como os rios Tijoca, Candeua, e o furo Maripanema ou Muriá que banha o povoado de São João do Abade (Pará, 2017).

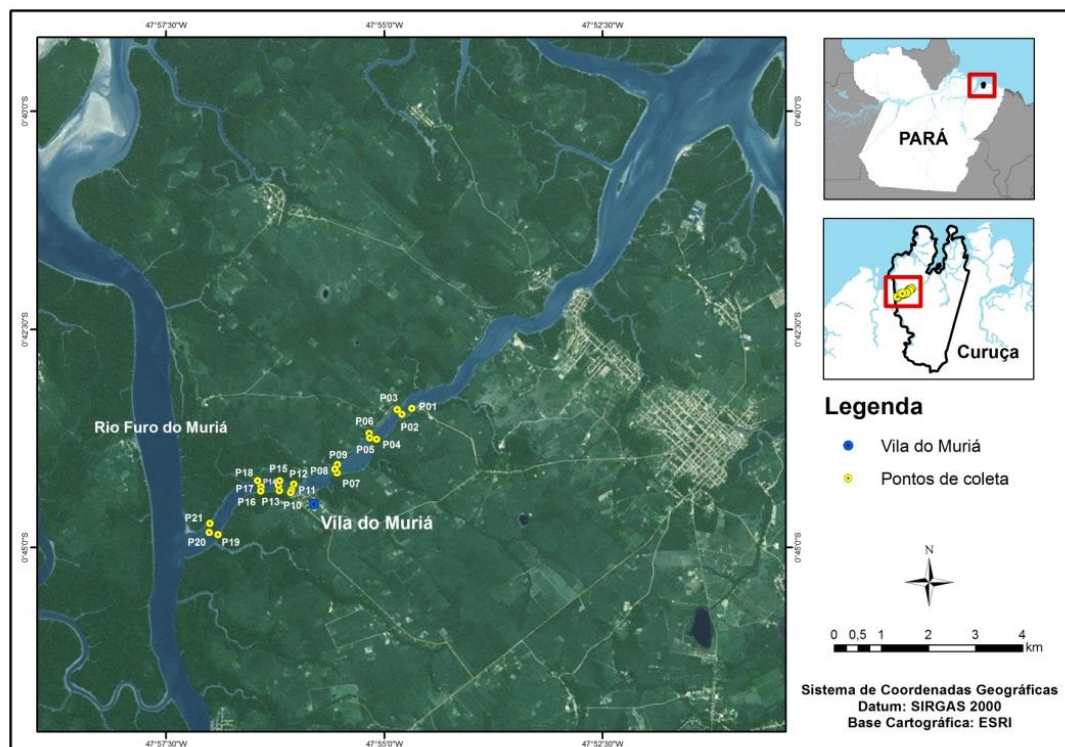
O rio Curuçá é o segundo mais expressivo do município, sendo que, no seu afluente, rio Baunilha, pela margem esquerda, encontra-se a sede municipal. Outro curso d'água de grande importância é o Igarapé Araquaim que parte da montante do povoado de Araquaim e recebe pela margem esquerda o igarapé cachoeira e dirige-se para Noroeste, onde deságua numa das reentrâncias da baía de Curuçá (Pará, 2017).

A altura máxima da maré pode atingir até 4 m podendo atingir valores superiores nas marés equinociais de sizígia. As fortes correntes atingem velocidades que variam de 1,9 a 2,1 nós (Mácola & El-Robrini, 2004).

4.4.2 Amostragem e Processamento dos parâmetros

As coletas de águas foram realizadas em 21 pontos distribuídos ao longo do Furo do Muriá (Curuçá-PA) (Figura 5), nos meses de janeiro, fevereiro, março, maio, junho, julho, setembro, outubro e novembro de 2015 (tabela 5), durante as marés vazante e enchente, apenas na camada superficial da água.

Figura 5: Mapa de localização da região e pontos de coleta, no Furo do Muriá, Curuçá-Pará



Fonte: Autor.

Tabela 4. Total de amostras analisadas no Furo do Muriá em Curuçá-Pará

Ano	Período	Maré	Total de amostras	Total de análises
2015	Menos chuvoso	Enchente e Vazante	189	1.701
2015	Chuvoso	Enchente e Vazante	189	1.701
Total			378	3.402

Fonte: Autor.

No momento da coleta foram obtidos os dados de temperatura, pH, salinidade, com a utilização de uma sonda multiparamétrica da marca HANNA.

Para as demais análises, as amostras de água foram encaminhadas para o Laboratório de Química Ambiental (LQA), onde foram realizadas as análises de oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio dissolvido. As amostras foram filtradas e realizadas a leitura de N-amoniaco, Nitrito e Nitrato, fosfato na Universidade Federal Rural da Amazônia. As metodologias empregadas encontram-se descritas na tabela 3.

Para determinação da clorofila-*a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), as amostras foram coletadas na superfície da água em recipientes plásticos de 1 litro, sendo determinada por espectrofotometria, e calculada pela fórmula de Strickland e Parsons (1963), descrito detalhadamente por Teixeira (1973).

4.5 ÍNDICES

4.5.1 Índice de O'Boyle

Para calcular o índice O'Boyle que tem como base a variação dos valores de pH (unidades) e de oxigênio dissolvido saturado (OD%), os valores de pH foram transformados em escala logarítmica. De acordo com o método O'Boyle (O'Boyle et al., 2013), valores abaixo do pH 7,8 são excluídos com o intuito de remover a influência de águas fluviais.

Ambas variáveis tiveram pesos iguais no índice. Isto foi feito através da divisão do alcance dos valores de cada variável em cada corpo hídrico, pelo alcance máximo observado em todos os corpos hídricos divididos por 100. O valor de alcance máximo das variáveis é obtido do conjunto de valores de todos sistemas utilizados neste trabalho fazendo com que o valor do denominador varie (equação 1).

O índice final foi calculado somando-se esses intervalos de parâmetros normalizados para cada corpo hídrico e dividindo por dois (equação 1). Por isso, os valores do índice vão de

0-100, com 0 (zero) indicativo de nenhuma variação em ambas as variáveis e 100 (cem) indicativo de variação máxima, observada em ambas as variáveis. Os valores do índice indicam o estado trófico com faixas de abrangência, que podem ser verificados na tabela 6. Os valores do corpo hídrico analisado são representados por (i) e a faixa de valores obtida com a avaliação dos parâmetros dos demais corpos hídricos é representada por (n), como mostra a equação abaixo:

Equação 1 - Fórmula do índice O'Boyle

$$O'Boyle = \left(\frac{\text{Variação pH}_i}{\text{Valor máximo pH}_n/100} \right) + \left(\frac{\text{Variação OD}_i}{\text{Valor máximo OD}_n/100} \right) / 2$$

Tabela 5: Classificação segundo o Índice de O'Boyle (O'Boyle et al., 2013).

Valores	Estado Trófico
>75 - 100	Eutrofizado
>60 <75	Potencialmente Eutrofizado
>40 <60	Intermediário
0 <40	Não poluído

4.5.2 Índice de estado trófico (TRIX)

Para avaliar o processo de eutrofização foram definidos valores de referência para concentrações de nutrientes no corpo de água, desenvolvidos índices de estado trófico que combinam concentrações de nutrientes (NID e PID), taxa de saturação de oxigênio dissolvido e clorofila *a* que é indicador de produção primária (VOLLENWEIDER et al., 1998).

O índice usa tais parâmetros: concentração de clorofila *a*, saturação de oxigênio dissolvido, concentração de nitrogênio dissolvido e concentração de fósforo dissolvido ou total. A fórmula utilizada foi a seguinte:

Equação 2 - Fórmula do índice de estado trófico TRIX

$$TRIX = (\log_{10} [\text{Chla} \times |\text{DO}_2\%| \times \text{DIN} \times \text{DIP}] + k) / m$$

Onde:

Chla = concentração de clorofila *a*, em mg.m⁻³

DO₂% = Oxigênio como desvio absoluto (%) da saturação: [abs |100-%0| = DO₂%]

DIN = Nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato- NO_3 , nitrito- NO_2 , amônia- NH_4)
 mg.m^{-3}

DIP = Fósforo inorgânico dissolvido como P-PO_4 mg.m^{-3}

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 de escala trófica relacionada, de 0 a 10 unidades TRIX. Foram utilizados os seguintes valores para descrever os sistemas (Penna et al., 2004), aplicados por Nasrollahzadeh et al., (2008) e adotados pela Legislação ambiental da Itália (Carruso et al., 2010) (tabela 7).

Tabela 6: Classificação segundo o Índice de Estado Trófico - TRIX (Vollenweider et al. 1998).

TRIX	Condições	Estado Trófico
<2	Muito pobremente produtivo e estado trófico muito baixo	Excelente (Ultra-Oligotrófico)
2-4	Pobremente produtivo e estado trófico baixo	Alto (Oligotrófico)
4-5	Moderadamente produtivo e estado trófico mediado	Bom (Mesotrófico)
5-6	Moderado a altamente produtivo e alto estado trófico	Moderado (Mesotrófico a Eutrófico)
6-8	Altamente produtivo e maior estado trófico	Pobre (Eutrófico)

4.6 Análise dos dados.

Para a análise dos dados serão realizadas estatísticas descritivas com os valores dos parâmetros físico-químico e biológicos e também a Análise de Componente Principal (ACP) dos três estuários estudados utilizando o programa PAST (HAMMER et al. 2001).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- American Public Health Association - APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: Library of Congress. 1995.
- Alves, G.; Montes, M. F.; Gaspar, F.; Gomes, J.; Feitosa, F. Eutrophication and water quality in a tropical Brazilian estuary. **Journal of Coastal Research**, v. 65, p. 7-12. 2013.
- Bricker S. B.; Ferreira J. G.; Simas T. C. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. **Ecological Modelling**, v169, p. 39-60, 2003.
- Baptista Neto, J. A. B.; Silva, C. G. Morfologia do fundo oceânico. In: BATISTA NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Eds.). Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro - R.J.: Editora Interciência. 2004. 279 p.
- Batista, T. N. F.; Flores-Montes, M. J. Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe – PE. **Tropical Oceanography**, v. 42, p. 22-30, Recife, 2014.
- Bertoldi, L. **Avaliação do estado trófico em um sistema estuarino tropical a parti do índice trófico TRIX**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2014.
- Borges, P. S. P. **Índices e modelos biogeoquímicos para definição do estado trófico, suscetibilidade à eutrofização e metabolismo do estuário do Paraíba do Sul, RJ**. 2014. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.
- Carreira, R. S. e Wagener, A. L. R. Speciation of sewage derived phosphorus in coastal sediments from Rio de Janeiro, Brazil. **Mar. Pollut. Bull**, v. 36, p. 818-827, 1998.
- Castro, B. M.; Miranda, L. B. Physical oceanography of the western Atlantic Continental shelf located between 4° N and 34° S. coastal segment (4°W). In: Robinson, A. R.; Brink, K. H. (Eds.). *The Sea*. Chapter 8, v. 11. John Willay & Sons Inc., p. 209-251. 1998.
- Campelo, M. J. A.; Passavante, J. Z. O.; Koenig, M. L. Biomassa fitoplancônica (Clorofila a) e parâmetros ambientais na praia de Carne de Vaca, Goiana, Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, v. 27, p. 27-41, 1999.
- CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 2003. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2004. 263 + CD ROM.
- Cardoso, F. F. Dinâmica da comunidade microfitoplanctônica relacionada com os parâmetros físico-químicos do Estuário do Rio Guajará-Mirim (Vigia-PA). 2009. 76f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará. Belém, 2009.
- Callede, J.; Cochonneau, G.; Alves, F. V.; Guyot, J.-L.; Guimaraes, V. S.; Oliveira, E. D. The river Amazon water contribution to the Atlantic ocean. **Revue des sciences de l'eau**, v. 23, 2010.

Caruso, G.; Leonardi, M.; Monticelli, L.S.; Decembrini, F.; Azzaro, F.; Cdrisafi, E.; Zappalá, G.; Bermasco, A.; Vizzini, S. Asseddmnt of the ecological status of transitional Waters in Sicily (Italy): Firt characterisation and classification according to a multiparametric approach. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, p. 1682-1690, 2010

Costa, B. O. **Variação nictemeral do microfitoplâncton em um Estuário do Nordeste Paraense, Brasil**. 2010. 102f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

Cotovicz Junior, L.C.; Brandini, N.; Knoppers, B. A.; Souza, W. F. L.; Medeiros, P. R. P. Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL), **Geochemistry Brasiliensil**, Ouro Preto, v. 26, p. 2-12. 2012.

Coles, V. J.; Brooks, M. T.; Hopkins, J.; Stukel, M. R.; Yager, P. L.; Hood, R. R. The pathways and properties of the amazon river plume in the tropical north atlantic ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 118, p. 6894–6913, 2013.

Deininger R. A. & Maciunas J. M. **Water quality index for public water supplies**. Department of Environment and Industrial Health, University of Michigan, Ann Arbo. 1971.

Diégues, F. M. F. 1972. Introdução à Oceanografia do estuário Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, 1972. Belém. **Anais...** Belém: Universidade federal do Pará, 1972. p. 301-317.

Diegues, A. C. S. **Povos e Mares: leituras em sócio-antropologia marítima**, São Paulo: Nupaub, p.269. 1994.

DeMaster, D. J.; Pope, R. H. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDS. **Continental Shelf Research**. Oxford, v.16, n.3, p.263- 289, 1996.

Dai, A., & Trenberth, K. E. Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. **Journal of Hydrometeorology**, v.3, p. 660–687, 2002.

De Jonge, V. N.; Elliott, M.; Orive, E. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. **Hydrobiologia**, Holanda, v. 475/476, p. 1-19, 2002.

Dagg, M., Benner, R., Lohrenz, S., Lawrence, D. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. **Continental Shelf Research**. v.24, p. 833–858, 2004

Elster, H. Seetypen, Fliessgewassertypen and Saprobien system, **Int. Rev. Ges. Hydrobiol**, V. 47, p. 211-218, 1962.

Edmond, J. M.; Boyle, E. A.; Grant, B.; Stallard, R. F. Chemical mass balance in the Amazon Plume I: The nutrients. **Deep Sea Research Part A.Oceanograohic**, v. 28, p. 1339- 1374, Oxford. 1981.

Esteves, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência/FINEP, 1998. 602 p.

EEA. **Environment in the European Union at the Turn of the Century**. Environmental Assessment report No 2. Copenhagen: European Environment Agency, p.43.1999.

El-Robrini, M.; Alves, M.A.M.S.; Souza Filho, P.W.M.; El-Robrini, M.H.S.; Silva Júnior, O.G. & França, C.F. 2006. **Atlas de erosão e progradação da zona costeira do Estado do Pará – Região Amazônica: Região oceânica e estuarina**. In: Muehhe, D. (Ed.). Atlas de Erosão e Progradação da Zona Costeira Brasileira. São Paulo, p. 1-34.

Eschrique, S. A. **Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil**. 2011. 254 f. Tese (Doutorado em ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Ferreira, J. G., Nobre, A. M., Simas, T. C., Silva, M. C., Newton, A., Bricker, S. B., Wolff, W. J., Stacey, P. E.; Sequeira, Y. A. A methodology for defining homogeneous water bodies in estuaries – application to the transitional systems of de EUA water framework directive. **Estuarine, Coastal & Shelf Science**, v. 66, p. 468-482. 2006.

Ffield, A. Amazon and Orinoco River plumes and NBC Rings: Bystanders or participants. **Hurricane events .J. Climate**, v. 20, p. 316-333. 2007.

Ferreira J. G.; Bricker S. B.; Simas T. C. Application and sensitivity testing of an eutrophication assessment method on coastal systems in the United States and European Union. **Journal of Environmental Management**, v. 82, p. 433-445. 2007.

Fournier, S.; Chapron, B.; Salisbury, J.; Vandemark, D.; Reul, N. Comparison of spaceborne measurements of sea surface salinity and colored detrital matter in the amazon plume. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 120, p. 3177–3192, 2015.

Fiori, E. Zavatarelli, M.; Pinardi, N.; Mazziotti, C.; Ferrari, C. R. Observed and simulated trophic index (TRIX) values for the Adriatic Sea basin. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, v.16, p. 2043–2054. 2016.

