

AVALIAÇÃO SAZONAL DA ÁGUA E SEDIMENTO SUPERFICIAL DA SUB-BACIA RIO DAS BICAS EM SÃO LUÍS NO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

SEASONAL EVALUATION OF WATER AND SURFACE SEDIMENT OF THE RIO DAS BICAS SUB-BASIN IN SÃO LUÍS IN THE STATE OF MARANHÃO, BRAZIL.

DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp2788-2798> Recebido em: 04.07.2023 | Aceito em: 12.07.2023

Janaque Nunes Passinho^a, Alexandre Sousa Martins^a, Darlan Ferreira da Silva^a, Flávia Melissa da Silva Rabelo^a, Maria Raimunda Chagas Silva^a, Lorena Silva e Silva^a, Neuriane Silva Lima^a, Leonardo Henrique de Sá Rodrigues^a, Wolia Costa Gomes^{a}*

*Universidade CEUMA – UniCEUMA^a
E-mail: woliacc@gmail.com

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a sazonalidade dos parâmetros físico-químicos da água e sedimentos superficiais do Rio das Bicas na cidade de São Luís no estado do Maranhão. As coletas da água foram realizadas de forma linear obedecendo equidistância dos 8 pontos, nos períodos de estiagem e chuvas da região no ano de 2020. Após as coletas as amostras foram armazenadas em recipientes próprios e conservadas em caixas de isopor e transportadas ao Laboratório de Ciência do Ambiente da Universidade CEUMA para devidas análises. Para este trabalho seguiu-se metodologias baseadas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA). Água e sedimentos foram analisados separadamente, na água foram investigados: a temperatura, a turbidez, a condutividade, o pH, o nitrito, o nitrato, o fósforo total, os sólidos totais e dissolvido e o oxigênio dissolvido. Nas amostras de sedimento as de: pH, fósforo total, nitrito, nitrato, cálcio e magnésio, matéria orgânica, carbono orgânico, matéria inorgânica e granulometria. Os resultados obtidos nas amostras de água: salinidade, nitrato, fósforo total, DBO e oxigênio dissolvido da água não estão em conformidade, com o recomendado pela Resolução CONAMA 357/05 (para qual classe de água?) como é o caso do pH que durante os períodos (chuvoso e seco) apresentou um limite padrão nos oito pontos analisados. Os resultados das amostras do sedimento nos dois períodos: nitrato e fosfato total não estão em conformidade com o recomendado pela EMBRAPA. Conclui-se que se deve avaliar a qualidade ambiental atual desses ambientes visando gerar elementos que possam contribuir para tomadas de decisões políticas objetivando à mitigação das pressões antrópicas exercidas e a preservação ambiental e que foi possível determinar a heterogeneidade espacial e temporal das variações.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, recursos hídricos, gestão ambiental.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the seasonality of the surface physical-chemical parameters of water and sediments from Rio das Bicas in São Luís, Maranhão state, Brazil. Water samples were collected linearly with equidistance from 8 points, in both dry and rainy seasons of 2020. Physical-chemical parameters were analyzed based on the Methods for Water Analysis, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. The samples were transported to the CEUMA University Environmental Science Laboratory. The parameters analyzed were: water temperature, turbidity, conductivity, hydrogen potential, nitrite, nitrate, total phosphorus, total dissolved solids and dissolved oxygen. For sediment, samples were stored in plastic bags and conserved in styrofoam boxes, and then sent to the laboratory for pH, total phosphorus, nitrite, nitrate, calcium and magnesium, granulometry, organic matter, inorganic matter and organic carbon analysis. The results of the water samples showed that salinity, nitrate, total phosphorus, BOD and dissolved oxygen are not in compliance with the requirements of Resolution CONAMA 357/05. The pH value, however, was within the standard limit at all 8 analyzed points during both rainy and dry periods. The results of sediment samples showed that nitrate and total phosphate are not in compliance with EMBRAPA's requirement. It is concluded that the current environmental quality of these environments must be evaluated to generate elements that can contribute to political decision-making aimed at mitigating anthropic pressures and preserving the environment.

Keywords: Watershed, water resources, environmental management.

INTRODUÇÃO

Metade da população humana vive em cidades e grande parte dessa se encontra na faixa costeira. O Brasil não é exceção a essa regra: mais de 60% da população habita cidades costeiras. Muitas das maiores cidades do planeta estão localizadas em áreas costeiras: 40% da população do planeta vive a 60km da costa, e, portanto, são em maior ou menor grau, a depender da vulnerabilidade de cada cidade, expostas a aumento do nível relativo do mar (NRM), tempestades e inundações associadas (Hanson et al., 2011; Hallegatte et al., 2013).

As zonas costeiras apresentam um amplo conjunto de ecossistemas muito diferentes entre si, incluindo, entre outros, praias arenosas, dunas, manguezais, restingas, barreiras de recifes, lagunas, enseadas, baías, costões rochosos, deltas e estuários (MANN, 2000).

Os estuários apresentam características funcionais únicas, caracterizando-se como ecossistemas costeiros de grande relevância ambiental. Servem de habitat para diversos animais desde formas microscópicas até grandes peixes, aves, répteis e mamíferos. Apresentam condições ideais para alimentação, proteção e reprodução de representantes de todos os elos da cadeia alimentar (COELHO; HAVENS, 2015). Fornecem nutrientes e matéria orgânica para outros ecossistemas costeiros e, ainda, permitem o desenvolvimento de vegetação singular (BARRAGÁN, 2004).

A água é um dos mais importantes recursos naturais e um dos mais susceptíveis a impactos decorrentes de atividades antrópicas. A pressão humana associada aos diferentes usos da terra é a principal ameaça à integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos, e pode impactar o habitat, a qualidade da água e, conseqüentemente, a biota. Esses impactos provocam alterações ambientais de diversas formas. Entre as principais alterações antrópicas em ambientes aquáticos estão: alteração hidrológica, contaminação, enriquecimento com nutrientes, retirada da vegetação ripária, assoreamento e alteração biológica (HAMADA et al., 2014).

Christofoletti (1996) propôs que a bacia hidrográfica é uma unidade de análise apropriada para avaliar a qualidade ambiental de uma determinada região, uma vez que é um sistema ambiental complexo que pode ser estudado a partir de uma perspectiva de funcionalidade integrativa.

