

# Influência da urbanização no índice de estado trófico de um ecossistema lêntico na bacia do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil

*Influence of urbanization on the trophic state index of a lentic ecosystem in the Mamanguape River Basin, Paraíba, Brazil*

João Paulo de Oliveira **SANTOS**<sup>1,2</sup>; Joseilson dos Santos **SILVA**<sup>1</sup>; Gabriel Gustavo Ferraro de Andrade **PESSOA**<sup>1</sup>; Maria Cristina Santos **PEREIRA**<sup>1</sup>; Rafael Machado de Araújo **ALVES**<sup>1</sup> & Luciana Gomes **BARBOSA**<sup>1</sup>

## RESUMO

A eutrofização, impacto qualitativo na água, eventualmente de origem antrópica, caracteriza-se pelo enriquecimento do meio aquático por nutrientes, principalmente fósforo. A Lagoa do Paó, ambiente lêntico no município de Alagoa Grande, Paraíba, recebe grande parte da carga de esgoto da zona urbana. Objetivou-se no presente estudo monitorar a qualidade da água, o índice de estado trófico e os teores de fósforo desse ambiente. Realizaram-se coletas de água de julho a dezembro de 2015, em um ponto central da lagoa. Determinaram-se a transparência, o pH, a condutividade elétrica, o oxigênio dissolvido, teores de fósforo total e ortofosfato da água. Obtiveram-se dados relativos à precipitação pluviométrica do período estudado. Foi calculado também o índice de estado trófico. Os resultados evidenciaram a predominância de águas túrbidas, com valores de transparência inferiores a 0,2 m e elevada condutividade elétrica, com valores superiores a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O pH manteve-se alcalino e o oxigênio dissolvido exibiu baixas concentrações, apresentando na maioria dos meses de estudo desconformidades com os padrões da legislação vigente. Observaram-se altos teores de fósforo total e ortofosfato, classificando o ambiente como eutrófico. Os resultados mostram influência das ações antrópicas sobre o ecossistema, as quais comprometem a qualidade da água e seus usos múltiplos.

**Palavras-chave:** fósforo; qualidade da água; uso e ocupação do solo.

## ABSTRACT

Eutrophication, a qualitative impact on water, possibly of anthropic origin, is characterized by the enrichment of the aquatic environment by nutrients, mainly phosphorus. Lagoa do Paó, a lentic environment in the municipality of Alagoa Grande, Paraíba, receives a large part of the sewage load from the urban area. The aim of this study was to monitor water quality, the trophic status index and the phosphorus content of this environment. Water collections are carried out from July to December 2015, in a central point of the lagoon. Transparency, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, total phosphorus and orthophosphate contents of water were determined. Data related to rainfall in the studied period were obtained. The trophic status index was calculated. The results showed the predominance of turbid waters, with transparency values below 0.2 meters and high electrical conductivity, with values above 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The pH remained alkaline and the dissolved oxygen showed low concentrations, presenting in most of the months of study nonconformities with the standards of the current legislation. High levels of total phosphorus and orthophosphate were observed, classifying the environment as eutrophic. The results show the influence of human actions on the ecosystem, which compromise water quality and its multiple uses.

**Keywords:** phosphorus; soil use and occupation; water quality.

Recebido em: 10 ago. 2018

Aceito em: 16 mar. 2020

<sup>1</sup> Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Campus II, Rodovia BR 079, km 12 – CEP 58397-000, Areia, PB, Brasil.

<sup>2</sup> Autor para correspondência: jpos@agro.adm.br.

## INTRODUÇÃO

Ao considerar o montante de recursos hídricos do planeta, o Brasil detém um volume considerável de água doce, correspondente a 17% de toda a água disponível na Terra (BRAGA *et al.*, 2006), no entanto, por conta de uma série de fatores, dentre os quais o crescimento da urbanização nas últimas décadas, ocorreu um aumento das pressões antrópicas sobre os ecossistemas aquáticos, tal como o lançamento de efluentes residenciais e industriais nos corpos d'água (MARINS *et al.*, 2007; BARBOSA *et al.*, 2016). Esse problema é ainda mais acentuado em regiões que não possuem redes de esgotamento sanitário, situação de 47,8% dos municípios brasileiros, e soma-se a isso o fato de apenas 20,2% dos municípios apresentarem algum sistema de tratamento para as águas servidas (IBGE, 2000).

