



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

JÚLIO CESAR CÂNDIDO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO EM ESTUÁRIOS COM DIFERENTES NÍVEIS
DE IMPACTO ANTRÓPICO NO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO (BRASIL)**

Recife
2021

JÚLIO CESAR CÂNDIDO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO EM ESTUÁRIOS COM DIFERENTES NÍVEIS
DE IMPACTO ANTRÓPICO NO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO (BRASIL)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Oceanografia da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para a obtenção do
grau de Bacharel em Oceanografia.

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

Coorientador: Dra. Rysoauria Keyla Travassos.

Dr. Bruno Varella Mota da Costa.

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S586a Silva, Júlio Cesar Cândido da.
Avaliação do estado trófico em estuários com diferentes níveis de impacto antrópico no litoral sul de Pernambuco (Brasil) / Júlio Cesar Cândido da Silva. – 2021.
46 f.: il., fig., tabs., abrev., sigl.

Orientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes.
Coorientadora: Dra. Rysoauria Keyla Travassos.
Coorientador: Dr. Bruno Varella Mota da Costa.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Oceanografia, Recife, 2021.
Inclui referências e apêndices.

1. Oceanografia. 2. Índice TRIX. 3. Ambientes estuarinos. 4. Nutrientes.
5. Matéria orgânica. 6. Qualidade ambiental. I. Flores-Montes, Manuel de Jesus (Orientador). II. Travassos, Rysoauria Keyla (Coorientadora). III. Costa, Bruno Varella Mota da (Coorientador). IV. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-101

JÚLIO CESAR CÂNDIDO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO EM ESTUÁRIOS COM DIFERENTES NÍVEIS
DE IMPACTO ANTRÓPICO NO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO (BRASIL)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovado em: 10/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Carlos Esteban Delgado Noriega (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Msc. Brenno Januario da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho de conclusão de curso à Marina Maria Silva, minha avó.

AGRADECIMENTOS

Para chegar até o final do curso se passaram longos cinco anos, nos quais inúmeras pessoas contribuíram na minha formação, tanto acadêmica, quanto humana, aprendi que a universidade é mais que um simples ambiente educativo, mas na verdade, ela representa uma casa, com uma grande família que busca a formação e o crescimento de uma nação mais tecnológica e fortalecida.

Sem essas pessoas, a minha caminhada seria ainda mais difícil, com eles pude dividir o fardo da mudança de cidade, preocupações e formar planos para o futuro.

Desta forma eu gostaria de agradecer a minha família, os quais depositaram confiança em mim, me ajudando na árdua caminhada com conselhos, auxílio financeiro e amor. Em especial, agradeço a minha mãe, Sheila Marina Silva, minha melhor amiga e fonte de inspiração para almejar um futuro melhor, ao meu pai, Joseilton Cândido da Silva, minha avó, Marina Maria Silva e a minha tia, Marli Marina Silva, que durante anos me apoiou na minha estadia na cidade do Recife.

Aos meus companheiros de curso e profissão, os meus amigos, Lucas Inácio e Matheus Thauam, que me ajudaram desde meu primeiro momento dentro da Universidade Federal de Pernambuco. Agradeço a Flávio Carvalho, que tenho a honra de dividir a mesma casa, compartilhar de boas conversas e tornar a residência estudantil um local de melhor vivência. Erick Gomes de Freitas, que diariamente alegra meus dias com boas conversas e me proporciona diversos momentos de alegria com sua amizade e aos meus parceiros de conversas, risadas e irmandade, Yasmin Marques, Davi Pinheiro e Gustavo Jannuzzi, meus sinceros agradecimentos e carinho.

Meus agradecimentos são também direcionados ao meu orientador Manuel de Jesus Flores-Montes, pela confiança e disponibilidade de sempre ajudar naquilo que requisitei. Aos meus coorientadores e amigos, Keyla Travassos e Bruno Motta, que nunca mediram esforços para me ajudar, boa parte de meu conhecimento é produto de seus ensinamentos, e o profissional que me torno é reflexo de suas instruções.

Por fim, agradeço a Deus, que na sua infinita misericórdia, tem me ajudado a caminhar até aqui, me dando sabedoria e boas energias sobre minha vida.

RESUMO

Os estuários possuem grande potencial produtivo pelo grande aporte de matéria orgânica e de nutrientes disponíveis no ambiente, quando associados à disponibilidade de oxigênio na coluna de água, esses agentes auxiliam os organismos a realizarem seus processos metabólicos, desta forma aumentando a produtividade local, no entanto, sofrem vários tipos de impactos a partir de atividades antrópicas, como o lançamento de esgoto bruto e uso indevido do solo. O presente trabalho consiste em uma avaliação dos nutrientes e determinação do estado trófico em quatro sistemas estuarinos localizados no litoral sul de Pernambuco (Brasil). Os ambientes avaliados foram o rio Jaboatão, rio Ipojuca, rio Sirinhaém e o rio Formoso. Duas coletas foram realizadas no ano de 2021, nos meses de Março e Julho, entre os períodos da maré baixa e alta, com 2 a 3 pontos nos estuários em estudo. Pôde-se quantificar os valores para fósforo inorgânico dissolvido (PO_4^{3-}), silicato ($\text{Si}(\text{OH})_4$), amônio ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), assim como para oxigênio dissolvido (OD), material particulado em suspensão (MPS), potencial hidrogeniônico (pH) e determinou-se o índice do estado trófico, classificando a qualidade do corpo hídrico. O estuário do rio Jaboatão foi o mais impactado, possivelmente pela alta densidade populacional nas suas áreas circunvizinhas, seguido do rio Ipojuca, que é tido como o quinto rio mais poluído do Brasil na atualidade, sofre impactos ao longo de sua bacia hidrográfica. Enquanto os sistemas estuarinos dos rios Formoso e Sirinhaém apresentaram similaridade nos resultados do índice TRIX, sendo observado no período de maior precipitação uma melhor qualidade destes corpos hídricos, onde próximo a jusante estes sistemas estuarinos foram classificados como de alta qualidade e oligotrófico.

Palavras-chave: índice TRIX; ambientes estuarinos; nutrientes; matéria orgânica; qualidade ambiental.

ABSTRACT

Estuaries have great productive potential due to the large contribution of organic matter and nutrients available in the environment, when associated with the availability of oxygen in the water column, these agents help organisms to carry out their metabolic processes, thus increasing local productivity, however, suffer various types of impacts from human activities, such as the release of raw sewage and misuse of the soil. The present work consists of an assessment of nutrients and determination of trophic status in four estuarine systems located on the southern coast of Pernambuco (Brazil). The evaluated environments were the Jaboatão River, Ipojuca River, Sirinhaém River and Formoso River. Two collections were carried out in 2021, in the months of March and July, between the periods of low and high tide, with 2 to 3 points in the estuaries under study. It was possible to quantify the values for dissolved inorganic phosphorus (PO_4^{3-}), silicate (Si(OH)_4), ammonium ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$), nitrite (NO_2^-) and nitrate (NO_3^-), as well as for dissolved oxygen (DO), suspended particulate matter (SPM), hydrogen potential (pH) and the trophic state index was determined, classifying the quality of the water body. The Jaboatão River estuary was the most impacted, possibly due to the high population density in its surrounding areas, followed by the Ipojuca River, which is currently considered the fifth most polluted river in Brazil, and suffers impacts along its hydrographic basin. While the estuarine systems of the Formoso and Sirinhaém rivers showed similarity in the results of the TRIX index, being observed in the period of greater precipitation a better quality of these water bodies, where near downstream these estuarine systems were classified as high quality and oligotrophic.

Keywords: TRIX index; estuarine environments; nutrients; organic matter; environmental quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da área de estudo adaptado de CPRH, 2001, em que A) rio Jaboatão, B) rio Ipojuca, C) rio Sirinhaém e D) rio Formoso.....	19
Figura 2 – Precipitação mensal de 2021 e média dos últimos 30 anos em mm por mês do ano.....	20
Figura 3 – Gráficos de Material Particulado em Suspensão para os diferentes estuários estudados.....	25
Figura 4 – Gráficos de NID para os diferentes estuários estudados.....	27
Figura 5 – Gráficos para Silicato nos estuários estudados.....	28
Figura 6 – Gráficos para Fósforo inorgânico dissolvido nos estuários estudados.....	31
Figura 7 – Valores de máximos e mínimos para o TRIX em cada um dos sistemas estuarinos.....	33
Figura 8 – Gráfico dos componentes principais PC1 e PC2.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do índice TRIX.....	22
Tabela 2 - Médias, desvio padrão, máximos e mínimos dos parâmetros Abióticos.....	23
Tabela 3 – Fatores da análise de componentes principais dos quatro sistemas estuarinos avaliados.....	36
Tabela 4 – Os fatores que mais se correlacionam com a pluviosidade, utilizando a correlação de Pearson.....	36
Tabela 5 – Apêndice A - Dados de coleta.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

E	Evaporação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MO	Matéria Orgânica
MOD	Matéria Orgânica Dissolvida
MOP	Matéria Orgânica Particulada
MPS	Material particulado em suspensão
ND	Não detectável
OD	Oxigênio dissolvido
P	Precipitação
PCA	Análise dos componentes principais
pH	Potencial hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	ESTUÁRIOS: FORMAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	13
2.2	PARÂMETROS ABIÓTICOS DAS ÁGUAS ESTUARINAS	15
2.3	IMPORTÂNCIAS DOS ESTUÁRIOS	16
2.4	INTERFERÊNCIAS ANTRÓPICA	17
3	OBJETIVOS	18
3.1	OBJETIVO GERAL	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4	MÉTODOS	18
4.1	ÁREA DE ESTUDO	19
4.2	COLETAS DE AMOSTRAS	20
4.3	SONDA MULTIPARAMÉTRICA	21
4.4	DETERMINAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E ANÁLISE DE NUTRIENTES	21
4.5	COLORÍMETRO - A	21
4.6	ÍNDICE TRIX	21
4.7	ESTATÍSTICA	22
4.8	NORMATIZAÇÕES DO TEXTO	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	23
5.2	MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO	25
5.3	NITROGÊNIO INORGÂNICO DISSOLVIDO	26
5.4	SILICATO	28
5.5	FOSFATO	29
5.6	ÍNDICE TRIX	32
5.7	ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS	34
5.8	TESTES ESTATÍSTICOS	36
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE A – DADOS DE COLETA	44

1 INTRODUÇÃO

As zonas estuarinas são essenciais para a manutenção de muitas espécies, tais como, peixes, mamíferos, aves e entre outros organismos que dependem delas para viver, alimentar-se e reproduzir-se (NANNI, 2005). Os ecossistemas estuarinos são altamente dinâmicos e possuem diferentes fontes de matéria orgânica (MO), nitrogênio e fósforo, que são nutrientes essenciais para produtividade primária (TAILLARDAT *et al.*, 2020). A Matéria Orgânica chega até os estuários por fontes autóctones primária (e.g., restos de macrófitas aquáticas e fitoplâncton), alóctones primária (e.g., folhas, flores, frutos, etc.) e antrópica (esgoto urbano, atividade industrial, agropecuária, etc.) (POMPÊO, 1999).

Taillardat (2020) diz que, as localidades a montante dos estuários tendem a receber fontes de nutrientes provindos do esgoto urbano, dada a proximidade com aglomerados urbanos de alta densidade. No entorno dos estuários está situado o ecossistema de manguezal, este ambiente proporciona serviços ecossistêmicos importantes para manutenção da vida humana que habita em torno dele, podemos listar a estabilidade da temperatura, proteção contra eventos climáticos extremos, atividades lazer, prática de esportes, turísticas e religiosas (ATLAS DOS MANGUEZAIS DO BRASIL, 2018). Este ambiente altamente dinâmico é onde se processa o carbono orgânico (CO) e os nutrientes que foram transportados pelos rios até o estuário, resultando em fluxos de cerca de dois terços do CO terrestre (CAI, 2011). O excesso de nutrientes e MO provinda de forma natural, quando somadas as atividades antrópicas, podem resultar na eutrofização dos ambientes aquáticos (ABREU *et al.*, 2006).