Segundo Botelho & Silva (2004) a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica pode ser entendida como um reflexo da ação humana sobre o espaço e seus componentes em um determinado momento. Os diferentes

níveis de qualidade encontrados são variáveis no tempo e no espaço e dependem das demandas e usos dos recursos naturais pela sociedade. A qualidade ambiental deve ser vista não apenas como a soma de cada componente do meio ambiente, mas como uma condição essencialmente ligada à qualidade de vida das populações.

Avaliar a qualidade ambiental de um ambiente urbano é uma tarefa bastante complexa, visto que existe muitos parâmetros que atuam de forma sinérgica, variando e combinando continuamente a paisagem urbana (Lima, 2013).

Além disso, a qualidade ambiental está intimamente ligada à qualidade de vida, uma vez que deve haver uma interação e um equilíbrio entre o meio ambiente e as atividades que envolvem a vida humana. No ambiente urbano, estão envolvidos elementos naturais (físicos e biológicos) e antrópicos (economia, cultura, relações sociais) e a escolha dos parâmetros ambientais não é um consenso, devendo ocorrer naqueles que melhor representem a inter-relação com a qualidade de vida. Embora não exista um método unificado para a análise da qualidade ambiental, observa-se que muitos estudos utilizam informações sobre as condições do ambiente físico, infraestrutura básica, dados demográficos e cobertura vegetal (Dias et al., 2011; Bastos & Fonseca, 2013; Ribeiro & Mendes, 2015).

De modo geral, a qualidade da água dos rios, lagoas e outros reservatórios são comprometidos pelos poluentes que nela são lançados. Estes são provenientes de esgotos domésticos, efluentes industriais ou de outras fontes decorrentes do carreamento de contaminantes pela água de chuva que escoam pela superfície do solo ou pavimentação (Soares; Maia, 1994).

Segundo Silva et al., (2014), os recursos hídricos são utilizados para mais variadas funções, destacando-se o abastecimento humano, a dessedentação animal, a geração de energia, a irrigação e a harmonia paisagística; essas múltiplas funções dão à água um valor ambiental, social e econômico de relevante importância, exigindo assim, normatização e fiscalização do seu uso e qualidade. (CONAMA 357/2005).

O uso e a ocupação do solo influenciam a qualidade da água de uma bacia hidrográfica, mesmo com suas condições naturais preservadas, pois a composição da água pode ser afetada pela declividade superficial e pela infiltração no solo de despejos domésticos e/ou defensivos agrícolas. Em vista disso, a forma de utilização dos recursos hídricos e o despejo de substâncias tóxicas nos corpos d'água têm demandado constantes estudos de monitoramento e atenção especial dos gestores ambientais (MARQUES et al., 2007).

No contexto das regiões metropolitanas brasileiras, a urbanização sem o conhecimento técnico adequado tem causado a ocupação de áreas de alta fragilidade ambiental, o que tem gerado desequilíbrios no ambiente natural. Nestes casos, é comum observar erosões, assoreamentos, inundações, que são impactos geralmente relacionados ao uso e ocupação inadequada do solo, devido à falta de conhecimento técnico das capacidades e fragilidades ambientais (Oliveira, 2010; Tominaga et al., 2012).

Dentre as principais bacias hidrográficas do município de São Luís - MA, destaca-se a do Bacanga que apresenta grande complexidade e relevância ambiental e é possível observar que o crescimento progressivo da população na bacia, aliada ao aumento do uso e ocupação do solo que se processa de forma desordenada, vem contribuindo para o aumento da compactação do solo, assoreamento e contaminação dos corpos de água da bacia. Devido estes aspectos é possível afirmar que há necessidade de se planejar o crescimento da bacia, haja vista ser considerada uma das principais contribuintes para o abastecimento de água da cidade de São Luís – MA.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a sazonalidade dos parâmetros físico-químicos superficiais da água e sedimentos do Rio das Bicas em São Luís no

estado do Maranhão, Brasil.

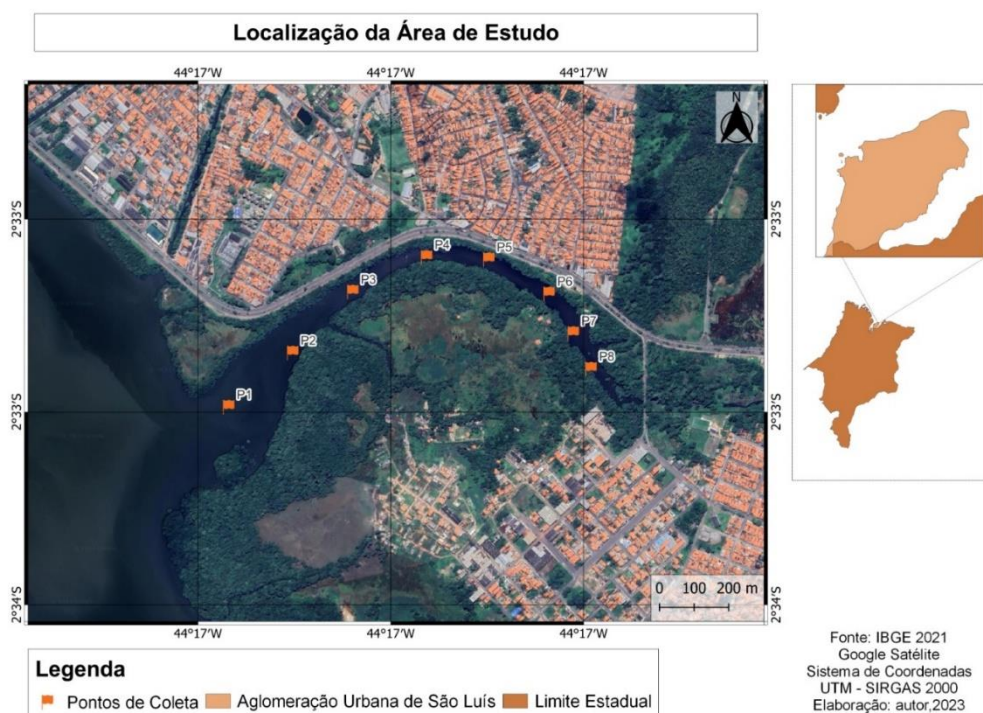
METODOLOGIA

Área de estudo

O Rio das Bicas constitui um dos mais importantes afluentes do rio Bacanga, o principal componente hidrológico da Bacia Hidrográfica do Bacanga, apresenta um curso de pequeno porte, onde a participação das águas doces é a mínima possível, devido à influência das marés, que possuem grandes amplitudes. A barragem no local ocasionou a formação de um “lago”, que é explorado por uma boa parcela da população que vive em torno do mesmo (MMT, 2007).