Gibbs R. J. Circulation in the Amazon river estuary and adjacente Atlantic ocean. **Journal of Marine Research**, v. 28, p. 113–123. 1970.

Gibbs, R. J. Water chemistry of the Amazon River. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 36, p. 1061 - 1066. 1972.

Glibert, P. M.; Allen, J. I.; Bouwman, A. F.; Brown, C. W.; Flynn, K. J.; Lewitus, A. J.; Madden, A. J. Modeling of HABs and eutrophication: Status, advances, challenges. **Journal of Marine Systems**, v. 83 p. 262–275. 2010.

Grasshoff, F. K.; Enrhard T. M.; Kremling, K. **Methods of Seawater Analysis**. Nova Iorque: Verlag Chemie. 1983.

Geyer, W.R.; Beardsley R.C.; Lentz S.J.; Candela J.; Limeburner R.; Johns W.E.; Castro B.M.; Soares I.D. Physical oceanography of the Amazon Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 16, p. 575–616. 1996.

Giovanardi, F. e Vollenweider, A. trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. **J. Limnol**, v. 63, p. 199-218, 2004

Gonzalez, J. L.; Thouvenin, B.; Dange, C.; Chiffolleau, J. F.; Boutier, B. Role of particle sorption properties in the behavior and speciation on trace metals in microtidal estuaries: The Cadmium example. **Handbook of environmental chemistry**. V.5, p. 265-301.2006.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electr.* 4, 1-9.

Hillbricht-Ilkowska, A. The indices and parameters useful in the evaluation of water quality and the ecological state of temperate lowland lakes connected with their eutrophication. *Proc. Shiga Conference '84 (LECS'84) on Conservation and Management of World Lake Environment*, 1984.

Hellweger, F. L. & Gordon A. L. Tracing Amazon River. water into the Caribbean Sea. **J. Mar. Res.**, v. 60, p. 537–549. 2002.

Herrera-Silveira, J. A.; Morales-Ojeda, S. M. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. **Marine Pollution Bulletin**, v. 59, p. 72-86. 2009.

Issac, V. J. e Barthem, R. B. Os recursos pesqueiros da Amazônia. PR-MCT/CNPq/Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém. v. 11,p.295-239 1995.

Jayachandran, P. R.; Bijoy Nandan, S. Assessment of trophic change and its probable impact on tropical estuarine environment (the Kodungallur-Azhikode estuary, India). **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v.17, p. 837–847. 2012.

Lira, S. R. B.; Ribeiro, I. S.; Branco, J. L. M.; Marques, J. A. A.; Torres, M. A. S. F.; Piedade, S. C. M. 1989. f. 116. **A pesca no Pará: a sócio-economia da fauna acompanhante do camarão na Costa Norte do Brasil e a comercialização da pesca artesanal em Belém, Vigia e Bragança**. Belém: IDESP, 1989.

Lentz S.J.; Limeburner R. The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, p. 2355–2376. 1995.

Lamparelli, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo. 2004. 235 f. Tese (Doutorado em ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

Lima, A. J. B.; Costa, G. R. L. X.; Soares, L. P. C. Avaliação do índice de qualidade da água (IQA) nos reservatórios com capacidade de acumulação de água acima de 5 milhões de metros cúbicos, monitorados pelo IGARN na bacia hidrográfica Apodí-Mossoró/RN

nos anos de 2005 e 2006. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil. Minas Gerais. **Anais... Caxambu**. 2007.

Lumb, A.; Sharma, T. C.; François Bibeault, J. A review of genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and some future directions. **Water Qual Expo Health**. v. 33 p. 11-24. 2011.

Lai Junxiang, Jiang Fajun, Ke Ke, Xu Mingben, Lei Fu, Chen Bo. Nutrients distribution and trophic status assessment in the northern Beibu Gulf, China. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 32, p. 1128-1144, 2014.

Milliman, J.D. & Meade, R.H. World-wide delivery of river sediment to the oceans. **Journal of Geology**. v. 91, p. 1–21, 1983

Müller-Karger, R F. E.; MCCLAIN, C. R.; Richardson, P. L. The dispersal of the Amazon's water. **Nature**, v. 333, p. 56–69. 1988.

Marengo, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**. v. 12, p. 853–863, 1992.

Mácola, G. & M. EL-Robrini, 2004. **Ilha dos guarás (Mariteua) – Município de curuçá (NE do Pará): aspectos físicos, meteorológicos e oceanográficos**. Companhia Docas do Pará – CDP (Relatório Final - Cartografia, Hidrografia e Digitalização – CHD & Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros – GEMC), Belém

Molleri, G. S.; Novo, E. M. M.; Kampel, M. Space-time variability of the Amazon river plume based on satellite ocean color. **Continental Shelf Research**, Elsevier BV, v. 30, p. 342–352, 2010.

Montes, M. de J. Flores; Paulo, J. G.; Filho, G. A. do Nascimento; Gaspar, F. L.; Feitosa, F. A.; Santos, A C; Batista, T. N. F.; Travassos, R. K.; Pitanga, M. E. The Trophic Status of an Urban Estuarine Complex in Northeast Brazil **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 408-411. 2011.

Monteiro, M. C.; Jiménez, J. A. Pereira, L. C. C. Natural and human controls of water quality of Amazon estuary (Caeté-PA, Brazil). **Ocean & Coastal Management**, v. 124, p. 42-52. 2016.

Nauman, E. **Grundzuge der regionalen Limnologie**. Die Binnengewasser. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandl. Stuttgart, p. 176. 1932.

Nittrouer, C. A.; DeMaster, D. J. Sedimentary processes on the Amazon continental shelf: past, present and future research. **Continental Shelf Research**. Oxford, v. 6, p. 5- 30. 1986.

Nittrouer, C. A.; DeMaster, D. J.; Figueido, A. G.; Rine, J. M. AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. **Oceanography**, Oxford, v. 4, n.1, p.3-7,1991.

Nixon S. W. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v. 41, p.199-219. 1995.

Nittrouer, C. A.; DeMaster, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. **Continental Shelf Research**, New York, v. 16, n.5/6, p. 553-574. 1996.

Nasrollahzadeh H.S.; Din Z.B.; Foong S.Y.; Makhloogh A. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1153-1165. 2008.

Noriega, C. E. D. **Estado trófico e balanço biogeoquímico dos nutrientes não conservativos (N e P), na Região Metropolitana do Recife - Brasil**. 2010. 104 f. Tese (Doutorado em ciência em oceanografia abiótica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2010.

Nascimento Filho, G. A. **Uso de índices ambientais como ferramentas de avaliação do estado trófico qualitativo e quantitativo) de estuários no estado de Pernambuco**. 2014, 84 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

Oltman R. E. Reconnaissance investigation of discharge and water quality of the Amazon River. US. **Geological Survey**. Washigton DC. v. 552, p. 16. 1968.

O'Boyle, S.; MCDERMOTT, G.; Wilkes, R. F. Dissolvedoxygen levels in estuarine and coastal waters around Ireland. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 58, n. 11, p. 1657–1663, 2013.

Palma, J. J. C. Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. In: Projeto-Remac (Ed.). **Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes: PETROBRAS**. Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira, v.7, 1979, p.29-51.

Paiva, R. S. **Parâmetros físicos, químicos, biomassa e produção primária do fitoplâncton na Plataforma Continental Amazônica**. 2001. 153 f. -Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Pereira Filho, J.; Spillere, L. C.; Schetini, C. A. F. Dinâmica de nutrientes NE região portuária do Estuário do rio Itajaí-Açu, SC. **Atlântica, Rio Grande**, v.25, p. 11- 20, 2003.

Protazio, L.; Tanaka, S. M. C. N.; Cavalcante, P. R. S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento, *Revista Analítica*, v. 8, p. 35-41, 2004.

Penna, N.; Capellacci, S.; Ricci, F. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, p. 321–326. 2004.

Primpas, I.; Karydis, M. Scaling the trophic index (TRIX) in oligotrophic marine environments. **Environ Monit Assess**, v. 178, p. 257–269. 2011.

Pará, 2017. **Estatística Municipal Curuçá. Governo do Pará.** Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA). Município de Curuçá. 2017. Informações gerais. Disponível em <<http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/1217.pdf=1515434933>>. Acesso em 08/01/2018.

Pará, 2005 **Estatística Municipal de Vigia de Nazaré. Governo do Pará.** Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA). Município de Vigia de Nazaré. Informações gerais. Disponível em: <<http://www.governodopara.pa.gov.br/conhecaopara/vigia.asp>>. Acesso em 08/01/2018.

Pará, 2016. **Estatística Municipal de Vigia de Nazaré. Governo do Pará.** Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA). Município de Vigia de Nazaré. Informações gerais. Disponível em: <<http://www.parasustentavel.pa.gov.br/wp-content/uploads/2017/04/Vigia.pdf>>. Acesso em 08/01/2018.

Richardson, P. L. & Reverdin, G. Seasonal cycle of velocity in the atlantic north equatorial countercurrent as measured by surface drifters, current meters, and ship drifts. **Journal of Geophysical Research**, American Geophysical Union (AGU), v. 92, p. 3691, 1987

Sawyer, C. N. Fertilization de lakes by agricultural and urban drainage. **J. New England Water Works Ass**, v. 61, p. 109-27. 1947.

Sladeczek V. **System of water quality from biological point of view.** 4 .ed. v. 7. *Advances in Limnology*. Stuttgart, 1973. 218 p.

Strickland, J. D. H.; Parsons, T. R. **A Manual of Seawater Analysis.** Bull. Fish. Res. 2 Ed. Bul. Fish. Res. Board Can. 167: 1-205. 1972.

Schröder, R. Relevant parameters to define the trophic state of lakes. **Arch. Hydrobiol**, v. 121, p. 463-472.1991.

Silva, M. G. L. **Caracterização morfológica da cobertura sedimentar da plataforma continental do Amazonas/ Norte-Brasil.** 1998. 112 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso Graduação em Geologia), Universidade Federal do Pará, Belém, 1998.

Santos, M. L. S. **Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica.** 2000. 180 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), Universidade Federal Pernambuco, Recife-Pernambuco.

Santos, M. L. S. **Distribuição dos nutrientes (fósforo e nitrogênio) na Plataforma Continental do Amazonas.** 2004. 143f. Tese (Doutorado em Ciências em Oceanografia Abiótica). Universidade Federal de Pernambuco. Recife-Pernambuco.

Silva, A. C.; Araújo, M.; Bourles, B. Variabilidade Sazonal da Estrutura de Massas de Água na Plataforma Continental do Amazonas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, p. 145-157. 2005.

Santos, M. L. S., Muniz, K.; Neto, B. B.; Feitosa, F. A. N. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas. **Química Nova**, v. 3, p. 569-573, 2007.

Santos, M. L. S.; Medeiros, C.; Muniz, K.; Feitosa, F. A. N.; Schwamborn, R.; Macêdo, S. J. Influence of the Amazon and Pará Rivers on Water Composition and Phytoplankton Biomass on the Adjacent Shelf. **Journal of Coastal Research**, Florida, v. 24, p. 585–593, May. 2008.

Salas, F.; Texeira, H.; Compección, M.; Marques, J.C.; Pérez-Ruzafa, A. Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: The Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). **Journal of Marine Science**, v. 65 p. 1442-1448, 2008.

Silva, A. C.; Santos, M. L. S.; Araujo, M. C.; Bourlès, B. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 361-370. 2009.

Santos, S. J. C. **Determinação do estado trófico a parti da aplicação dos índices O'Boyle e TRIX nos compartimentos da Baía de Guanabara, RJ.** 2015. 103 f. Dissertação (Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2015.

Silva, A. R. **Avaliação da qualidade ambiental e do processo de eutrofização na bacia hidrográfica do Papaquara, Ilha de Santa Catarina, SC.** 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

Sanfilippo, M.; Capillo, G.; Spanò, N.; Manganaro, A. Evaluation of Water Variables in No-Take Zone of Ustica Marine Protected Area (Southern Tyrrhenian Sea). **Braz. Arch. Biol. Technol.** v.59, p.160330, 2016.

Sorribas, M. V.; Paiva, R. C.; Melack, J. M.; Bravo, J. M.; Jones, C.; Carvalho, L.; Beighley, E.; Forsberg, B.; Costa, M. H. Projections of climate change effects on discharge and inundation in the amazon basin. **Climatic change**, Springer, v. 136, p. 555–570, 2016.

Toledo Jr., A. P.; Talarico, M.; Chinez, S. J.; Agudo, E. G. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. 1983 In: ANAIS DO XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. 1983. p. 1-34.

Teixeira, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. **Bol. Inst. Oceanog. São Paulo**, v. 22, p. 59-92. 1973.

Tavassos, R. K. **Análise da qualidade da água do rio Botafogo: determinação do índice trófico e componentes do fósforo na coluna da água.** 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

Tavares, J. L.; Calado, A. L. A.; Fontes, R. F. C. Estudos iniciais para o uso do índice TRIX para análise de nível de eutrofização no do rio Potengi –Natal- RN- Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 3, p. 297-308. 2014.

UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea water: Report of SCOR/UNESCO, working group 17 with meet from to 6 June 1964. Paris, 69 p. (Monographs on Oceanography Methodology, 1). 1966.

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

Uhlmann, D. **Hydrobiology**. A text for Engineers and Scientists. John Wiley, Chichester, p.314, 1979.

USEPA. Water Quality Reporting. 2000. Disponível em: <http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/cwa/305b/2000report_index.cfm>. Acesso em: 20 Nov. 2017.

UNEP, GEO Year Book 2004/05. An Overview of Our Changing Enviroment. Nairobi: UNEP, 2005. Disponível em: <http://www.unep.org/yearbook/2004/pdf/geo_year_book_2004.pdf> Acesso em: 18 set. 2017.

Vollenweider, R. A. **Scientific fundamentals of eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication**. Tech. Rep. DAS/CSI/68.27, Paris-OECD. p. 20. 1968.

Vollenweider, R. A. Eutrophication – A global problem. **Water Qual. Bull.** V.6 p. 59 - 62. 1981.

Vollenweider, R. A. and Kerekes, J. J. **Eutrophication of Waters, Monitoring, Measures and Control**. OECD, p. 154. 1982.

Vollenweider, R. A.; Giovanardi, E.; Montanari, G.; Rinaldi, A. 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**, v. 9, p. 329–357. 1998.

Vargas-González, H. H.; Arreola-Lizárraga, J. A.; Mendoza-Salgado, R. A.; Méndez-Rodríguez, L. C.; Lechuga-Deveze, C. H.; Padilla-Arredondo, G.; Cordoba-Matson, M. Effects of Sewage Discharge on Trophic State and Water Quality in a Coastal Ecosystem of the Gulf of California. **The Scientific World Journal**, v. 2014. p 7. 2014.

Xie, S.-P.; Carton, J. A. Tropical atlantic variability: Patterns, mechanisms, and impacts. Earth Climate: The **Ocean-Atmosphere Interaction**, Geophys. Monogr, v. 147, p. 121–142, 2004.

CAPÍTULO 2

ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTES AQUÁTICOS

SOUSA et al. 2019

Artigo submetido para Boletim Técnico Científico do Cepnor.

Normas do artigo:

<https://cepnor.ufra.edu.br/index.php?journal=tjfas&page=about&op=submissions#authorGuidelines>

ÍNDICES DE AVALIAÇÕES DO ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTES AQUÁTICOS

Resumo

Esta revisão aborda surgimento e desenvolvimento dos índices de estado trófico em ecossistemas aquáticos, que veio para simplificar as concentrações de diversos parâmetros (químicos, físicos e biológicos) em formas simplificadas e objetivas de fácil interpretação, estabelecendo critérios numéricos ou normativos em programas ambientais e de gestão em qualidade da água em diferentes ambientes.

Palavras-chave: TRIX, O'Boyle, IET, Eutrofização.

Indexes of trophic state assessments in aquatic environments

Abstract

This review addresses the emergence and development of trophic status indices in aquatic ecosystems, which simplified the concentrations of various parameters (chemical, physical and biological) in simplified and objective forms of easy interpretation, establishing numerical or normative criteria in environmental and conservation programs management in water quality in different environments.

Keywords: TRIX, O'Boyle, TSI, Eutrophication.