Com o aumento populacional e o uso contínuo dos corpos hídricos em diversas atividades diárias, sejam elas, domésticas, industriais ou agrícolas, o despejo de nitrogênio e fósforo, somados a questão de luminosidade enriquece o estuário (SMITH; SCHINDLER, 2009). Esse somatório de fatores causa a eutrofização do ambiente, podendo resultar na perda da qualidade da água alterando sabor, odor e turbidez, bem como na redução do oxigênio dissolvido (OD) e provoca o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas (BARRETO *et al.*, 2013).

As regiões estudadas são de alta importância socioeconômica pela proximidade com o complexo portuário governador Eraldo Gueiros (SUAPE), inúmeras zonas de engenho, com plantio da monocultura de cana-de-açúcar, além da alta

demanda turística anual, que vem atraída pelas belezas cênicas naturais que o ambiente proporciona. Este trabalho objetiva avaliar a qualidade dos corpos d'água em quatro importantes sistemas estuarinos do litoral sul pernambucano (Brasil), são eles, estuário do rio Jaboatão, rio Ipojuca, rio Sirinhaém e o rio Formoso, onde através do índice de estado trófico - TRIX, se buscou respostas para o seguinte questionamento, os estuários estudados encontram-se em diferentes condições de qualidade de água durante meses com diferentes pluviosidades?

Dada a importância socioambiental e econômica das localidades, o presente trabalho foi subdividido em seções como revisão de literatura, onde a leitura de estudos pretéritos sobre as áreas estuarinas foi necessária para determinar os pontos de coleta e os parâmetros a serem utilizados. Neste item se pode observar a importância de cada parâmetro e o motivo de avaliá-lo em nosso trabalho. O item metodologia aborda como as amostras foram coletadas e as análises, tanto laboratoriais, quanto estatísticas, foram efetuadas. No item seguinte, resultados e discussões, os valores quantitativos são avaliados e explicações embasadas no que foi observado na coleta de campo foram determinadas. Por fim, foi possível levantar conclusões sobre a qualidade ambiental e seu índice trófico nos ambientes estudados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta secção é destinada a revisão de pesquisas e discussões sobre os ambientes estuarinos estudados, na qual se aborda os estuários: formação e classificação (2.1), os parâmetros abióticos das águas estuarinas (2.2), a importância dos estuários (2.3) e as interferências antrópicas (2.4) que afetam esses ecossistemas aquáticos.

2.1 ESTUÁRIOS: FORMAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Os ambientes costeiros estão sujeitos a maiores condições energéticas na superfície da terra, onde normalmente os estuários ocupam áreas expostas a estas ações marinhas (PERILLO, 1995). O termo estuário deriva do latim *aestuarium*, que significa maré ou onda abrupta de grande altura (MIRANDA *et al.*, 2002). Baptista Neto (2002) diz que esses ecossistemas são recentes na escala de tempo geológica,

considerando-os de vida efêmera, sendo produtos da transgressão marinha flandriana, que ocorreu no período do Holoceno a cerca de 6.000 A.P. (CUNHA, 2009).

Estuários são considerados corpos de água costeiros, parcialmente fechados, e que possuem contato contínuo ou periódico com regiões marinhas, por outro lado, recebem descargas frequentes de águas de origem fluvial (WHITFIELD; ELLIOTT, 2012), tendo assim águas mensuravelmente diluídas (PRITCHARD, 1967). Podem ser classificados conforme sua geomorfologia de sete formas distintas são elas, (I) Fiordes, (II) Rias, (III) Planícies costeiras, (IV) Deltaicos, (V) De restinga, (VI) Estuários cegos, (VII) Origem tectônica (WOODROFFE, 2002). A zona costeira do Estado de Pernambuco apresenta 15 regiões estuarinas, que são caracterizadas em quatro diferentes tipos de estuários, Planície costeira, formado por barras e por outros processos (SILVA *et al.*, 2011).

O sistema estuarino do rio Jaboatão foi formado por inundação de vale primitivo, contudo, a sedimentação recente ocasionou a formação de barras em sua foz (SILVA *et al.*, 2011). O estuário do rio Ipojuca é caracterizado como uma laguna costeira estuarina, onde o termo “estuarino” é necessário para conotar o aporte fluvial que há para o ambiente (SILVA *et al.*, 2011). Na classificação de Kjerfve (1994) laguna costeira são sistemas marinhos rasos, geralmente orientados paralelamente à costa, separados do oceano por uma barreira, interligado, pelo menos intermitentemente, ao oceano por um ou mais canais. Já os ambientes estuarinos dos rios Sirinhaém e Formoso encontram-se nas planícies costeiras que se formaram durante a transgressão marinha no Holoceno, inundando os vales dos rios (SILVA *et al.*, 2011).

Em um sistema estuarino algumas variáveis são importantes para se entender a circulação do ambiente, entre elas, (I) a geomorfologia, (II) o balanço de precipitação, (III) estratificação e circulação característica das águas (IV) competição entre o fluxo de maré e a descarga do rio, zoneando o estuário (VALLE-LEVINSON, 2011). O limite de um estuário é dado pela intrusão da água salgada ou pelo ponto de máxima influência oscilatória da dinâmica intermareal (WOODROFFE, 2002). Com base nisso, o sistema estuarino pode ser dividido em três zonas, (I) zona estuarina fluvial ou cabeça do rio (salinidade abaixo de 1), (II) Zona estuarina média (salinidade entre 1 a 35) e a (III) zona estuarina costeira ou desembocadura (similar a regiões oceânicas, com salinidade acima de 35) (BAPTISTA NETO, 2004).

2.2 PARÂMETROS ABIÓTICOS DAS ÁGUAS ESTUARINAS

Alguns parâmetros físico-químicos da água são fundamentais para a análise dos ambientes estuarinos. São eles: Temperatura, Salinidade, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), saturação do oxigênio.

A temperatura é medida em graus Celsius, ela afeta as propriedades físicas e químicas da água. Os hábitos alimentares, reprodutivos e as taxas metabólicas dos organismos aquáticos também sofrem alterações decorrentes das variações de temperatura (SEDUC, 2011).

A distribuição da salinidade na região varia com o tempo, em função da quantidade de água doce acumulada. Médias mensais de salinidade devem de uma forma geral, acompanhar as variações dos índices mensais de precipitação menos evaporação (P-E). No entanto, variações de curto período nos índices de precipitação e descarga de água doce devem ter efeito significativo nos índices diários de salinidade. (MIYAO, 1986).

Os estuários possuem uma variação de salinidade que ocorre em decorrência a sua localização transicional entre as águas doces costeiras e as salinas marinhas, o que denominamos de águas salobras (salinidade entre 0,5 a 30 gramas de sal por litro) (SCHMIDT-NIELSEN, 1996), o que se torna uma barreira para muitos organismos, que não suportam a amplitude de salinidade do ambiente, a estas espécies denominamos estenoalinas, já que as que suportam essa maior amplitude de salinidade, chamamos de eurialinas. (PIECHNIK, 2006)

O pH indica se uma solução líquida é ácida ($\text{pH} < 7$, a $25\text{ }^\circ\text{C}$), neutra ($\text{pH} = 7$, a $25\text{ }^\circ\text{C}$), ou básica/alcalina ($\text{pH} > 7$, a $25\text{ }^\circ\text{C}$). Uma solução neutra só tem o valor de $\text{pH} = 7$, a $25\text{ }^\circ\text{C}$, e que varia conforme a temperatura (CETESB, 2016).

O oxigênio dissolvido representa a quantidade de oxigênio molecular (O_2) dissolvido na água. Expresso, geralmente, em mg L^{-1} ou porcentagem de saturação em uma dada temperatura e pressão. Provém naturalmente de processos de dissolução/aeração das águas e como produto da reação de fotossíntese. Varia em função da temperatura e salinidade da água e da pressão atmosférica. Reduções significativas nos teores de OD podem ser provocadas por despejos de origem orgânica (esgotos e alguns efluentes industriais) e/ou com elevada temperatura, que pode diminuir a solubilidade do oxigênio na água. (FIORUCCI E FILHO, 2005).

Outro importante fator que podemos citar é a procedência das formas de carbono, segundo Bianchini Jr. (1999), existem cinco fontes principais para os ambientes aquáticos, sendo elas, (I) compostos orgânicos de origem alóctone; (II) material orgânico originado da decomposição dos organismos aquáticos; (III) metabólitos extracelulares ou fotossintetizados excretados pelo fitoplâncton; (IV) metabólitos extracelulares ou fotossintetizados excretados pelas macrófitas aquáticas da zona litoral e (V) excreção da fauna.

A matéria orgânica alóctone chega ao estuário pela descarga fluvial, águas subterrâneas e pela corrente de maré na forma de produtos de decomposição de organismos vivos, excretas de animais, produção primária e atmosférica (RESENDE, 2015)(WENG *et al.*, 2018). A precipitação através do processo de lixiviação também é um agente que transporta MO alóctone, carregando para o rio a MO vegetal de folhas e frutos (BIANCHINI Jr., 1999).

Enquanto que, as fontes autóctones originam-se na própria região estuarina como, por exemplo, a produção primária (RESENDE, 2015). A MO alóctone também pode ser derivada dos aportes antrópicos (ex. escoamento superficial ou lixiviação do solo de áreas agrícolas e urbanas) (SOUZA; PEDROSA, 2019). O processo de degradação da MO ocorre pela ação de organismos microbianos e da ação fotossintética (BIANCHINI Jr., 1999). O produto da degradação da MO é a matéria orgânica dissolvida (MOD), ela ainda libera nutrientes e CO₂ na coluna de água (SOUZA; PEDROSA, 2019).

A matéria orgânica presente nas águas estuarinas pode ser determinada em um filtro com a porosidade entre 0,2 µm a 0,7 µm. Quando a fração que passa pelo filtro é denominada de matéria orgânica dissolvida (MOD), e a matéria orgânica retida denomina-se particulada (MOP) (STEDMON; NELSON, 2015).

2.4 IMPORTÂNCIAS DOS ESTUÁRIOS

Os estuários estão localizados em uma posição chave para a ciclagem dos nutrientes, nessas localidades estão presentes os manguezais, que exercem importantes funções ambientais.

O termo mangue é empregado para designar um grupo floristicamente diverso de árvores tropicais que, embora pertençam a famílias botânicas sem qualquer relação taxonômica entre si, compartilham características fisiológicas similares. As adaptações especiais de que são dotadas permitem que tais espécies cresçam em ambientes abrigados, banhados por águas salobras ou salgadas, com reduzida disponibilidade de oxigênio e substrato

inconsolidado. O termo manguezal ou mangal é usado para descrever comunidades florestais ou o ecossistema manguezal, espaço onde interagem populações de plantas, de animais e de micro-organismos ocupando a área do manguezal e seu ambiente físico (abiótico). (ATLAS DOS MANGUEZAIS DO BRASIL, 2018).

O manguezal provém de uma série de serviços ecossistêmicos necessários para a manutenção do ambiente e que fornecem recursos vegetais e animais para a sociedade, isso ocorre pela alta produtividade encontrada neste ecossistema (GUEDES, 2018). Esses serviços correlacionam-se aos processos relevantes à preservação e/ou conservação, recuperação, uso sustentável, melhoria do meio ambiente e promoção do bem-estar humano, podendo ser afetados pela ação humana (PEIXOTO, 2011).

[...] Estes incluem serviços de produção, como alimento e água; serviços de regulação, como o controle de enchentes, de secas, da degradação dos solos e de doenças; serviços de suporte, como a formação dos solos e os ciclos de nutrientes, e serviços culturais, como recreação, valores espirituais e religiosos e outros benefícios não materiais. (ATLAS DOS MANGUEZAIS DO BRASIL, 2018).