A sub-bacia do Rio das Bicas como mostra figura 1, encontra-se situada no centro oeste da Ilha de Maranhão e ao norte do Parque Estadual do Bacanga, abrange os bairros da Coheb, Sacavém, parte do Parque dos Nobres, Timbiras e Pindorama, além dos bairros de invasão do Coroadinho e parte do Coroado. Nesse local, ocorre descarga de grande parte dos esgotos da cidade. De acordo com Martins (2008) tem sua delimitação pelas coordenadas 2°33.132' S e 44°17.205' W.

Figura 1. Mapa de Localização dos Pontos de Coleta.



Fonte: autor.

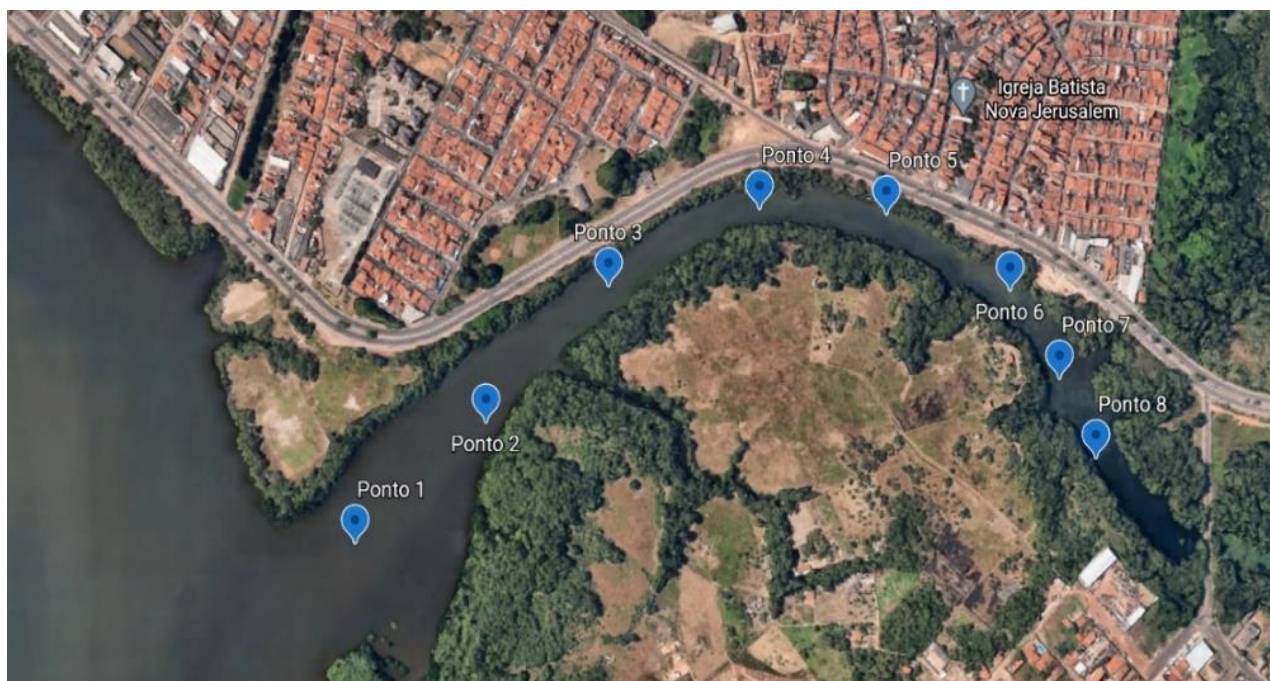
A bacia do Bacanga abriga duas unidades de conservação (UC's): o Parque Estadual do Bacanga (criado pelo Decreto Estadual nº 7.545/1980) e a Área de Proteção Ambiental (APA) do Maracanã (criada pelo Decreto Estadual nº 12.103/1991).

O Parque Estadual do Bacanga possui nos seus limites, além de todo potencial biótico, construções antigas que datam do século XVIII, a exemplo do Sítio do Físico. Este se localiza na margem direita do Rio Bacanga, sendo possível observar as ruínas remanescentes de um dos maiores complexos industriais do Maranhão (RIBEIRO, 2003), encontrado próximo a extensos manguezais, que forneciam o tanino utilizado no processo de curtimento de couro (TEIXEIRA & TEIXEIRA, 2005).

Coleta e análises

A coleta foi realizada em duas etapas por conta da variabilidade sazonal dos fatores ambientais que têm influência direta sobre o grau de eutrofização de um corpo hídrico, sendo uma no período chuvoso, e outra no período seco. Foram definidos 8 pontos ao longo do leito do rio (figura 2), localizados pelas seguintes coordenadas geográficas: Ponto 1 (-44.289204, -2.5548697,-37.0), Ponto 2 (-44.287544, -2.553464,-41.0), Ponto 3 (-44.285988, -2.5518808,-20.0), Ponto 4 (-44.284073, -2.5509832,-34.0), Ponto 5 (-44.282463, -2.5510435,-13.0), Ponto 6 (-44.280895, -2.5519316,-20.0), Ponto 7 (-44.28027, -2.5529573,-31.0) Ponto 8 (-44.279808, -2.553879,-48.0).

Figura 2. Localização dos Pontos de Coleta das Amostragens.



Fonte: autor.

Os locais de amostragem foram estabelecidos de forma a assegurar que elas fossem significativas para a caracterização do sistema. As amostras foram coletadas aproximadamente a 10 cm da superfície, em frascos de polietileno e de vidro, previamente ambientados com a água do local por três vezes (ABNT, 1987). Em seguida, foram preservadas em isopor com gelo (temperatura aproximadamente 4° C) até a chegada ao Laboratório Ciência do Ambiente – LACAM situado na Universidade CEUMA.

Análises físico-químicas da água

Para determinação dos parâmetros físico-químicos foi utilizado como base os Métodos para as Análises de Águas, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). As seguintes variáveis físico-químicas: temperatura, potencial hidrogênio (pH), turbidez e condutividade elétrica, foram obtidas in loco através do aparelho multiparâmetros digital Horiba U-10. Sólidos total dissolvido (TDS); nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e o fósforo total foram

determinados utilizando o Fotômetro- Hanna instruments HI 83200.

Coleta e caracterização físico-química do sedimento

As coletas foram realizadas em áreas de remanso, onde ocorre maior acúmulo de material fino, com o auxílio do tubo de PVC de 50 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro. Os materiais retirados foram homogeneizados em balde de plástico e acondicionado em sacos plásticos etiquetados, mantidos em caixas de isopor e transportados para o Laboratório de Ciência do Ambiente - LACAM da Universidade CEUMA, para fins de caracterização física e química.

