



VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DA ÁGUA SUPERFICIAL DE UM RIO TROPICAL DA PRÉ-AMAZÔNIA MARANHENSE

Eduardo Rodrigues
Universidade Ceuma, Maranhão, Brasil
edu_ufma@hotmail.com

Maria Raimunda Chagas Silva
Universidade Ceuma, Maranhão, Brasil
marirah@gmail.com

Larissa Nascimento Barreto
Universidade Federal do Maranhão, Brasil
larissa.barreto@ufma.br

RESUMO – O presente trabalho objetivou analisar a variação espaço-temporal de parâmetros limnológicos da região do médio curso do Pindaré. Para este trabalho foram coletadas amostras de água em seis diferentes pontos, distribuídos em entre as cidades de Tufilândia, Alto Alegre e Bom Jardim. As coletas ocorreram durante os períodos de estiagem e chuvoso da região. Foram analisados a transparência, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, pH, turbidez e nutrientes inorgânicos. Os dados foram comparados à resolução CONAMA 357/2005. A temperatura e transparência da água apresentaram maiores valores durante a estiagem e menores durante o período de chuvas. Houve variação sazonal na concentração do oxigênio dissolvido. A concentração dos nutrientes inorgânicos apresentou variação sazonal sendo mais elevada durante o período chuvoso. O pH variou de pouco ácido a pouco básico. A condutividade apresentou valores variando entre 163 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a 359 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ sendo estes resultados superiores ao estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. As análises estatísticas uni e multivariadas não indicaram variações marcantes entre os pontos e as épocas de amostragem podendo esse resultado ser afetado pela época de amostragem bem como pela dinâmica do fluxo unidirecional do rio que atua como agente homogeneizador as massas d'água.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Recursos Hídricos; Qualidade da água; rio Pindaré.

SPATIAL-TEMPORAL VARIATION OF LIMNOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE SURFACE WATER OF A TROPICAL RIVER IN THE MARANHENSE PRE-AMAZON

ABSTRACT – The present study aimed to analyze the spatial-temporal variation of limnological parameters in the middle course of the Pindaré River. Water samples were collected at six different points, distributed between the cities of Tufilândia, Alto Alegre, and Bom Jardim. Sampling took place during both the dry and rainy seasons in the region. Transparency, temperature, dissolved oxygen, conductivity, pH, turbidity, and inorganic nutrients were analyzed. The data were compared to CONAMA Resolution 357/2005. Water temperature and transparency exhibited higher values during the dry season and lower values during the rainy period. There was seasonal variation in dissolved oxygen concentration. The concentration of inorganic nutrients showed seasonal variation, being higher during the rainy season. pH ranged from slightly acidic to slightly basic. Conductivity ranged from 163 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ to 359 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, surpassing the limits set by CONAMA Resolution 357/2005. Uni- and multivariate statistical analyses did not indicate significant variations between sampling points and seasons, and this result may be influenced by the sampling period and the dynamics of the river's unidirectional flow, acting as a homogenizing agent for water masses.

Keywords: Water Resources; Water Quality; Pindaré River.

INTRODUÇÃO

Os rios são sistemas complexos caracterizados como escoadouros naturais das áreas de drenagens adjacentes, que formam as bacias hidrográficas (BERNARDI, et al. 2009). Os funcionamentos destes sistemas se diferem dos lagos, das áreas inundáveis e reservatórios de duas formas diferentes. A primeira é a permanente movimentação horizontal de massas d'água, e a segunda é a interação com bacia hidrográfica (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Essa interação permanente favorece o transporte de material alóctone orgânico e inorgânico para o ambiente aquático, que por sua vez é influenciado pelas variações sazonais e pelo ciclo hidrológico na bacia hidrográfica. Estes processos interferem diretamente nas características físico-química e biológica da água e consequentemente no seu padrão de qualidade.

Na região amazônica, mais precisamente na bacia do rio Amazonas, a sazonalidade e abundância das chuvas na região Andina provoca uma flutuação anual, regular, monomodal e de grande amplitude no nível das águas (RAMALHO, et al. 2009). A região onde está localizada a bacia hidrográfica do rio Pindaré, localizado no oeste do Maranhão, é caracterizada como uma região de transição ou Pré-Amazônia, essa região apresenta características únicas em termos de clima, relevo, fauna e flora, com uma diversidade de ecossistemas que incluem desde florestas densas até savanas. Nesta região, a variação anual do nível da água é regulada pelas chuvas locais e pela pedologia favorável ao acúmulo e retenção de água (COSTA-NETO, et al. 2002). Esse mecanismo de inundação das áreas próximas à calha do rio promove modificações na ecologia destes ambientes.

A compreensão de como os ecossistemas são naturalmente regulados é um grande desafio, especialmente tratando-se de ambientes lóticos (rios), considerados sistemas abertos, cuja estrutura física sofre modificações ao longo do tempo e do espaço (SIQUEIRA; HENRY-SILVA, 2011). Estes ambientes são os mais afetados pelas atividades humanas nas bacias hidrográficas e compreender seu funcionamento é parte fundamental para medidas de recuperação ambiental, por exemplo.

O Maranhão apresenta uma boa disponibilidade hídrica, a rede hidrográfica é formada por uma grande variedade de ambientes aquáticos, composta por rios, lagos e campos inundáveis, o que lhe confere papel de destaque no cenário nacional, no tocante a magnitude da rede hidrográfica brasileira. No rio Pindaré, estudos limnológicos e ecológicos foram realizados em grande parte na área do baixo curso, região onde estão localizados os lagos. Este é um ambiente formado durante o processo de inundação (pulso) e pelo acúmulo da água da chuva nos campos da Baixada Maranhense. Grande parte destas pesquisas encontra-se em trabalhos monográficos e dissertações, que, ainda não foram publicadas. Até o presente momento o rio Pindaré foi estudado por alguns autores, incluindo os trabalhos sobre o fitoplâncton, comunidade ictiológica, comunidade de pescadores, características limnológicas e qualidade da água de Silva, et al. (2017) Rodrigues, et al. (2015); Cantanhede, (2015); Mitamura, et al (2012); Araujo e Pinheiro, (2011); Araujo e Pinheiro, (2009); Piorski, et al. (2005); Costa-neto et al. (2002); Pompêo, Moschini-Carlos e Silva-Filho, (2002) e Barbieri, et al. (1989).