2.5 INTERFERÊNCIAS ANTRÓPICAS

Para estabelecer a manutenção da qualidade ambiental em um sistema estuarino, no Brasil se segue as diretrizes de classificação dos corpos de água, enquadradas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, na resolução 357/05 (ESCHRIQUE *et al.*, 2011). Alguns fatores antrópicos podem influenciar na qualidade do ambiente, são eles:

Efluentes domésticos e resíduos sólidos - por diversas fontes, como por exemplo, indústria e construção civil, que influenciam na paisagem, qualidade do corpo hídrico, na vida da biota local e na utilização da água pela comunidade local (DE PAULA *et al.*, 2011);

Remoção da cobertura vegetal - desencadeia a erosão e o processo de lixiviamento transporta o material erodido para o leito do rio, impedindo a navegabilidade na região estuarina (MARANGONI; COSTA, 2009);

Redução da vazão fluvial - é causada pelo represamento dos rios, interferindo no curso da água e na circulação estuarina, ocasionando a perda da biodiversidade local, declínio da pesca local e intrusão de água salina no ambiente (GENZ *et al.*, 2008);

Atividades econômicas - Perdas de áreas de manguezais para atividades de carcinicultura, agropecuária, principalmente a monocultura da cana de açúcar e atividades turísticas, com a criação de empreendimentos hoteleiros, bares e restaurantes (ROCHA *et al.*, 2001).

3 OBJETIVOS

A secção objetivos é subdividida entre o objetivo geral (3.1), que destina a principal meta do presente trabalho e os objetivos específicos (3.2), que foram os meios utilizados para se alcançar o objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso.

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os valores do estado trófico em quatro estuários, através das concentrações dos nutrientes dissolvidos e alguns parâmetros físicos e químicos, no litoral sul do estado de Pernambuco.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

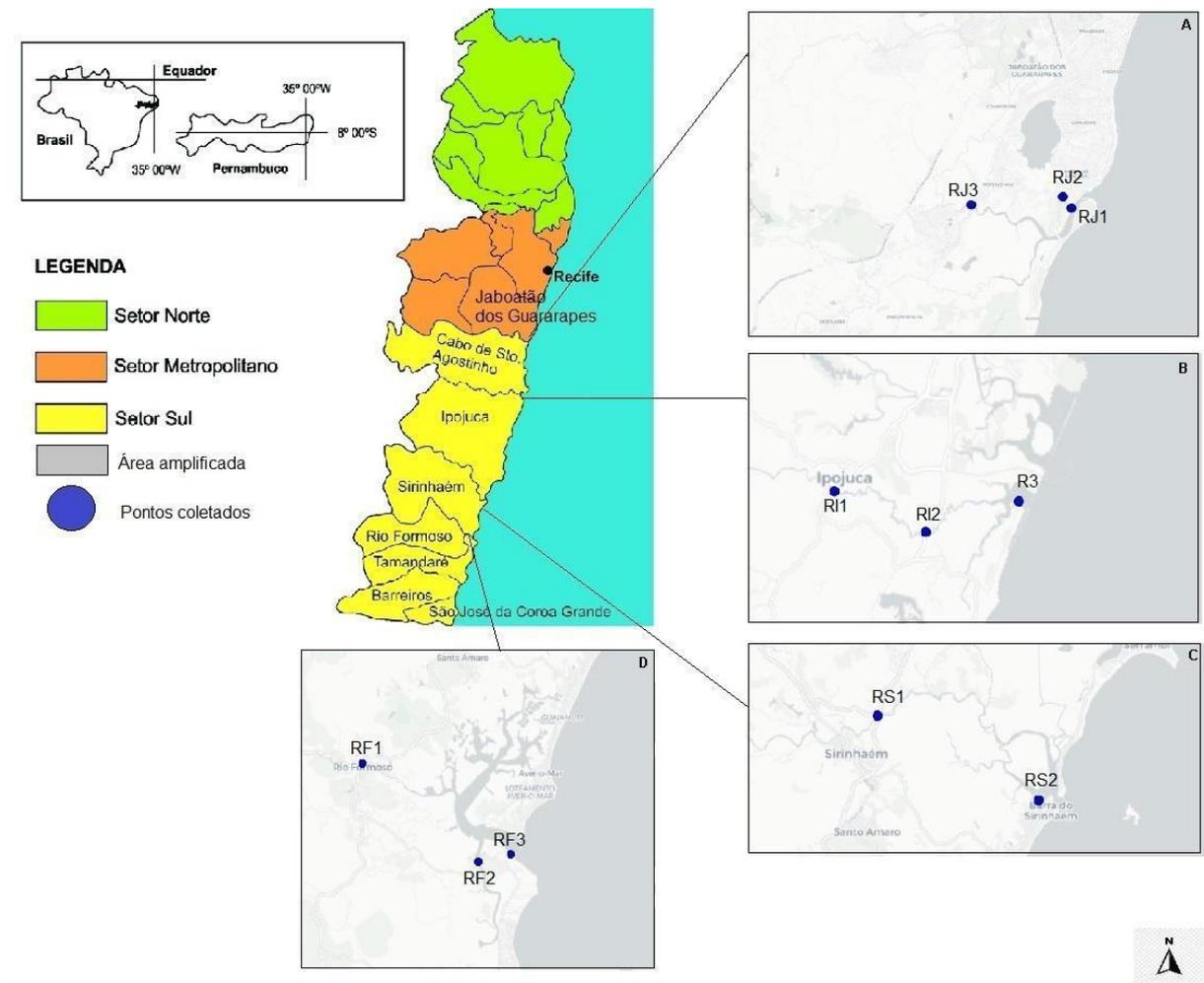
- Quantificar os nutrientes inorgânicos dissolvidos;
- Determinar o material particulado em suspensão;
- Determinar o grau de correlação entre os parâmetros físico e químicos analisados;
- Indicar o índice trófico de cada ambiente estuarino.

4 MÉTODOS

O tópico métodos aborda as áreas e informações importantes dos sistemas estuarinos onde o estudo foi realizado, a quantidade de amostras coletadas (n amostral), as análises laboratoriais efetuadas, os softwares que foram utilizados durante o tratamento de dados, bem como, a normatização da escrita deste trabalho de conclusão de curso.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Figura 1 - Mapa da área de estudo adaptado de CPRH, 2001, em que A) rio Jaboatão, B) rio Ipojuca, C) rio Sirinhaém e D) rio Formoso.



Fonte:

https://www.researchgate.net/publication/319045714_Jogos_geopedagogicos_como_subsidio_a_Geoconservacao_no_litoral_sul_de_Pernambuco_NE_Brasil_uma_proposta

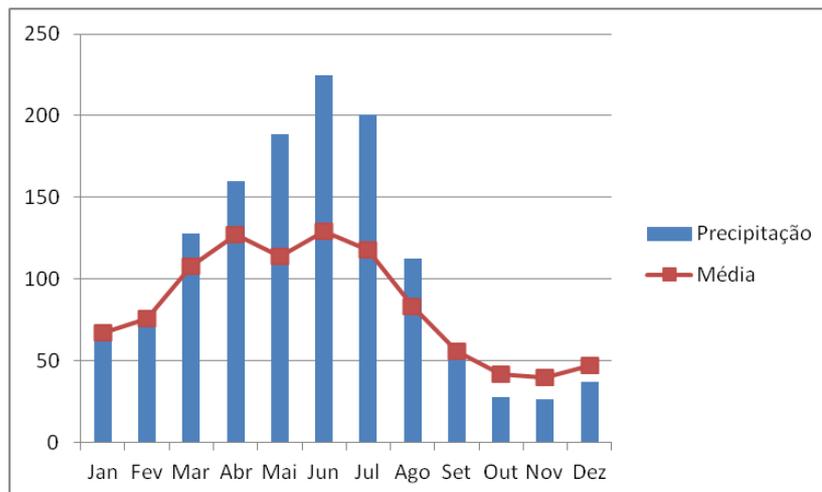
Os pontos foram selecionados e denominados conforme a sequência de coleta e gradiente salino, em função da hidrodinâmica da maré, sendo os próximos a foz no rio Jaboatão (RJ1), rio Ipojuca (RI3), rio Formoso (RF3) e no rio Sirinhaém (RS2). O ponto intermediário no rio Jaboatão (RJ2), rio Ipojuca (RI2), rio Formoso (RF2), no rio Sirinhaém foi impossibilitado de coletar um ponto intermediário pela dificuldade de acesso ao local. No estuário alto do rio Jaboatão (RJ3), rio Ipojuca (RI1), rio Formoso (RF1) e rio Sirinhaém (RS1).

O sistema estuarino do rio Jaboatão tem uma área da bacia hidrográfica total de 442 km², com uma densidade populacional de 2.716,1 habitantes por km². e uma

vazão próximo a foz que quando somada a contribuição recebida do rio pirapama é de 13,84 m³/s. O complexo estuarino do rio Ipojuca possui uma área da bacia hidrográfica total de 3.435 km²; densidade populacional de 180,6 habitantes por km². e uma vazão de 9 m³/s. Enquanto que o estuário do rio Sirinhaém tem uma área da bacia hidrográfica total de 2.091 km², com uma densidade populacional de 124,3 habitantes por km² e uma vazão de 9 m³/s. O rio Formoso faz parte da bacia hidrográfica dos rios Sirinhaém e Una, tido como um dos rios, com uma extensão de 12 Km, sua densidade populacional é de 103,5 habitantes por km² e uma vazão de 6,1 m³/s.

Segundo dados da Agência pernambucana de águas e clima - APAC (2021), foi possível observar a climatologia anual obtida para a região estudada, sendo representada pelo gráfico abaixo.

Figura 2 - Precipitação mensal de 2021 e média dos últimos 30 anos em mm por mês do ano



Fonte: <https://www.apac-homo.pe.gov.br/climatologia/519-climatologia>

4.2 COLETAS DE AMOSTRAS

Duas campanhas de amostragem ocorreram, sendo uma no mês de Março e outra no mês de Julho do ano de 2021. As amostras foram coletadas levando-se em consideração a dinâmica intermareal, onde em um mesmo ponto foi coletado tanto na baixa-mar, quanto na preamar. Todas as amostras foram coletadas em frascos de polietileno previamente limpos e ambientalizados no momento da coleta. No total, 44 amostras foram colhidas, transportadas para laboratório e refrigeradas até o momento de análise.

4.3 SONDA MULTIPARAMÉTRICA

Dados de parâmetros físicos e químicos, tais como, pH, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio dissolvido, temperatura e salinidade foram aferidos *in situ* com o auxílio de uma sonda multiparâmetros modelo AK88.

4.4 DETERMINAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO E ANÁLISE DE NUTRIENTES

No laboratório, as amostras foram filtradas para determinação do material particulado em suspensão, seguindo BAUMGARTEM *et al.* (1996). A fração dissolvida (< 0,47 µm) de cada amostra foi destinada para análise e quantificação das concentrações de nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), amônia (NH₃ + NH₄⁺), fosfato (PO₄³⁻) e silicato (Si(OH)₄). Para determinação do nitrito e nitrato foram empregadas as técnicas descritas por Garcia-Robledo *et al.* (2014), enquanto, para nitrogênio amoniacal foi empregada a metodologia descrita por Bower *et al.* (1980). As análises de fosfato e silicato foram feitas conforme a metodologia descrita por Grasshoff *et al.* (1983).

4.5 CLOROFILA-A

Os dados de clorofila-a foram obtidos através da reanálise do projeto Estudos sobre o ciclo do Carbono Inorgânico Dissolvido em áreas costeiras do Nordeste e Norte do Brasil e sua relação com os processos de acidificação oceânica (DICAM).

4.6 ÍNDICE TRIX

O índice que mede o estado trófico dos sistemas estuarinos segundo a metodologia (VOLLENWEIDER, 1998), classifica a qualidade da água utilizando-se de quatro variáveis, são elas: clorofila-a (Chl-a), saturação de oxigênio dissolvido (OD%), concentração de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e concentração de fósforo inorgânico dissolvido (PID).

$$TRIX = \log \log (Chl - a * OD\% * NID * PID) + k/m$$

Onde:

- Chl-a é a concentração de clorofila a expressa em mg mm^3 ;
- OD% é o valor total de saturação de oxigênio dissolvido no corpo hídrico;
- NID é o somatório dos compostos nitrogenados $\Sigma[\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+] + [\text{NO}_2^-] + [\text{NO}_3^-]$, em mg L^{-1} ;
- PID é o fósforo inorgânico dissolvido expresso em mg L^{-1} ;
- $k = 1,5$ e $m = 1,2$ são constantes com valores introduzidos para que se ajuste o valor limite mais baixo do índice e a extensão da escala trófica, relacionando-os a 10 unidades TRIX;
- Na escala TRIX considera-se de 0-4 alta qualidade e oligotrófica, de 4-5 boa qualidade e mesotrófica, de 5-6 baixa qualidade e eutrófica, de 6-10 pobre e hipereutrófica.