As seguintes variáveis físico-químicas: potencial hidrogênio (pH), teor de matéria orgânica, carbono orgânico, foram obtidos in loco através do aparelho multiparâmetros digital Horiba U-10 (CARMO et al., 2012 e SILVA, 2015).

Análise estatística

Foi utilizado o método de análise multivariada, que é amplamente aplicado para classificação, modelagem e interpretação de grandes conjuntos de dados, e é utilizado para reduzir o complexo conjunto de dados com a perda mínima da informação original. A Análise de

Componentes Principais (ACP) é uma técnica de reconhecimento de padrões que agrupa os elementos em classes (clusters), com base em suas semelhanças em uma classe e em diferenças entre classes diferentes. Os dados resultantes do PCA ajudam a interpretar os resultados e indicar padrões (HAJIGHOLIZADEH e MELESSE, 2017 e CAVALCANTI, et al., 2020).

Para as análises estatísticas dos resultados, foi aplicado o ANOVA unidirecional, usando o teste de comparação de médias de Fisher LSD, por meio do software Origin Pro 8.0 (CAVALCANTI, et al., 2020).

Para técnicas de análise multivariada, especificamente a Análise de Componentes Principais (ACP), foi conduzida utilizando o software Minitab17 (HONGYU, 2015) como uma ferramenta adicional para análise dos resultados (SILVA et al., 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos parâmetros físico-químicos da água

Na tabela 1 são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos da água nos 8 pontos de amostragem para os meses de março e junho (período chuvoso) e setembro e dezembro de 2020 (período seco).

Tabela 1. Valores dos resultados dos parâmetros físico-químicos CONAMA 357/05.

Parâmetros/ Período chuvoso	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Média/DP ($\bar{x} \pm DP$)	CONAMA 357/05
pH	7,40	6,48	6,58	6,51	7,49	7,12	7,13	7,22	6,98 ± 0,42	6,0 à 9,0
Tub (UNT)	20,3	25,1	33,4	23,3	12,6	22,5	24,2	22,6	23,04 ± 5,73	≤ 100UNT
Cond (µS/cm)	3,67	4,38	3,86	4,25	15,3	3,66	3,53	3,26	5,24 ± 4,08	1-100µS/cm
TDS (mg/L)	235	280	247	272	949	254	226	209	334,00 ± 249,58	≤ 1000mg/L
Salinidade	1,9	2,3	2	2,3	8,9	1,9	1,9	1,7	1,86 ± 0,44	0,5 %
Nitrato (mg/L)	8,0	16,6	4,4	15,1	15,6	1,7	8,8	16,9	10,98 ± 5,95	10 mg/L
Nitrito (mg/L)	0,13	0,13	0,15	0,04	0,15	0,11	0,15	0,11	0,12 ± 0,04	≤1,0 mg/L
Fosforo Total (mg/L)	4,7	2,1	2,1	2,4	2,6	2,2	1,5	3,0	2,58 ± 0,96	1 mg/L
Ca (mg L⁻¹)	0,98	1,28	0,60	1,80	0,40	1,92	0,53	0,41	0,99 ± 0,62	40 à 170
Mg (mg L⁻¹)	0,37	1,44	0,26	1,8	1,8	1,9	1,9	0,8	1,28 ± 0,70	40 à 170
OD (mg/L O₂)	7,88	4,74	8,28	2,1	2,3	2,5	5,54	6,2	4,93 ± 2,47	5 mg/L O₂
DBO (mg/L O₂)	14	16	17	19	25	21	25	19	19,50 ± 4,00	5 mg/L O₂
Temperatura (°C)	32,5	31,9	32,2	33,2	33,8	31,8	31,1	30,8	32,16 ± 1,00	20,0 à 33 °C
Parâmetros/ Período seco	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Média/DP ($\bar{x} \pm DP$)	CONAMA 357/05
pH	8,73	7,92	7,96	7,37	6,35	6,03	5,98	6,25	7,06 ± 1,07	6,0 à 9,0
Tub (UNT)	31,7	29,7	42,4	41,9	37,2	39,7	34,0	25,7	35,29 ± 6,04	≤ 100UNT
Cond (µS/cm)	33,5	31,7	14,3	15,1	8,29	10,0	9,30	8,11	15,29 ± 11,60	1-100µS/cm
TDS (mg/L)	205	193	888	939	515	615	583	310	405,00 ± 330,00	≤ 1000mg/L
Salinidade	21,0	19,7	8,3	8,6	4,5	5,5	5,1	2,2	8,36 ± 7,35	0,5 %
Nitrato (mg/L)	6,5	11,8	3,9	12,0	14,7	0,5	5,0	14,7	8,08 ± 6,00	10 mg/L
Nitrito (mg/L)	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,17 ± 0,01	≤ 1,0 mg/L
Fosforo Total (mg/L)	0,2	0,2	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,31 ± 0,12	1 mg/L
Ca (mg L⁻¹)	90	25	68	72	45	46	51	27	53,00 ± 22,46	40 à 170
Mg (mg L⁻¹)	14	12	13	14	9,0	9,0	9,0	7,0	10,88 ± 2,70	40 à 170
OD (mg/L)	7,88	4,74	8,28	2,1	2,3	2,5	5,54	6,2	6,16 ± 5,29	5 mg/L O₂
DBO	14	16	17	19	25	21	25	19	18,00 ± 3,82	5 mg/L O₂
Temperatura (°C)	32,5	31,9	32,2	33,2	33,8	31,8	31,1	30,8	31,04 ± 0,37	20,0 à 33 °C

Fonte: autor.

Os valores de pH nos 8 pontos investigados apresentaram baixa variação com tendências próxima à neutralidade, oscilando entre 6,98 e 7,06 tanto no período chuvoso como no período seco satisfazendo os padrões de qualidade classe O2, prescrito pela Resolução CONAMA nº 357/2005 que são (6 e 9) pH em corpos hídricos. Na pesquisa de SERRA, et al, (2003) avaliando os parâmetros

físico-químicos em águas do estuário do rio Anil (São Luís, Estado do Maranhão) o pH mostrou-se pouco variável, com valores ligeiramente alcalinos, oscilando na estação I entre 7,30 e 7,92 e na estação II, entre 7,25 e 7,90 durante o período amostrado. Estes valores são comuns em corpos d'água onde existem misturas de água doce com água salgada.