1. HISTORICO DOS ÍNDICES

O surgimento dos índices de estado trófico vieram para simplificar as concentrações de diversos parâmetros em formas simples e objetivas para interpretação dos dados, onde estabeleçam critérios numéricos ou normativos de fácil acompanhamento em programas ambientais de qualidade da água, apresentados em forma de tabelas, onde cada classe representa uma faixa de variação dos valores de determinados parâmetros (USEPA, 2000; LAMPARELLI, 2004). O surgimento dos índices na literatura através dos seguintes autores (SAWYER, 1947; ELSTER, 1962; VOLLENWEIDER, 1968; CARLSON, 1977; HILLBRICHT-ILKOWSKA, 1984; SCHRÖDER, 1991), foram desenvolvidos especificadamente em lagos, os quais são ambientes fechados e limitados em tamanho e volume, no entanto, a aplicação desses índices possuem restrições quanto a aplicabilidade em águas marinhas e estuarinas.

Os índices eram inicialmente aplicados para avaliar o estado trófico em corpos d'águas interiores, tendo como exemplo precursores, os índices de Uhlmann (UHLMANN, 1979) e Carlson (CARLSON, 1977), ambos utilizavam os nutrientes, biomassa de fitoplâncton e transparência da coluna d'água em águas salinas e doce, porém o índice de Uhlmann (que utiliza carbono, nitrogênio e fósforo), por exemplo, é muito genérico para caracterizar as condições tróficas de águas marinhas. No entanto a influência do carbono, ainda não é muito clara pra verificar qual a melhor forma de nitrogênio e fósforo (inorgânica, orgânica ou total) a ser utilizada para o cálculo do índice (VOLLENWEIDER et al. 1998). Um dos estudos pioneiros na conceituação de índice de estado trófico foi realizado por Vollenweider (1968), em águas límnicas comparando a concentração de fósforo total em relação ao tempo de residência das massas de água em lagos.

A existência de indicadores únicos, criados por alguns autores, utilizando um adicional de suporte, seja ele, fósforo total e/ou clorofila-*a* realizados pela *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) de Vollenweider e Kerekes (1982), avaliando concentrações de clorofila-*a* e fósforo total na água; *European Enviromental Agency* (EEA, 1999), que utiliza as concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) ou fósforo inorgânico dissolvido (PID) para estabelecimento do índice (COTOVICZ JUNIOR, 2012).

O Índice de Estado Trófico (IET), descrito por Carlson (1977) modificado por Toledo et al. (1983), tem como primícias adaptá-los às condições climáticas de ambientes tropicais em reservatórios brasileiros, e por fim modificado por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos. No estudo deste índice surgiu os indicadores múltiplos que são obtidos através de cálculos como: fósforo total (indicadores químicos) e/ou com clorofila-*a* (indicador biológico) e/ou transparência (indicador físico).

O surgimento dos primeiros índices para avaliar a qualidade da água teve como um dos pioneiros o índice de Sapróbio para estimar o nível de matéria orgânica facilmente degrada em águas correntes, onde o objetivo era classificar de forma empírica as águas, conforme os níveis de poluição orgânica (Sladeczek 1973 apud Lumb et al. 2011), em seguida uma versão nova foi desenvolvida por Hoton em 1965, proposta por Brown et al. (1970) e Deininger e Maciunas (1971) com apoio da *Nacional Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos da América a partir deste momento o índice ficou conhecido como Índice de Qualidade da Água (IQA) que estabelece níveis e padrões de qualidade que possibilitam a classificação das águas em classes determinadas pelo resultado encontrado no seu cálculo.

O índice foi adaptado no Brasil pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), sendo caracterizado por apresentar vários indicadores físicos, químicos e biológicos, utilizados de maneira conjunta, onde os parâmetros analisados são temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fosforo total, sólidos totais e turbidez (CETESB, 2003).

A aplicação desses índices de estado trófico em ambientes estuarinos sofre uma carência pela falta de ferramentas que envolvam um maior número de variáveis ambientais, que possam indicar o potencial de crescimento da comunidade primária. (FERREIRA et al. 2006).

2. DIFERENÇA DE EUTROFIZAÇÃO E ESTADO TRÓFICO

Com o passar dos anos a maior parte da população mundial concentraram-se em zonas costeiras, ao invés de regiões interioranas. Esta tendência continua vigorando até os dias atuais, visto que hoje a metade da população mundial vive dentro dos 200 km a partir da linha da costa (UNEP, 2005). No Brasil a costa possui mais de 7.700 km, sendo

que 14 das 24 áreas mais densamente povoadas e importantes do país, estão localizadas próximo à ambientes estuarinos e lagunares (DIEGUES, 1994).

Devido ao crescente desenvolvimento urbano, os sistemas estuarinos tornaram-se cada vez mais frágeis e vulneráveis, sendo a eutrofização um dos principais impactos ambientais os quais os ecossistemas aquáticos estão susceptíveis (BIANCHI, 2007). A eutrofização consiste em um aumento na taxa de produção primária e da matéria orgânica, principalmente oriunda do incremento de nitrogênio e fósforo, em um ecossistema aquático, podendo assim, ser citados através da velocidade da água, vazão, turbidez, profundidade do curso de água, temperatura e entre outros, associado com a abundância de biomassa fitoplactônica, que é quantificada pela concentração de clorofila *a* (NIXON, 1995; LAMPARELLI, 2004 KENNISH et al. 2007; THORNTON et al. 2013).

Essa produtividade, em excesso, resulta em mudanças quantitativas nas comunidades bióticas aquáticas (Glibert et al. 2010), assim como pode determinar episódios frequentes de hipóxia ou anóxia nas águas de fundo (GIOVANARDI e WOLLENSVAIDER, 2004). Apesar dos estuários serem considerados ecossistemas resilientes, se a interferência humana for contínua, torna-se mais difícil a sua recuperação, induzindo a um enriquecimento de nutrientes (KARYDIS, 2009). Além disso, essa variabilidade pode ter efeitos impactantes, por muitas vezes de natureza irreversível (Mc LUSKY e ELLIOTT, 2007).

No ambiente aquático existe dois tipos de eutrofização citados na literatura, a eutrofização natural e a cultural. A eutrofização cultural ou artificial gerada pelas atividades humanas tem ocorrido em rios, lagos, estuários e regiões costeiras (RABALAIS, 2002; SILVA et al. 2009; CENR, 2010), sendo causada principalmente pelas seguintes atividades: despejos de esgotos domésticos; despejos de atividades agrícolas; poluição do ar e queda do material da atmosfera, tornando-se responsável por profundos danos ambientais.

As principais consequências nos sistemas aquáticos são: aumento da biomassa fitoplanctônica; diminuição de diversidade de espécies; da concentração de oxigênio dissolvido e de íons; aumento do fósforo total no sedimento; da frequência do florescimento de cianofíceas (TUNDISI, 1986).

A eutrofização natural segundo Wetzel (1993) se dá pelo o estado de sucessão natural dos ecossistemas aquáticos. À medida que o tempo passa e os nutrientes vão se

acumulando, havendo um desenvolvimento cada vez maior das populações de fitoplâncton, observando com frequência o florescimento de algas. Quando acontece naturalmente, a eutrofização é gradual e lenta, resultante do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e águas superficiais que desgastam e lavam a superfície terrestre (MARGALEF, 1983).

O conceito de estado trófico é multidimensional, envolve aspectos de carga e transporte de nutrientes; concentração de nutrientes; produtividade; quantidade e qualidade da biota e a morfometria do lago (VON SPERLING, 1994). Essa constatação leva a se estabelecer índices multiparamétricos, o que limita sua utilização devido ao número elevado de variáveis a serem medidas (FIA et al. 2009). Silvino (2012), relata a existência de diversos métodos e índices desenvolvidos para avaliar o estado trófico de um ambiente aquático.

A definição de um índice que transpareça de maneira confiável o estado trófico de um ambiente, constitui um desafio, pois a utilização de diferentes variáveis pode produzir uma classificação de trófia errônea, já que a degradação ambiental pode afetar ou não as condições ambientais. As concentrações de nitrogênio e fósforo, juntamente com os indicadores de biomassa fitoplanctônica definem o estado trófico de um ecossistema, classificando-o como oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico (BRICKER, FERREIRA e SIMAS 2003; CLOERN, 2001).

3. IMPORTÂNCIA DOS ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO EM AMBIENTES ESTUARINOS

Segundo Bertoldi (2014), os índices de avaliação de estado trófico existentes são os mais diversos em função do ambiente avaliado, pois estes, tem abordagens diferentes para o ambiente em questão. Visto isto, o entendimento dos índices relacionados ao ambiente deve ser aplicado de forma mais relevante de acordo com essa relação, por exemplo alguns destes índices são ideais para ambientes lóticos, de água doce, enquanto esse mesmo índice pode ser genérico para ambientes de transição, ou de ambientes marinhos ou vice-versa, já que pode haver incoerência com a realidade (BAUMGARTEN, 2013).

Por tanto, os índices do Estado Trófico têm por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trófia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas

ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2009). As demais, ferramentas para estabelecimento do estado trófico e avaliação da eutrofização compreendem o levantamento de parâmetros físico-químicos, oceanográficos e hidrológicos básicos e a aplicação de índices do grau de eutrofização através dos programas multiparamétricos como o modelo ASSETS (Assessment of Estuarine Trophic Status) (BRICKER, FERREIRA e SIMAS 2003), o índice TRIX (Trophic Index) (VOLLENWEIDER et al., 1998), o índice de O'Boyle (O'BOYLE et al. 2013).

Os índices da Organization for Economic Cooperation and Development, (OECD, 1982), de Vollenweider e Kerekes (1982) e da European Environmental Agency, (EEA, 1999), também são aplicados em pesquisas de ambientes estuarinos, e são baseados em parâmetros físico-químicos e biológicos. São consideradas abordagens mais simples, uma vez que fatores singulares podem ser utilizados para a classificação do estado trófico, diferente do ASSETS e TRIX e O'Boyle que são multiparamétricos.

O Modelo ASSETS (*Assessment of Estuarine Trophic Status*), é um modelo multiparamétrico de avaliação da eutrofização de sistemas costeiros, desenvolvido por um grupo de pesquisadores da NEEA (US National Estuarine Eutrophication Assessment), (Bricker et al. 1999) e aprimorado para aplicação em diversos ambientes costeiros em parceria com o Instituto Marinho de Portugal (IMAR), (Ferreira et al. 2007). Esse modelo trabalha com 3 indicadores principais: pressão (susceptibilidade estuarina e aporte de nutrientes); estado (sintomas primários e secundários) e resposta (cenário futuro), (COTOVICZ JUNIOR et al. 2012).

O índice trófico TRIX (Trophic Index), foi primeiramente proposta por Vollenweider et al. (1998) utilizando dados coletados no Mar Adriático e, é uma combinação linear de indicadores de fatores nutritivos (Nitrogênio e Fósforo) e fatores que expressam a produção primária (Clorofila *a* e Oxigênio Dissolvido) (COTOVICZ JUNIOR et al. 2012).

O índice proposto por Shane O'Boyle (O'BOYLE et al. 2013) e se baseia em medidas de pH e saturação do oxigênio dissolvido (%OD). O índice denominado O'Boyle foi desenvolvido tendo como base 600 estações de monitoramento em 90 estuários e baías na costa Irlandesa no verão, ao longo de três anos. Este índice considera que flutuações das variáveis adotadas podem indicar um balanço entre autotrofia (produção da matéria

orgânica por produção primária) e heterotrofia (consumo da matéria orgânica por consumidores) e assim, indicar o grau de nutrição de cada sistema.

A utilização de índices numéricos simplifica e integra em valores inteiros de fácil entendimento, os resultados de uma série de parâmetros, sendo uma ferramenta bastante comum para ser utilizada para gerenciamentos da qualidade de águas, tanto para a comunidade científica, quanto política (CETESB, 2007).

Portanto, para Mercante e Tucci Moura (1999), as principais vantagens do uso de índices se referem ao favorecimento da comunicação, além do fornecimento do estado da água mais diretamente informativo do que aquele obtido pelas avaliações das variáveis isoladas. Outra vantagem é o fato de os índices representarem uma média de diversas variáveis em um único número sem unidade.

Além disso, esses índices classificatórios fornecem subsídios para a formulação de programas de preservação e gerenciamento de ecossistemas aquáticos, baseados em estratégias que visem sustentabilidade e que garantam os usos múltiplos da água, em médio e longo prazo. Possibilitam a classificação de águas naturais, facilitando o entendimento da qualidade e do estado nos quais se encontram. (CETESB, 2009).

4. OS PRINCIPAIS ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO UTILIZADOS NO BRASIL

Dentro desse contexto os índices de estado trófico utilizados no Brasil são, *Trophic Index* (TRIX) e o índice de O'Boyle. A tabela 1 mostra vários autores que aplicaram esses índices em diferentes ambientes aquáticos e obtiveram valores que representaram de forma satisfatória a realidade local.

1 **Tabela 1:** Índice de estado trófico (TRIX), índice de O'Boyle e índice distribuídos nos estuários no Brasil.

2

Índices	Ano	Autores	Local	Estado Trófico
TRIX	2010	Noriega	Estuários Capibaribe, Beberibe e Timbó-PE	Pobre (Eutrófico)
TRIX	2011	Tavassos	Estuário do Rio Botafogo-SP	Moderado (Mesotrófico) e Pobre (Eutrófico)
TRIX	2011	Montes et al.	Bacia do Porto de Recife-PE	Alto (Oligotrófico) e Pobre (Eutrófico)
TRIX	2012	Cotovicz Junior et al.	Estuarino-Lagunar MundaúManguaba-AL	Bom (Mesotrófico) e Moderado (Mesotrófico a Eutrófico)
TRIX	2013	Alves et al.	Estuário do Rio Capibaribe-PE	Alto (Oligotrófico) e Pobre (Eutrófico)
TRIX	2013	Baumgarten	Estuário da Lagoa dos Patos - RS	Mesotrófica
TRIX	2014	Batista e Flores Montes	Estuários dos rios Ipojuca e Merepe-PE	Moderado (Mesotrófico a Eutrófico) e Pobre (Eutrófico)
TRIX	2014	Bertoldi	Sistema Estuarino dos rios Piraquê-açu e Piraquê-Mirim-ES	Bom (Mesotrófico) e Pobre (Eutrófico)
TRIX	2014	Borges	Estuários dos rios Paraíba do Sul-SP	Bom (Mesotrófico) e Pobre (Eutrófico)
O'Boyle				Eutrofizado
TRIX	2014	Tavares et al.	Estuário do rio Potengi-RN	Alto (Oligotrófico) e Pobre (Eutrófico)
TRIX	2015	Santos	Baía do Guanabara-RJ	Moderado (Mesotrófico a Eutrófico) e Pobre (Eutrófico)
O'Boyle				Não Poluído e Eutrofizado
TRIX	2015	Silva	Estuário do rio Papaquara Ilha Santa Catarina –SC	Pobre (Eutrófico)
TRIX	2016	Monteiro et al.	Estuário do Caeté-PA	Elevado Eutrofização
TRIX	2016	Fiori et al.	Costa do Mar de Emilia-Romagna- Itália	Alto (Oligotrófico) e Pobre (Eutrófico)
TRIX	2017	Gandra	Estuário do Rio Tavares	Mesotrófico a eutrofizado

5. CONCLUSÃO

A criação dos índices de estado trófico, mostraram-se eficientes no decorrer dos anos por representar de forma simplificada e objetiva do grau de eutrofização dos ecossistemas aquáticos, servindo como uma ferramenta para garantir uma melhor gestão ambiental e por ser de fácil interpretação. A transição da aplicabilidade dos índices em ambientes fechados (lagos) para zonas costeiras e estuários mostrou-se eficaz para avaliação dos principais índices usados que são o TRIX e o índice de O'Boyle.