Tabela 1 - Classificação do índice TRIX

VALOR	ESTADO TRÓFICO	QUALIDADE DA ÁGUA
0 - 4	Oligotrófico	Alta qualidade
4 - 5	Mesotrófico	Boa qualidade
5 - 6	Eutrófico	Baixa qualidade
6 - 10	Hipereutrófico	Pobre

Fonte:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291099-095X%28199805%2F06%299%3A3%3C329%3A%3AAID-ENV308%3E3.0.CO%3B2-9>

4.7 ESTATÍSTICA

Foi utilizado o software Excel para realização dos cálculos estatísticos e elaboração dos gráficos. Onde o tratamento de dados foi a aplicação da estatística descritiva (máximo, mínimo, média e desvio padrão). O programa Surfer 2016 foi utilizado para confecção do mapa da área de estudo.

A análise dos componentes principais (ACP) permite que um conjunto de dados com várias variáveis sejam reduzidas sem que haja perda da informação dos dados, isso é atestado pela variabilidade da amostra. Onde através das combinações lineares, vetores são formados retendo o máximo de informações possíveis. Onde os autovetores formados explicam em coordenadas positivas e negativas, a PC1 explica

a máxima variância, enquanto a PC2, ortogonal a PC1, representa o segundo eixo de máxima variância. Todas as análises foram feitas no software estatístico R (versão 4.1.1) e Rstudio (versão 1.4.1717).

Testes estatísticos foram realizados para atestar a normalidade dos dados, Shapiro-wilk. Para as análises de correlação foram realizados o teste T e a análise de correlação de Pearson. Utilizando do programa estatístico JMP 10.

4.8 NORMALIZAÇÕES DO TEXTO

A normalização do texto, referências bibliográficas e citações foram baseadas na associação brasileira de normas técnicas (ABNT).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados e as suas respectivas discussões, com base no que foi observado após coleta de amostras e o tratamento de dados, se pôde observar e conseqüentemente se realizar inferências acerca dos parâmetros físico-químicos (5.1), do material particulado em suspensão (5.2), o nitrogênio inorgânico dissolvido (5.3), o silicato (5.4), o fosfato (5.5), o índice TRIX (5.6), a análise dos componentes principais (5.7) e os testes estatísticos (5.8) que foram necessários para atingir o objetivo do presente trabalho.

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os valores estatísticos máximos e mínimos dos parâmetros físico e químicos para o conjunto de dados, bem como, a média \pm desvio padrão (DP) foram abordados na tabela 1.

Tabela 2 - Médias, desvio padrão, máximos e mínimos dos parâmetros abióticos.

T(°C)	Salinidade	OD mg L ⁻¹	Sat OD (%)	MPS m L ⁻¹	Chl-a mg mm ³	pH
-------	------------	--------------------------	---------------	--------------------------	-----------------------------	----

Média	27,35	3,78	6,80	88,50	63,60	6.916,60	7,5
DP	$\pm 2,12$	$\pm 13,78$	$\pm 2,35$	$\pm 39,95$	$\pm 36,56$	± 5.593	$\pm 0,58$
Máx.	32,20	35,20	12,70	204,18	206,74	19.388	8,8
Mín.	24,50	0,04	3,10	37,5	23,20	1.985	6,5

Fonte: O autor (2021)

A temperatura se mostrou maior em Março, tendo em vista a estação do verão, que aumenta a incidência solar no hemisfério sul e conseqüentemente as temperaturas.

O oxigênio dissolvido mostrou valores que variam de acordo com os sistemas estuarinos, pontos de coleta e mês coletado, onde a média dos valores obtidos foi de 6,8 mg L⁻¹, os maiores valores observados foram próximos a jusante dos rios, o que pode explicar este fato é a influência que o oxigênio dissolvido recebe da temperatura, na qual, quanto maior é a temperatura, maior é a atividade metabólica dos organismos de produção primária, representada pela clorofila a, o consumo de gás carbônico por esses organismos e a liberação de oxigênio na água efetuada por eles, podem elevar esses teores (ESTEVES, 1998).

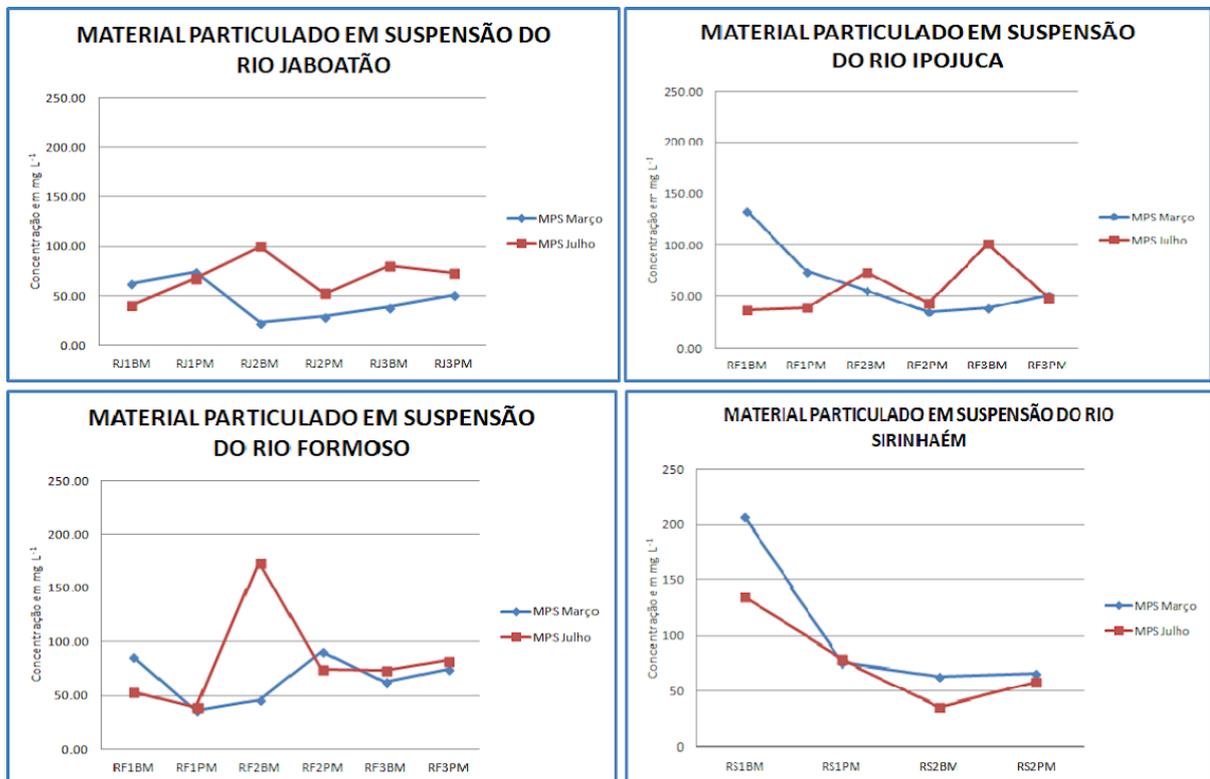
O teor de oxigênio dissolvido, apresentou maiores valores no mês de Março e na preamar, e menores no mês de Julho e na baixa-mar. O rio Jaboatão mostra um mínimo resultado de OD de 3,1 mg L⁻¹. Abaixo do que indica o CONAMA 357/2005 e 430/11, e próximos à zona de hipóxia, que segundo a CETESB é de 2,0 mg L⁻¹, que remete diretamente as conseqüências dos impactos antrópicos sofridos, acarretando possivelmente na inviabilidade da presença de organismos, como peixes, nessas águas.

Além disso, a saturação de oxigênio dissolvido também recebe influência da pressão e da temperatura, mostrando como estes fatores estão diretamente correlacionados. Os valores para pH estiveram em maioria levemente alcalinos, apresentando alguns pontos com valores levemente ácidos, e sempre variando dentro do limite estipulado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente.

5.2 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO

O MPS nos permitiu dimensionar a carga sedimentar, orgânica e inorgânica, presente nos corpos hídricos, onde de modo geral os valores variaram entre 23,20 mg L⁻¹ (JB2) na preamar, até 206,74 mg L⁻¹ (RS1) na baixa-mar (Figura 2).

Figura 3 - Gráficos de Material Particulado em Suspensão para os diferentes estuários estudados.



Fonte: O autor (2021)

O MPS apresenta maiores valores nos pontos internos dos sistemas estuarinos, no mês de Março e no período de baixa-mar, destacando-se os maiores valores a montante dos rios, onde o valor máximo foi de 174,0 mg L⁻¹ (RF2). Isso pode ser explicado pelo menor volume dos sistemas estuarinos no período de baixa-mar, onde o MPS fica mais concentrado, a água dos estuários mais rasa e na dinâmica internareal ocorre a ressuspensão destas partículas (TRAVASSOS, 2011). O rio Sirinhaém em contrapartida, mostrou resultados para o seu ponto interno maior no período de maior pluviosidade, 206,74 mg L⁻¹ (RS1) e na condição de baixa-mar, a justificativa pode se dar, é que durante a coleta o dia estava chuvoso, aumentando do aporte de MPS para

o corpo hídrico, demonstrando como a pluviosidade age na lixiviação no estuário superior, fato corroborado por Cordeiro *et al.* (2018).

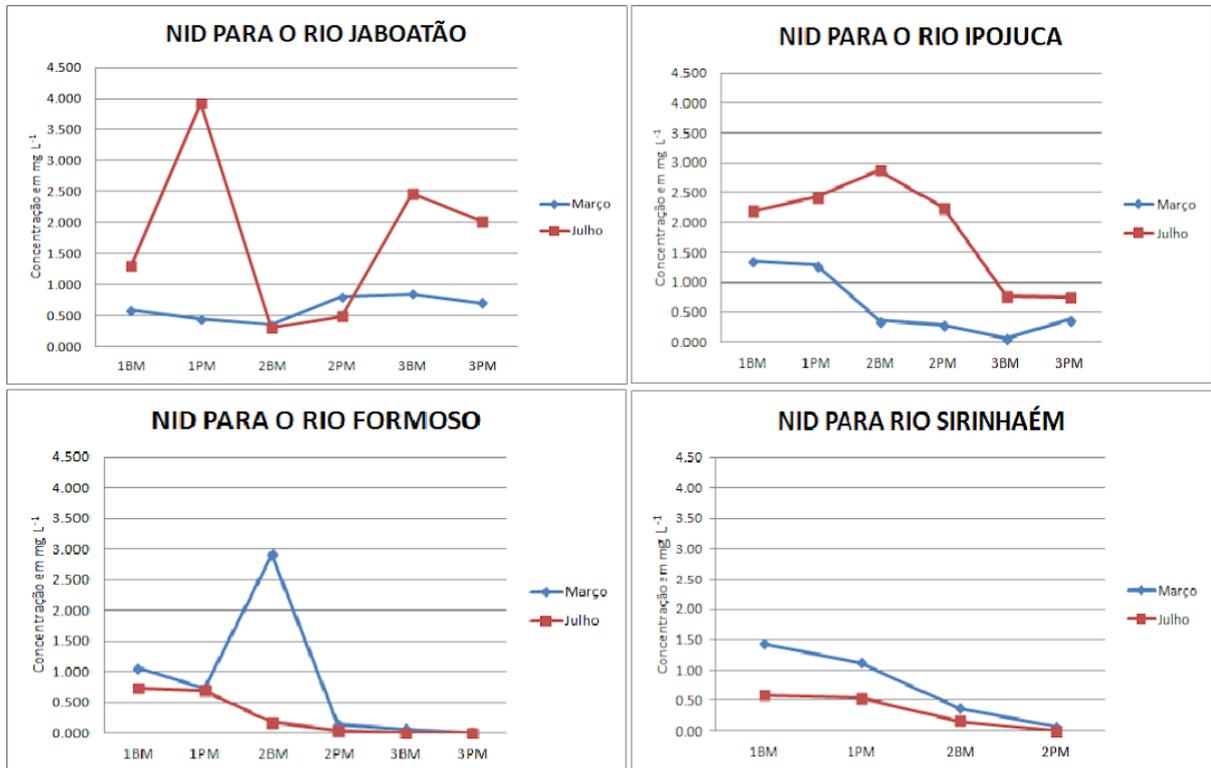
Enquanto que nos pontos próximos a jusante dos rios, os maiores valores intercalam-se entre os meses de coleta e o período da maré, destacando-se os pontos (RJ1) 74,11 mg L⁻¹, na condição de preamar, e (RI3) 101,61 mg L⁻¹, na condição de baixa-mar. Entende-se que o ponto mais exposto dos sistemas estuarinos sofre maior influência da atividade da maré, do sistema de ondas e ventos, que podem causar remobilização do sedimento naquela localidade, principalmente pela questão da baixa profundidade das águas estuarinas.