Em relação à turbidez, observou-se que na média dos pontos chuvoso ($23,04 \pm 5,73$ UNT) e seco ($35,29 \pm 6,04$ UNT) estão em conformidade com a resolução CONAMA 357/05. A condutividade elétrica depende da concentração dos íons presentes na solução e da temperatura e, por isso, essas medidas devem estar sempre associadas. O valor da média nos pontos chuvoso ($5,24 \pm 4,08$, $\mu\text{S}/\text{cm}$) e seco ($15,29 \pm 11,60$ $\mu\text{S}/\text{cm}$) nas médias dos pontos amostrais estão dentro de valores aceitáveis pela legislação que é de $1-100 \mu\text{S}/\text{cm}$. Isto pode ser devido à retirada das matas ciliares, o que causa o maior aporte de material particulado na coluna d'água do rio. Observou-se no período seco os maiores valores e, segundo Esteves (2011), isto ocorre devido ao fato de a condutividade elétrica ser inversamente proporcional ao valor de índice pluviométrico.

A partir dos dados obtido com a análise das amostras de água da Sub-bacia Rio das Bicas, pode-se perceber que a temperatura da água oscilou entre $31,0$ e $33,0$ °C, ou seja, não sofreu grandes variações entre as médias geral dos pontos no período da pesquisa. Apesar da resolução nº 357 CONAMA (BRASIL, 2005) não definir limite de temperatura para o consumo humano, é importante, para a fauna e flora local, não sofrer com variações abruptas de temperatura.

O estudo de (PAULA, et al, 2021) analisando a qualidade da água do rio Itapecuru no município de Caxias-MA não houve uma variação expressiva da temperatura da água ao longo das coletas, sendo a média geral dos pontos de $27,8$ °C próxima da nossa pesquisa. Mas é importante salientar que nos períodos (chuvoso e seco) e nos 8 pontos de coleta (horário próximo às 9h30) indica que a água do rio foi aquecida por algum fenômeno produzido pelo homem como, por exemplo, o despejo de efluentes domésticos, mesmo que tratados.

Em contrapartida, as Durezas de Cálcio e Magnésio foram satisfatórias na média de chuvoso Ca^{+2} ($0,99 \pm 0,62$ mg/L^{-1}) para Mg^{+2} ($1,28 \pm 0,70$ mg/L^{-1}) e seco foram de Ca^{+2} ($53,00 \pm 22,46$ mg/L^{-1}) para Mg^{+2} ($10,88 \pm 2,70$ mg/L^{-1}) estando todos dentro dos valores permitidos nas duas estações.

Quanto ao oxigênio dissolvido (OD), é um dos parâmetros mais importantes para exame da qualidade da água, pois revela a possibilidade de manutenção de vida dos organismos aeróbios. Observando o disposto na Tabela 1, pode-se notar que a maioria dos valores de OD são maiores a média para estação chuvosa foi de ($4,93 \pm 2,47$ mg/L) e para estação seca foi ($6,16 \pm 5,29$ mg/L) que os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 o mesmo comportamento observado por Soares, et al., (2014) que pesquisou sobre comunidade ictioplânctônica

da Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga na Cidade de São Luís, Maranhão, Brasil. Verificou-se que, em alguns pontos de coleta destas amostras, o rio sofre grande impacto dos efluentes lançados, oriundos da atividade humana.

Para os valores obtidos para nutrientes (nitrito e nitrato e fósforo total) nas estações, houve variações nos valores dos resultados. No seco os valores encontrados para os 3 nutrientes estão em conformidade com a legislação permitidos de $10 \text{mg}/\text{L}$ para nitrato e $1,0 \text{mg}/\text{L}$ para nitrito e no chuvoso só o nitrito está no limite estabelecidos pelo CONAMA 357/05. Os valores de nitrito chuvoso ($0,12 \pm 0,04$ mg/L) e nitrato chuvoso ($10,98 \pm 5,95$ mg/L) e para seco ($0,17 \pm 0,01$ mg/L) e nitrato ($8,08 \pm 6,00$ mg/L) e quanto a concentração de fosforo total nas amostras os resultados estiveram período chuvoso ($2,58 \pm 0,96$ mg/L) excederam o permitido pela legislação para águas de classe 2 para ambientes lóticos. A elevação do teor de fósforo total pode ser causa pelo descarte de detergentes superfosfatados, matéria fecal ou drenagem de áreas agrícolas. No período seco ($0,31 \pm 0,12$ mg/L) foi que ficou abaixo do permitido.

Corroborado por Da Silva e Vargas (2017), o fósforo ocorre em águas naturais e efluentes na forma de fosfatos, no qual é muito utilizado como parâmetro para classificar águas naturais, indicando que houve uma ação antrópica, principalmente decorrida de efluentes domésticos (MUNIN et al., 2017).

Para Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) teve valores bem significativos para chuvoso média entre os pontos ($334,00 \pm 249,58$ mg/L) e seco ($405,00 \pm 330,00$ mg/L). A salinidade em todos os pontos nas duas estão acima do valor estabelecido pela CONAMA 357/05 que é de até $0,5\%$.

No ambiente estuarino, a temperatura e a salinidade podem variar horizontalmente e verticalmente na coluna d'água, sendo que esta diluição é o principal fator que controla a dispersão e atividade de animais e plantas, agindo como fatores limitantes à reprodução, ao crescimento e à distribuição de organismos (CONCEIÇÃO, 2013).

A DBO ultrapassou o limite de $5,0 \text{mg}/\text{L}$ estabelecido pela resolução 357 do CONAMA nos períodos chuvoso e seco, indicando que a depreciação do nível de OD pode ser ainda maior do que a apresentada acima. O crescimento demasiado de plantas aquáticas provoca a diminuição do oxigênio dissolvido na água, impedimento da passagem de luz e conseqüentemente pode vir a levar morte dos peixes.

Esses processos ocorrem naturalmente, a partir da precipitação pluviométrica, que proporciona o escoamento

superficial, responsável pelo carreamento em direção aos cursos d'água da bacia, do material particulado gerado a partir do impacto da gota de chuva no solo e dos íons oriundos da dissolução das rochas, além de carbono orgânico e compostos nitrogenados (Santos et. al. 2018).

Análise dos Parâmetros Físico-químicos do Sedimento

Na tabela 2 são apresentados os resultados dos parâmetros físico-químicos do sedimento nos 8 pontos de amostragem para os meses de março e junho (período chuvoso) e setembro e dezembro de 2020 (período seco).

Tabela 2. Valores dos resultados dos parâmetros físico-químicos EMBRAPA 2017.