Um dos grandes impactos nos corpos d'água diz respeito à eutrofização (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007), fenômeno descrito em diversos ecossistemas aquáticos brasileiros (TUNDISI, 2001; LAMPARELLI, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2009; GOMES *et al.*, 2010). Esse processo é caracterizado pelo enriquecimento da água por nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (CONLEY *et al.*, 2009), levando ao crescimento excessivo de plantas aquáticas, floração de cianobactérias e liberação de toxinas, diminuição da transparência da água, redução do oxigênio dissolvido, mortalidade de peixes, restrição à pesca, redução da balneabilidade da água, maiores gastos para o tratamento da água, entre outros (XAVIER *et al.*, 2005; HILTON, 2006; SMITH; SCHINDLER, 2009). Diversos reservatórios e lagos do planeta já perderam seus fins por causa da eutrofização (DUARTE & VIEIRA, 2009).

Essa situação é ainda mais complexa na Região Nordeste do Brasil, onde a maioria dos reservatórios está sujeita a longos períodos de estiagem e alto tempo de residência, associados a um balanço hídrico negativo e altas temperaturas durante a maior parte do ciclo hidrológico (REBOUÇAS, 1997). Essas condições levam à intensificação da acumulação e da concentração de nutrientes, gerando um meio mais propenso à eutrofização (BARBOSA *et al.*, 2012b).

Os índices de estado trófico (IETs) servem como um registro da ação antrópica em um determinado ambiente aquático (FIA *et al.*, 2009). Classificam os corpos d'água em diferentes graus de trofia, levando em consideração as quantidades de nutrientes na água e seu efeito na proliferação de algas e de macrófitas aquáticas (CETESB, 2009). As ações de controle da eutrofização, tomando como base os resultados do IET, podem ocorrer como medidas preventivas ou medidas corretivas (VON SPERLING, 2005).

O IET proposto por Carlson (1977) permite um detalhamento aprofundado do nível de nutrientes de um corpo aquático, abrangendo três parâmetros: a transparência da água, a clorofila *a* e a concentração do fósforo total. É uma forma simples de interpretar um conceito multidimensional que abrange ainda outras variáveis (VON SPERLING, 1994). No entanto foi desenvolvido para condições temperadas e, nesse sentido, Toledo Jr. *et al.* (1983) propuseram alterações na formulação matemática inicial, com fins de adequá-la às condições climáticas de ambientes tropicais (MAIA *et al.*, 2015).

Assim, objetivou-se neste trabalho classificar o grau de trofia das águas de uma lagoa urbana, localizada no município de Alagoa Grande, Paraíba, tomando-se como base o índice de estado trófico de Toledo Jr. *et al.* (1983) e outras variáveis de qualidade da água que poderão servir como base de dados para nortear ações de manejo e gestão desse ecossistema aquático.

## MATERIAL E MÉTODOS

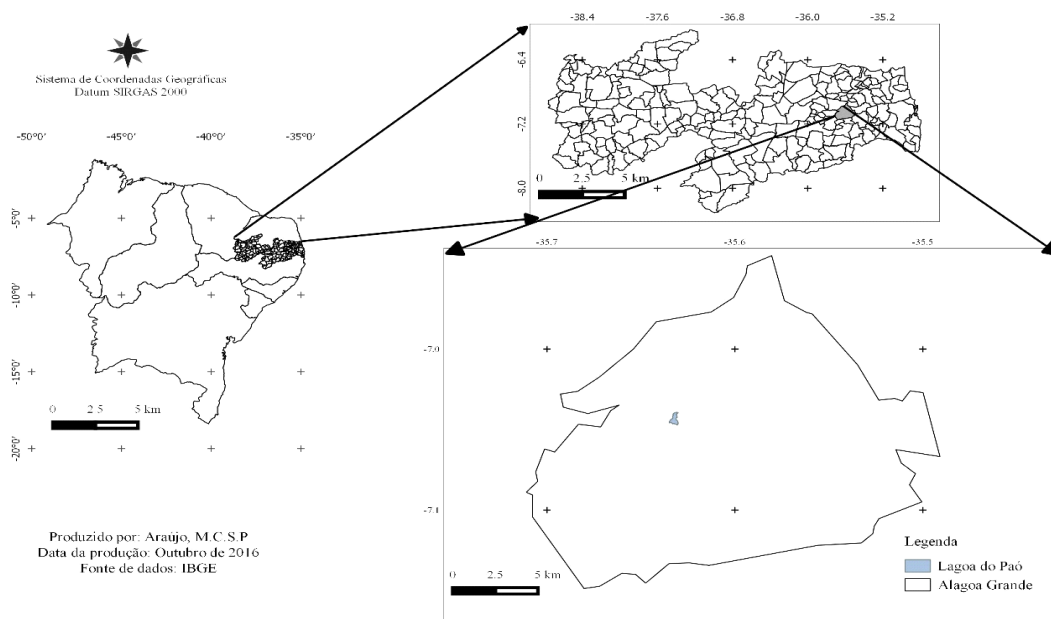
### ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Mamanguape situa-se no extremo leste do estado da Paraíba (PB), entre as latitudes 6°41'57" e 7°15'58" sul e longitudes 34°54'37" e 36° a oeste de Greenwich. Sua área de drenagem corresponde a 3.525 km<sup>2</sup>, perfazendo 42 municípios paraibanos. O Rio Mamanguape nasce na Lagoa Salgada, em uma área entre o Brejo e o Cariri, a mais de 500 m de