6. REFERÊNCIAS

- ABALAIS, N. N. Nitrogen in Aquatic Ecosystems. *Ambio*, v. 31, p. 102-112, 2002.
- BAUMGARTEN, M. G. Z. A eutrofização das águas de uma enseada do estuário da Lagoa dos Patos (RS) protegida pela legislação ambiental. Revisão de Literatura. FEPAM em Revista. v. 3, p. 34-42, 2010.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; PAIXÃO, B. E. G. Uso do índice do estado trófico para avaliar a qualidade das águas do estuário da Lagoa dos Patos (RS). *Revista Atlântica*. v. 35, p. 5-22, 2013.
- BERTOLDI, L. Avaliação do estado trófico em um sistema estuarino tropical a parti do índice trófico TRIX. 92 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Aracruz, 2014.
- BIANCHI, T. Biogeochemistry of estuaries. New York: Oxford University Press, 2007.
- BRICKER, S. B., FERREIRA, J. G., SIMAS, T. C. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling*, v. 169, p. 39-60, 2003.
- BRICKER, S. B.; FERREIRA, J. G.; SIMAS, T. C. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling*, v. 169, p. 39-60, 2003.
- BROWN, R. M.; MCCLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. A water quality index Do we dare? *Water Sew Works*. v. 117, p. 339-343. 1970.
- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr*, v. 22, p. 361-369. 1977.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008/CETESB. São Paulo: Série Relatórios-Secretaria de Estado do Meio Ambiente. v. 1, 2009, 531p. Relatório anual.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008/CETESB. São

Paulo: Série Relatórios-Secretaria de Estado do Meio Ambiente. v. 1, 2009. 531 p. Relatório anual.

CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 2003. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2004.

CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: (Série Relatórios). 2007. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br Acesso: 13 Outubro de 2018.

CLOERN, J. E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, v. 210, p. 223-253, 2001.

COMMITTEE ON ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES. Scientific assessment of hypoxia in U.S. coastal waters. Interagency Working Group on Harmful Algal Blooms, Hypoxia, and Human Health of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology. Washington, DC, 2010.

COTOVICZ JUNIOR, L. C.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. A.; SOUZA, W. F. L.; MEDEIROS, P. R. P. Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL). *Geochemistry Brasiliensis*, v. 26, p. 2-12. 2012.

DEININGER, R. A.; MACIUNAS J. M. Water quality index for public water supplies. Department of Environment and Industrial Health, University of Michigan, Ann Arbo. 1971.

DIEGUES, A. C. S. Povos e Mares: leituras em sócio-antropologia marítima, São Paulo: Nupaub, 1994.

EEA. Environment in the European Union at the Turn of the Century. Environmental Assessment report No 2. Copenhagen: European Environment Agency, 1999.

ELSTER, H. Seetypen, Fliessgewassertypen and Saprobien-system. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol*, v. 47, p. 211-218, 1962.

FERREIRA, J. G., BRICKER, S. B., SIMAS, T. C. Application and sensitivity testing of an eutrophication assessment method on coastal systems in the United States and European Union. *Journal of Environmental Management*. v. 82, p. 433-445, 2007.

FERREIRA, J. G., NOBRE, A. M., SIMAS, T. C., SILVA, M. C., NEWTON, A., BRICKER, S. B., WOLFF, W. J., STACEY, P. E.; SEQUEIRA, Y. A. A methodology for defining homogeneous water bodies in estuaries – application to the transitional systems of de EUA water framework directive. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, v. 66, p. 468-482. 2006.

FIA, R.; MATOS, A. T.; CORADI, P. C.; RAMIREZ, O. P. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. v. 4, p. 132-141, 2009.

GANDRA, M. M. S. Caracterização do balanço de massa e suscetibilidade do estuário do Rio Tavares (SC) à urbanização. 66 f. 2017. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

GIOVANARDI, F.; VOLLENWEIDER, R. A. Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology*. v. 63, p. 199-218, 2004.

GLIBERT, P. M.; ALLEN, J. I.; BOUWMAN, A. F.; BROWN, C. W.; FLYNN, K. J.; [guidance/cwa/305b/2000report_index.cfm](http://www.epa.gov/guidance/cwa/305b/2000report_index.cfm)>. Acesso em: 20 Nov. 2017.

HILLBRICHT-ILKOWSKA, A. The indices and parameters useful in the evaluation of water quality and the ecological state of temperate lowland lakes connected with their eutrophication. Proc. Shiga Conference '84 (LECS'84) on Conservation and Management of World Lake Environment, 1984.

KARYDIS, M. Eutrophication Assessment of coastal waters based on indicators: A Literature Review *Global NEST Journal*. v. 11, p. 373-390, 2009.

KENNISH, M. J.; BRICKER, S. B.; DENNISON, W. C.; PATRICIA, M.; GLIBERT, P. M.; LIVINGSTON, R. J.; MOORE, K. A.; NOBLE, R. T.; PAERL, H. W.; RAMSTACK, J. M.; SEITZINGER, S.; TOMASKO, D. A.; VALIELA, I. Barnegat Bay–Little Egg Harbor estuary: case study of a highly eutrophic Coastal Bay System. *Ecological Applications*, v. 17, p. S3-S16, 2007.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 235 f. 2004. Tese (Doutorado em ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEWITUS, A. J.; MADDEN, C. J. Modeling of HABs and Eutrophication: Status, Advances, Challenges *Journal of Marine Systems*. v. 83, p. 262-275, 2010.

LUMB, A.; SHARMA, T. C.; FRANÇOIS BIBEAL, J. A review of genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and some future directions. *Water Qual Expo Health*. v. 33 p. 11-24. 2011.

MARGALEF, R. *LIMNOLOGIA*. Barcelona: Omega, 1983.

MARGALEF, R. *Limnologia*. Barcelona: Omega, 1983. 1010 p.

MCLUSKY, D. S.; ELLIOTT, M. Transitional waters: A new approach, semantics or just muddying the waters? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. 71, p. 359-363, 2007.

MERCANTE, C. T. J.; TUCCI-MOURA, A. A comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais. *Acta Limnológica Brasiliensia*. v. 11, p. 1-14, 1999.

NIXON, S. W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, v. 41, p. 199-219, 1995.

O'BOYLE, S.; MCDERMOTT, G.; WILKES, R. F. Dissolvedoxygen levels in estuarine and coastal waters around Ireland. *Marine Pollution Bulletin*. v. 58, n. 11, p. 1657-1663, 2013.

SAWYER, C. N. Fertilization de lakes by agricultural and urban drainage. *J. New England Water Works Ass*, v. 61, p. 109-127. 1947.

SCHIEWER, U. 30 years' eutrophication in shallow brackish waters - lessons to be learned. *Hydrobiologia*, Netherlands. v. 363, p. 73-79, 1998.

SCHRÖDER, R. Relevant parameters to define the trophic state of lakes. *Arch. Hydrobiol*, v. 121, p. 463-472, 1991.

SILVA, G. S.; SOUSA, E. R.; KONRAD, C.; BEM, C. C.; PAULI, J.; PEREIRA, A. Phosphorus and nitrogen in waters of the ocoí river sub-basin, Itaipu reservoir tributary. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 20, p. 1580-1588, 2009.

TOLEDO JR., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. 1983 In: ANAIS DO XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. 1983. p. 1-34.

THORNTON, J. A.; HARDING, W. R.; DENT, M.; HART, R. C.; LIN, H.; RAST, C. L.; RAST, W.; RYDING, S. O.; SLAWSKI, T. M. Eutrophication as a wicked problem. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. v. 18, p. 298-316, 2013.

TUNDISI, J. G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In. TUNDISI, J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima, IIE, São Carlos, 2003. 247p.

TUNDISI, J. G. Ambiente, Represas e Barragens. *Revista Ciência Hoje*. v. 5, p. 48-54, 1986.

UHLMANN, D. *Hydrobiology. A text for Engineers and Scientists*. John Wiley, Chichester, p. 474, 1979.

UNEP, GEO Year Book 2004/05. An Overview of Our Changing Enviroment. Nairobi: UNEP, 2005. Disponível em: <http://www.unep.org/yearbook/2004/pdf/geo_year_book_2004.pdf> Acesso: 18 setembro 2017.

USEPA. Water Quality Reporting. 2000. Disponível em: <<http://water.epa.gov/lawsregs/>

VOLLENWEIDER, R. A. Eutrophication – A global problem. *Water Qual. Bull*. v. 6, p. 59-62, 1981.

VOLLENWEIDER, R. A. Scientific fundamentals of eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Tech. Rep. DAS/CSI/68.27, Paris-OECD, 1968.

VOLLENWEIDER, R. A.; GIOVANARDI, E.; MONTANARI, G.; RINALDI, A. 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*, v. 9, p. 329–357. 1998.

VOLLENWEIDER, R. A.; KEREKES, J. J. *Eutrophication of Waters, Monitoring, Measures and Control*. OECD, p. 154. 1982.

VON SPERLING, E. Avaliação do estado trófico de lagoas e reservatórios tropicais. *Revista Bio*: Ano 2, , p. 68 - 76. ABES. Rio de Janeiro, 1994.

WETZEL, R. G. *Limnology*. EUA: W. B. Saunders Company. 1983. 743 p.

WETZEL, R. *Limnologia*. Fundação Calouste Gulbenkian. Maria José L. Boavida (Tradução). Lisboa, 1993. 905 p.

CAPÍTULO 3

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE TRIX E O'BOYLE EM ESTUÁRIOS AMAZÔNICOS

Sousa et al. (2019)

Artigo submetido para a revista Estuarine, Coastal and Shelf Science

Normas do artigo:

https://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/622823?generatepdf=true

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE TRIX E O'BOYLE EM ESTUÁRIOS AMAZÔNICOS

1. INTRODUÇÃO

A região Amazônica do Brasil é conhecida por ter o maior rio do mundo, o rio Amazonas, inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas (BHRA) que drena uma área de cerca de 6 milhões km² em todo continente sul americano e representa aproximadamente 16% da água doce global despejada no oceano Atlântico (NITTROUER et al., 1991; PROBST, 1992; DAI e TRENBERTH, 2002; CALLEDE et al., 2010; SORRIBAS et al., 2016).

Na desembocadura do rio Amazonas está localizada a Plataforma Continental do Amazonas (PCA) considerada uma área altamente complexa, onde atuam em conjunto, a drenagem da BHRA, processos meteorológicos e oceanográficos (DEMASTER e POPE, 1996; PROTAZIO et al. 2004; SANTOS et al. 2007 e 2008; SILVA et al. 2009), onde já foi descrito *bloom* de diatomáceas relacionado a disponibilidade de nutrientes, oriundos dos processos de degradação da matéria orgânica, através do escoamento superficial dos principais rios da região, fixação do nitrogênio na zona eufótica e a regeneração bentônica (LENTZ e LIMEBURNER, 1995; HU et al. 2004; SUBRAMANIAM et al. 2008, GOES et al. 2014; ISAAC e FERRARI, 2015).

Contudo, a paisagem dessa região também é composta por diversos estuários, além de furos que é o termo regional usado para caracterizar um acidente hidrográfico ou canal navegável que permite a ligação de rios, lagos e estuários, os quais são utilizados pela comunidade local para sua sobrevivência (alimentação por meio da pesca, transporte e turismo). O Furo do Muriá e o Furo da Laura são descritos como enriquecidos pela produtividade primária e ricos em nutrientes oriundos de fontes naturais e antrópicas (CARDOSO, 2009; COSTA, 2010).

Neste contexto, trabalhos para avaliar o grau de eutrofização nesses ambientes (marinhos e estuarinos) foram desenvolvidos no mundo, com ênfase em variáveis relacionadas diretamente ao processo de eutrofização, como o aumento dos nutrientes, ocasionado pelo crescimento populacional devido as descargas de efluentes nessas áreas (HOWARTH e MARINO, 2006; FERREIRA et al., 2007; BRITO et al. 2012; CUTRIM et al. 2016).

Para a avaliação desse processo faz-se necessário estudos envolvendo a avaliação do estado trófico dos ambientes estuarinos e marinhos, que servem como importantes ferramentas de investigação para a proteção, monitoramento e gerenciamento costeiro, onde o número de variáveis para caracterizar um ambiente eutrófico tende aumentar com as pesquisas (FERREIRA et al., 2007; KARYDIS, 2009). A utilização de indicadores ecológicos que simplificam uma série de variáveis bióticas e abióticas em valores inteiros, de fácil compreensão pelo público, torna-se uma ferramenta cada vez mais utilizada no gerenciamento ambiental (SALAS et al., 2008).

Dois índices estão sendo utilizados em diversas áreas estuarinas (SALAS et al., 2008; COTOVICZ JUNIOR., et al 2012; JAYACHANDRAN e BIJOY NANDAN, 2012) e marinhas (PENNA et al. 2004; GIOVANARDI e VOLLENWEIDER, 2004; VARGAS-GONZÁLEZ et al. 2014; FIORI et al. 2016; SANFILIPPO et al. 2016) no mundo todo: o índice de estado trófico-TRIX (VOLLENWEIDER et al. 1998) e o índice de O' Boyle (O'BOYLE et al., 2013).

Este trabalho visa utilizar os índices descritos acima para determinar o estado trófico na área da PCA e nos Furos do Muriá e da Laura, com intuito de comparar os resultados e relaciona-los com a descarga fluvial da área, verificando a questão da sazonalidade, e influencias oceanográficas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

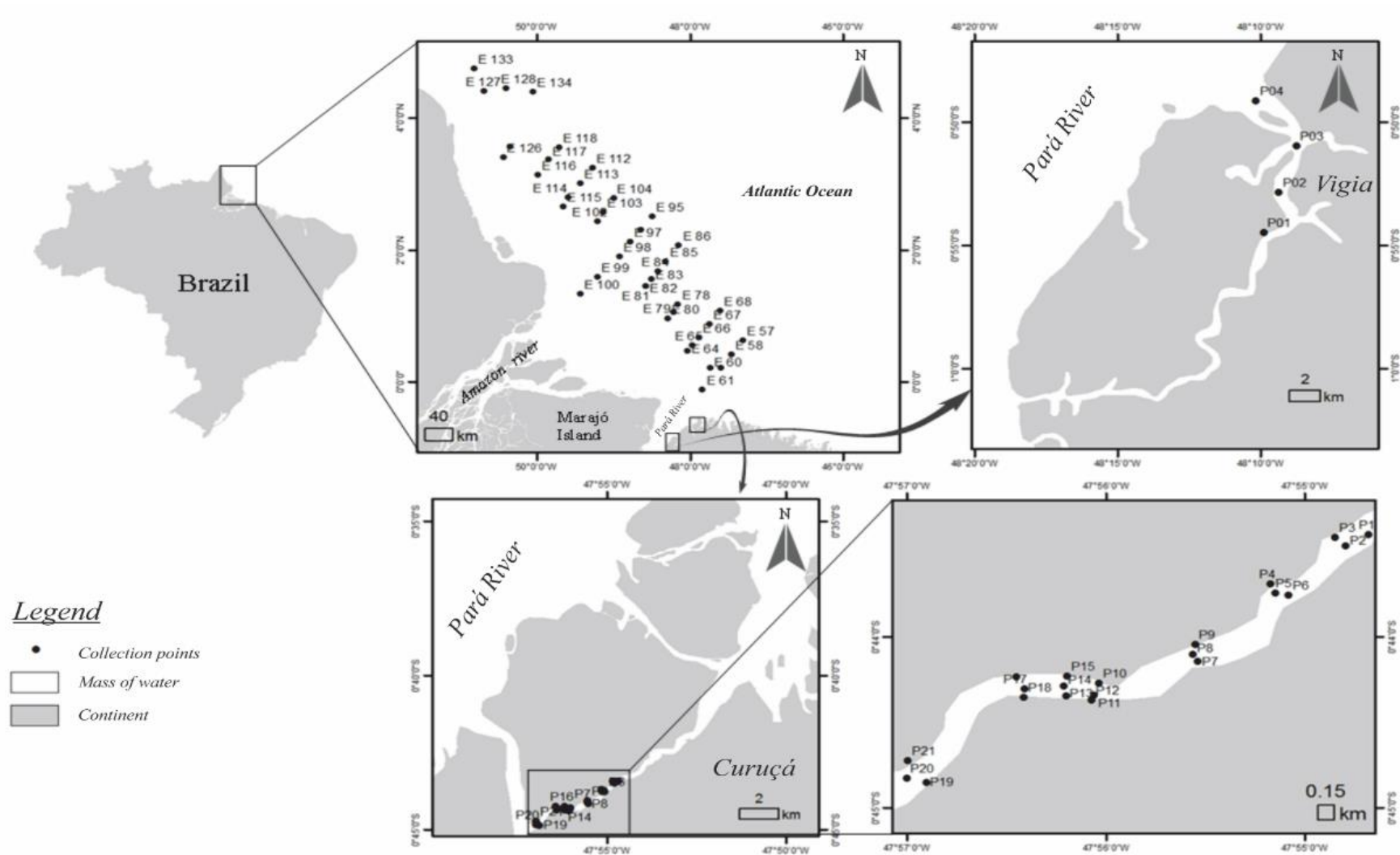
O trabalho foi realizado em três estuários tropicais: PCA,— : Furo da Laura – Vigia e o Furo do Muriá – Curuçá (figura 1):

2.1.1 Plataforma Continental do Amazonas (PCA)

A Plataforma Continental Brasileira (PCB) constitui uma faixa de largura variável, com extensão de 2.510 km, com uma área de 315.000 km² (PALMA,1979; PAIVA, 2001). Onde é localizado o maior rio do mundo, o rio Amazonas com descarga de 1 trilhão m³.ano⁻¹ fazendo com que seja considerado a maior zona estuarina do mundo drenando uma área de mais 6 milhões de km², onde 16% de água doce é despejada nos oceanos e 10% dos sedimentos lançados anualmente nas águas do oceano Atlântico são oriundos do rio Amazonas com 11 a 13 x 10⁸ ton.ano⁻¹ (Callède et al. 2010; Dai and

Trenberth 2002; Gibbs 1972; Muller-Karger et al. 1988; Nittrouer et al. 1991; Sorribas et al. 2016).