O presente trabalho soma conhecimento sobre à limnologia de rios maranhenses, além disso a aplicação de estudos limnológicos tem grande relevância, pois possibilita a compreensão do funcionamento dos ambientes aquáticos interiores. Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar a heterogeneidade espaço-temporal dos parâmetros limnológicos superficiais do rio Pindaré relacionando com a Política Nacional de Recursos Hídricos por meio da Resolução CONAMA 357/2005 atualizada para 430/2011, que dispõe sobre a classificação e o enquadramento dos corpos d'água em classes de qualidade de água, além disso esta pesquisa visa relacionar as variáveis hidrológicas do rio à qualidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Pindaré.

METODOLOGIA

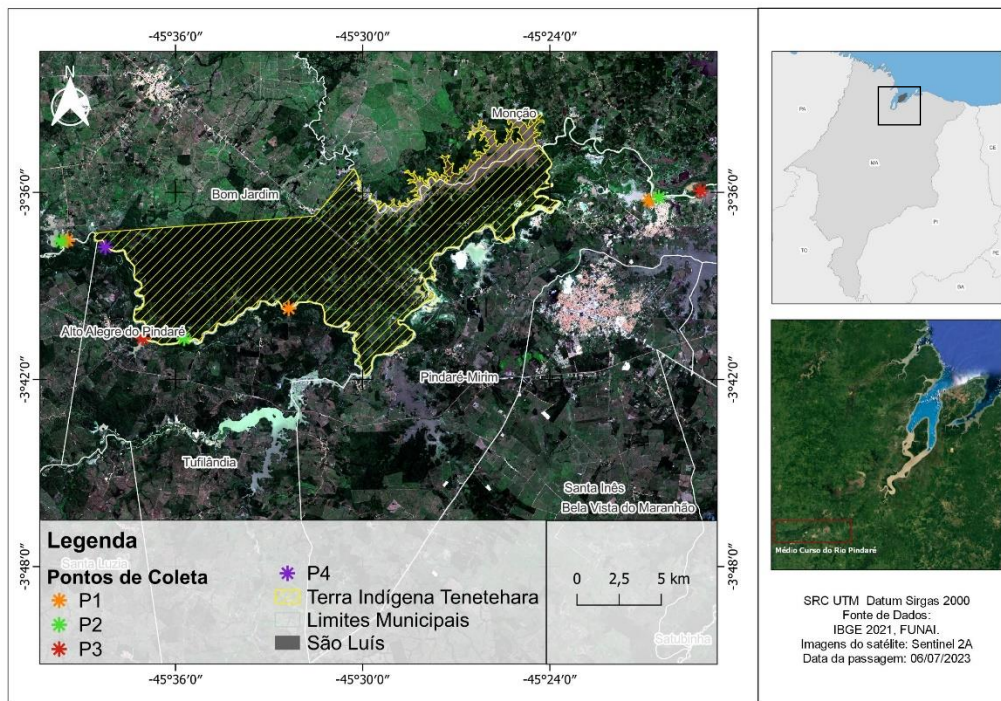
Área de estudo

Segundo Maranhão (2002), a Pré-Amazônia maranhense compreende uma área de transição entre duas regiões brasileiras com características distintas e bem marcantes: o semiárido nordestino e a região de floresta amazônica. Sendo a região de floresta amazônica submetida aos regimes climáticos característicos das regiões norte, umidade elevada, precipitações frequentes e bem distribuídas. Em relação a região nordeste tem-se tipicamente condições de seca, com precipitações pouco volumosas e períodos regulares de estiagem (RODRIGUES, et al. 2015; ALCANTARA, 2004; POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS; SILVA-FILHO, 2002). Na Pré-Amazônia as estações climáticas têm períodos bem marcantes, sendo a chuvosa, abrange os meses de janeiro a junho, e a seca, de julho a dezembro (LIMA, et al. 2009).

Os rios localizados nestas regiões norte e nordeste ou transição têm o seu funcionamento regido de acordo com o regime hidrológico local, tendo picos de inundação e estiagem regulares, alternados ao longo do ano. A região apresenta clima tipo úmido e sub úmido, com moderada deficiência de água no inverno. A temperatura média mensal situa-se acima de 18° C; as temperaturas médias anuais variam entre 25° C e superior a 27° C. Apresenta precipitação pluviométrica anual variando entre 1200 mm a 2400 mm (MARANHÃO, 2002).

A bacia hidrográfica do Rio Pindaré está localizada no estado do Maranhão, na região Nordeste do Brasil, é genuinamente maranhense, ocupa uma área territorial de 34030 km² (MARANHÃO, 2002) incluindo os municípios de Santa Inês, Pindaré-Mirim, Monção, Altamira do Maranhão, entre outros. O Rio Pindaré é um dos principais afluentes do Rio Mearim e seu curso d'água principal mede aproximadamente 720 Km de extensão, desemboca no rio Mearim, antes da baía de São Marcos (RODRIGUES, et al. 2015; POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS; SILVA-FILHO, 2002). O rio nasce nas elevações que formam o divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Mearim e Tocantins (BACIAS DO NORDESTE, 2000), na serra do Gurupí. O rio apresenta em seu baixo curso áreas sujeitas a inundações periódicas, contribuindo para a formação de lagos rasos de grande extensão temporários. Destaca-se entre os demais rios maranhenses pela elevada piscosidade (RODRIGUES, et al. 2015). Embora nesta região a disponibilidade de água seja considerada confortável, há rios que demandam especial atenção, como por exemplo, o rio Mearim, contíguo ao Pindaré, pertencente também à mesma região hidrográfica, que apresenta, segundo, Almeida, et al. (2021), importantes fragilidades ambientais sendo estas um aumento na área desmatada na bacia e altas incidências de queimadas, além do assoreamento dos meandros, facilitando a entrada da cunha salina nos rios da Baixada Maranhense.