Altos valores de MPS em um corpo hídrico podem diminuir fatores como transparência e temperatura da água, o que interfere diretamente na qualidade do ambiente, e conseqüentemente na produtividade destes estuários, como observado por Silva *et al.* (2008).

5.3 NITROGÊNIO INORGÂNICO DISSOLVIDO

O nitrogênio é um importante nutriente para os sistemas estuarinos, responsável pela produção primária e comumente limitante em regiões costeiras (ZEHR; KUDELA, 2011). O nitrogênio inorgânico dissolvido é o somatório das frações da amônia (NH₃ + NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻), onde no processo de nitrificação a amônia é oxidada até a forma mais estável o nitrato, no processo denominado de nitrificação (MOTA; SPERLING, 2009). Os valores para o NID são observados no gráfico abaixo. Os maiores resultados foram encontrados na fração do nitrato (NO₃⁻), onde os sistemas estuarinos do rio Jaboatão (5 vezes), rio Formoso (aproximadamente 4 vezes) tiveram valores acima do que delimita a resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para este nutriente que é de 0,7 mg L⁻¹.

Figura 4 - Gráficos de NID para os diferentes estuários estudados.



Fonte: O autor (2021)

Como resultado, a contaminação das águas por NO_3^- é prejudicial à biota local, afetando a produtividade do ambiente e qualidade ambiental do corpo hídrico, e indiretamente também é prejudicial à sociedade, pois alimentos que apresentam altos índices deste composto nitrogenado podem acumular no organismo humano, gerando um problema de saúde pública, como diz Resende (2002). O que podemos associar diretamente aos sistemas dos rios Jaboatão e Formoso, dado os valores obtidos.

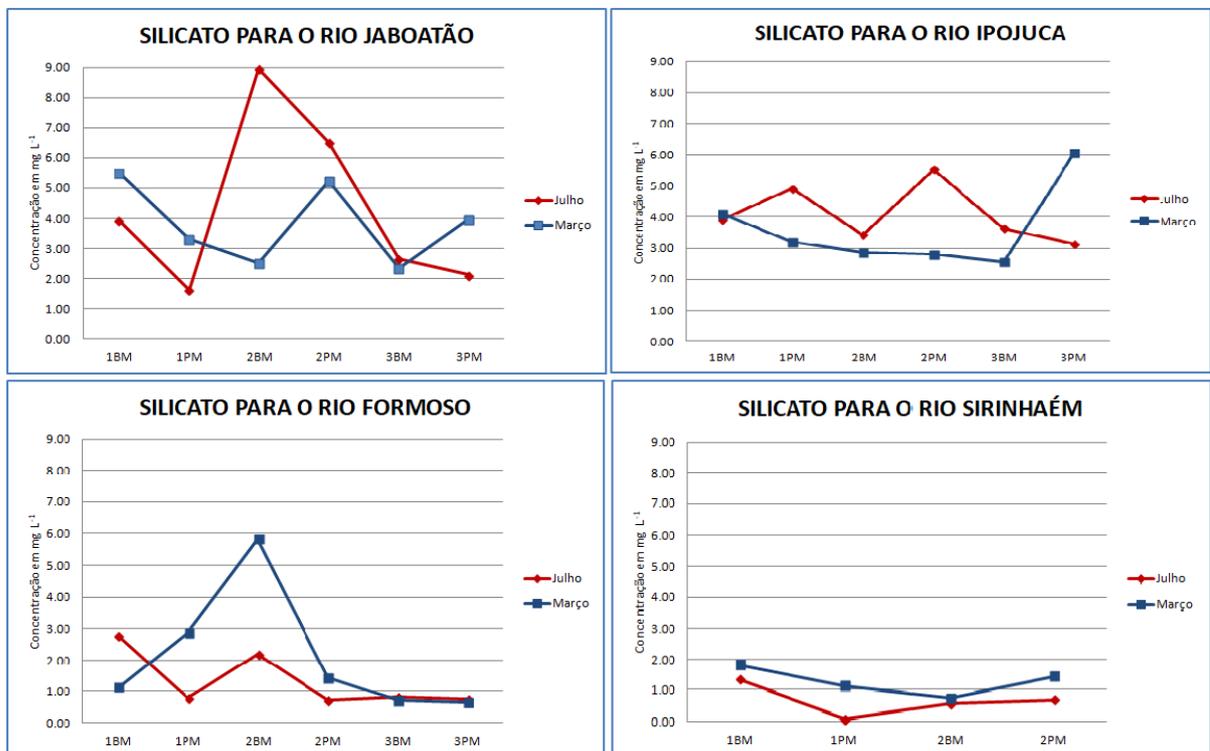
O Nitrito, que é uma fase transitória entre a amônia e o nitrato, em corpos hídricos sua acumulação gera consequências ao ambiente, isso porque quando somados a outros fatores, tais como, baixo teor de oxigênio e índice de pH abaixo de 6,5, a biota local, a depender do tempo de exposição, pode sofrer com a mortalidade desses animais (GUENTHER *et al.*, 2014). Portanto, há um alerta para o estuário do rio Formoso ($0,154 \text{ mg L}^{-1}$), em uma possível contaminação pontual, em decorrência a lixiviação de produtos agrícolas, isso resultou em concentrações próximas do limite de NO_2^- esperado em um sistema estuarino, no que determina o CONAMA que é de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$.

A fração da amônia dentro dos sistemas estuarinos estudados, o rio Jaboatão é o que apresenta maiores quantitativos observados, que pode ser o produto da interferência antrópica para esse ambiente, onde a alta densidade urbana tem como reflexo o excesso de esgoto urbano despejado, apresentando-se como possíveis agentes responsáveis, cenário semelhante é observado em outras regiões estuarinas, por Batista e Flores-Montes (2014) e Neves-Mereto *et al.* (2017) Isso ocorre porque o esgoto bruto apresenta vários compostos de limpeza ricos em $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$, e de ureia, produto da urina excretada pelos rins humanos, dados do IBGE (2010) nos mostram que apenas 45,4% das casas possuem esgotamento sanitário na cidade de Jaboatão dos Guararapes, o que corrobora com a justificativa acima.

5.4 SILICATO

O Silicato variou conforme o estuário e o ponto coletado, seus máximos valores foram de $8,94 \text{ mg L}^{-1}$ (RJ2), no mês de Julho, $6,05 \text{ mg L}^{-1}$ (RI3), $5,83 \text{ mg L}^{-1}$ (RF2) e $1,82 \text{ mg L}^{-1}$ (RS1) no mês de Março. Sendo no rio Jaboatão, o maior valor na preamar, enquanto o rio Ipojuca, rio Sirinhaém e o rio Formoso na baixa-mar (Figura 6).

Figura 5 - Gráficos para Silicato nos estuários estudados.



Fonte: O autor (2021)

O silício constitui o maior e mais importante grupo de minerais que tem sua origem nas rochas. Na natureza, o elemento se associa a íons de oxigênio para formar o silicato, importante composto, presente nas frústulas de diatomáceas (fitoplâncton), e nos esqueletos de radiolárias (protozoário) e silicoflagelados (fitoplâncton) (Felisberto, 2014).

Quando comparado a um ambiente estuarino em estado de preservação, é o caso do rio Carrapicho (MELO, 2007), que apresentou um quantitativo máximo de $8,83 \text{ mg L}^{-1}$, podemos atestar as seguintes afirmativas.

O resultado observado determina que com exceção do rio Jaboatão, todos os demais sistemas estuarinos avaliados apresentaram valores dentro do observado no estuário referência. Onde os maiores valores obtidos podem ser justificados pelo mau uso do solo, tendo em vista que a presença deste composto está associada aos processos erosivos e de lixiviação.

O rio Jaboatão apresentou-se levemente acima do máximo observado no ambiente referência. Esse estuário sofre com o excesso de moradias irregulares entorno das áreas marginais ao rio, onde construções civis elevam os valores de silicato para o ambiente, dados do IBGE (2010) nos mostra que cerca de 700 mil pessoas vivem na cidade de Jaboatão dos Guararapes, apesar disso menos da metade possui esgotamento sanitário adequado. O ponto JB2 que concentra os maiores valores é centralizado no bairro de Pontezinha, em um canal afluente que recebe águas da lagoa Olho D'água e leva-as para o rio principal, o que explica o quantitativo superior neste ponto em relação aos demais.

O rio Ipojuca, também conta com a presença de moradias nas áreas marginais ao rio, porém em menor quantidade quando comparado ao rio Jaboatão. O ponto RI3, é localizado próximo à praia de Muro Alto, local que tem recebido vários empreendimentos hoteleiros nos últimos anos, disputando espaço que antes era do ecossistema de manguezal e da restinga, dois ecossistemas que fazem parte do bioma mata atlântica, e que quando são destruídos para dar lugar a essas edificações perdem a proteção do solo que se torna mais vulnerável ao processo de lixiviação, o que justifica o maior valor encontrado.

No rio Formoso, os empreendimentos com finalidade turística também tomam conta da região, isso pela proximidade com a Praia dos Carneiros, uma das praias mais procuradas do Brasil, fato corroborado por Firmino (2006). O ponto RF2 fica localizado embaixo da ponte sobre a PE-072, ele recebeu uma contenção com

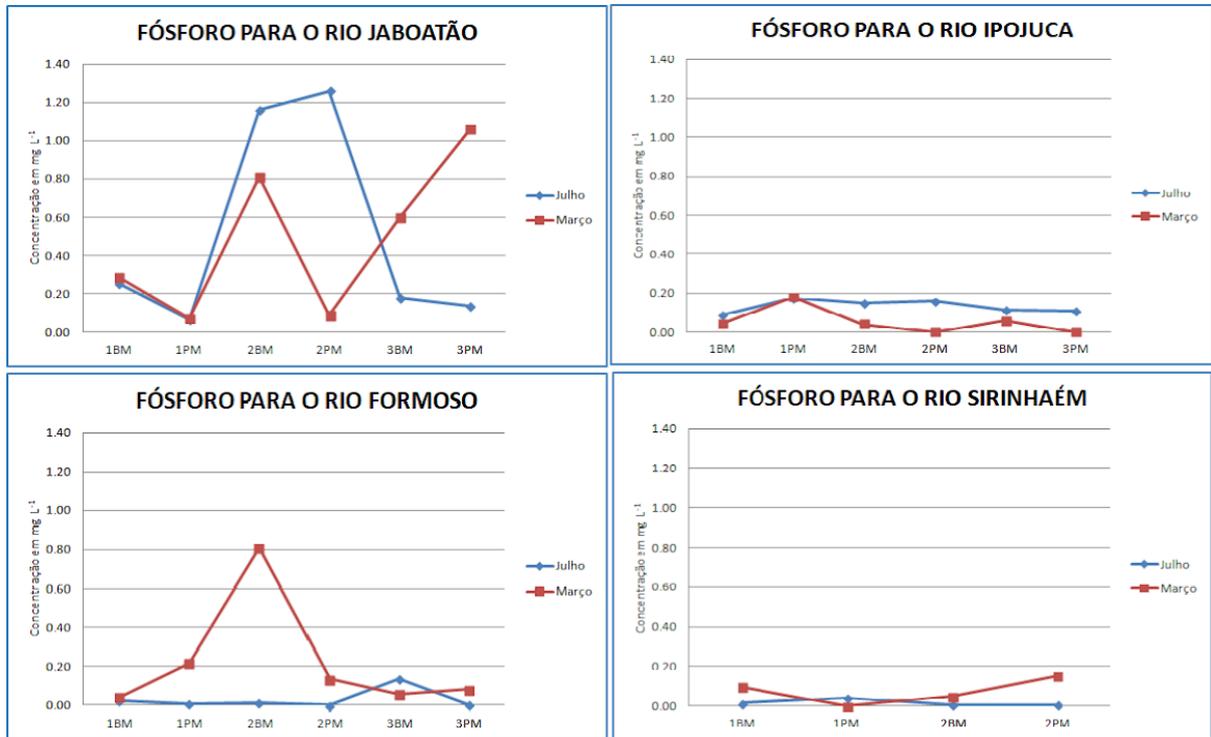
rochas nas laterais da ponte, para facilitar o acesso do público ao local, isso porque o local é utilizado como ponto de embarque para turistas entrarem em embarcações e realizarem atividades entre o estuário e o mar. Além disso, o local também é utilizado por pescadores locais, como ponto de saída para suas pescarias. Essa contenção rochosa justificaria os valores obtidos de silicato para a localidade.