altitude, no Planalto da Borborema. De lá, segue com seu leito escavado em profundo vale, descendo a Serra da Borborema, quando alcança a cidade de Alagoa Grande, no Brejo (BARBOSA, 2006).

O município de Alagoa Grande, Paraíba, situa-se entre as coordenadas 07°09'30" S de latitude e longitude de 35°37'48" W. Sua extensão é de 320,563 km<sup>2</sup>, representando 0,568% do estado, 0,0206% da região e 0,0038% de todo o território brasileiro, com população de 28.479 habitantes (IBGE, 2010). Caracteriza-se por precipitações pluviométricas anuais de até 1.170 mm, temperatura média mínima de 19°C e máxima de 30°C, em que os meses mais quentes são outubro a março, e os mais frios, junho a setembro.

O estudo foi desenvolvido na Lagoa do Paó, localizada no município de Alagoa Grande, PB (figura 1). A lagoa apresenta alta intensidade de impactos antropogênicos, oriundos de uma urbanização crescente e devastação da vegetação ciliar, que contribuem para o avanço da eutrofização no corpo aquático (figura 2).



**Figura 1** – Localização geográfica da Lagoa do Paó, Paraíba, Brasil.



**Figura 2** – Detalhes da urbanização às margens da Lagoa do Paó, Alagoa Grande, Paraíba.

## METODOLOGIA

Realizaram-se coletas de água durante um período de cinco meses (julho, agosto, setembro, novembro e dezembro) durante o ano de 2015, em um ponto central da lagoa. Determinou-se a transparência por meio do disco de Secchi. O pH, a condutividade elétrica e o oxigênio dissolvido foram obtidos por sonda multiparâmetros. As amostras de água foram coletadas na subsuperfície da coluna de água e preservadas congeladas para evitar a degradação dos compostos de interesse. Para as análises de fósforo total e ortofosfato da água, empregou-se a metodologia descrita por APHA (1998).

Os dados relativos à precipitação pluviométrica do período estudado foram obtidos no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (Aesa).

Para o cálculo do IET, utilizou-se o índice de Carlson (1977), modificado para ambientes tropicais por Toledo Jr. et al. (1983). O índice baseou-se nos teores de fósforo total na água. Esse índice tem sido largamente empregado para classificação de lagos e reservatórios, em virtude de sua simplicidade e objetividade (RIBEIRO, 2007).

A expressão usada foi a seguinte:

$$IET\ PT = 10 \{6 - [\ln (80,32 / PT) / \ln 2]\}$$

em que:

IET PT = índice de estado trófico para fósforo;

PT = concentração de fósforo total, medida à superfície da água ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ).

Conforme os valores encontrados na expressão do IET, o corpo aquático pode ser classificado como:

- Oligotrófico:  $IET \leq 44$ ;
- Mesotrófico:  $44 < IET \leq 54$ ;
- Eutrófico:  $54 < IET \leq 74$ ;
- Hipereutrófico:  $IET > 74$ .

Realizou-se a análise descritiva de componentes principais (ACP) por meio da variação mensal das variáveis físico-químicas da água e do ambiente (transparência, precipitação, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, fósforo total da água e ortofosfato). O programa utilizado foi o R (The R Project for Statistical Computing).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de Alagoa Grande apresentou precipitações pluviométricas durante todo o período de estudo, com exceção do mês de novembro. Os maiores valores foram observados em julho (211,7 mm), no ápice da estação chuvosa.