Parâmetros Período Chuvoso	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Média/DP ($\bar{x} \pm DP$)	EMBRAPA 2017
pH	5,7	5,0	5,3	4,6	4,8	5,1	4,7	5,3	5,06±0,37	6 à 8
Nitrato (mg/L)	5,6	2,8	7,6	17,3	9,3	15,9	13,2	14,9	10,83±5,27	10 mg/L
Nitrito (mg/L)	0,05	0,08	0,14	0,13	0,11	0,14	0,13	0,1	0,11±0,03	1,0 mg/L
PO4 Total (mg/L)	3,31	1,6	3,8	2,7	2,0	2,7	1,1	0,3	2,16±1,14	1,0 mg/L
MO (%)	5,75	28,25	32,75	20,5	20,0	27,5	28,5	22,5	23,19±8,31	-
CO (%)	5,0	6,0	3,33	22,0	5,0	21,66	22,66	13,0	12,33±8,59	-
CTC (mg/L)	21,95	22,2	21,65	20,95	21,45	21,75	23,7	23,2	22,11±0,92	-
Parâmetros Período Seco	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Média/DP ($\bar{x} \pm DP$)	EMBRAPA 2017
pH	4,8	5,4	4,9	5,1	4,9	4,8	5,4	5,3	5,08±0,26	6 à 8
Nitrato (mg/L)	14,8	8,4	15,5	13,9	4,9	4,1	12,6	14,9	11,14±4,6	10 mg/L
Nitrito (mg/L)	0,24	0,31	0,11	0,24	0,17	0,11	0,13	0,21	0,19±0,07	1,0 mg/L
PO4Total (mg/L)	3,5	4,4	3,3	3,3	5,3	2,5	9,3	3,4	4,38±2,16	1,0 mg/L
MO (%)	31,25	32,25	26,6	32,0	43,5	28,25	27,5	10,5	28,98±9,15	-
CO (%)	3,33	6,0	5,66	22,0	5,0	21,66	16,66	20,33	12,58±8,30	-
CTC (mg/L)	23,65	24,0	24,2	22,75	23,95	24,45	23,7	23,45	23,77±0,52	-

Fonte: autor.

A média e desvio padrão para o pH encontrado para o sedimento nas duas estações chuvoso (5,06±0,37) e estação seco (5,08±0,26). Quanto ao pH, está em conformidade com a EMBRAPA (2017). Os valores encontrados de pH (4,0 e 5,5) no rio Tocantins são bem semelhantes aos demonstrados por outros estudos, demonstrando que são essencialmente ácidos, situação típica do latossolo de cerrado (DUTRA et al., 2020).

Para os valores de carbono orgânico (CO) foram encontrados para o sedimento na estação chuvosa (12,33±8,59 %) para e estação seco (12,58±8,30 %).

Para matéria orgânica (MO) para o sedimento na

estação chuvosa (23,19±8,31 %) para e estação seco (28,98±9,15 %) na sazonalidade, estando acima de 10% considerado orgânico. Quanto às porcentagens de matéria orgânica e carbono orgânico não houve semelhança estatística entre os dados obtidos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Castro, et al., (2019) em uma das nascentes do seu estudo, com valores de MO variando de (0,60%) no período seco e (3,99%) no período chuvoso, encontraram valores diferentes em seu estudo acerca do Rio Mearim, com valores de MO variando, em sua maioria, de (10,09% a 18,23%,).

Comparando-se os resultados desta investigação com pesquisa similar, em relação aos dados de matéria orgânica do Rio Tocantins, conclui-se que esta advém, sobretudo, de processos erosivos das áreas que estão no entorno do rio, os quais são intensificados pela ausência de mata ciliar. Segundo Santiago e Cunha-Santino (2014), com os processos erosivos, os solos perdem parte de seus nutrientes e de sua matéria orgânica, corroborando, assim, para um sedimento essencialmente inorgânico.

Análise de Componentes Principais (ACP)

Foi possível determinar a heterogeneidade espacial e temporal usando análise de componentes principais (ACP) que, claramente, separa os parâmetros os períodos seco e chuvoso reunindo em oito pontos de amostragem de água do rio, está apresentado na Figura 3.

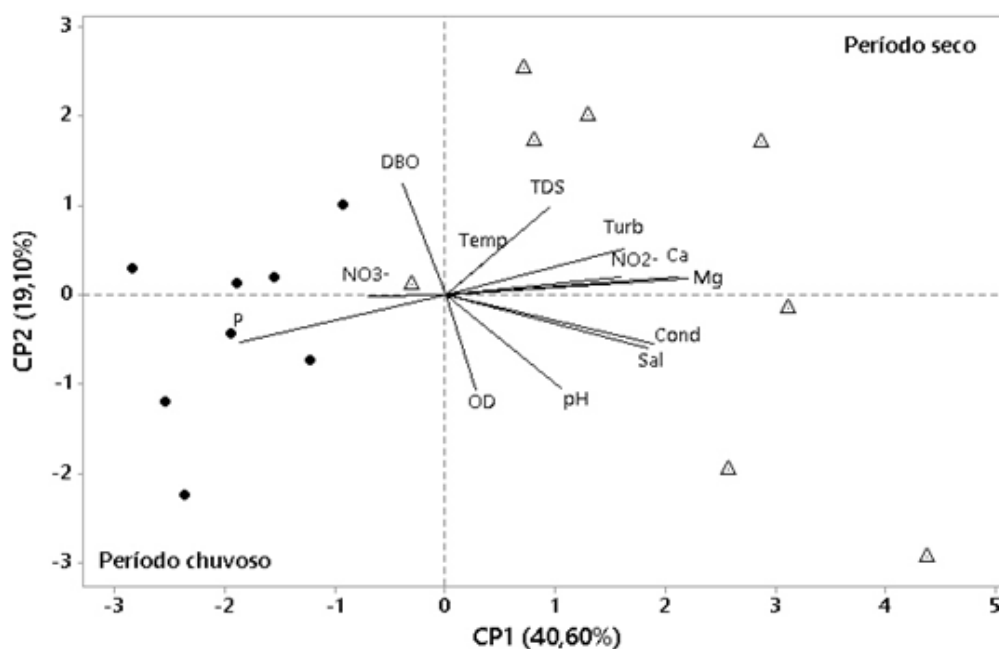
Das primeiras componentes principais, a componente principal 1 (CP1) apresenta estatisticamente 40,60% da variação. As duas primeiras dimensões da (CP2) explicam 19,10% da variância, sendo que primeiras

duas dimensões (CP1 e CP2) explicaram 73,10% da variação total dos dados.