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo Plataforma Continental do Amazonas (PCA), Vigia - Furo da Laura (FL) e Curuçá – Furo do Muriá (FM).



A água doce proveniente do rio Amazonas forma uma pluma superficial que pode exceder mais de 1000 km *offshore* (Coles et al. 2013; Fournier et al. 2015; Molleri et al. 2010). A dispersão desta pluma está ligada às Corrente Norte do Brasil (CNB), Contra Corrente Norte do Brasil (CCNE) e Corrente das Guianas (CG) (Richardson and Reverdin 1987). O transporte da pluma do rio Amazonas apresenta dois padrões de comportamento que é: (i) o fluxo contínuo que ocorre entre os meses de fevereiro e junho, onde a direção da corrente flui em direção a nordeste rente a plataforma continental; após esse período a CNB retroflete para leste, alimentando a CCNE entre junho a fevereiro (Ffield 2005).

O fator meteorológico na PCA que influencia o ciclo da precipitação está relacionado com a migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual alcança uma posição mais ao sul entre o verão e o outono austral (aproximadamente 4° S) e mais ao Norte durante o inverno (10° N no Atlântico)(Xie and Carton 2004).

2.1.2 Furo da Laura – Vigia (FL) e Furo do Muriá (FM)

O furo da Laura é o principal acidente hidrográfico da cidade de Vigia, o qual fica localizado em frente desta cidade, e recebe todo o esgoto proveniente da população (53.191 hab.) (IBGE, 2019). Os principais tributários são os rios Baiacu e Guajará – Mirim (LIRA et al., 1989).

O furo do Muriá fica localizado na cidade de Curuçá (39.540 hab.), apresenta-se largo, e em grande parte de seu trecho são encontrados povoados de Beira Mar e Mutucal, Nazaré do Mocajuba e Murajá, recebem vários afluentes do rio Mocajuba e Curuçá, sendo composto também pelo igarapé Pimenta e outros tributários menores, servindo de limite natural e a oeste entre os municípios de Curuçá e São Caetano de Odivelas (17.970 hab.), (IBGE, 2019) , que banha a localidade de Beira Mar onde foram realizadas as coletas de água superficial.

A altura máxima da maré pode atingir até 4 m, capaz de atingir valores superiores nas marés equinociais de sizígia. As fortes correntes atingem velocidades que variam de 1,9 a 2,1 nós (Mácola & El-Robrini, 2004; El - Robrini et al., 2018).

O clima da região amazônica na região NE (litoral ou costa Amazônico) é do tipo Am (Tropical Úmido), quente úmido (Clima Equatorial Amazônico) conforme a

classificação de Köppen (1948). Desta forma a pluviosidade é elevada, com média anual de 2.500 mm/ano e a temperatura apresenta uma pequena variação anual, oscilando de 18° C a 33° C, com média de 27° C, podendo alcançar valores máximos de 42° C em agosto e outubro. A direção dos ventos no litoral Norte Amazônico apresenta predominância no fluxo sazonal Leste com velocidade média em torno de 5 m.s⁻¹ (El - Robrini et al., 2018).

2.2 Amostragem

2.2.1 Plataforma continental do Amazonas

As coletas de água foram realizadas a bordo do navio oceanográfico *Antares*, da marinha do Brasil, com finalidade de obter informações de natureza biótica e abiótica, entre o Cabo Orange/AP e a foz do rio Pará/PA. Os dados foram obtidos durante a campanha Norte III e Norte IV que caracteriza a descarga máxima e a menor descarga do rio Amazonas no período de 1999 a 2001, respectivamente. A coleta foi distribuída ao longo de 11 transectos, totalizando 41 estações (Figura 1).

As amostras de água para as análises físico-químicas e biológicas foram coletadas através de garrafa de Niskin de 5 litros, em uma Rosette acoplada ao CTD da Sea Bird Electronics SBE911 *plus* (Conductivity: resolução = 0,00004 S. m⁻¹, Temperature: resolução = 0,0004°C Depth: resolução = 0,068), sensores onde foram coletadas em superfície a temperatura, salinidade, pH, e analisados oxigênio dissolvido e a taxa de saturação de oxigênio dissolvido (tabela 3).

2.2.2 Furo da Laura e Furo do Muriá

Os pontos de coleta foram distribuídos cobrindo quatro áreas estratégicas do furo da Laura. Os pontos P01 e P02 foram localizados em uma área mais interna, o P03 está localizado em frente à cidade e o P04 é uma área mais externa do estuário (Figura 1). As amostras foram coletadas durante o período de menor de precipitação (julho, setembro e novembro) de 2011 e maior precipitação (janeiro, março e maio) de 2012, durante a maré vazante e enchente.

As coletas de águas superficiais no furo do Muriá foram realizadas em 21 pontos distribuídos ao longo do Furo do Muriá, nos meses de janeiro, fevereiro, março, maio, junho, julho, setembro, outubro e novembro de 2015, durante a maré vazante e enchente

(Figura 1). As amostras de água do estuário foram obtidas à bordo de um barco regional, com o auxílio de uma garrafa hidrológica, onde foram coletadas amostras de água da superfície

2.3 Processamento dos parâmetros da água

Em seguida, para os três locais as análises dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ e PO_4^{3-}) com precisão de $\pm 0,02 \mu\text{mol}$ para NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ e $\pm 0,001 \mu\text{mol}$ para PO_4^{3-} . A acurácia foi de 3% para NO_3^- e NO_2^- , 5% $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ 2% e PO_4^{3-} . Clorofila *a* (Chl – *a*) foram realizadas as filtragens com filtros de fibra de vidro Whataman GF/F. Os métodos utilizados para as análises dos parâmetros químicos e biológicos estão descritos na tabela 1.

Tabela 1: Metodologia utilizada para análises dos parâmetro físico-químico e biológicos dos estuários estudados

Parâmetros	Metodologia
Temperatura e Salinidade	CTD SeaBird SBE 9-plus ^a , Medidor da marca HANNA ^{b, c} .
pH	pHmetro da marca HANNA. ^{a, b & c}
Oxigênio Dissolvido – OD*	Winkler descrito em Strickland e Parsons (1972). ^{a, b & c}
Taxa de Sat. OD*	International Oceanographic Tables (UNESCO, 1973). ^{a, b & c}
Fosfato	Formação do íon fosfomolibdato em meio ácido descrito em Grasshoff et al., (1983) ^{a, b & c}
Nitrito	Formação do íon diazóico, descrito em Grasshoff et al. (1983). ^{a, b & c}
Nitrato	Redução pela coluna de cádmio, descrito em Grasshoff et al. (1983). ^{a, b & c}
N-amoniacal	Formação de Idofenol descrito em Grasshoff et al. (1983) ^a ; Nessler, adaptado de APHA (1995) método HACH 380 ^{b & c} .
Clorofila <i>a</i>	Espectrofotométrico descrito UNESCO (1986) e Teixeira (1973). ^{a, b & c}

OD = Oxigênio Dissolvido; (a) PCA, (b) FL, (c) FM

2 Variáveis ambientais

Os dados pluviométricos dos furos foram obtidos a parti da base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), no FL foram coletados os dados a parti de setembro

de 2011 (que corresponde ao início das coletas) a julho de 2012 (final das coletas) e o FM em de 2015

A velocidade média dos ventos foi obtida através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o mesmo período correspondente a pluviometria para o FL e para o FM

2.3 ÍNDICES

2.3.1 Índice de O'Boyle

Para calcular o índice O' Boyle que tem como base a variação dos valores de pH (unidades) e de oxigênio dissolvido saturado (OD%), os valores de pH foram transformados em escala logarítmica. De acordo com o método O'Boyle (O'Boyle et al. 2012).

Ambas as variáveis tiveram pesos iguais no índice. Isto foi feito através da divisão do alcance dos valores de cada variável em cada corpo hídrico, pelo alcance máximo observado em todos os corpos hídricos divididos por 100. O valor de alcance máximo das variáveis é obtido do conjunto de valores de todos os sistemas utilizados neste trabalho fazendo com que o valor do denominador varie (equação 1). Os valores do corpo hídrico analisado são representados por (i) e a faixa de valores obtida com a avaliação dos parâmetros dos demais corpos hídricos é representada por (n):

$$O'Boyle = \left(\frac{\text{Variação pH}_i}{\text{Valor máximo pH}_n/100} \right) + \left(\frac{\text{Variação OD}_i}{\text{Valor máximo OD}_n/100} \right) / 2$$

O índice final foi calculado somando-se esses intervalos de parâmetros normalizados para cada corpo hídrico e dividindo por dois (equação 1). Por isso, os valores do índice vão de 0-100, onde 0 (zero) é indicativo de nenhuma variação em ambas as variáveis e 100 é indicativo de variação máxima, observada em ambas as variáveis. Desta forma o índice de estado trófico abrange faixas, que variam de 0 < 40 que indica nenhuma poluição; >40 < 60 como intermediário; >60 < 75 potencialmente eutrófico e > 75 - 100.

2.4.2 Índice de estado trófico (TRIX)

Para avaliar o processo de eutrofização foram definidos valores de referência para concentrações de nutrientes no corpo de água, desenvolvidos índices de estado trófico que combinam concentrações de nutrientes (NID e PID), taxa de saturação de

oxigênio dissolvido (% OD) e Chl - *a* que é indicador de produção primária ((Vollenweider et al. 1998).

$$\text{TRIX} = (\log 10 [\text{Chl}a \times |\text{DO}_2\%| \times \text{DIN} \times \text{DIP}] + k)/m$$

Onde: Chl - *a* = concentração de clorofila -*a*, em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, %DO₂ = Oxigênio como desvio absoluto (%) da saturação: [abs |100-%0| = DO₂%], DIN = Nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato- NO₃, nitrito-NO₂, amônia-NH₄) $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, DIP = Fósforo inorgânico dissolvido como P-PO₄ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

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 de escala trófica relacionada, de 0 a 10 unidades TRIX. Foram utilizados os seguintes valores para descrever os sistemas (Penna et al. 2004), aplicados por (Nasrollahzadeh et al. 2008) e adotados pela Legislação Ambiental da Itália (Caruso et al. 2010), com as faixas que podem variar de: < 2 excelente (Ultra-Oligotrófico); 2 – 4 alto (Oligotrófico); 4 – 5 Bom (Mesotrófico); 5-6 Moderado (Mesotrófico a Eutrófizado) e de 6 – 8 pobre (Eutrófico).

2.4 Análises estatística

A estatística descritiva (máximo, mínimo, média e desvio padrão) foi determinada para todas as variáveis físico-químicas e nutrientes dissolvidos. Os dados não atenderam o requisito de homogeneidade e distribuição normal, desta forma foram utilizados o teste Kruskal - Wallis (K-W), Mann – Whitney (M-W) e correlação de Spearman.

O teste não paramétrico de K-W foi utilizado para testar se as variáveis dos três locais (PCA, FL e FM), para observar se houve diferença nas três áreas, em seguida foi aplicado a correção de Bonferroni para ajustar o p. O teste de M-W foi realizado para verificar uma possível variação sazonal dos dados em cada local de estudo.

Foi realizada uma Análise de Componente Principal (ACP) para os três estuários PCA, FL e FM juntos, e em seguida separadamente para observar se houve separação sazonal com relação ao índice e variáveis nos locais de estudo.

Para melhorar a detecção de relações não-lineares, os dados foram transformados por raiz cúbica ou log (x + 1) (LEGENDRE & LEGENDRE 1998). A ACP foi aplicada sobre uma matriz de correlação, e os eixos fatoriais analisados foram aqueles que apresentaram seus valores significativamente mais elevados do que os produzidos pelas matrizes da mesma

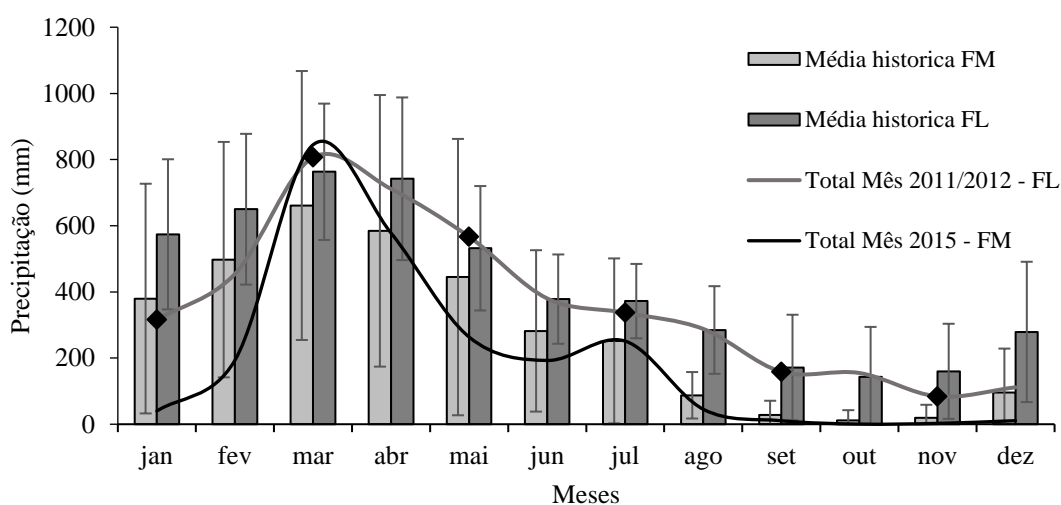
dimensão quando permutados 10.000 vezes (PERES-NETO et al. 2003, 2005). Ambas as análises foram realizadas com o PAST (HAMMER et al. 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Regime de chuvas e ventos

A região Amazônica apresenta uma precipitação média de aproximadamente 2.300 mm. ano⁻¹ (FISCH et al., 1998). Segundo os dados históricos dos índices pluviométricos no FL e FM, a média mensal da chuva (1982 a 2012 - FL) e (1982 a 2015 - FM) entre as series históricas dos dois furos mostram uma divisão clara do regime de chuvas para estes locais, onde o mínimo de 143,28 mm (FL) e 11,42 mm (FM) (em novembro e outubro respectivamente) e máximo de 763.02 mm e 661,14 mm em março para dos dois furos (Figura 2).

Figura 2: Precipitação pluviométrica no município de Vigia – Furo da Laura (1982 a 2012) com o total por mês de setembro de 2011 a agosto de 2012 e Curuçá – Furo do Muriá (1982 a 2015) com o total por mês no ano 2015.