Figura 1. Mapa da área de estudo evidenciando as estações de coleta ao longo do médio curso do rio Pindaré. P1-Calixto; P2-Porto das lanchas; P3- Prainha; P4- Poção do Geraldo e P5-Barraca Feliz; P6-Plantação de Arroz. SLZ – São Luis (Capital do estado)



Fonte: Autores.

Coleta de Dados

A amostragem foi realizada em seis pontos de coleta distintos, próximos à margem direita, distribuídos em três municípios localizados no médio curso do rio Pindaré (Figura 1). As duas coletas ocorreram no período de pico das estações chuvosa (maio/2011) e de estiagem (out/2011) na região. Os pontos P1 e P2 estão localizados jusante e a montante, respectivamente, da cidade de Tufilândia, os pontos P3 e P4 estão inseridos na área do município de Bom Jardim e os pontos P5 e P6 próximo a cidade de Alto Alegre. Por tratar-se de um ambiente em que há grande movimentação de massa d'água, foi amostrada apenas água superficial (<30 cm), não sendo tomadas medidas em profundidade, exceto para a transparência. Os parâmetros temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹), condutividade elétrica (µS.cm⁻¹) e pH foram determinado *in situ*, através de aparelho Multiparâmetro Hanna modelo HI9828. A transparência (m) com disco de Secchi. A turbidez (NTU) foi analisada em laboratório através Turbidímetro Digital de Bancada ITTB-1000. Os nutrientes foram determinados em laboratório através de método espectrofotométrico, as concentrações do nitrito (NO₂⁻) e nitrato (NO₃⁻) (MACKERETH et al. 1978), amônio (N-NH₄⁺) (Koroleff, 1976) e fósforo total (PT) (Valderrama, 1981).

Análise dos dados

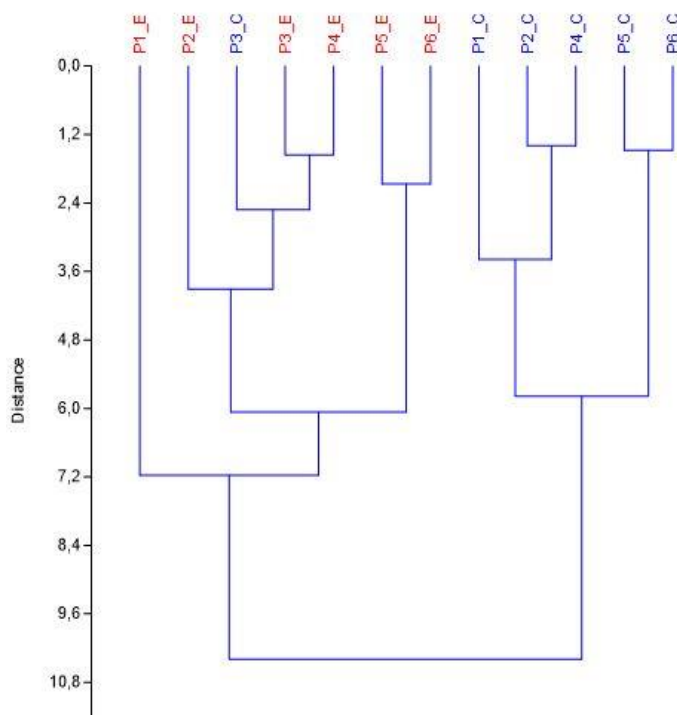
Para comparar as variáveis limnológicas entre si e entre o período de coleta (nos meses de maio/2011 e outubro/2011), foi empregamos o teste estatístico ANOVA (análise de variância). Além disso, uma análise de agrupamento (CLUSTER) foi realizada separadamente para cada período de estudo, considerando tanto a estação seca quanto o período chuvoso, tendo a distância Euclídeana como medida de similaridade para agrupar os dados e entender as relações entre as variáveis em cada época do ano. Para identificar padrões e ordenamentos entre os pontos amostrais, destacando as relações mais importantes entre as variáveis foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (ACP), para isso os dados foram previamente padronizados e *ranging*-

transformados, seguindo a seguinte formulação $[(\text{valor bruto} - \text{valor mínimo}) / (\text{valor máximo} - \text{valor mínimo})]$. O objetivo desta análise é reduzir a dimensão de um conjunto de dados e assim visualizar o ordenamento e a distribuição dos pontos, relacionando-os com a variação dos parâmetros analisados. Todos os testes foram realizados com nível de significância de 0,05 (MASUDA; MOSER; BARRERA-ALBA, 2011). Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico PAST (HAMMER, 2001). Os dados resultantes das análises ambientais foram confrontados diretamente com os valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, para rios Classe II (MELO, et al. 2012), para isso algumas unidades de concentração foram transformadas de micrograma por litro ($\mu\text{g.l}^{-1}$) para miligrama por litros (mg.l^{-1}).

RESULTADOS

Na comparação das médias dos parâmetros limnológicos, o ANOVA não mostrou diferenças significativas ($F=0,077$; $p=0,03$) indicando homogeneidade espacial horizontal. Também não houve diferenças estatísticas significativas ($F=0,1069$; $p=0,04$) entre o período de chuvas e seca na região. A análise de agrupamento indicou que similaridades dos pontos P5 e P6 e, entre os pontos P2, P3, P4 e P1. Apesar do ANOVA não indicar uma variação mais marcada das estações com diferenciação entre os períodos amostrais, o gráfico da análise de cluster sugeriu uma distinção dos períodos amostrados, separando o período seco do chuvoso (Figura 2).

Figura 2. Dendrograma de Análise de Agrupamentos (Clusters) para pontos amostrais no rio Pindaré. P1-Calixto; P2-Porto das lanchas; P3- Prainha; P4- Poção do Geraldo e P5- Barraca Feliz; P6-Plantação de Arroz.



Fonte: Autores

As Tabelas 2 e 3 apresentam informações quanto aos valores obtidos das análises das variáveis hidrológicas no período de chuvas e estiagem, respectivamente, do rio Pindaré.

Tabela 2. Valores das variáveis físico-químicas da água do rio Pindaré durante o período estudado chuvoso (maio). P1-Calixto; P2-Porto das lanchas; P3- Prainha; P4- Poção do Geraldo e P5- Barraca Feliz P6-Plantação de Arroz.