Os valores de transparência, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica na Lagoa do Paó, Alagoa Grande, Paraíba, estão apresentados na tabela 1.

**Tabela 1** – Valores de transparência, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica na Lagoa do Paó, Alagoa Grande, Paraíba.

Mês	Transparência (m)	Oxigênio dissolvido (mg/l)	pH	Condutividade elétrica ( $\mu\text{s/cm}$ )
<b>Julho</b>	0,2	5,67	9	1030
<b>Agosto</b>	0,15	2,68	8,81	1120
<b>Setembro</b>	0,1	1,98	8,49	1260
<b>Novembro</b>	0,15	2,23	8,8	1320
<b>Dezembro</b>	0,2	1,86	8,02	1340

A transparência nas águas da Lagoa do Paó variou de 0,2 m em julho e dezembro a 0,1 m em setembro, caracterizando um ambiente de águas turbidas. Bouvy *et al.* (2003) também observaram baixos valores de transparência ( $\pm 0,5$  m) no reservatório de Tapacurá, em Pernambuco, ambiente que, assim como a Lagoa do Paó, sofre elevada pressão antrópica. Os valores de transparência sofrem influência de uma série de fatores, entre eles a produção de biomassa algal e a ressuspensão do sedimento (AZEVEDO *et al.*, 2008), sendo ambos comuns na Lagoa do Paó. Os altos teores de nutrientes contribuem para o estabelecimento de espécies fitoplanctônicas, e a pouca profundidade leva a uma maior interação do sedimento com a coluna d'água, assim como observado por Molisani *et al.* (2010) no açude Castanhão, Ceará, ocasionando a diminuição da transparência da água. Os processos fotossintéticos são altamente dependentes da luz solar; dessa forma, a redução da penetração de luz na coluna de água produz uma variedade de efeitos químicos e biológicos (BARBOSA *et al.*, 2006).

O oxigênio dissolvido (OD) variou de 5,67 mg/L (julho) a 1,86 mg/L (dezembro), estando apenas o mês de julho em conformidade com a Resolução Conama 357/2005, que estabelece valor mínimo de 5 mg/L de OD para águas de classe II. Observou-se uma redução desse parâmetro no decorrer do período, provavelmente por causa da redução de precipitação e da menor entrada de água no ambiente. O OD é um dos parâmetros mais importantes na avaliação de ambientes aquáticos, sendo a sua concentração indicadora da relação do corpo d'água com os eventuais lançamentos de cargas poluidoras, pontuais ou difusas (JORDÃO, 2014). Reduções acentuadas de OD estão associadas ao lançamento de grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis na água (NASCIMENTO & GUEDES, 2016). Os valores de matéria orgânica (MO) no corpo aquático são proporcionais ao número de microrganismos decompositores, logo, quanto maior a quantidade de MO, maior será o consumo de oxigênio (LUNA, 2008).

O pH manteve-se alcalino, com valores entre 8,02 (dezembro) e 9 (julho). Em regiões onde a precipitação é menor que a evaporação potencial, a ocorrência de pH alcalino é mais comum (BARBOSA, 2002). Tomando como base a Resolução Conama 357/2005, esses resultados estão dentro dos limites de padrões de qualidade das águas, que é de 6 a 9. Variações acentuadas de pH podem interferir no metabolismo da biota aquática, além de aumentar o efeito de substâncias químicas potencialmente tóxicas e possibilitar a precipitação de metais pesados (PAULA, 2011).

A condutividade elétrica no ambiente manteve-se elevada durante todo o período, com valores superiores a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Concentrações acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  são indicativos de impactos por ações antrópicas (BUZELLI & CUNHA-SANTINO, 2013). Observou-se que os valores aumentaram conforme se adentrou na estação seca, situação semelhante à observada por Queiroz *et al.* (2016) em um reservatório com fins hidrelétricos em Minas Gerais.

Os teores de fósforo total, ortofosfato e índice de estado trófico (IET) estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2** – Teores de fósforo total, ortofosfato e índice de estado trófico (IET) na Lagoa do Paó, Alagoa Grande, Paraíba.