No rio Sirinhaém, o uso do solo para a monocultura da cana de açúcar foi evidenciado, onde as áreas marginais desmatadas deram lugar às plantações e caminhos utilizados por moradores locais foram abertos, na tentativa de facilitar a locomoção naquele ponto do rio, o IBGE (2018) afirma que o produto interno bruto da região recebe contribuição majoritária do setor de agricultura e indústria, o que corrobora com o observado em nossa pesquisa. Isso possivelmente justifica o maior valor encontrado de silicato, para este sistema estuarino.

5.5 FOSFATO

O Fósforo inorgânico dissolvido variou conforme o estuário e o ponto coletado, seus máximos valores foram de $1,26 \text{ mg L}^{-1}$ (RJ2), no mês de Julho, enquanto, foram observados $0,18 \text{ mg L}^{-1}$ (RI1), $0,81 \text{ mg L}^{-1}$ (RF2) e $0,151 \text{ mg L}^{-1}$ (RS2) no mês de Março. Sendo no rio Jaboatão, o maior valor na preamar, enquanto o rio Ipojuca, rio Sirinhaém e o rio Formoso na baixa-mar (Figura 7).

Figura 6 - Gráficos para Fósforo inorgânico dissolvido nos estuários estudados.



Fonte: O autor (2021)

O ciclo do fósforo inicia-se nas rochas, onde esse elemento encontra-se em grandes quantidades, na chegada aos corpos hídricos, os íons de P podem ser assimilados por plantas ou passar por processos químicos, que ocasionarão a sedimentação e conseqüentemente a diagênese de rochas sedimentares (QUEVEDO; PAGANINI, 2010).

Esse composto é muito utilizado por plantas, para seu desenvolvimento e por animais, nas camadas fosfolipídicas das células, na ATP (adenosina trifosfato) do processo de energia, e nos ácidos nucleicos (GUIMARÃES-FERREIRA, 2013). Um sistema estuarino preservado, como o rio Carrapicho, que deságua no Canal de Santa Cruz, os valores atualmente não ultrapassam 0,05 mg L⁻¹ (MELO, 2007).

Como resultado, obtivemos que o rio Jaboatão (25 vezes), o rio Ipojuca (3,6 vezes), o rio Formoso (16 vezes) e o rio Sirinhaém (3 vezes) apresentam-se acima do esperado quando comparado a um ambiente preservado do rio Carrapicho.

Para o rio Jaboatão o ponto com os maiores valores encontrados é o ponto JB2, isso se dá pelo despejo direto, sem prévio tratamento de esgoto doméstico, que é rico em fósforo, pelo fato de trazerem detergentes e sabões fosfatados.

O rio Ipojuca, teve no seu ponto a montante os maiores valores encontrados, podendo ser justificada pelo desmatamento das áreas marginais por engenhos de cana de açúcar, que presumivelmente se utilizam de fertilizantes (enriquecidos com nitrogênio, potássio e fósforo - NPK) e pesticidas (sendo o fósforo um dos agrotóxicos inorgânicos), liberando altos teores de fósforo neste ambiente aquático, Bataglia e Santos (1999) nos mostram como o NPK atua no processo de fertilização agrícola.

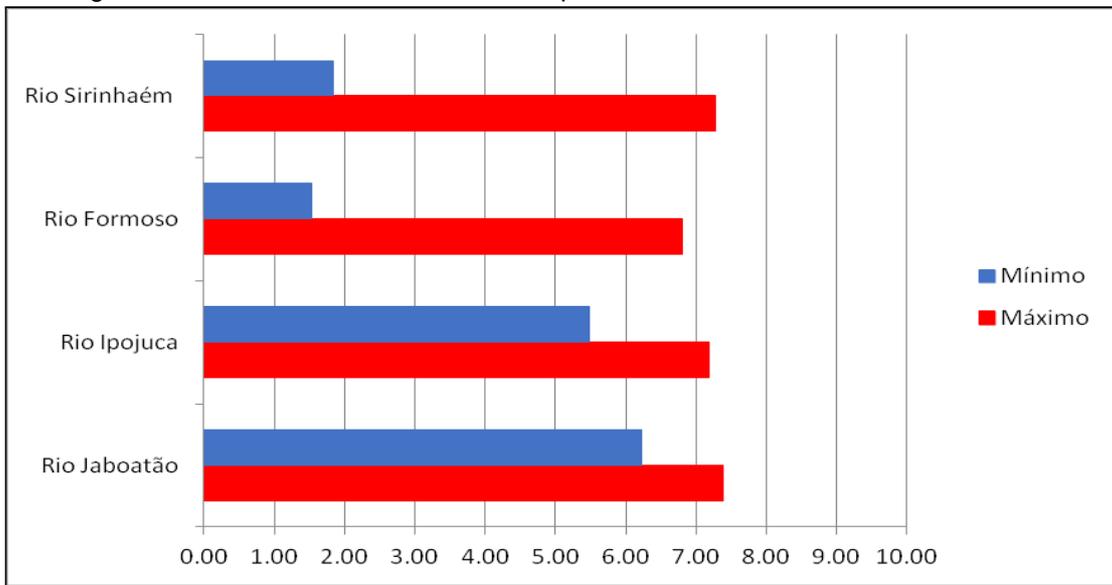
No rio Formoso, os empreendimentos turísticos e as moradias em áreas irregulares despejam seus dejetos nas imediações deste ponto, além disso o pico de fosfato para o ponto RF2 pode ser interpretado como o excesso de fertilizante carregado pelo processo de lixiviamento, onde no período de baixa-mar o baixo volume de água, permite uma maior concentração de PID para o estuário.

No rio Sirinhaém, o ponto RS2 é rodeado pela comunidade de barra de Sirinhaém que despejam esgoto bruto e lixo nas imediações e/ou até mesmo diretamente no sistema estuarino, além disso, foi observado próximo ao ponto de coleta uma área destinada ao tratamento dos pescados, onde os dejetos são eliminados diretamente nas águas do sistema estuarino.

5.6 ÍNDICE TRIX

A classificação do índice TRIX revela o estado trófico do ambiente e a qualidade da água dos sistemas estuarinos, a tabela abaixo exemplifica a classificação conforme o valor obtido. De acordo com a classificação (tabela 3), obtivemos os seguintes resultados:

Figura 7 - Valores de máximos e mínimos para o TRIX em cada um dos sistemas estuarinos.



. Fonte: O autor (2021)

O rio Jaboatão apresenta-se como o local mais impactado, onde os valores encontram-se sempre acima de 6,23 e caracteriza o ambiente como pobre com relação a qualidade, independente da maré e da pluviosidade, o ambiente recebe forte impacto antrópico, que resulta na análise do índice trófico como hipereutrofizado.

O rio Ipojuca, dentre os estuários avaliados, é o segundo mais impactado, ele sempre apresenta valores acima de 5,48, independente da maré, mas há influência da pluviosidade, onde no mês mais chuvoso (Julho) o estuário encontra-se entre baixa qualidade a pobre, e no período seco este ambiente se mantém sempre com níveis de qualidade pobre, o que ficou comprovado com a utilização da valores estatísticos do teste T, que mostraram uma diferença no conjunto de dados entre os meses de maior e menor pluviosidade (5.10). Este resultado o caracteriza como um ambiente eutrofizado ou hipereutrofizado.

O rio Formoso apresenta um padrão, no qual durante o mês de Julho os valores estão entre 1,51 a 5,23, já no período de Março esses valores variam entre 5,69 a 6,80. Evidenciando que o sistema estuarino possui diferentes classificações de acordo com o ponto de coleta, e que pode variar entre um ambiente oligotrófico a hipereutrofizado, a depender da pluviosidade e da intrusão da maré, que para esse sistema estuarino, influência na qualidade da água, como diz Melo (2002).

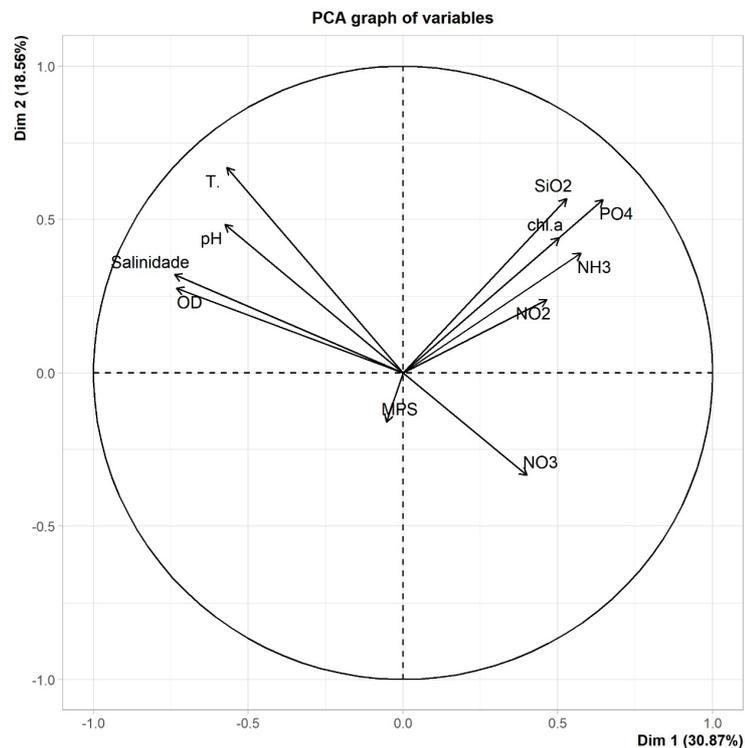
O rio Sirinhaém apresenta valores que variam entre 1,85 a 4,99 no mês de Julho, e 4,85 a 7,28 no mês de Março, esses valores nos mostram que o estuário

pode ser considerado como oligotrófico a mesotrófico, mês de maior pluviosidade, e de mesotrófico a hipereutrofizado durante o período de menor pluviosidade, variando conforme o local de coleta e a hidrodinâmica mareal, em semelhança ao que ocorre no rio Formoso.

5.7 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Na análise dos componentes principais (PCA), as três primeiras componentes juntas (PC1, PC2 e PC3) explicaram 63,03% da variância nos valores avaliados.

Figura 8 - Gráfico dos componentes principais PC1 e PC2.



Fonte: O autor (2021)

Sendo a PC1 explica 30,87% da variância dos dados observados, interpretando os valores de fosfato, silicato, amônia, nitrito, nitrato e clorofila-a como pesos positivos, enquanto que Temperatura, pH, salinidade, oxigênio dissolvido e MPS, apresentam-se como pesos negativos, indicando que o sinal negativo determina uma correlação inversamente proporcional entre os grupos (Figura 8).