No período chuvoso, onde foram verificadas as maiores concentrações de DBO, Fosfato (PO_4) e nitrato (NO_3) e o outro agrupamento, relacionado ao período seco, o qual foram verificados os maiores teores de (TDS) sólido dissolvidos total, (TUN) turbidez, nitrito (NO_2^-), (Ca^{+2}) cálcio, (Mg^{+2}) magnésio, (CE) condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido e pH.

Das primeiras componentes principais, a componente principal 1 (CP1) descreveu estatisticamente, 40,60% da variação total dos dados. As duas primeiras dimensões da ACP explicam 59,70% da variância. Dois agrupamentos podem ser vistos (Figura 3), um, relacionado ao período chuvoso, onde foram verificadas as maiores concentrações de DBO, P e nitrato (NO_3^-) e o outro agrupamento, relacionado ao período seco, o qual foram verificados os maiores teores de TDS, turbidez, nitrito (NO_2^-), cálcio, magnésio, condutividade elétrica, salinidade, oxigênio dissolvido e pH.

Figura 3. Análise de Componentes Principais para os Parâmetros físico-químicos da Água.

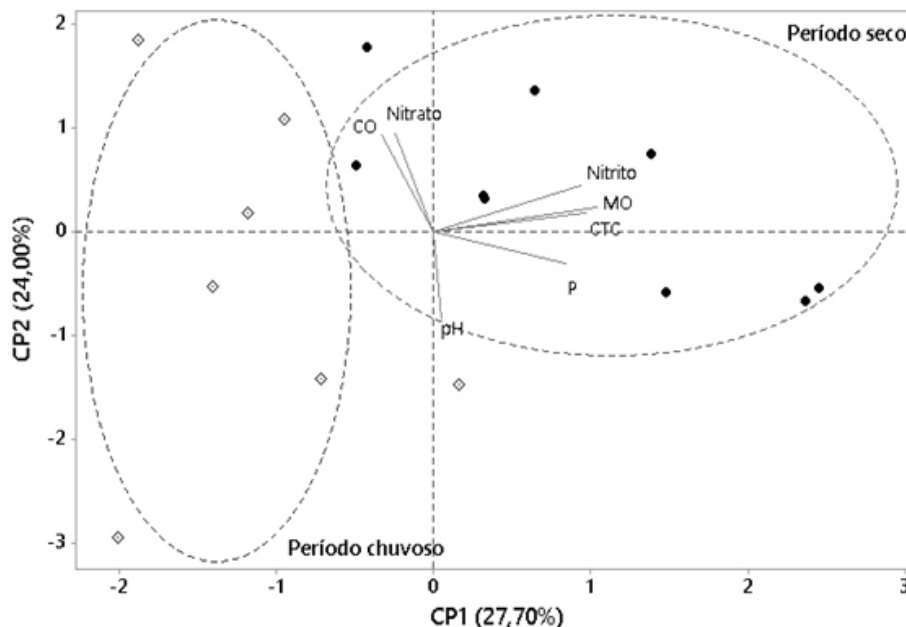


Fonte: autor.

Foi possível determinar a heterogeneidade espacial e temporal usando análise de componentes principais (ACP) que, claramente, separa os parâmetros os períodos seco e chuvoso reunindo em oito pontos de

amostragem de sedimento. Ainda segundo a PCA houve diferenciação entre as variáveis, dois agrupamentos podem ser vistos (Figura 4)

Figura 4. Análise de componentes principais para os parâmetros físico-químicos do sedimento.



Fonte: autor.

Das primeiras componentes principais, a componente principal 1 (CP1) descreveu estatisticamente, 27,70% da variação total dos dados. As duas primeiras dimensões da ACP explicam 51,70% da variância. Dois agrupamentos podem ser vistos (Figura 4), um, relacionado ao período chuvoso, onde foram verificadas as maiores concentrações de nitrato (NO_3^-) e carbono orgânico. No outro agrupamento, relacionado ao período seco, foram verificados os maiores teores de nitrito (NO_2^-), matéria orgânica, CTC, fósforo e pH.

período seco sendo considerados similares entre si, isso pode ser explicado o eixo 1, que explica 27,70% das variações de (NO_3^-) nitrato, (NO_2^-), nitrito, (MO) matéria orgânica, (CO) carbono orgânico, (CTC) capacidade de troca catiônica, (P) fósforo e (pH) potencial de hidrogênio. No período chuvoso o eixo 2 explica 24,00% das variações primeiras duas dimensões (CP1 e CP2) explicaram 73,10% da variação total dos dados.

Assim observou-se a variação temporal dos parâmetros estudados pode ser confirmada através da separação dos meses e agrupamentos dos pontos de amostragem.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos de salinidade, DBO, fósforo, nitrato e oxigênio dissolvidos não estão em conformidade, com o recomendado pela Resolução

CONAMA 357/05 como é o caso do pH que durante os períodos seco e chuvoso apresentaram no limite padrão nos oito pontos analisados, o valor de fósforo período seco estava acima do recomendado pela legislação, chegando o valor até 2,58mg/L.

Desse modo, as informações e os estudos podem ser usados como subsídios para ações pedagógicas nos mais diversos níveis de conhecimento. Podem ainda contribuir no gerenciamento dos recursos hídricos, não se restringindo apenas aos gestores envolvidos com a bacia, mas também a qualquer pessoa interessada em desenvolver ações que visem à preservação e à gestão das águas.