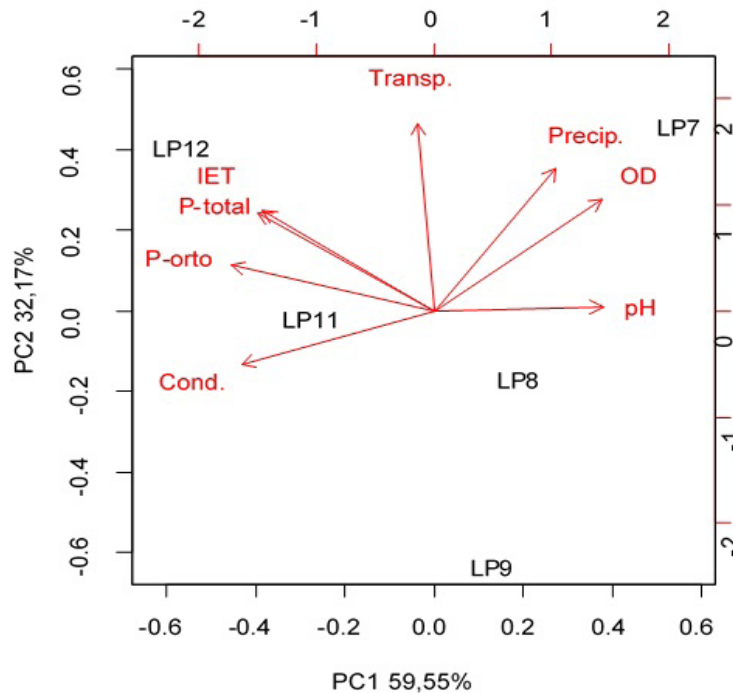
Mês	P-total $\mu\text{g}/\text{L}$	P-Orto $\mu\text{g}/\text{L}$	IET
<b>Julho</b>	76,62	51,1126	Eutrófico
<b>Agosto</b>	79,94	56,1679	Eutrófico
<b>Setembro</b>	69,5886	57,4216	Eutrófico
<b>Novembro</b>	92,0215	74,5055	Eutrófico
<b>Dezembro</b>	102,2005	86,8108	Eutrófico

Os teores de fósforo total mantiveram-se elevados, variando de 69,58  $\mu\text{g/L}$  em setembro a 102,2  $\mu\text{g/L}$  em dezembro, resultados que corroboram os de Santos *et al.* (2014) no Açude Orós, no estado do Ceará, que encontraram valores médios de fósforo total superiores a 50  $\mu\text{g/L}$ , classificando o reservatório como eutrófico. Os valores de fósforo total nessa região normalmente são elevados, seja por ação antrópica, seja pelas próprias condições do meio, com baixas taxas de precipitação e elevada evapotranspiração. Tal parâmetro é uma variável extremamente importante ao se trabalhar qualidade de água, uma vez que se trata de um elemento limitante à produtividade aquática e altas concentrações podem levar ao processo de eutrofização (BUZELLI & CUNHA-SANTINO, 2013). Os resultados de todos os meses de estudo ficaram acima do limite máximo estabelecido pela Resolução Conama 357/2005, que é de até 30  $\mu\text{g/L}$  de fósforo total para corpos d'água de classe II.

O ortofosfato seguiu a tendência do fósforo total e manteve-se alto, com valores entre 51,11  $\mu\text{g/L}$  em julho e 86,81  $\mu\text{g/L}$  em dezembro. Entre as formas de fósforo, o ortofosfato é a mais facilmente assimilável e é consumido pelo fitoplâncton e macrófitas aquáticas, sendo considerado o principal limitante à eutrofização (MAIA *et al.*, 2015). Observou-se um aumento crescente desse parâmetro durante os meses analisados, com elevação atrelada ao período seco, comportamento também observado por Lamparelli (2004), tanto em rios como em reservatórios. Nas regiões tropicais, as altas temperaturas são responsáveis por acelerar o metabolismo dos organismos, fazendo com que o ortofosfato seja rapidamente assimilado e incorporado à sua biomassa. Dessa forma, suas concentrações são baixas na maioria dos corpos aquáticos; os níveis elevados são comuns apenas em ambientes eutrofizados (BARBOSA *et al.*, 2012a).