Os pesos mais significativos foram PO_4^{3-} (0.35) e o NH_3 (0.31), enquanto nos negativos, a salinidade (-0.40) e o OD (-0.397) (Tabela 5). O contraste existente entre o oxigênio dissolvido com os nutrientes nitrogenados evidencia os processos de amonificação e nitrificação do ciclo do nitrogênio, bem como, a relação inversa com o fosfato é justificada pelo consumo desse composto pelos organismos, diminuindo o teor de oxigênio na coluna de água. O contraste entre salinidade e silicato, pode evidenciar uma redução do silicato em direção às águas salinas, dado que a sílica possui fonte terrígena. Além disso, o silicato apresenta alta correlação com a clorofila a, indicando que a presença deste nutriente auxilia na produção primária, como também observado em outros estuários, como afirma Felisberto (2014).

A PC2 explica 18,56%, onde os valores observados reforçaram o que foi quantificado na PC1, com destaque para o valor de temperatura, pH, OD e salinidade, estando à temperatura e o pH diretamente correlacionado com o NO_3^- (-0.23), isso podem ser justificado pela influência direta desses compostos sobre o nitrato e corroboram com as justificativas anteriores dadas a relação do OD com os compostos nitrogenados (Tabela 5). Mostrando como esses compostos exercem influência sobre o ciclo do nitrogênio.

A PC3 explicou 13,6% da amostra, com destaque para o valor de MPS (0,45), o MPS é a principal forma na qual vários compostos passam pelos sistemas estuarinos, inclusive os nutrientes, onde a diluição desse material particulado, resultaria em um aumento de nutrientes e conseqüentemente uma maior disponibilidade desses compostos para uso dos organismos, que poderiam crescer a sua biomassa, desta forma se entende a correlação inversa entre o MPS, os nutrientes e a Chl-a.

Tabela 3 - Fatores da análise de componentes principais dos quatro sistemas estuarinos avaliados.

	Dim.1	Dim.2	Dim.3
T.	-0.57	0.62	0.23
pH	-0.59	0.46	0.12
Salinidade	-0.77	0.32	0.04
OD	-0.73	0.22	0.35
MPS	-0.04	-0.19	0.55
NH3	0.55	0.43	-0.34
NO2	0.48	0.20	0.69
NO3	0.50	-0.40	0.58
SiO2	0.53	0.54	0.29
PO4	0.63	0.58	0.01
chl.a	0.45	0.51	-0.19

Fonte: O autor (2021)

5.8 TESTES ESTATÍSTICOS

A análise de normalidade foi realizada através do teste de Shapiro-wilk, constatou que há continuidade no conjunto de dados qualitativos, que se comportam de forma homogênea, pois o $P > 0.05$ foi observado entre os parâmetros. Posteriormente, foi utilizado do teste T realizado, que comprovou com confiabilidade 0.95 e $P < T 0.998$ que as amostras entre o período de maior pluviosidade coletadas no mês de Março, são significativamente diferentes dos dados obtidos no período de maior pluviosidade em Julho.

Para aferir se a pluviosidade influencia no meu conjunto de dados, o teste de correlação de Pearson obteve os seguintes resultados:

Tabela 4 - Os fatores que mais se correlacionam com a pluviosidade, utilizando a correlação de Pearson.

Correlação de Pearson			
Parâmetro	T (°C)	OD	Trix
Pluviosidade	- 0.6424	-0.5548	-0.5257

Fonte: O autor (2021)

Quando relacionados com a pluviosidade, os fatores que mais possuem correlação estão demonstrados na tabela acima, podemos observar que a temperatura é o fator melhor correlacionado, isso ocorre pela mudança das estações dado que a primeira coleta foi realizada no verão local, e a segunda no inverno. Já o oxigênio dissolvido mostra uma significativa inversa correlação com o sistemas de chuva, isso pode ser justificado pela pluviosidade diminuir os sólidos em suspensão, fato corroborado por Silva *et al.* (2008). Enquanto que o índice trófico TRIX, possui correlação com negativa com a pluviosidade, onde quanto maior a quantidade de chuvas, melhor é a qualidade da água, pois o índice trófico sofre influência de fatores como maiores valores de OD e saturação do OD durante o período de maior precipitação, dada a influência que esse fator recebe da estação do ano, onde no inverno as temperaturas são menores, o que favorece o aumento dos teores de oxigênio no corpo hídrico, os nutrientes que tendem a ser diluídos com o aumento do volume da água no corpo hídrico, seja pela intrusão da maré (SILVA *et al.*, 2021), ou pelo aumento do volume do corpo hídrico, que diminui os sólidos em suspensão, fato que também foi observado por Silva *et al.* (2008), a variação da precipitação interfere na produção primária, que é representada pelos teores de clorofila-a (SILVA *et al.*, 2019). Desta forma, se explica o porquê do TRIX receber uma forte influência da pluviosidade.

6 CONCLUSÃO

- Existem diferentes tipos de impactos sofridos para cada sistema estuarino, o rio Jaboatão é impactado diretamente pela alta densidade populacional vivendo ao redor de seu sistema estuarino. O rio Ipojuca sofre impactos em todo seu percurso pelas atividades industriais, agrícolas e dejetos vindo de esgoto urbano. O rio Sirinhaém possui pontos de impactos antrópicos causados pela agricultura e indústria. O rio Formoso, além dos impactos sofridos pela questão do turismo, também recebe influência da agricultura.

- O índice do estado trófico (TRIX) nos mostrou uma tendência de quanto mais próximo o ambiente aquático estiver de grandes centros urbanos e industriais, como o caso da região metropolitana do Recife, maior é seu estado trófico e menor a qualidade de suas águas. Como resultado direto das ações humanas sobre estes ambientes, O rio Jaboatão, independente do ponto estudado apresenta-se como hipereutrofizado, o rio Ipojuca mostrou-se como eutrofizado e hipereutrofizado. Enquanto o rio Formoso e rio Sirinhaém, variam a qualidade da água de acordo com o ponto do estuário.

- Há influência da pluviosidade mensal na qualidade do sistema estuarino, observa-se que quanto maior for o volume de águas para o sistema, seja ela por intrusão da maré, ou pelo aporte de chuvas, aumenta a qualidade do corpo hídrico, caso melhor evidenciado nos sistemas estuarinos dos rios Formoso e Sirinhaém.

REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. de C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 391-470, 2005.
- APAC - **Agência pernambucana de águas e climas**. (2021) Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 20 de Dez. de 2021.
- BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Orgs.). **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: interciência, 2004.
- BARRETO, L.V. *et al.* Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2165, 2013.
- BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. EFEITOS DA ADUBAÇÃO NPK NA FERTILIDADE DO SOLO, NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DA SERINGUEIRA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 23, núm. 4, pp. 881-890 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, Brasil, 1999.
- BATISTA, T.N.F; FLORES-MONTES, M.J. Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe – PE. **Tropical oceanography**, Recife, v -42, n. 3, 2014.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M. B.; NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em Oceanografia Química**, Rio Grande: FURG, 1996.
- BIANCHINI, Jr. Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. In: POMPÊO, M. L. M. **Perspectiva da limnologia no Brasil**. São Luís: Gráfica e editora União, 1999, p. 21-43.
- BOWER, C. E.; HOLM-HANSEN, T. A salicylate-hypochlorite method for determining ammonia in seawater. **Can J. Fish. Aquat. Sci.** v. 37, p. 794-798, 1980.
- CAI, W. Estuarine and Coastal Ocean Carbon Paradox: CO₂ Sinks or Sites of Terrestrial Carbon Incineration? **Annu. Rev. Mar. Sci.** Georgia: 2011. 3:123–45.
- CETESB. **Companhia Ambiental do estado de São Paulo**: Mortandade de peixes, 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/amonia/>. Acesso em: 21 de Nov. 2021.
- CORDEIRO, I. et al. Environmental conditions of the Suape estuarine-port complex area (Pernambuco, Brazil): Phytoplankton biomass and hydrological parameters. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 99(2), 291-301. doi:10.1017/S0025315418000176, 2009.
- CUNHA, E. M. S. **Considerações gerais sobre a zona costeira**, 2005.

DE PAULA, L. M. **Avaliação de qualidade da água e autodepuração do rio Jordão, Araguari (MG)**. 2011. Dissertação de mestrado apresentada à faculdade de engenharia civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

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. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ESTEVES, A.F. **Fundamentos da Limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência - 2ª edição, 1998.

FELISBERTO, R.B. **Cultivo, taxonomia e potencialidades de aplicações em biotecnologia de CEPA de diatomáceas marinhas do estado da Paraíba**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao bacharelado em ciências biológicas da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

FIORUCCI, R. A.; FILHO, B. E. A importância do oxigênio dissolvido nos ecossistemas aquáticos. **Revista Química Nova**, 2005.

FIRMINO, F.S. **Dinâmica do turismo na zona costeira nordestina: questões conflitantes do desenvolvimento turístico da praia dos Carneiros, Tamandaré - PE**. Dissertação de mestrado apresentada à programa de pós-graduação em gestão e políticas ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

GARCIA-ROBLEDO, E.; CORZO, A.; PAPASPYROU, S. Fast and direct spectrophotometric method for the sequential determination of nitrate and nitrite at low concentrations in small volumes. **Mar. Chem**, v. 162, p. 30-36, 2014.

GENZ, F. *et al.* Vazão Mínima para Estuários: Um Estudo de Caso no Rio Paraguaçu/BA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 73-82, 2008.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. Methods of seawater analysis. 2nd ed. **Verlag Chemie**, Germany, v. 419, n. , p. ,1983.

GUEDES, D. R. C. **Análise dos Serviços Ecossistêmicos de Provisão em dois Sistemas Estuarinos no Litoral do Rio Grande do Norte, Brasil**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

GUENTHER, M. *et al.* Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary. **Mar Pollut Bull.** 2015 Feb 28;91(2):537-47. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.09.048. Epub 2014 Oct 18. PMID: 25444618.

GUIMARÃES-FERREIRA, L. Papel do sistema da fosfocreatina na homeostase energética das musculaturas esquelética e cardíaca. **Revendo Ciências Básicas**, Vitória, 2013.

IBGE - **Instituto brasileiro de geografia e estatísticas**. (2010) Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/sirinhaem/panorama>. Acesso em: 20 de Dez. de 2021.

ICMBio - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: ICMBio, 2018.

IGAM – **INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS**. (2014). Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br>. Acesso em: 21 de Nov. 2021.

KJERFVE, B.; COASTAL, L. In: _____. Amsterdam: Ed., Coastal Lagoon Processes, **Elsevier Oceanographic Series**, 1994, p. 1-8.

MARANGONI, J. C.; LEAL, C. S.; COSTA, C. S. B. Deposição de Resíduos Sólidos em Deriva nas Marismas no Estuário da Lagoa dos Patos (Rio Grande – RS). **III Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO'2010 Rio Grande (RS)**, 2010.

MELO, A. A. S. **Nutrientes dissolvidos e produção primária nos estuários Botafogo e Carrapicho - PE**. 2007. 93f. (Mestrado) Departamento de Oceanografia Universidade Federal de Pernambuco, CTG - UFPE, Recife, 2007.

MELO, D.C.P *et al.* Influência das condições da maré na qualidade de água do rio Formoso. **Revista Química e Tecnologia**, Recife, 2002.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios da Oceanografia Física de Estuários**. 1 ed. Universidade de São Paulo – SP, 2002.

MIYAO, Y. S.; NISHIHAR, L.; SARTI, C. C. Características físicas e químicas do sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. **Bolm inst. Oceanográfico**, São Paulo, v. 34, p. 23-26, 1986.

MOTA, S. & VON SPERLING, M. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. vol. 1. Rio de Janeiro: **PROSAB/FINEP**. p. 430, 2009.

NANNI, H. C.; NANNI, S. M.; SEGNINI, R. C. A importância dos manguezais para o equilíbrio ambiental. **II Simpósio Internacional De Ciências Integradas da UNAERP, Campus Guarujá**, 2005.

NEVES-MERETO R. G.; ZEPKA M.; WALLNER-KERSANACH M. Qualidade trófica das águas da Lagoa dos Patos estuário: uma comparação entre suas margens e o porto canal localizado em Rio Grande, RS, Brasil. **Acta Limnol Brasili**, 2017.

PEIXOTO, M. Pagamentos por Serviços Ambientais: Aspectos teóricos e proposições legislativas. Textos para Discussão, 105. **Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado**, 2011.

PERILLO, G. M. E. Definitions and geomorphologic classification of estuaries. In: _____. (Ed). **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. New York: Elsevier, 1995.