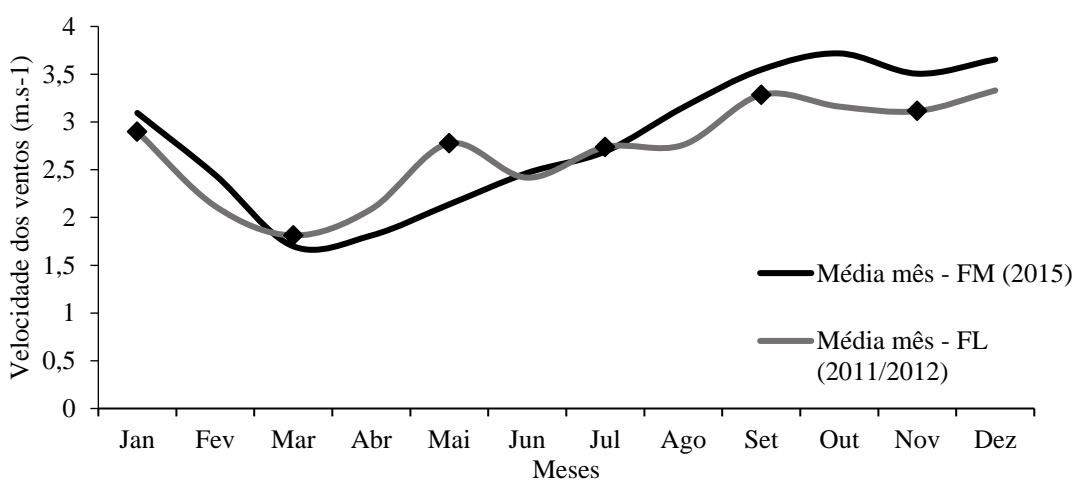
No entanto, o FL a precipitação mensal do final do ano de 2011 para o início de 2012 apresentou alguns desvios com relação ao padrão histórico e as curvas dos anos de coleta, com isso foi observada a presença de poucas chuvas nos meses de novembro a fevereiro comparados com a média histórica. A menor precipitação constatada no período de coleta foi 84 mm (novembro) e a maior de 806,45mm (março), com o volume total de chuva de 4368,58 mm.

No FM foi de 0,40 mm (outubro) a 844,40 mm (março) com o total de chuva de 2432,20 mm, contudo o comportamento do padrão histórico e a curva do ano ocorreu também o mesmo desvio em relação ao FL, porém em meses diferentes, em janeiro, fevereiro, maio e junho, a média histórica foi maior do que a curva do ano indicando poucas chuvas nesses meses (Figura 2).

Os baixos valores pluviométricos citados anteriormente no FM estão correlacionados com o El-Niño que afeta o regime de chuva na Amazônia, onde Yoon e Zeng (2010) relatam que uma fração da precipitação na Amazônia pode ser explicada por este fenômeno que atua diretamente durante o período chuvoso. Levine & McPhaden (2016) observaram este evento ocorrendo em alta magnitude nos anos de 2015-2016, na região Amazônica.

Na costa amazônica, os ventos alísios de Noroeste são predominantes e atuam continuamente no decorrer do ano inteiro, com o máximo em dezembro a março (Geyer et al., 1996). No entanto, no Nordeste do Pará durante o período menos chuvoso, os ventos predominantes fluem na maior parte nordeste, enquanto que na estação chuvosa fluem na direção leste – nordeste, associado ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (Ranieri & El – Robrini, 2016). A velocidade média dos ventos no FL e FM foram próximos, variando de 1,81 m.s⁻¹ (março) a 3,33 m.s⁻¹ (dezembro) no FL; e de 1,70 m.s⁻¹ (março) a 3,72 m.s⁻¹ (outubro) no FM (Figura 3)

Figura 3: Média da distribuição da velocidade dos ventos em Vigia – Furo da Laura (setembro de 2011 a agosto de 2012) e Curuçá – Furo do Muriá.



3.2 Estatística

As médias e os níveis de significância das variáveis físico químico dos três ambientes estão representados na Figura 2. As variáveis estudadas apresentaram diferenças significativas nas médias (K-W; $p < 0.05$), o que indica que as três áreas são distintas em relação às características hidrológicas, oceanográficas. No entanto, com a correção do p valor por Bonferroni indicou que a temperatura nos furos foram iguais ($p > 0,05$), também a salinidade na PCA e FM ($p > 0.05$) e Chl - *a* na PCA e FL ($p > 0.05$).

Com relação à sazonalidade apresentaram também diferença significativa entre as médias das variáveis no período de máxima e mínima DRA (Drenagem do Rio Amazonas) na PCA e seco e chuvoso do FL e FM.

Os valores da média da temperatura entre os ambientes estudados ficaram próximos, tanto na época de máximo e mínimo DRA na PCA e nos furos, no entanto mesmo com baixas variações nas médias o FL e FM mostraram diferença significativa (M-W; $p < 0.005$).

Em relação à salinidade e o pH as menores médias foram encontradas no FL (S= 1.43 e pH= 6.28), enquanto as maiores na FM (S= 32.23 e pH= 8.23), no período chuvoso e seco respectivamente e na PCA (S= 14.29 e pH=7.94), na máxima DRA. Com isso a salinidade foi a única a apresentar variação significativa nos três locais, no entanto o pH foi apenas na PCA (M-W; $p < 0.05$).

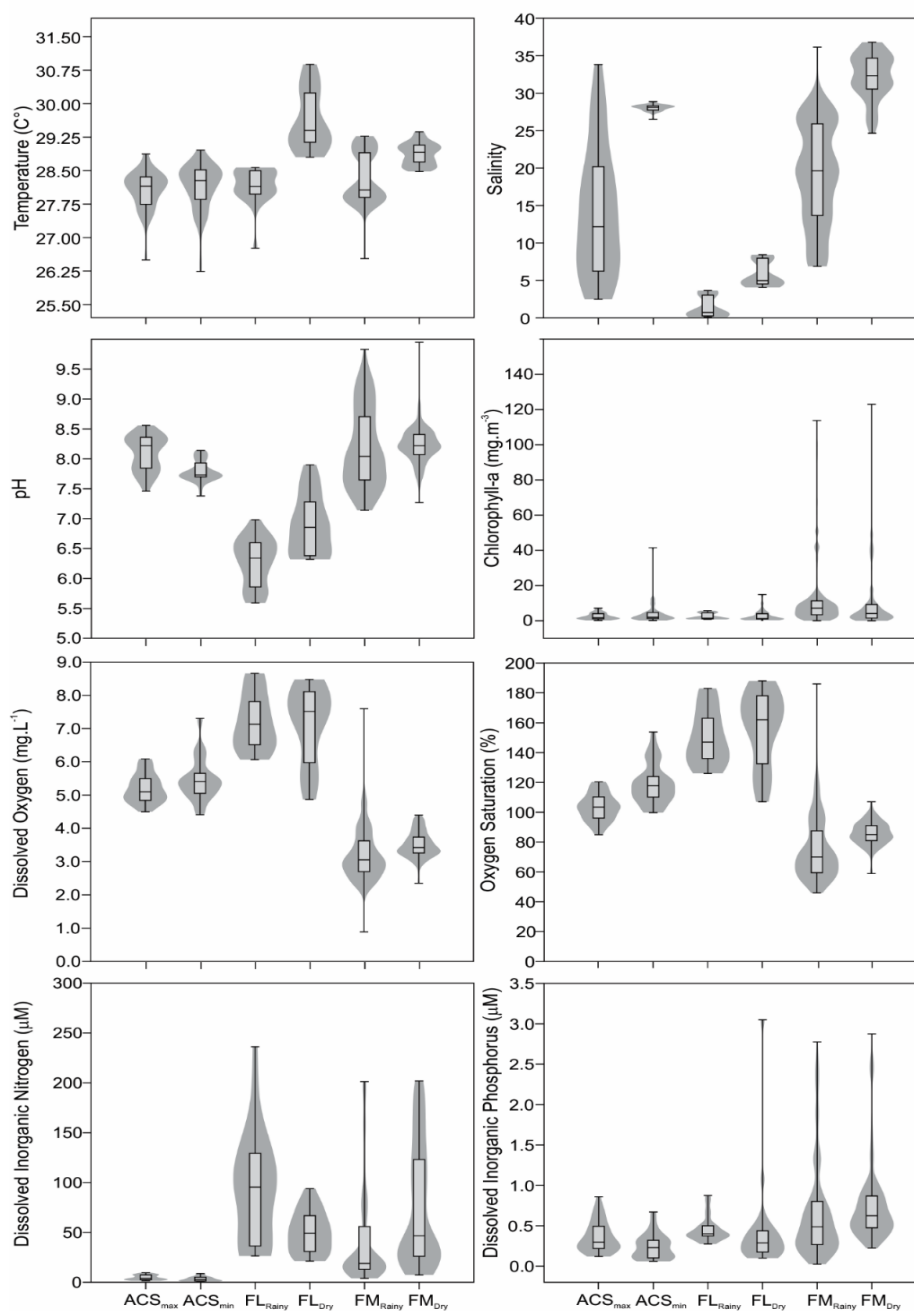
Para Chl - *a* os menores valores médios foram encontrados no FL (2.48 mg.m⁻³) e PCA (2.50 mg.m⁻³) e a maior no FM (13.62 mg.m⁻³) no período chuvoso nos furos e máxima DRA, respectivamente., as contrações de Chl - *a* apresentou diferenças nas médias significativas somente no FM (M-W; $p > 0.05$).

Com relação ao OD foi observado uma diferença significativa apenas no FM (M-W; $p < 0.05$) e a %OD somente na PCA (teste t; $p < 0.05$) e FM (M-W; $p < 0.05$). Os menores valores da média OD e %OD foram detectados no FM (3.22 mg.L⁻¹ e 75.10%), enquanto os maiores valores, no FL (7.65 mg.L⁻¹ e 160.30%) ambos no período chuvoso na região e PCA (5.47 mg.L⁻¹ a 118.97%) na mínima DRA.

Em relação ao nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) a menor média foi encontrada na mínima DRA (3.40 µM) e as maiores no FL (94.00 µM) e FM (77.64 µM),

no período chuvoso e seco respectivamente, onde apenas o FL (teste t; $p < 0.05$) e FM (M-W; $p < 0.05$) mostraram diferenças significativas nas médias. Ao contrário do NID o PID apresentou diferenças significativas na PCA (teste t; $p < 0.05$), FL e FM (M-W; $p < 0.05$), no qual a menor média foi encontrada na mínima DRA ($0.25 \mu\text{M}$) na PCA e as maiores também foram observadas nos FM ($0.77 \mu\text{M}$) e FL ($0.45 \mu\text{M}$) no período seco e chuvoso, concomitantemente.

Figura 4: Box Plot dos parâmetros Temperatura, Salinidade, pH, Clorofila – a, Oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio, nitrogênio inorgânico dissolvido, fosforo inorgânico dissolvido.

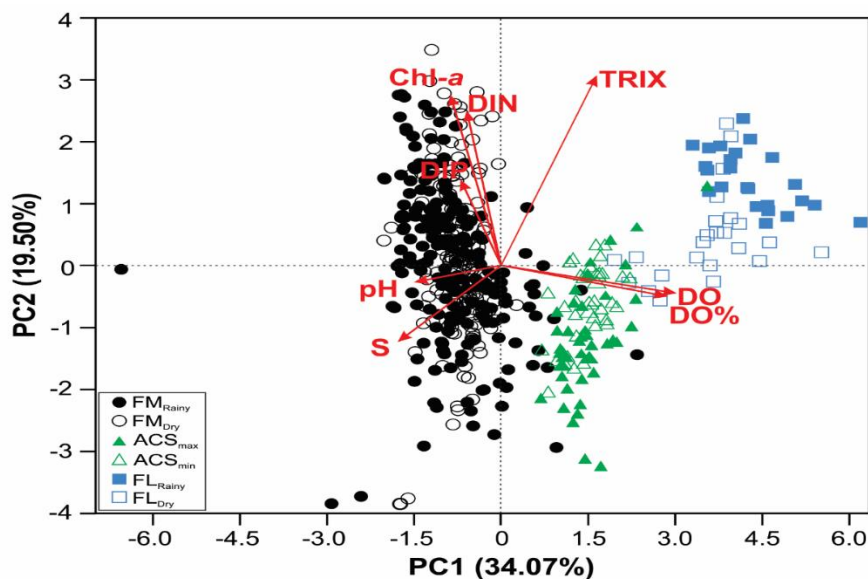


3.1 Análise de componente principal

A análise de componentes principais explicou 53,57% da variância total, onde PC1 explicou 34,07% da variação original contendo dois grupos, sendo o primeiro com OD (0,96), %OD (0,91) e TRIX (0,52) e o segundo com salinidade (-0,56), pH (-0,47), o que mostra influência do OD e %OD com relação ao índice de estado trófico, no outro eixo a salinidade e o pH estão relacionados com a presença de águas oceânicas.

Ao longo da PC2 que explicou 19,50% formou apenas um grupo composto pelo)TRIX (0,73), Chl - *a* (0,66) e NID (0,60) com isso denota uma relação direta com o PID e Chl - *a* com o TRIX. É observado que o TRIX encontra-se dividido, pois de um lado o furo do Muriá puxa vetor dos nutrientes e do outro a PCA e FL puxa o OD e a %OD (Figura 4).

Figura 5: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos na Plataforma Continental do Amazonas (PCA), Vigia – Furo da Laura (FL) e Curuçá – Furo do Muriá (FM).



O diagrama de ordenação a parti dos scores obtidos da ACP para os dados dos três estuários estudados (Figura 2), constatou uma nítida separação espacial dos ambientes estuarinos dos scores da PCA, FL e FM, a justificativa da divisão é explicada principalmente pelo peso negativo da salinidade na PC1, o qual foi verificado os maiores valores no FM, seguido da PCA e por último FL.

3.1.1 Plataforma Continental do Amazonas

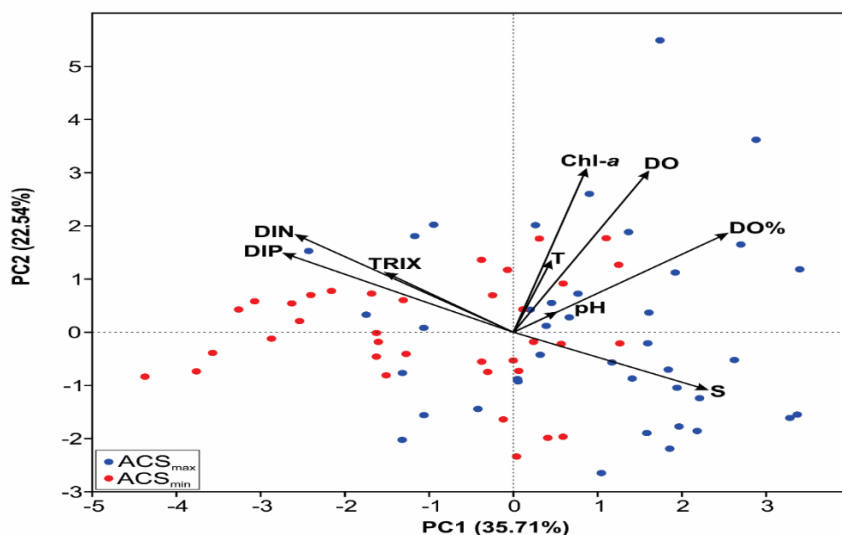
Com relação a ACP da PCA (PC1 e PC2) descreveram 58,25 % da variação original. A PC1 explicou 35,71 % da variância total, enquanto que a PC2 22,53 % (Figura 5). A PC1 foi dividida em dois grupos sendo o primeiro composto pela, %OD (0,80) salinidade (0,73) e OD (0,50), o segundo com PID (-0,86), NID (-0,82) e TRIX (-0,47) (Figura 5).

Com relação ao primeiro grupo as variáveis estão ligadas aos scores que representam a mínima descarga do rio Amazonas, com valores elevados de salinidade. Para o PID, NID e TRIX indica a correlação positiva desses nutrientes para o aumento dos valores de eutrofização na PCA.

A PC2 obteve um grupo explicado pelas variáveis Chl - *a* (0,78), OD (0,75), %OD (0,47), NID (0,45) (Figura 5), o que demonstra que a disponibilidade das formas nitrogenadas dissolvidas favoreceu a produtividade primária, a qual consequentemente aumentou o teor do OD nas águas da PCA. Essas variáveis foram relacionadas ao período da mínima descarga do rio Amazonas, durante este período a zona de convergência intertropical (ZCIT), através da sua migração sazonal encontra-se mais afastada da PCA o que influenciou no menor regime de precipitação.

Outro fator que influenciou na Chl - *a* foi a retroflexão da CNB que ocorreu no final do período da máxima descarga do rio Amazonas e início da mínima descarga, justamente onde a CNB retroflete para leste nos meses de junho a janeiro alinhando-se com a Contracorrente Norte Equatorial (CCNE), após a sua passagem pelo equador entre a 5° N a 10° N (FLAGG et al., 1986; FIELD, 2005).