A Lagoa do Paó apresentou alto grau de trofia durante todo o período, sendo classificada como eutrófica ( $54 < \text{IET} \leq 74$ ). O IET variou de 57,93 em setembro a 63,48 em dezembro. Levando em consideração a variabilidade sazonal da maioria dos parâmetros ambientais neste estudo, com destaque para o fósforo total, deve-se ressaltar que o IET pode apresentar oscilações no decorrer do ano, havendo épocas com maiores níveis de trofias que outras (GOVEIA *et al.*, 2014). No entanto, tomando como base o mês de julho, que reúne boa parte da precipitação da estação chuvosa na região, pode-se deduzir que, para o ambiente em questão, dificilmente se tenha uma redução do IET para classes como oligotróficas, por exemplo, haja vista o alto grau de antropização do ambiente estudado. Os altos valores de IET estão associados à grande quantidade de nutrientes presentes na lagoa, notadamente o fósforo, oriundo das diversas atividades humanas em suas margens, gerando meio propício à floração de algas potencialmente tóxicas, redução dos teores de oxigênio e degradação da qualidade da água (ALMEIDA *et al.*, 2012). A ocorrência de florações de algas é um dos maiores impactos do processo de eutrofização, com destaque para as cianobactérias potencialmente tóxicas, que podem alterar a qualidade das águas, afetando principalmente aquelas destinadas ao abastecimento público (BARRETO *et al.*, 2014). Tais espécies encontram na Lagoa do Paó um meio propício para o seu desenvolvimento e podem, a curto e a médio prazo, se tornar uma ameaça à utilização das águas desse ambiente.

A Análise de Componentes Principais (ACP) registrou 91,71% de explicação nos dois primeiros eixos (figura 3). Para o eixo 1, que explica 59,55% da variância, as variáveis com maior associação foram ortofosfato ( $r = -0,44$ ), condutividade elétrica ( $r = -0,41$ ) e fósforo total ( $r = -0,38$ ). Observou-se a formação de um agrupamento dos meses de novembro e dezembro, confirmando-se assim a maior concentração de nutrientes e sais em períodos de seca nesse ambiente.



**Figura 3** – Gráfico da Análise de Componentes Principais. Legenda: Cond. = condutividade elétrica; Transp.= transparência; Precip. = precipitação; pH = potencial hidrogeniônico; P-total = fósforo total; P-Orto = ortofosfato; IET = índice de estado trófico; OD = oxigênio dissolvido; LP = Lagoa do Paó; 7 a 12 representam os meses de julho a dezembro, respectivamente.

No eixo 2, que explica 32,17% da variância original, observa-se a influência da precipitação ( $r = 0,46$ ) sobre a transparência ( $r = 0,61$ ) e o oxigênio dissolvido ( $r = 0,31$ ). Durante os períodos de baixa ou nenhuma precipitação, o fluxo de água para a lagoa diminui ou inexistente, provocando assim uma redução do volume e, por conseguinte, da profundidade, fator que, associado à exposição do ambiente aos ventos, favorece a ressuspensão do sedimento e, por consequência, o aumento do teor de nutrientes e a diminuição da transparência. O mesmo fenômeno foi observado por Santos *et al.* (2014) no Açude Orós, semiárido cearense.

A redução de oxigênio dissolvido em períodos de estiagem deve-se a um conjunto de eventos, entre eles a redução da renovação das águas no ambiente associada à entrada contínua de esgotos domésticos, levando ao aumento da concentração de matéria orgânica biodegradável, o que implica maior consumo de oxigênio pelas bactérias aeróbicas que atuam na degradação desse material (MEDEIROS *et al.*, 2016). A concentração de nutrientes nesse período também leva à geração de um ambiente propício à proliferação de algas, que absorvem quase toda a luz que incide sobre o espelho d'água, diminuindo a transparência e deixando o hipolímnio sem luz para a realização de fotossíntese. Tal fator leva ao incremento da biomassa algal em decomposição e, para tanto, requer consumo de OD, evento que, dependendo do grau, pode levar o ambiente a condições anóxicas (QUEIROZ *et al.*, 2016).