Pontos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Média	Dev. Pad.
T (°C)	25	26	26,8	26,2	27,5	28,9	26,73	0,52
OD (mg/L)	5,16	7,42	7,18	6,38	8,24	8	7,06	1,14
Cond.*	355	358	353	359	357	353	355,83	2,56
pH	6,9	6,5	6,5	6,4	7,6	7,9	6,97	0,64
Turb. (NTU)	27,8	39,5	29,3	28,5	24,6	31,3	30,17	5,07
NO ₂ (µg/L)	9,1	6,2	11,3	5,9	7,1	1,3	6,82	3,38
NO ₃ (µg/L)	69,1	42,5	54,5	61,1	34,5	24,7	47,73	16,82
NH ₄ (µg/L)	98,2	89,9	71,3	77,8	79,9	59,3	79,4	13,68
PT (µg/L)	8,8	6,1	6,3	5,8	6,1	5,9	6,5	1,14

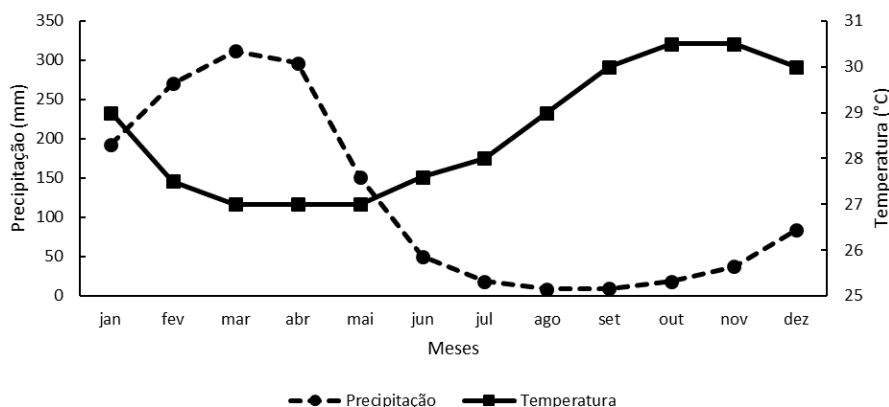
Fonte: Autores

Tabela 3. Valores das variáveis físico-químicas da água do rio Pindaré durante o período estudado estiagem (outubro). P1-Calixto; P2-Porto das lanchas; P3- Prainha; P4- Poção do Geraldo e P5- Barraca Feliz P6-Plantação de Arroz. Fonte: Dados da pesquisa.

Pontos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Média	Desv. Pad
T (°C)	26,1	26,8	27,4	27,9	30,2	30,5	28,15	2,05
OD (mg.L ⁻¹)	6,93	6,78	6,98	5,76	7,71	7,2	6,89	0,59
Cond.*	208	206	321	232	230	237	239	38,53
pH	6,6	6,5	6,8	6,5	6,6	6,8	6,63	0,12
Turb. (NTU)	30,2	29,4	22,3	25,1	27,2	26,7	26,82	2,63
NO ₂ (µg.L ⁻¹)	6,9	4,1	8,2	6,1	2,2	1,9	4,9	2,35
NO ₃ (µg.L ⁻¹)	61,2	40,2	48,6	32,5	32,9	13,8	38,2	14,70
NH ₄ (µg.L ⁻¹)	151,1	72,9	79,1	61,4	69,4	32,2	77,68	36,10
PT (µg.L ⁻¹)	5,8	5,2	4,3	4,5	4,2	4,2	4,7	0,6

Fonte: Autores

A variação da temperatura apresentou um resultado já esperado para a região, com os valores de temperatura superficial da água em média superiores durante o período seco e menor no período chuvoso, não houve uma amplitude térmica acentuada entre os pontos. Os maiores valores foram registrados em Alto Alegre durante a estiagem registrando temperaturas de 30°C e 29°C respectivamente (Tabela 2; Figura 3).

Figura 3. Variação da média histórica da temperatura e precipitação na bacia do rio Pindaré, Maranhão.

Fonte. Adaptado de INMET (2023)

O oxigênio dissolvido apresentou grande variação ao longo dos pontos estudados, o valor máximo observado no período seco foi $7,71 \text{ mg.l}^{-1}$ no município de Alto Alegre e o valor mínimo registrado foi $4,16 \text{ mg.l}^{-1}$ no município de Tufilândia. Durante o período chuvoso os valores do oxigênio dissolvido foram em média mais altos que em relação ao período seco, com exceção do ponto P1 em Tufilândia onde os valores alcançaram concentração de apenas $5,16 \text{ mg.l}^{-1}$ (Tabela 3).

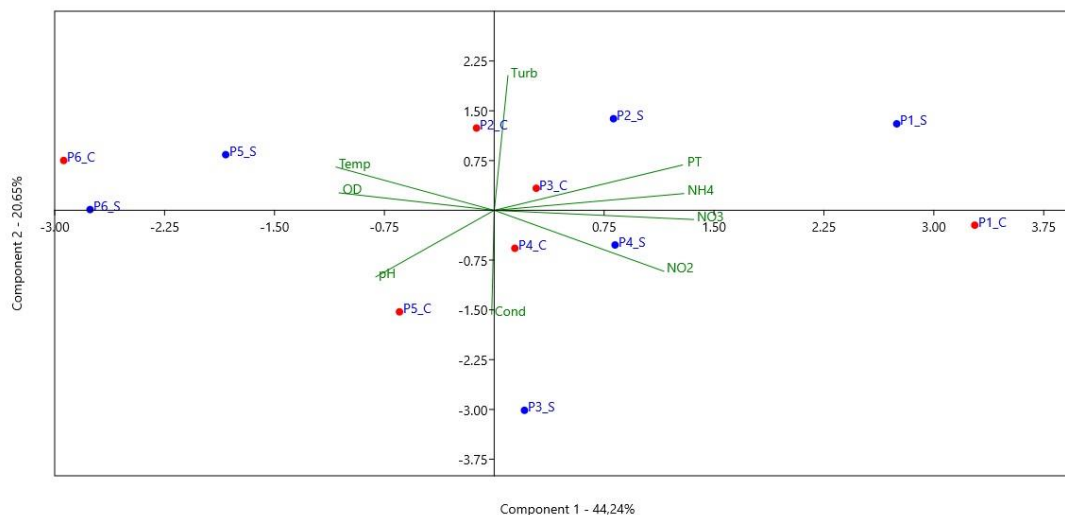
Em relação a condutividade elétrica, todos os pontos localizados nas cidades ao longo do rio Pindaré, em ambos períodos amostrados, indicaram valores elevados, a média dos valores foi maior no período chuvoso quando comparado ao período de estiagem na região (Tabelas 1 e 2). O pH variou pouco, tanto em sentido temporal quanto espacial, apresentou valores ligeiramente ácidos e básicos e, quase sempre se aproximando da neutralidade, a exceção foram os pontos situados na cidade de Alto Alegre, onde o pH variou entre 7,6 e 7,9 durante a período estiagem (Tabela 2).