Figura 6: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos das duas componentes principais, entre os períodos de máxima e mínima do rio Amazonas na Plataforma Continental do Amazonas (PCA).

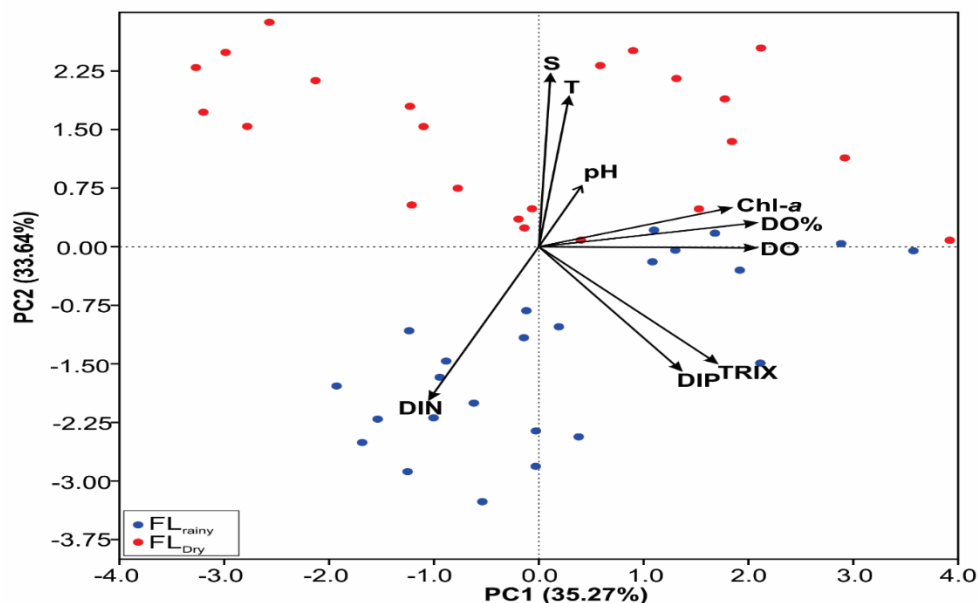


3.1.2 Furo da Laura

No FL a análise de componente principal descreveu 68,91 % da variação original. A PC1 explicou 35,27 % da variância total, enquanto a PC2 explicou 33,64 % (Figura 6). A PC1 foi composta apenas por um grupo % OD (0,87), OD (0,87), Chl - *a* (0,77), com os escores indicando valores acentuados dessas variáveis em ambos períodos sazonais da região. Essas altas quantidade das formas de oxigênio no FL são relacionadas ao teor de clorofila *a*, além da presença dos ventos e do fluxo constante de correntes de maré, que atuam em ambos os lados do furo. Figueiredo et al. (2006) destacaram o aumento do oxigênio devido aos processos de mistura turbulenta das mares, da vazão dos rios e da ação dos ventos no estuário do canal de Santa Cruz -PE.

A PC2 obteve dois grupos, o primeiro com salinidade (0,90) e temperatura (0,78) relacionados a sazonalidade conforme os escores que indicam o período menos chuvoso, o segundo grupo com o NID (-0,80), PID (-0,71) e o TRIX (-0,61) (Figura 6), relacionados ao período mais chuvoso, o que caracteriza um *imput* de nutrientes oriundos das descarga fluviais e da poluição antropogênica para este estuário. Com relação aos scores foi nítida a divisão sazonal na PC2 onde no eixo positivo e negativo são encontrados o período menos e mais chuvoso, respectivamente.

Figura 7: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos das duas componentes principais, entre os períodos chuvoso e menos chuvoso no Furo da Laura.



3.1.3 Furo do Muriá

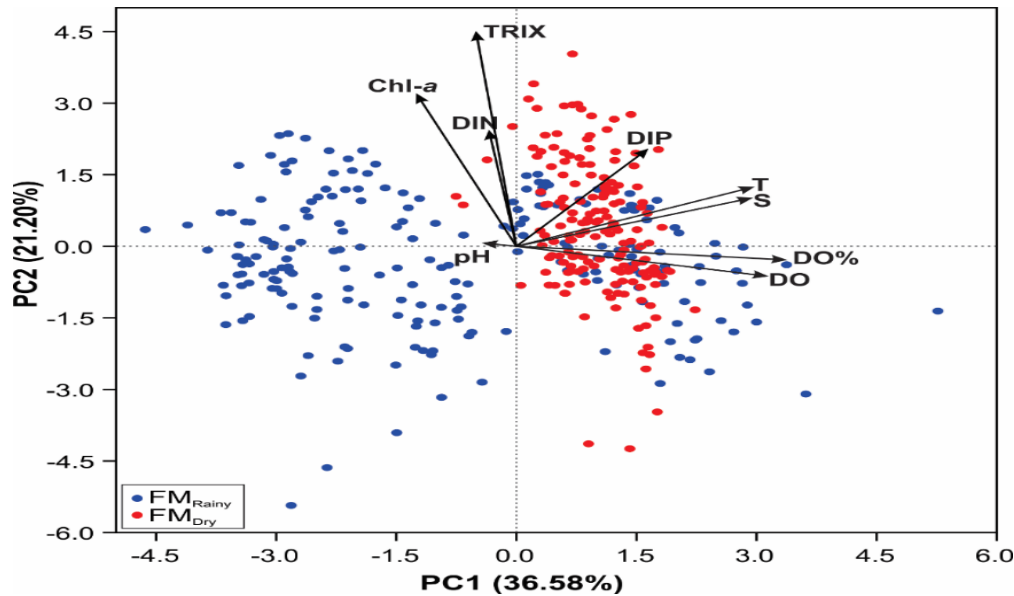
No FM a análise de componente principal descreveram juntas cerca 57,88 % da variância original. Na primeira componente é explicada 36,57 % da variância total, onde foi formado apenas um grupo com a %OD (0,92), OD (0,86), temperatura (0,81), salinidade (0,81) e PID (0,45) (Figura 7), onde a salinidade indica a entrada de águas oceânicas.

A distribuição dos escores ao longo da PC1 no eixo positivo demonstrou a mistura dos períodos menos chuvoso e chuvoso da região, o que pode ser explicado por meses atípicos (janeiro e junho de 2015) que se comportaram como meses menos chuvosos e aumentaram a temperatura da água. Contudo, mesmo com a entrada das águas oceânicas os valores do PID foram elevados, o que pode ser explicado por fonte de poluição difusa. Também o mesmo fator que dos ventos citado no FL poder ser aplicado no FM pois é observado uma correlação forte do OD e %OD com os ventos.

A segunda componente descreveu 21,38 % da variância total, onde foi formado apenas um grupo composto pelo TRIX (0,94), Chl - a (0,66), NID (0,50), PID (0,42) (Figura 7). O índice de estado trófico mostrou uma nítida correlação com a Chl - a e os

nutrientes (NID e PID) no período menos chuvoso, o que refletiu a menor diluição das águas presentes no FM.

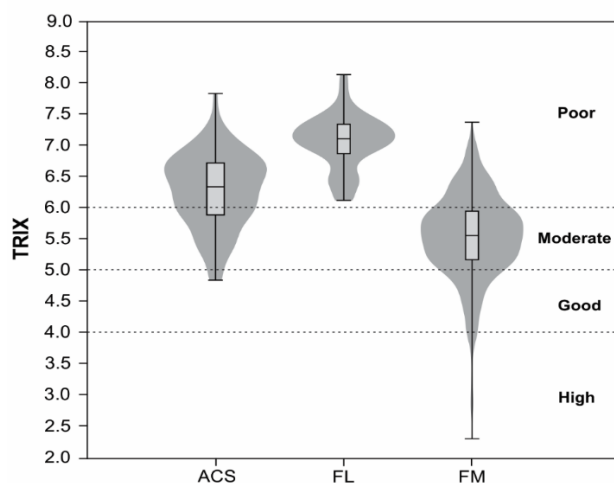
Figura 8: Peso das variáveis nas duas primeiras componentes principais PC1 e PC2 representado por vetores com os diagramas de ordenação dados obtidos das duas componentes principais, entre os períodos chuvoso e menos chuvoso no Furo do Muriá.



3.2 Índice TRIX

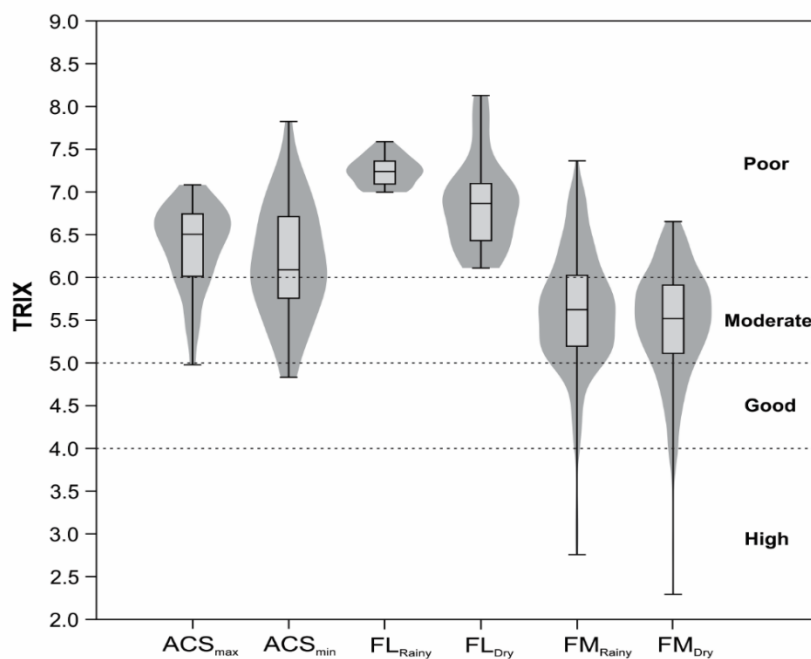
Ao analisar se houve similaridade nos valores do TRIX nas três áreas, constatou-se que existe uma diferença entre as medianas dos valores do índice entre locais (K-W; $p < 0.05$), em seguida o teste posteriori com correção de Bonferroni () afirmou que todas as áreas são diferentes entre si.

Figura 9: Distribuição dos valores nas três áreas de estudo PCA, FL e FM.



Os valores do TRIX foram maiores no FL, oscilando entre 6,87 (período menos chuvoso) e 7,24 (período chuvoso) o que caracteriza o ambiente como eutrófizado. Na PCA a mediana no período descarga mínima foi de 6,09 e na máxima de 6,50, também indicou como um ambiente eutrófico. No FM no período menos chuvoso foi de 5,62 e no mais chuvoso de 5,52 classificando como ambiente mesotrófico (Figura 8). Desta forma não foi observada variação sazonal nos resultados do TRIX nos locais estudados, porém o maior valor do índice foi encontrado no FL, pois neste local a influência antrópica é mais evidente que no FM, pois a cidade fica situada frente ao FL diferente no FM. Apesar de que para cada área estudada em relação a sazonalidade foi encontrado o mesmo nível trófico, porém apenas o FL apresentou diferença significativa nas médias (teste t; $p < 0.05$) indicando uma variação nas estações seca e chuvosa.

Figura 10: Distribuição dos valores do índice TRIX na Plataforma Continental do Amazonas, em Vigia – Furo da Laura e Curuçá – Furo do Muriá.



Com isso o alto valor do TRIX para o FL está relacionado ao efluente gerado pelo esgoto doméstico, indústria de pescado e geleiras presente na cidade onde não apresentam tratamento e descartam diretamente no FL. Bentes e Barbosa (2015) também descreveram a descarga de efluentes no FL, e acrescentaram a falta da mata ciliar, decorrente do desmatamento ao redor do furo, devido a urbanização.

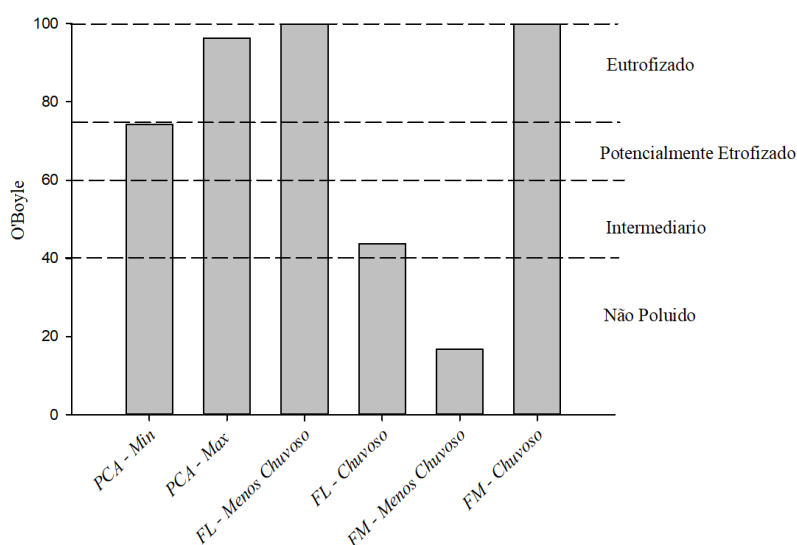
A influência da ação antrópica e conseqüentemente altos valores do TRIX em períodos sazonais distintos também foi descrita por Monteiro et al. (2016) e Tavares et al. (2014), nos estuários do Caeté -PA e Potengi – RN.

Na PCA os valores do TRIX confirmaram o que Santos et al. (2008), relataram nesta área, um ambiente eutrófizado devido a presença do pigmento fotossintetizante. No entanto além da clorofila – *a*, fez com que o índice de estado trófico for alto nos dois períodos da descarga do Rio Amazonas, foi a taxa de saturação de oxigênio dissolvido que apresentou valores elevados e com isso representou um peso relevante na formula.

3.3 Índice de O’Boyle

Com relação ao índice de O’Boyle, na PCA foram encontrados valores de 74,26 (máxima descarga) e 96,32 (mínima descarga) indicando um ambiente potencialmente eutrófico e eutrófico, respectivamente. Nos furos foram obtidos no período menos chuvoso e chuvoso os valores de 100 (menos chuvoso) e 43,80 (chuvoso) caracterizando um ambiente eutrófizado e intermediário, respectivamente para o FL, e de 6,73 (menos chuvoso) (despoluído) e 100 (chuvoso) indicando neste furo como um ambiente despoluído e eutrófizado concomitantemente para o FM (Figura 9).

Figura 11: Distribuição dos valores do índice de O’Boyle na Plataforma Continental do Amazonas, em Vigia – Furo da Laura e Curuçá – Furo do Muriá



Ao comparar o índice de O’Boyle com o TRIX foi possível observar que a classificação foi igual para ambos índices apenas na PCA no período de máxima descarga

do rio Amazonas (eutrófizado) e variou um pouco na mínima descarga (potencialmente eutrófizado para O'Boyle e eutrófizado para o TRIX). Essa diferença pode ser explicada pelas variáveis adicionais no TRIX, como por exemplo, os nutrientes e a clorofila *a*.

Para os furos o cenário foi totalmente diferente, onde fica evidente que o TRIX obteve maior variação devido apresentar em sua composição os nutrientes inorgânicos dissolvidos (NID e PID) e por ser calculado pontualmente oscilando de forma diferente para cada furo. Enquanto, o índice de O'Boyle é calculado com a utilização de percentis de 5 e 95% com isso retirando valores discrepantes.

No presente trabalho os furos apresentaram maiores variações de %OD e pH do que na PCA, desta forma é observado ambiente eutrófico. Os valores do pH menores que 7,8 não foram excluídos, conforme descrito na metodologia de O'Boyle, porém em ambientes amazônicos é característica da região, principalmente observado no decorrer do período menos chuvoso.

O aumento do índice de estado trófico no presente trabalho está expresso nas altas concentrações de nutrientes presentes no estuário que pode indicar processos metabólicos e maiores influência antropogênicas o que implicou no aumento da taxa de oxigênio dissolvido devido a produção primária e ação dos ventos nos estuários.

4. CONCLUSÃO

A abordagem conjunta dos índices TRIX e O'Boyle foi considerada satisfatória para os estuários estudados, sendo que cada índice traz informações que complementam um ao outro sobre o que ocorre no ambiente. No entanto o índice TRIX foi considerado o mais aceitável para a caracterização do estado trófico na PCA e FL (Eutrófico) e FM (mesotrófico), onde não mostrou variação sazonal.