## CONCLUSÃO

A qualidade da água da Lagoa do Paó mostrou-se insatisfatória durante todo o período monitorado, apresentando parâmetros em desconformidade com a legislação vigente. O ambiente exibiu alto grau de trofia, reflexo das atividades antrópicas em suas margens, carecendo de cuidados, haja vista a utilização de suas águas para múltiplos fins.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, V. L. S., Melão, M. G. G. & Moura, A. N. Plankton diversity and limnological characterization in two shallow tropical urban reservoirs of Pernambuco State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2012; 84(2): 537-550.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652012005000027>
- APHA – American Public Health Association. Standard methods for examination of water and wastewater. New York; 1998. 824 p.
- Azevedo, A. C. G., Feitosa, F. A. N. & Koenig, M. L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 2008; 22(3): 870-877.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062008000300022>
- Barbosa, A. H. S., Silva, C. S. P., Araújo, S. E., Lima, T. B. B. & Dantas, I. M. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em um trecho do Rio Apodi-Mossoró. *Holos*. 2016; 7(32): 121-132.  
doi: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.4183>
- Barbosa, B. C., Amaral Junior, F. W., Silva, L. S., Pessoa, K. R. & Marinho, G. M. Avaliação da qualidade da água de um trecho do Rio Cocó sob possível influência do lixão desativado do Jangurussu Fortaleza/CE. *Conex – Ciência e Tecnologia*. 2012a; 6(3): 26-40.  
doi: <https://doi.org/10.21439/conexoes.v6i3.486>
- Barbosa, F. A. R. Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB [Dissertação de Mestrado]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba; 2006.
- Barbosa, J. E. L. Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictimeral/sazonal) e de espaço (vertical/horizontal) no açude Taperoá II. Trópico semi-árido paraibano [Tese de Doutorado]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2002.
- Barbosa, J. E. L., Andrade, R. A., Lins, R. P. & Diniz, C. R. Diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, trópico semi-árido brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. 2006; 1: 81-89.
- Barbosa, J. E. L., Medeiros, E. S. F., Brasil, J., Cordeiro, R. S., Crispim, M. C. B. & Silva, G. H. G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnológica Brasileira*. 2012b; 24(1): 103-118.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000030>
- Barreto, L. V., Fraga, M. S., Barros, F. M., Rocha, F. A., Amorim, J. S., Carvalho, S. R., Bonomo, P. & Silva, D. P. Estado trófico em uma seção do Rio Catolé Grande sob diferentes níveis de vazão. *Revista Ambiente e Água*. 2014; 9(2): 250-260.  
doi: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1231>
- Bouvy, M., Nascimento, S. M., Molica, R. J. R., Ferreira, A., Huszar, V. & Azevedo, A. M. F. O. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*. 2003; 493: 115-130.  
doi: <https://doi.org/10.1023/A:1025405817350>
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N. & Eiger, S. Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall; 2005. Reimpressão 2006. 318 p.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Brasília; 2005.
- Buzelli, G. M. & Cunha-Santino, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). *Revista Ambiente & Água*. 2013; 8(1): 186-205.  
doi: <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Carlson, R. E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 1977; 22(2): 261-269.  
doi: <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>



Cetesb – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008/Cetesb. São Paulo; 2009. 531 p. Relatório anual.

Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., Lancelot, C. & Likens, G. E. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science Magazine*. 2009; 323: 1014-1015.  
doi: <https://doi.org/10.1126/science.1167755>

Duarte, A. A. L. S. & Vieira, J. P. Integrated estuarial modelling for eutrophication vulnerability assessment. *Journal on Fluid Mechanics*. 2009; 4: 1-11.

Fia, R., Matos, T. A., Coradi, P. C. & Ramirez, O. P. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Revista Ambiente & Água*. 2009; 4(1): 132-141.  
doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.78>

Figueirêdo, M. C. B., Teixeira, A. S., Araújo, L. F. P., Rosa, M. F., Paulino, W. D., Mota, S. & Araújo, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2007; 12: 399-409.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000400006>

Gomes, D. P. P., Barros, F. M., Barreto L. V., Rosa R. C. C. & Tagliaferri, C. Avaliação do estado trófico para o Rio Catolé (BA) em diferentes épocas do ano. *Enciclopédia Biosfera*. 2010; 6(11): 1-6.

Goveia, D., Rebelo, A., Loro, A. P., Sasso, G. D., Rocha, T. N. F., Dompieri, T. P. & Carlos, V. M. Uso de índices de qualidade para avaliação da água em ambiente lêntico. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. 2014; 8(2): 104-111.  
doi: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2014v8n2p104-111>

Hilton, J., O'Hre, M., Bowes, M. J. & Jones, J. I. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers. *Science of the Total Environment*. 2006; 365(1-3): 66-83.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.055>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Diretoria de Pesquisas/Departamento de População e Indicadores Sociais; 2000. [Acesso em: 22 abr. 2018]. Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/defaulttab.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb/defaulttab.shtm).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do censo demográfico 2010. 2010. [Acesso em: 22 abr. 2018]. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=310620>.