A turbidez não apresentou variação representativa em seus valores. No período de estiagem a turbidez alcançou valor máximo de 30,2 NTU registrado na cidade de Tufilândia enquanto que no período chuvoso onde o aporte de material particulado para o leito do rio é maior apresentou valor máximo de até 39,5 NTU na mesma cidade (Tabela 3). Todos os nutrientes inorgânicos apresentaram valores de concentração maiores no período chuvoso e menores no período seco. Durante o período estudado o município de Tufilândia registrou as maiores concentrações (Tabela 2 e 3). A concentração do fósforo total foi maior no período chuvoso e menor no período seco, indicando uma média de $4,7 \mu\text{g.l}^{-1}$ na estiagem e $6,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ no período chuvoso. Também foi observado um gradiente decrescente no sentido Tufilândia - Alto Alegre.

A análise do gráfico de dispersão dos componentes principais (Figura 4) mostrou que o Componente 1 foi responsável pela variação de 44,24% dos dados e esteve relacionado positivamente com o nitrato (0,44), o amônio (0,42), o fósforo total (0,41) e o nitrito (0,37). O componente 2 explica 20,65% das variações e esteve relacionado positivamente com a turbidez (0,65) e negativamente com a condutividade (-0,50) e o pH (-0,32). O ordenamento dos pontos amostrais não indicou variação sazonal, mas evidenciou uma distinção entre os pontos amostrais, apontando para uma heterogeneidade espacial nas características hidrológicas no rio. As Componentes 1 e 2, em conjunto, explicaram 64,89% da variação nos dados. No entanto, mesmo com essa explicação significativa, não foi possível identificar padrões claros ou agrupamentos entre os pontos amostrais, nem estabelecer relações diretas entre as variáveis. Os resultados sugerem que os pontos a montante estão associados aos nutrientes (NH_4 , NO_3 , NO_2 e PT), enquanto os pontos a jusante foram mais impactados pela temperatura, OD e pH. É

relevante notar que os pontos 2, 3 e 4 ocuparam posições intermediárias e estavam situados no centro, indicando um comportamento que não é claramente associado às características específicas dos pontos a montante ou a jusante.

Figura 4. PCA com os dados dos parâmetros físicos e químicos ambos períodos e retirando o efeito da sazonalidade para a região amostrada do médio curso do rio Pindaré.



Fonte: Autores

DISCUSSÃO

Os resultados das análises mostraram que não houve diferenças significativas nos parâmetros hidrológicos entre os pontos amostrados, nem entre períodos de estudo (estiagem e chuvoso). Contudo foram observados picos nos valores para alguns parâmetros durante os períodos estudados, mesmo que isso não representando uma diferença significativa.

Os outros parâmetros analisados foram corroborados com os períodos em que foram analisados. Exemplo disso foi a transparência da água, que apresentou valores um pouco maiores durante o período seco e menores no período chuvoso, mas não muito acentuados, resultado semelhante ao observado por Monteiro (2008) em estudo no rio Preguiças, um rio maranhense e por Vieira; Cardoso (2015) no em pesquisa em um reservatório do semiárido nordestino. Durante o período de estiagem ocorre um menor aporte de sedimento para dentro do leito do rio aumentando assim a transparência da água neste período, o contrário pode ser observado, durante o período de chuvas.

A temperatura da água também apresentou uma média maior no período seco do que em relação ao período chuvoso. A variação registrada foi considerada mínima, evidenciando uma baixa amplitude térmica, fato que pode ser resultado do permanente processo de mistura das águas dos rios. Além disso, segundo Pômpeo; Moschini-Carlos; Silva Filho (2002), para esta região, o padrão de variação sazonal da temperatura da água sugere menores valores em maio (época de chuvas), seguindo assim o padrão regional para o estado do Maranhão. Outro estudo também corroborou essa baixa amplitude térmica na região da bacia do rio Pindaré, que em média registrou valores variando entre 25 e 27 °C (MARANHÃO, 2002). Também existem outros trabalhos que registraram valores de temperatura da água semelhantes ao presente estudo Martins (1996) no rio Codozinho, por Ibañez (1997) no rio Itapecuru e por Monteiro (2008) no rio Preguiças e Pompêo, et al. (1998), no reservatório Boa Esperança.

Os dados referentes à condutividade elétrica do rio Pindaré registraram valores altos em ambos períodos de amostragem (chuvoso e estiagem). Os valores elevados podem estar relacionados com o aporte de material particulado para dentro do rio agravados pela retirada das matas ciliares, como observado por Frascareli et al., (2015) no reservatório de Itupararanga em Sorocaba, São Paulo. O estudo conduzido por Pômpeo, Moschini-Carlos e Silva-Filho (2002) analisou as características limnológicas dos rios Itapecuru, Mearim e Pindaré. Os resultados indicaram que o rio Pindaré apresentou maior condutividade elétrica, variando de 153 a 410 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, estes valores são compatíveis com os dados aqui apresentados. Segundo Silva (2009) a condutividade da água permite avaliar seu grau de mineralização, podendo resultar da lixiviação de solos. Os valores de condutividade elétrica registrados para o rio Pindaré, distinguem-se dos observados por Araújo et al. (1998) no rio Itapecuru, mas se aproximam dos dados registrados por Martins (1996) no rio Codózinho. Segundo Bernardi, et al. (2009), além das características dos ecossistemas terrestres adjacentes a composição química da água depende das atividades humanas exercidas na bacia hidrográfica que por sua vez influenciam suas características físico-químicas e qualidade da mesma. A condutividade elétrica da água em rios é impactada por vários fatores que refletem as características químicas e físicas do ambiente aquático. Na área aqui investigada, não foi possível determinar com precisão qual característica exerce a maior influência na variação desse parâmetro e isso destaca a necessidade de análises complementares para uma compreensão mais abrangente.