É importante ressaltar que a gestão da bacia hidrográfica do Bacanga deve estar associada ao plano diretor do município, definindo diretrizes de uso e ocupação do solo, considerando-se as restrições impostas pelo suporte natural. Dessa forma, o presente trabalho aponta para uma urgente e necessária formulação de estratégias que permitam o uso sustentável dessa bacia, integrando fatores sociais, econômicos e ambientais, promovendo, dentre outras coisas, a sobrevivência de comunidades que dependem da pesca. Foi possível determinar a heterogeneidade espacial e temporal usando análise de componentes principais (ACP) que, claramente, separa os parâmetros os períodos seco e chuvoso reunindo em oito pontos de amostragem de água do rio.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. R. V. Aspectos do processo de degradação ambiental na bacia do rio Bacanga. São Luís, 1998. 55 p. Monografia (Curso de Geografia Bacharelado) – Universidade Federal do Maranhão.
- BARRAGÁN, J. M. Superando conflitos entre porto e estuário. In: CUNHA, I. Portos no Ambiente Costeiro. Santos: Editora Universitária Leopoldianum, 2004.
- BITTENCOURT, D. C. Concepções e percepções ambientais no Parque Estadual do Bacanga, São Luís, MA. São Luís, 2008. 60 p. Monografia (Curso de Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Maranhão.
- CETESB (2007). Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: CETESB, 2007. Série Relatórios
- COELHO, R. M. P.; HAVENS, K. Crise nas Águas. Educação, ciências e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas. Belo Horizonte: Recóleo, 2015.
- COELHO, C. J. C. Aspectos da disponibilidade e dos usos da água na bacia do rio Bacanga/Ilha do Maranhão (Ilha de São Luís) – MA. São Luís, 2006. 125 p. Monografia (Curso de Ciências Aquáticas) – Universidade Federal do Maranhão.
- ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Editora Inter ciência, 1988. 574p.
- CONCEIÇÃO, Carlos Anderson Frazão. Avaliação físico-química e bacteriológica dos pontos de recarga de aquíferos na estação ecológica do sítio do rangedor em São Luís, Maranhão. 69f. Monografia (Graduação em Tecnólogo em Gestão Ambiental) – Faculdade Santa Terezinha, São Luís, 2013
- Hallegatte, S, Green, C, Nicholls RJ, Corfee-Morlot, J (2013) Future flood losses in major coastal cities, Nature Climate Change, Published online: 18 AUGUST 2013 | DOI: 10.1038/NCLIMATE1979.
- Hanson, S et al. (2011) A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. Climatic Change, 104: 89-111.
- LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.
- MANN, K. H. Ecology of coastal waters with implications for management. 2ª ed. Oxford: Ed. Blackwell Science, 2000.
- MARQUES, M.N.; CONTRIM, M.E.; BELTRAME FILHO, O.; PIRES, M.A.F. Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, São Paulo. Química Nova, v. 30, n. 5, p. 1171-1178, 2007.
- MARTINS, A. L. P. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BACANGA (SÃO LUÍS – MA) COM BASE EM VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS, BIOLÓGICAS E POPULACIONAIS: SUBSÍDIOS PARA UM MANEJO SUSTENTÁVEL. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Maranhão – UFMA. 2008.
- MMT. Planejamento e Consultoria. Relatório de consultoria ambiental. Programa de recuperação e melhoria da qualidade de vida do Bacanga. São Luís, 2007. 83 p.
- MUNIN, R. M. et al. Relação do fosfato com a formação e degradação da matéria orgânica no sistema hídrico que cruza o município de Mogi das Cruzes (São Paulo, Brasil). Anais do Encontro Nacional de Pós-graduação, v. 1, n. 1, p. 469-473, 2017.
- NASCIMENTO, J. D. Análise da Área de Proteção Ambiental do Maracanã: Uma contribuição ao seu plano de manejo. São Luís, 2004. 56 p. Monografia (Curso de Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Maranhão.
- OLIVEIRA, C. C. C. O padrão de ocupação urbana e sua influência nas formações vegetais ciliares do rio Bacanga. São Luís, 2008. 53 p. Monografia (Ciências Aquáticas) – Universidade Federal do Maranhão.
- PAJECKI, D. Estudo da redução de nitrato e da produção de compostos N-nitrosos na luz esofágica, mediadas por bactérias, em pacientes portadores de megaesôfago não avançado. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade

de São Paulo, São Paulo, 2005.

PINHEIRO JÚNIOR, J. R. Uso de geotecnologias como subsídio à gestão do Parque Estadual do Bacanga, São Luís, Maranhão, Brasil. Bol. Ciên. Geod, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 377-379, jul-dez. 2006.

QUADROS, Sílvia. Desenvolvimento sustentável e qualidade da água para consumo humano. Açoriano Oriental, p. 28-29, 2019.

RIBEIRO L. M. SILVA. M. H. S. CARVALHO, T. S. V. A EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO EM SÃO LUÍS: um estudo de caso da sub-bacia do Rio das Bicas. VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. 2014.

RIBEIRO, I. A. Principais impactos ambientais e seus reflexos no Parque Estadual do Bacanga. São Luís, 2003. 45 p. Monografia (Especialização em Gestão de Recursos Hídricos) – Universidade Estadual do Maranhão.

ROCHA, L. E. Impactos ambientais relevantes e principais medidas mitigadoras no Parque Estadual do Bacanga. São Luís, 2003. 37 p. Monografia (Especialização em Gestão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) – Universidade Estadual do Maranhão.

SANTOS, R. C. L., LIMA Á. S., CAVALCANTI, E. B., MELO, C. M., MARQUES M. N., Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. Eng Sanit Ambient, volume 23, n.1, pág. 33-46, 2018.

SANTOS, C. P. BATALLA, J. F. Estudos preliminares para avaliar a qualidade ambiental do Rio Acaraú em Ubatuba (São Paulo, Brasil). 2017.

SEMATUR / CVRD. Plano de manejo do Parque Estadual do Bacanga, São Luís – MA. 1992.

SERRA, C. L. M., CAVALCANTE, P. R. S., ALVES, L. M. C., NASCIMENTO, A. R., Diniz, S. C. C. S. Avaliação de Parâmetros físicos e químicos e Pesquisa de Vibrio Parahaemolyticus em águas do estuário do rio Anil (São Luís, Estado do Maranhão). Maringá, volume, 25, no. 2, p. 261-266, 2003.

SILVA, C. O. F. GOVEIA, D. Avaliação da qualidade ambiental de corpos hídricos urbanos utilizando análise multivariada. Interações, Campo Grande. 2018.

SILVA, F. B., MOR AES, D. J., PEREIRA M. A. A., SILVA, I. P., CARVALHO T. M. R., CLASSIFICAÇÃO DA MICROBACIA DO RIO CLARO, UTILIZANDO OS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) E DE ESTADO TRÓFICO (IET). V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Belo Horizonte/MG, 2014.

SOARES, R. D. B. CUTRIM, M. V. J., SILVEIRA, P. C. A. COMUNIDADE ICTIOPLANCTÔNICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BACANGA NA CIDADE DE SÃO LUÍS, MARANHÃO, BRASIL. Revista de Ciências Ambientais - RCA (ISSN 1981-8858). 2014.

TEIXEIRA; A. M. S.; TEIXEIRA, M. P. S. S. A preservação do Parque Estadual do Bacanga a partir de uma proposta didático-pedagógica. 2005. Disponível em: <
http://www.senept.cefetmg.br/galerias/Arquivos_senept/nais/terca_tema4/TerxaTema4Artigo4.p df>. Acesso em: 13 fev. 2008.