Jordão, E. P. Tratamentos de esgotos domésticos. 7. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes); 2014. 1087 p.

Lamparelli, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento [Tese de Doutorado]. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo; 2004.

Luna, B. J. C. Características espaço-temporais do sistema do açude Acauã-PB e seu atual Índice de Estado Trófico [Dissertação de Mestrado]. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba; 2008.

Maia, A. A. D., Carvalho, S. L. & Carvalho, F. T. Comparison of two indexes of determination of the trophic state in the waters of Baixo São José dos Dourados, São Paulo, Brazil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2015; 20(4): 613-622.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020040121258>

Marins, R. V., Paula Filho, F. J. & Rocha, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe – costa nordeste oriental brasileira. *Química Nova*. 2007; 30(5): 1208-1214.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422007000500029>

Medeiros, S. R. M., Carvalho, R. G., Souza, L. & Barbosa, A. H. S. Índice de qualidade das águas e balneabilidade no Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. *Revista Ambiente & Água*. 2016; 11(3): 711-730.  
doi: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1833>

- Molisani, M. M., Barroso, H. S., Becker, H., Moreira, M. O. P., Hijo, C. A. G., Monte, T. M. & Vasconcellos, G. H. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão Reservoir, CE, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 2010; 22(1): 1-12.  
doi: <http://dx.doi.org/10.4322/actalb.02201001>
- Nascimento, F. E. & Guedes, J. A. Qualidade ambiental do reservatório Cajá, município de Taboleiro Grande (RN). *Tamoios*. 2016; 12(1): 130-143.  
doi: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2016.19610>
- Oliveira, T. M. B. F., Di Souza, L. & Castro, S. S. L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da Bacia Hidrográfica Apodi/Mossoró – RN – Brasil. *Eclética Química*. 2009; 34(3): 17-26.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46702009000300002>
- Paula, L. M. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Rio Jordão, Araguari (MG) [Dissertação de Mestrado]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2011.
- Queiroz, M. T. A., Queiroz, C. A., Queiroz, F. A., Leão, M. M. D. & Amorim, C. C. Estudo dos parâmetros físico-químicos, qualidade da água e trofia do reservatório da usina hidrelétrica de Sá Carvalho, Minas Gerais, Brasil. *Revista Gestão Industrial*. 2016; 12(1): 58-77.  
doi: <http://dx.doi.org/10.3895/gi.v12n1.3103>
- R Development Core Team. R Foundation for Statistical Computing. R: a language and environment for statistical computing. Viena, Áustria; 2006. ISBN: 3-900051-07-0. [Acesso em: 22 abr. 2018]. Disponível em: <http://www.R-project.org>.
- Rebouças, A. C. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. *Estudos Avançados*. 1997; 11(29): 127-154.  
doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-40141997000100007>
- Ribeiro, I. V. A. S. Estudo do estado trófico do reservatório Acarape do Meio mediante a determinação de indicadores de qualidade de água [Tese de Doutorado]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 2007.
- Santos, J. C. N., Andrade, E. M., Araújo-Neto, J. R., Meireles, A. C. M. & Palácio, H. A. Q. Land use and trophic state dynamics in a tropical semi-arid reservoir. *Revista Ciência Agronômica*. 2014; 45(1): 35-44.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000100005>
- Smith, V. H. & Schindler, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*. 2009; 24(4): 201-207.  
doi: 10.1016/j.tree.2008.11.009.
- Toledo Jr., A. P., Talarico, M., Chinez, S. J. & Agudo, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *Anais. 12.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. Camboriú; 1983. p. 1-34.
- Tundisi, J. G. Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização. Osaka: IETC – Unep; 2001. 383 p.
- Von Sperling, E. Avaliação do estado trófico de lagoas e reservatórios tropicais. *Revista Bio*. 1994; 2(3): 68-76.
- Von Sperling, M. Estudo e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: Desa UFMG; 2007. 592 p.
- Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios de tratamento biológico de águas residuárias. v. 1. 3. ed. Belo Horizonte: Desa/UFMG; 2005. 452 p.
- Xavier, C. F., Dias, L. N. & Brunkow, R. Eutrofização. In: Andreoli, C. V. & Carneiro, C. (ed.). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Curitiba: Sanepar; 2005. p. 273-302.