Em rios amazônicos o pH é regulado pela relação da decomposição da matéria orgânica (HORBE, et al, 2013). Já em rio do semiárido, o pH é regulado pela relação entre evaporação e precipitação (ESTEVES, 2011). No rio Pindaré, o pH da água apresentou uma sutil variação, configurando-se de ligeiramente ácido a alcalino. Estando de acordo com Esteves (2011) que define o pH de águas continentais variando entre 6 e 8, ainda segundo o autor os corpos hídricos do Nordeste geralmente no período de estiagem apresentam-se mais alcalinos devido ao balanço hídrico negativo. Esta afirmativa não se aplicou ao rio Pindaré, pois todos os pontos durante período seco foram considerados ligeiramente ácidos, com valores pouco abaixo de 7,0. O que pode ser explicado pela localização do rio Pindaré, situado em uma região de transição entre a Amazônia e o Cerrado maranhense. Dados de Nogueira (2003) de um estudo nas lagoas marginais do rio Turiaçu, corroboram essa afirmação, tendo como ponto principal as características de uma região transicional, evidenciando variações de ambos biomas. Os valores do pH estão de acordo com os parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 que tem como faixa de controle valores entre 6 e 9 para rios Classe II.

Houve um aumento progressivo na concentração de oxigênio dissolvido no sentido montante-jusante, indo de Tufilândia até o município de Alto Alegre (gradiente). Esse aumento foi mais pronunciado durante a estação chuvosa e menos evidente durante a estiagem, período em que a média de temperatura foi mais alta do que no período chuvoso. Dois fatores podem estar relacionados a isso, o primeiro é a movimentação das águas na área, a correnteza ajuda no processo de mistura do ar atmosférico na água superficial o outro é a temperatura, massas de água com temperatura mais alta tendem a ter menor concentração de oxigênio dissolvido Esteves (2011) aponta como principal fator de mobilização desde gás na coluna d'água a decomposição da matéria orgânica. Martins (1996) em estudo no rio Itapecuru observou um resultado inverso ao do rio Pindaré, onde os valores registrados durante época de chuvas foram menores em relação ao período seco, relacionando esse fato a um aumento no aporte de material (orgânico/inorgânico) para o leito do rio carregado pelas chuvas. Os dados são semelhantes aos observados por Pômpeo; Moschini-Carlos; Silva Filho (2002) nos rios Pindaré, Mearim e Itapecuru. Não foram registradas concentrações abaixo do permitido para rios Classe II ($5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), o que pode ser um indicativo da boa qualidade das massas d'água nos trechos investigados.

Os resultados das concentrações de Nitrito, Nitrato e Amônio são similares aos resultados observados por Nogueira (2003). Mas mostram-se superiores aos registrados por Moschini-Carlos et al (2008), a concentração do íon amônio foi cerca de 50% menor que a observada por Araújo (1999). A concentração destes nutrientes foi maior durante o período de chuvas quando

o carreamento de material para o leito do rio pelas águas pluviais é mais frequente. Esses compostos são de fundamental importância para a manutenção do metabolismo de corpos hídricos, pois constituem parte dos nutrientes exigidos pelos produtores primários. De acordo com Prado (2008) os vegetais reconhecem apenas as formas iônicas assimiláveis do nitrogênio (amônio e nitrato), e esses compostos em excesso no meio podem provocar alterações no metabolismo hídrico podendo ocasionar florações algais. Ambos os parâmetros, nitrito e nitrato, estão de acordo com as normas estabelecidas pela resolução CONAMA 357/2005 que tem limite de concentração de 10 mg.l^{-1} para o nitrito e 1 mg.l^{-1} para o nitrato.

A concentração do Fósforo Total na água do rio Pindaré variou sazonalmente, apresentando, em média, as maiores concentrações durante o período chuvoso quando comparado ao período de estiagem. Em todos os pontos amostrados não foram observados valores que superam os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 para ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários ($0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ ou $100 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$). O aumento na concentração de nutrientes em massas d'água (N e P) se dá por processos naturais e antrópicos, este último pode ser apontado como uma das principais causas relacionadas a eutrofização, tendo como fontes mais relevantes, o lançamento de efluentes domésticos, industriais ou agrícolas contendo fósforo. Na bacia do rio Pindaré a atividade industrial é insípiente, o que pode explicar valores ainda dentro do limite estabelecido pela legislação. Em relação as diferenças nas concentrações observadas entre os períodos estudados, segundo Tundisi (2008) as concentrações destes compostos dependem de processos geoquímicos nas bacias hidrográficas. Precipitação e condições climáticas podem influenciar o transporte de fósforo para os rios por meio do escoamento superficial. Isso faz com que o rio apresente uma concentração maior deste composto na época de chuvas em relação ao período de estiagem. A concentração do fósforo total no rio Pindaré foi considerada baixa quando comparada aos resultados observados no rio Itapecuru por Araújo, et al. (1999). A montante do rio possui áreas de fazendas intensa com atividades agropecuárias e agrícolas. Assim, os nutrientes podem estar associados ao uso de fertilizantes que, nos períodos chuvosos, são carreados para os corpos de água e corroborando os altos valores de condutividade na região a montante e no período. O ponto P3, cuja atividade antrópica é reduzida por ser uma área indígena (Figura 1) foi indicado em uma condição intermediária em relação as variáveis. O mesmo ocorreu para os pontos P2 e P4. Sendo assim, os pontos a montante (P1) e jusante (P5 e P6) podem sofrer mais com as atividades antrópicas do entorno e este fato, refletiu na qualidade de água das regiões estudadas.