PIECHNIK, C.A. **Atividade da NA, K-ATPase e alterações histológicas nas branquias do peixe Bathygobius Soporator Valenciennes (Gobiidae) após exposição a diferentes salinidades.** Dissertação de mestrado do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

POMPÊO, M. L. M. (ed.) **Perspectivas da Limnologia no Brasil.** São Luís: Gráfica e Editora União, 1999.

PRITCHARD, D. W. What Is an Estuary: Physical Viewpoint. Em estuários. **AAAS**, Washington DC, 1967.

QUEVEDO, C.M.G.; PAGANINI, W.S. Impactos das atividades humanas sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e seus reflexos na saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, 16(8):3529-3539, 2011.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.** Planaltina: EMBRAPA, 2002.

RESENDE, J. S. S. **Caracterização de fontes e distribuição de matéria orgânica no sedimento do estuário do capibaribe (pernambuco, brasil) através de marcadores elementares, isotópicos e moleculares.** Dissertação de mestrado do curso de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

ROCHA, G. P.; EVANGELISTA, A. R. ; PAIVA, P. C.; FREITAS, R. T. F.; SOUZA, A. F.; GARCIA, R. Digestibilidade e conteúdo de fibra de três gramíneas do gênero *Cynodon*. **Ciênc. agrotec.**, v. 25, n. 2, p. 396-407, 2001.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal: Adaptação e meio ambiente.** São Paulo: Livraria Santos Ed., p. 299-352, 1996.

SEDUC. Secretária de educação do estado do Ceará. **Curso técnico em aquicultura: Limnologia e qualidade da água.** 2011.

SILVA, A.E.P. *et al.* Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, vol. 38(4), p. 733 - 742, 2008.

SILVA, J. B. *et al.* Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM (Geomorphologic Classification of Estuaries of the State of Pernambuco (Brazil) Based on Landsat 5 TM Images). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 1, p. 118-133, 2011.

SILVA, J.C.C.; FLORES-MONTES, M.J. Aportes de matéria orgânica e nutrientes provenientes de efluentes urbanos para o sistema estuarino do rio Capibaribe (Recife, PE). *In: Congresso nacional de iniciação científica*, XXVIII., 2020, Recife. Anais do CONIC, Recife: Editora da UFPE, 2021. p. 193.

SILVA, L.M. *et al.* Phytoplankton Productivity and Hydrology in an Impacted Estuarine Complex in Northeastern Brazil. **Open Journal of ecology**, vol. 9, nº10, 2019.

SOUZA, J. S.; PEDROSA, P. Matéria Orgânica Dissolvida Cromófora e não Cromófora em Sistemas Fluviais Tropicais. **Oecologia Australis**, v. 23, n. 1, 2019.

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

STEDMON, C. A.; NELSON, N. B. The Optical Properties of DOM in the Ocean. In: CARLSON D. (ed.). **Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter**. 2. ed. Boston: Academic Press, 2015.

TAILLARDAT, P. *et al.* Respective contribution of urban wastewater and mangroves on nutrient dynamics in a tropical estuary during the monsoon season. **Elsevier: Marine Pollution Bulletin**, v 160, n 111652, 2020.

TRAVASSOS, K. R. **Análise da qualidade ambiental no estuário do rio Botafogo: determinação do índice trófico e componentes do fósforo na coluna da água**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

VALLE-LEVINSON, A.; MARIÑO-TAPIA, I.; ENRIQUEZ, C.; WATERHOUSEA, A. Variabilidade das marés de salinidade e campos de velocidade relacionados a intensas descargas pontuais de água subterrânea submarina no oceano costeiro. **Limnologia e Oceanografia**, v. 56, 2011.

VOLLENWEIDER, R. A.; GIOVANARDI, F.; MONTANARI, G.; RINALDI, A. Characterization of the trophic conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference in the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. **Environment**, v. 9, p. 561-570, 1998.

WHITFIELD, A. K.; ELLIOTT, M.; BASSET, A.; BLABER, S. J. M.; WEST, R. J. Paradigms in estuarine ecology - A review of the Remane diagram with a suggested revised model for estuaries. **Estuar. Coast. Shelf Sci**, v. 97, p. 78–90, 2012.

WANG, S.L. *et al.* Submarine Groundwater Discharge helps making nearshore waters heterotrophic. **Sci Rep** 8, 11650, 2018.

WOODROFFE, C. D. **Coasts: Form, Process and Evolution**. 2002.

Zehr JP, Kudela RM. Nitrogen cycle of the open ocean: from genes to ecosystems. **Ann Rev Mar Sci**. 2011;3:197-225. doi: 10.1146/annurev-marine-120709-142819. PMID: 21329204.

APÊNDICE A – RESULTADOS GERAIS

Tabela 5 - Apêndice A: Dados de coleta

Ponto	Período	Hora	Maré	T°	pH	Salinidade	OD	MPS	NH3	NO2	NO3	Si(OH)4	PO4	Sat OD %
Estação IP 1	Estiagem	08:50:00	PM	28.1	7.07	0.17	6.5	36.84	0.050	0.012	1.33	4.09	0.044	83.23
Estação IP 2	Estiagem	09:20:00	PM	29.2	7.06	4.18	7.5	74.00	0.292	0.033	0.32	2.86	0.041	100.54
Estação IP 3	Estiagem	10:00:00	PM	31.2	8.49	27.8	11.3	101.61	0.008	0.001	0.04	2.57	0.060	174.65
Estação IP 3	Estiagem	11:30:00	BM	31.7	8.31	26.7	11.2	48.20	0.008	0.002	0.37	6.05	0.003	173.11
Estação IP 2	Estiagem	12:00:00	BM	30.4	7.71	4.52	11.4	43.20	0.261	0.018	0.27	2.80	0.002	155.53
Estação IP 1	Estiagem	12:35:00	BM	28.5	6.6	0.15	6	39.18	0.046	0.009	1.25	3.20	0.180	76.82
Estação JB 1	Estiagem	06:44:00	BM	28.9	7.5	23.7	6.5	40.04	0.139	0.007	0.45	5.49	0.286	95.73
Estação JB 2	Estiagem	07:20:00	BM	27.2	7.3	1.24	5.4	80.48	0.229	0.006	0.12	2.53	0.808	67.92
Estação JB 3	Estiagem	08:07:00	BM	26.9	7	1.24	4.5	90.60	0.654	0.009	0.19	2.33	0.600	55.62
Estação JB 3	Estiagem	13:00:00	PM	28.6	6.93	3.38	3.5	72.90	0.619	0.006	0.08	3.96	1.060	46.11
Estação JB 2	Estiagem	13:37:00	PM	29.7	8.49	1.23	10.7	52.29	0.227	0.025	0.56	5.22	0.088	139.50
Estação JB 1	Estiagem	13:48:00	PM	30.4	8.41	35	12.7	67.60	0.006	0.006	0.43	3.31	0.071	204.18
Estação RF 1	Estiagem	08:30:00	BM	25.7	6.5	0.06	9.5	53.61	0.078	0.000	0.97	1.13	0.040	115.29
Estação RF 2	Estiagem	09:13:00	BM	29.4	7.16	12.5	8.5	174.00	0.080	0.156	2.67	5.83	0.808	119.72
Estação RF 3	Estiagem	10:09:00	BM	31.9	8.15	35.2	10.1	73.19	0.008	0.003	0.06	0.71	0.056	165.03
Estação RF 3	Estiagem	12:05:00	PM	32.2	8.03	34.5	9.9	82.54	0.005	0.003	0.00	0.66	0.080	164.18
Estação RF 2	Estiagem	13:00:00	PM	30.8	7.95	33.1	8.5	73.95	0.007	0.005	0.12	1.43	0.134	136.66
Estação RF 1	Estiagem	13:20:00	PM	27	7.42	0.06	8.9	39.23	0.062	0.005	0.66	2.86	0.219	111.95
Estação RS 1	Estiagem	07:30:00	BM	27.4	7.5	0.07	8.9	136.07	0.035	0.006	1.39	1.82	0.098	111.95
Estação RS 2	Estiagem	07:50:00	BM	28.3	6.87	7.67	7.3	36.00	0.032	0.002	0.34	0.73	0.048	97.33
Estação RS 3	Estiagem	14:17:00	PM	30.8	8.22	33.6	10	59.35	0.007	0.003	0.07	1.45	0.151	160.77
Estação RS 4	Estiagem	14:40:00	PM	29.4	8.8	0.06	7	79.17	0.030	0.003	1.09	1.13	0.000	91.26
Estação JB 1	Chuvoso	09:06:00	BM	25.9	7.3	12	4.9	63.08	0.0932	0.040	1.172	3.92	0.2556	62.5
Estação JB 2	Chuvoso	09:30:00	BM	26.3	7.8	0.33	3.2	42.00	0.2295	0.014	0.062	8.94	1.1609	40.3
Estação JB 3	Chuvoso	09:47:00	BM	25.3	7.35	0.19	3.1	23.20	0.1341	0.055	2.275	2.67	0.1767	38.1
Estação JB 3	Chuvoso	15:19:00	PM	25.8	7.02	0.15	3.1	29.27	0.1457	0.040	1.835	2.12	0.1359	37.5
Estação JB 2	Chuvoso	15:37:00	PM	28.2	8.23	0.25	5.4	50.00	0.2203	0.042	0.229	6.51	1.2597	70.2
Estação JB 1	Chuvoso	15:51:00	PM	26.9	7.63	30.2	7.5	74.11	0.0143	0.011	3.900	1.64	0.0646	96
Estação IP 1	Chuvoso	10:15:00	BM	27.3	6.8	0.09	5.7	133.33	0.0097	0.008	2.176	3.92	0.0922	78
Estação IP 2	Chuvoso	10:47:00	BM	25.9	7.02	0.08	5.8	56.21	0.0151	0.017	2.858	3.42	0.1482	72.2
Estação IP 3	Chuvoso	11:20:00	BM	29	7.3	19.1	7.5	38.80	0.0037	0.008	0.744	3.63	0.115	98
Estação IP 3	Chuvoso	13:58:00	PM	29.3	7.92	18.1	8	51.20	0.0014	0.009	0.738	3.14	0.1093	108
Estação IP 2	Chuvoso	14:30:00	PM	26	8.03	0.08	6	35.00	0.0138	0.010	2.238	5.53	0.1606	78.6
Estação IP 1	Chuvoso	14:53:00	PM	25.7	7.91	0.12	6.4	74.40	0.0066	0.011	2.399	4.91	0.172	95
Estação RS 1	Chuvoso	11:00:00	BM	24.9	7.13	0.05	6.6	206.74	0.0027	0.006	0.583	1.34	0.0133	81.6
Estação RS 2	Chuvoso	11:20:00	BM	25.6	7.29	4.53	5.4	64.12	0.0041	0.004	0.161	0.55	0.0048	67.3
Estação RS 1	Chuvoso	17:10:00	PM	26.4	8.23	31.1	6.8	66.67	0	0.002	0.000	0.68	0.0057	84.3
Estação RS 2	Chuvoso	17:30:00	PM	24.5	8.01	0.07	6.4	76.20	0.0194	0.005	0.521	0.07	0.039	72.6
Estação RF 1	Chuvoso	11:50:00	BM	25.2	7.02	0.04	6.2	85.71	0.0575	0.003	0.676	2.77	0.0238	81.1
Estação RF 2	Chuvoso	12:20:00	BM	27.1	7.32	20.4	4.3	45.87	0.0034	0.008	0.167	2.19	0.0124	54.4
Estação RF 3	Chuvoso	13:10:00	BM	30.2	8.02	30.9	6.8	62.60	0	0.002	0.000	0.83	0.1349	89.3
Estação RF 3	Chuvoso	15:30:00	PM	27	8.18	31.6	6.9	74.04	0.0009	0.003	0.000	0.74	0.0019	87.8
Estação RF 2	Chuvoso	16:22:00	PM	26.6	8.08	30.1	6.1	90.44	0	0.003	0.037	0.72	0	75.6
Estação RF 1	Chuvoso	16:47:00	PM	25.5	6.88	0.04	6.9	36.44	0.0546	0.005	0.639	0.78	0.0076	85.4