Ao contrário do TRIX o O'Boyle apresentou variação sazonal, variando de potencialmente eutrófizado a eutrófico na PCA, eutrófico a intermediário no FL e não poluído a eutrófico no FM. Esta diferença observada nos furos é pela grande variação dos componentes utilizados no índice (taxa de saturação do oxigênio dissolvido e pH).

Os valores da média da temperatura entre os ambientes estudados ficaram próximos, o que ressalta que em ambientes tropicais a temperatura não tem variação acentuada. Em relação a salinidade e o pH as menores médias foram encontradas no FL,

enquanto no FM e na PCA as médias foram próximas, indicando maior influência oceânica para ambos as variáveis (Tabela 2).

Para clorofila – *a* os menores valores médios foram encontrados no FL e PCA e o maior no FM devido à disponibilidade de nutrientes dissolvidos o que favorece a produtividade primária. Contudo, os menores valores da média de OD e %OD foram detectados no FM, o que indica que apesar do aumento da clorofila *a* ocorreu um maior

REFERENCIAS

American Public Health Association - APHA. 1995 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: Library of Congress.

Bentes, L., Barbosa, E.J.S., 2015. Ocupação urbana em “baixadas” na zona costeira do Estado do Pará, caso do igarapé da Rocinha, cidade de Vigia de Nazaré. J. Hist. Geog. Inst. Pará (IHGP) 02, 108–119

Brito, A.C., Quental, T., Coutinho, T.P., Branco, A.M.C., Falcão, M., Newton, A., Icely, J., Moita, T., 2012. Phytoplankton dynamics in southern Portuguese coastal lagoons during a discontinuous period of 40 years: an overview. Estuar. Coast Shelf Sci. 110, 147–156.

Callede, J.; Cochonneau, G.; Alves, F. V.; Guyot, J.-L.; Guimaraes, V. S.; Oliveira, E. D. 2010. The river amazon water contribution to the atlantic ocean. Revue des sciences de l'eau 23

Cardoso, F. F. 2009 Dinâmica da comunidade microfitoplanctônica relacionada com os parâmetros físico-químicos do Estuário do Rio Guajará-Mirim (Vigia-PA). 2009. 76f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará. Belém.

Caruso, G.; Leonardi, M.; Monticelli, L.S.; Decembrini, F.; Azzaro, F.; Cdrisafi, E.; Zappalá, G.; Bermasco, A.; Vizzini, S. 2010. Asseddmnt of the ecological status of transitional Waters in Sicily (Italy): Firt characterisation and classification according to a multiparametric approach. Marine Pollution Bulletin 60, 1682-1690.

Coles, V. J.; Brooks, M. T.; Hopkins, J.; Stukel, M. R.; Yager, P. L.; Hood, R. R. 2013. The pathways and properties of the amazon river plume in the tropical north atlantic ocean. Journal of Geophysical Research: Oceans, Wiley Online Library, 118, 6894–6913.

Costa, B. O. 2010. Variação nictemeral do microfitoplâncton em um Estuário do Nordeste Paraense, Brasil. 2010. 102f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará. Belém,

Cotovicz Junior, L. C.; Brandini, N.; Knoppers, B. A.; Souza, W. F. L.; Medeiros, P. R. P. 2012. Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do

Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL). *Geochemistry Brasiliensis*, 26, 2-12.

Cutrim, M. V. J.; Ferreira, F. S.; Santos, A. K. D.; Cavalcanti, L. F.; Araújo, B. O.; Azevedo-Cutrim A. C. G.; Furtado, J. A.; Oliveira, A. L. L. 2018. Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. *Estuar. Coast Shelf Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.013>.

Dai, A.; Trenberth, K. E. 2002. Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *Journal of hydrometeorology* 3, 660–687.

DeMaster, D. J.; Pope, R. H. 1996. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDs. *Continental Shelf Research*. Oxford.16, 263- 289.

Edmond, J. M.; Boyle, E. A.; Grant, B.; Stallard, R. F. 1981. Chemical mass balance in the Amazon Plume I: The nutrients. *Deep Sea Research Part A.Oceanographic*, 28, 1339- 1374.

El-Robrini, M.; Alves, M.A.M.S.; Souza Filho, P.W.M.; El-Robrini, M.H.S.; Silva Júnior, O.G. & França, C.F. 2006. Atlas de erosão e progradação da zona costeira do Estado do Pará – Região Amazônica: Região oceânica e estuarina. *In: Muehhe, D. (Ed.). Atlas de Erosão e Progradação da Zona Costeira Brasileira*. São Paulo, p. 1-34.

Ferreira J. G.; Bricker S. B.; Simas T. C. 2007. Application and sensitivity testing of an eutrophication assessment method on coastal systems in the United States and European Union. *Journal of Environmental Management*, 82, 433-445.

Ffield, A. 2007. Amazon and Orinoco River plumes and NBC Rings: Bystanders or participants. *J. Climate*, 20, 316-333.

Figueiredo, J.A.; Muniz, K.; Macêdo, S.J.; Flores Montes, M.J.; Feitosa, F.A.N. 2006. Hidrologia e biomassa fitoplanctônica nas barras Orange e Catuama (canal de Santa Cruz), em Itamaracá-PE: variação nictemeral. *Arquivos de Ciências do Mar*. Fortaleza – CE, 39, 5-17.

Fiori, E. Zavatarelli, M.; Pinardi, N.; Mazziotti, C.; Ferrari, C. R. 2016. Observed and simulated trophic index (TRIX) values for the Adriatic Sea basin. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 2043–2054.

Fisch, G.; Marengo, J.A.; NOBRE, C.A. 1998. Uma revisão sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*. 28, 101-126.

Flagg, C. N.; Gordon, R. L.; MCDowell, S. 1986. “Hydrographic and Current Observations on the Continental Slope and Shelf of the Western Equatorial Atlantic”. *Journal of Physical Oceanography*.16, 1412–1429,

Fournier, S.; Chapron, B.; Salisbury, J.; Vandemark, D.; Reul, N. 2015. Comparison of spaceborne measurements of sea surface salinity and colored detrital matter in the amazon

plume. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Wiley Online Library, 120, 3177–3192.

Geyer, W.R.; Beardsley, R.C.; Lentz, S.J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W.E.; Castro, B.M.; Soares, I.D. 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*.16, 575-616.

Gibbs, R. J. 1972. Water chemistry of the Amazon River. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36, 1061 - 1066.

Giovanardi, F.; Vollenweider, R. A. 2004. Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology*. 63, 199-218.

Goes, J. I.; Gomes, H. R.; Chekalyuk, A. M.; Carpenter, E. J.; Montoya, J. P.; Coles, V. J.; Yager, P. L.; Berelson, W. M.; Capone, D. G.; Foster, R. A.; Steinberg, D. K.; A. Subramaniam; Hafez, M. A. 2014. Influence of the Amazon River discharge on the biogeography of phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. *Progress in Oceanography* 120 29–40.

Grasshoff, F. K.; Ehrhard T. M.; Kremling, K. 1983. *Methods of Seawater Analysis*. Nova Iorque: Verlag Chemie.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electr.* 4, 1-9.

Howarth, R., Marino, R., 2006. Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystem: evolving views over three decades. *Limnol. Oceanogr.* 51, 364–376. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0364.

Hu, C.; Montgomery, E. T.; Schmitt, R. W.; Muller-Karger, F. E. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observation from space and S-PALACE floats. *Deep-Sea Research II* 51 (2004) 1151–1171

Isaac, V. J. & Ferrari, S. F. 2017. Assessment and management of the North Brazil Shelf Large Marine Ecosystem. *Environmental Development*. 22, 97–110.

Jayachandran, P. R.; Bijoy Nandan, S. 2012. Assessment of trophic change and its probable impact on tropical estuarine environment the Kodungallur-Azhikode estuary, India). *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 17, 837–847.

Karydis, M. 2009. Eutrophication Assessment of coastal waters based on indicators: A Literature Review *Global NEST Journal*. 11, 373-390,

Legendre, P., Legendre, L., 1998. *Numerical Ecology*, second ed. Elsevier Science, Amsterdam.

Lentz S.J.; Limeburner R. 1995 The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. *Journal of Geophysical Research*, 100, 2355–2376.

Levine, A. F. Z. & McPhaden, M. J. 2016 How the July 2014 easterly wind burst gave the 2015–2016 El Niño a head start. *Geophysical Research Letters*. 43, 6505-6510.

Lira, S. R. B.; Ribeiro, I. S.; Branco, J. L. M.; Marques, J. A. A.; Torres, M. A. S. F.; Piedade, S. C. M. 1989. f. 116. A pesca no Pará: a sócio-economia da fauna acompanhante do camarão na Costa Norte do Brasil e a comercialização da pesca artesanal em Belém, Vigia e Bragança. Belém: IDESP.

Mácola, G. & M. EL-Robrini, 2004. Ilha dos guarás (Mariteua) – Município de curuçá (NE do Pará): aspectos físicos, meteorológicos e oceanográficos. Companhia Docas do Pará – CDP (Relatório Final - Cartografia, Hidrografia e Digitalização – CHD & Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros – GEMC), Belém.

Müller-Karger, R F. E.; MCCLAIN, C. R.; Richardson, P. L. 1988. The dispersal of the Amazon's water. *Nature*, 333, 56–69.

Marengo, J. A. 1992. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*. 12, 853–863.

Molleri, G. S.; Novo, E. M. M.; Kampel, M. 2010. Space-time variability of the Amazon river plume based on satellite ocean color. *Continental Shelf Research*, 30, 342–352, 2010.

Monteiro, M. C.; Jiménenez, J. A. Pereira, L. C. C. Natural and human controls of water quality of Amazon estuary (Caeté-PA, Brazil). ***Ocean & Coastal Management***, v. 124, p. 42-52. 2016.

Nittrouer, C. A.; DeMaster, D. J.; Figueido, A. G.; Rine, J. M. 1991 AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, Oxford, 4,.3-7.

Nasrollahzadeh H.S.; Din Z.B.; Foong S.Y.; Makhloogh A. 2008. Trophic status of the Iranian Caspian Sea based on water quality parameters and phytoplankton diversity. *Continental Shelf Research*, 28, 1153-1165.

O'Boyle, S.; MCDermott, G.; Noklegaard, T. Wilkes, R. F. 2013. A Simple Index of Trophic Status in Estuaries and Coastal Bays Based on Measurements of pH and Dissolved Oxygen. *Marine Pollution Bulletin*. 58, 1657-1663.

Paiva, R. S. Parâmetros físicos, químicos, biomassa e produção primária do fitoplâncton na Plataforma Continental Amazônica. 2001. 153 f. -Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Palma, J. J. C. 1979. Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. In: Projeto-Remac (Ed.). Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes: PETROBRAS. Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira, 7, ,29-51.
- Penna, N.; Capellacci, S.; Ricci, F. 2004. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 321–326.
- Peres-Neto, P.R., Jackson, D.A., Somers, K.M., 2003. Giving meaningful interpretation to ordination axes: assessing loading significance in principal component analysis. *Ecology* 84, 2347-2363.
- Peres-Neto, P.R., Jackson, D.A., Somers, K.M., 2005. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Comput. Stat. Data Anal.* 49, 974-997.
- Probst, J. L. 1992. Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale: mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d' années. *Science Géologiques Bulletin*, Strasbourg, 94, 1-161.
- Protazio, L.; Tanaka, S. M. C. N.; Cavalcante, P. R. S. 2004. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento, *Revista Analítica*, 8, 35-41.
- Ranieri, L.A. & El-Robrini, M. 2016. Quantificação de sedimentos transportados por correntes nas praias oceânicas de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Geociências*. UNESP, São Paulo. 35, 457-471.
- Richardson, P. L.; Reverdin, G. 1987. Seasonal cycle of velocity in the atlantic north equatorial countercurrent as measured by surface drifters, current meters, and ship drifts. *Journal of Geophysical Research*, American Geophysical Union (AGU), 92, C4, 3691.
- Strickland, J. D. H; Parsons, T. R. 1972 *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Bull. Fish. Res. Bd. Canada 767. 311
- Salas, F.; Teixeira, H.; Concepción, M.; 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). *Journal of Marine Science*, 65 1442-1448.
- Sanfilippo, M.; Capillo, G.; Spanò, N.; Manganaro, A. 2016. Evaluation of Water Variables in No-Take Zone of Ustica Marine Protected Area (Southern Tyrrhenian Sea). *Braz. Arch. Biol. Technol.* 59, 160330.
- Santos, M. L. S., Muniz, K.; Neto, B. B.; Feitosa, F. A. N. 2007. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas. *Química Nova*, 3, 569-573.

- Santos, M. L. S.; Medeiros, C.; Muniz, K.; Feitosa, F. A. N.; Schwamborn, R.; Macêdo, S. J. 2008. Influence of the Amazon and Pará Rivers on Water Composition and Phytoplankton Biomass on the Adjacent Shelf. *Journal of Coastal Research, Florida*, 24, 585–593.
- Silva, A. C.; Araújo, M.; Bourles, B 2004. Variabilidade Sazonal da Estrutura de Massas de Água na Plataforma Continental do Amazonas. **Revista Brasileira de Geofísica**, 23, 145-157.
- Silva, A. C.; Santos, M. L. S.; Araujo, M. C.; Bourlès, B. 2009. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. *Acta Amazônica*, 39, 361-370.
- Sorribas, M. V.; Paiva, R. C.; Melack, J. M.; Bravo, J. M.; Jones, C.; Carvalho, L.; Beighley, E.; Forsberg, B.; Costa, M. H. 2016. Projections of climate change effects on discharge and inundation in the amazon basin. *Climatic change, Springer*, 136, 555–570.
- Subramaniam, A.; Yager, P. L.; Carpenter, E. J. Mahaffey, Bjorkman, C. K.; Cooley, S.; Kustka, A. B.; Montoya, J. P.; Sañudo-Wilhelmy, S. A.; Shipe, R.; Capone, D. G. 2008 Amazon River enhances diazotrophy and carbon sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. ,105, 10460 –10465.
- Teixeira, C. 1973. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. *Bol. Inst. Oceanog. São Paulo*, 22, 59-92.
- Tavares, J. L.; Calado, A. L. A.; Fontes, R. F. C. Estudos iniciais para o uso do índice TRIX para análise de nível de eutrofização no do rio Potengi –Natal- RN- Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 3, 297-308. 2014.
- UNESCO. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water: Report of SCOR/UNESCO, working group 17 with meat from to 6 June 1964. Paris, 69 (Monographys on Oceanography Methodology, 1).
- UNESCO. 1973. International Oceanographic Tables. Wormly, 2 141.
- Vargas-González, H. H.; Arreola-Lizárraga, J. A.; Mendoza-Salgado, R. A.; Méndez-Rodríguez, L. C.; Lechuga-Deveze, C. H.; Padilla-Arredondo, G.; Cordoba-Matson, M. 2014. Effects of Sewage Discharge on Trophic State and Water Quality in a Coastal Ecosystem of the Gulf of California. *The Scientific World Journal*, 7.
- Vollenweider R.A. 1992 Coastal marine eutrophication: principles and control. In: Vollenweider RA, Marchetti R, Viviani R, editors. *Marine coastal eutrophication*. London: Elsevier, P1-20.
- Vollenweider, R. A.; Giovanardi, E.; 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, 329–357.

Xie, S.-P.; Carton, J. A. 2004 Tropical atlantic variability: Patterns, mechanisms, and impacts. *Earth Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, Geophys. Monogr, 147, 121–142.

Yoon, J.-H.; Zeng, N. 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics* 34: 249-264. DOI 10.1007/s00382- 009-0551-6.

ANA-(<http://hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=00048006&CriaArq=true&TipoArq=1>)

(<http://hidroweb.ana.gov.br/Estacao.asp?Codigo=00047003&CriaArq=true&TipoArq=1>).

IMET-

(http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt.php?&mRelEstacao=82141&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=01/09/2011&mRelDtFim=30/07/2012&mAtributos=,,,,,,,,,,,,,1,)

(http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt.php?&mRelEstacao=82141&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=01/01/2015&mRelDtFim=31/12/2015&mAtributos=,,,,,,,,,,,,,1,).