O ordenamento dos pontos amostrais exibidos no gráfico da PCA (Figura 4) não mostrou de modo claro uma distinção entre os pontos amostrais em relação variação dos parâmetros limnológicos, contudo ainda é possível observar variações pontuais e marcantes entre os pontos amostrais e as épocas estudadas isoladamente. Dois fatos podem explicar esse resultado, o primeiro está relacionado ao período amostral, já que maio é considerado um mês de transição entre o período chuvoso e o período de estiagem, enquanto outubro indica o início do período chuvoso, o que pode mesclar características de ambos períodos e indicar uma uniformidade nas variáveis investigadas. O segundo está relacionado ao aspecto de movimentação de massas no rio pode ter contribuído para uma maior homogeneidade dos pontos, já que, apesar de observar a ocorrência de diferenças numéricas entre os valores durante os períodos de amostragem, tais valores não foram suficientes para imprimir uma diferença estatística significativa entre os pontos amostrais nem entre as épocas de amostragem. Apesar do resultado é evidente a importância dos dados aqui apresentados pois indica como a variação das características ambientais, principalmente aquelas relacionadas aos parâmetros limnológicos podem ser influenciados diretamente pelas características meteorológicas da região, cabendo não uma adaptação na forma como se planeja estudar a Pré-Amazônia, mas crias metodologias próprias que busquem entender as complexidades ambientais da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rio assume características típicas de rios nordestinos durante o período de estiagem, enquanto que durante o período de chuvas passa apresentar características de rios típicos amazônicos. Foi possível observar “picos” para alguns parâmetros e este fato pode estar associado aos períodos de amostrados, mesmo que estatisticamente a diferença não se apresente significativa, a avaliação pontual dos períodos amostrados auxiliou na compreensão da dinâmica deste ecossistema. A homogeneidade temporal foi explicada pelo período atípico no Brasil e nas regiões estudadas.

Com relação à qualidade da água do rio Pindaré, as variáveis limnológicas adotadas nesta pesquisa demonstram que os valores dos parâmetros físico-químico nos seis pontos amostrais, na região do médio curso, tanto no período chuvoso, quanto de estiagem estão em conformidade aos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, para água doce Classe II.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, H. E. Caracterização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, Maranhão – Brasil. *Caminhos de Geografia* Vol. 7, n. 11, p. 97-113, 2004
- ALMEIDA, J. L.; SILVA, V. A. R.; SANTOS, J. S., SANTOS, J. R. N.; ARAÚJO, M. L. S.; PYLES, M. V.; SILVA, F. B. O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do Rio Mearim. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(01), 102-120, 2020.
- ARAÚJO, A et al. Fitoplâncton do rio Itapecuru, Maranhão, Brasil: uma contribuição ao conhecimento. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia* Vol. 11, nº 1 p. 25-35, 1998.
- ALMEIDA, F. F.; MELO, S. Considerações limnológicas sobre um lago da planície de inundação amazônica (lago Catalão – amazônica (lago Catalão – Estado do Amazonas, Brasil). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Vol. 31, nº. 4, p. 387-395, 2009
- ALMEIDA, I. C. S., et al. Comunidade fitoplanctônica do lago Cajari, Baixada Maranhense, no período de cheia. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia* Vol. 18, nº 1, p. 1-9. 2005
- APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: Byrd Prepress Springfield, 1995.
- ATLAS DO MARANHÃO, 2004 / GERENCIA DE Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento-UEMA. São Luis: GEPLAN 2004 44p
- BACIAS DO NORDESTE, 2000; Relatório estatístico hidroviário 1998, 1999 e 2000 Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/modal/hidroviario/ESTATISTICA/BaciaPindare.htm>
- BARBIERI, R. I. C. A. R. D. O.; IBANEZ, M. S., ARANHA, F. J.; CORREIA, M. M. F.; REID, J. W.; TURNER, P Plâncton, produção primária e alguns fatores físico-químicos de dois lagos da Baixada Maranhense. *Rev. Brasil. Biol.*, Vol.49, nº 2, p. 399-408. 1989
- BERNANRDI, J. V. E.; LACERDA, L. D. D.; BASTOS, W. R.; ALEIDA, R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, Vol. 23, nº 1, p. 79-90, 2009
- BEZERRA, J. M. et al. Análise dos indicadores de qualidade da água no trecho urbano do Rio Apodi-Mossoró em Mossoró-RN, Brasil. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3443-3454, 2013
- BEZERRA, L. A.V. et al. Limnological characteristics of a reservoir in semiarid Northeastern Brazil subject to intensive tilapia farming (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 26, no. 1, p. 47-59, 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília, 130p 2006.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília (DF). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 13p. 1997.

CANTANHEDE, S. P. D.; FERNANDEZ, M. A.; MATTOS, A. C. D.; MONTRESOR, L. C.; SILVA-SOUZA, N.; THIENGO, S. C. Freshwater gastropods of the Baixada Maranhense Microregion, an endemic area for schistosomiasis in the State of Maranhão, Brazil: I-qualitative study. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 47, 79-85, 2014

DELLAMANO-OLIVEIRA, M. J., SENNA, P.A.C.; TANIGUCHI, G.M. Limnological characteristics and seasonal changes in density and diversity of the phytoplanktonic community at the Caçó pond, Maranhão State, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology* Vol. 46: p. 641-651. 2003.

ESTEVEES, F.A., *Fundamentos de limnologia*, 3º ed. Rio de Janeiro. Interciência. 602p. 2011.

FRASCARELI, D.; BEGHELLI, F. G. D. S.; SILVA, S. C. D.; CARLOS, V. M. Heterogeneidade espacial e temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Itupararanga associadas com o uso do solo na Bacia do Alto Sorocaba-SP. *Revista Ambiente & Água*, 10, 770-781, 2015

HAMMER, Ø., D. Manual de Referência PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. 2001. Disponível em: <http://folk.uio.no/ohammer/past/>. Acesso em 20/11/2015

HORBE, A. M. C. et al. Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas – Brasil. *Acta Amazônica*. Vol. 43, nº4, p.489 – 504, 2013

HORNE, A.J. *Limnology/* Alexander J. Horne, Charles R. Goldman- 2nd Ed Library of Congress Catalogin-in-Publication Data 576 p. 1994

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Normais Climatológicas (2001/2021). Brasília - DF, 2023.

PRADO, R.M., *Nutrição de plantas / Renato de Mello Prado*. São Paulo: Editora UNESP 407 p, 2008,

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; SILVA-FILHO, G. C. Transporte de Nitrogênio, Fósforo e Seston em três rios Pré-amazônicos (estado do Maranhão, Brasil) *Bioikos*. Vol. 16 nº 1/2, p. 29-39, 2002

POMPÊO, M. L. M., et al. Heterogeneidade espacial do fitoplâncton no reservatório de Boa Esperança (Maranhão-Piauí, Brasil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 10, nº 2, p. 101 – 113, 1998

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-methodic. *Mitt. Int. Vereinig. Limnol.*, Germany, n. 9, p. 1-39, 1958.

KLEEREKOPER, H. *Introdução ao estudo da limnologia*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola. 329 p. 1944.

LEITE, R. G.; SILVA, J. V. V.; FREITAS, C. E. Abundância e distribuição das larvas de peixes no Lago Catalão e no encontro dos rios Solimões e Negro, Amazonas, Brasil. *Acta. Amazônica*. Vol. 36, nº 4, p. 557 – 562, 2006

LEÓN, L.; CHALA, G., Abundancia y diversidad del fitoplancton en el Embalse de Salto Grande (Argentina – Uruguay). *Ciclo estacional y distribución espacial. Limnetica* Vol. 22, nº 1-2, p. 103-113, 2003

RAMALHO, E. E. et al. Ciclo hidrológico nos ambientes de várzea da reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá – médio rio Solimões, período de 1990 a 2008. *UAKARI*, Vol. 5, nº.1, p. 61-87, 2009

RODRIGUES, et al. Variação temporal do fitoplâncton em um rio tropical pré-amazônico (Rio Pindaré, Maranhão, Brasil). *Ciência e Natura*, Vol. 37 nº 2, p. 241 – 251, 2015

MASUDA, L. S. M.; MOSER, G. A. O; BARRERA-ALBA, J. J Variação temporal do fitoplâncton no canal estuarino de Santos (SP). *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* Vol. 15, nº 1, p 79-93, 2011

MARANHÃO (Estado) Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Laboratório de Geoprocessamento - São Luis: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). São Luis, 44p. 2002

MELO, G. et al. Influência de Variáveis Ambientais na Comunidade Fitoplanctônica nos Reservatórios Receptores do Projeto de Integração do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Vol 06, p. 1300-1316, (2012)

- MITAMURA, O. et al. Biogeochemical cycling of urea in the aquatic systems of Pindaré and Turiaçu River basins, a pre-Amazonian floodplain, Baixada Maranhense, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 24, nº. 2, p. 167-180, 2012
- MONTEIRO, D. S., 2008 Variação especial e sazonal do fitoplâncton no estuário do rio Preguiças no município de Barreirinhas, Maranhão- Brasil. 56 pp. 36p [Monografia Ciências Aquáticas UFMA]
- MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, MLM. Dinâmica do fitoplâncton de uma lagoa de duna (Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, MA, Brasil). *Acta Limnologica. Brasiliensia*, Vol. 13, no. 2, 53-68, 2001,
- MOSCHINI-CARLOS, V., et al. The planktonic community in tropical interdunal ponds (Lençóis Maranhenses National Park, Maranhão State, Brazil), *Acta Limnol. Bras.*, Vol. 20, nº. 2, p. 99-110. 2008,
- NETO, M. E. et al. Análises físicas, químicas e microbiológicas das águas do balneário Veneza na bacia hidrográfica do Médio Itapecuru, MA. *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, Vol. 79, nº3, p.397-403, 2012
- TUNDISI, J.G. 2008. *Limnologia / José Galizia Tundisi, Takato Matsumura Tundisi – São Paulo, Oficina de Textos* 2008
- TOLEDO, L. G. & NICOLELL G. 2002 Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbana. *Scientia Agricola*, Vol. 59, nº 1, p.181-186, 2002
- WEBERLING, F., 1926- *Taxonomia Vegetal/Focko Weberling, Hans Otto Schwantes; [Tradução Wener S. Rothschild; revisão de notas Antonio Lamberti]. – São Paulo; EPU, 1986.*
- NOGUEIRA, N. M. C. et al. Composition and temporal changes of phytoplankton community in Lake Quebra-Pote, MA, Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, Vol. 17, nº 4, p. 419-431, 2005.
- SANTOS, R. S. B. Aspectos da hidrografia brasileira. *Revista brasileira de geografia*. Vol. 24 N. 3 p. 327-376, 1962
- SOKAL R R. ; ROBLI F I. *Biomeiry: the principles and practice 0/statistics in biological research*. San Francisco: W.H. Freeman, 859 p. 1981.
- SASSOMA, I. T. L.; SOUSA, I. F.; NETTO, A. O. A.; CARVALHO, C. M. Avaliação temporal e espacial de características físico-químicas em águas superficiais do rio Catumbela, Angola. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. Vol. 9, nº.3, p. 113-126, 2015
- SILVA, M. R. C., DA SILVA, L. V., BARRETO, L. N., RODRIGUES, E. H. C., DE MIRANDA, R. D. C. M., BEZERRA, D. S.; PEREIRA, D. C. A. Qualidade da água da bacia do rio Pindaré, nos trechos correspondentes aos municípios de Pindaré-Mirim, Tufilândia e Alto Alegre no estado do Maranhão. *Águas Subterrâneas*, 31(4), 347-354, 2017
- SIQUEIRA, G. W. APRILE, F., MIGUÉIS, A. M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil) *Acta Amazônica* Vol. 42, nº 3, p. 413 – 422, 2012:
- SIQUEIRA, R. M. B.; HENRY-SILVA, G. G. bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais. *Boletim da Associação Brasileira de Limnologia*. Vol 39, nº 2, p. 1-15, 2011.
- SOUZA, J. R. et al A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. *REDE - Revista Eletrônica do Prodepa*, v.8, n.1, p. 26-45, 2014.
- VIEIRA, P. C. S.; CARDOSO, M. M. L. Vertical and temporal dynamics of phytoplanktonic associations and the application of index assembly in tropical semi-arid eutrophic reservoir, northeastern Brazil *Acta Limnologica Brasiliensia*, Vol. 27, nº 1, p. 130-144, 2015.