

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ESTADO TRÓFICO EM RESERVATÓRIO URBANO RASO – ESTUDO DE CASO: AÇUDE SANTO ANASTÁCIO, FORTALEZA (CE)

* Germário Marcos Araújo¹
Iran Eduardo Lima Neto¹
Helena Becker²

TROPHIC STATE IN A URBAN SHALLOW RESERVOIR - CASE
STUDY: SANTO ANASTÁCIO DAM, FORTALEZA (CE)

Recibido el 6 de agosto de 2015; Aceptado el 15 de junio de 2016

Abstract

Urban reservoirs face a growing deterioration in the quality of their waters due to lack of sanitation, mainly related to the incorrect disposal of domestic wastewater and solid waste. This promotes the contribution of contaminants through point and diffuse sources, causing significant impacts on the reservoir. One impact is eutrophication, which is the excessive algae growth due to high nutrient loads, especially nitrogen and phosphorus. This phenomenon is observed mainly in lentic environments, which contributes to the development of phytoplankton and aquatic weeds at levels above the natural growth. This study evaluated the process of eutrophication in a shallow urban reservoir, the Santo Anastácio Dam, located in the State of Ceará, Northeastern Brazil, which was taken as a case study. To identify the trophic status of the reservoir, the Trophic State Index (TSI) was used. The total phosphorus and chlorophyll-a analysis were used to calculate the average TSI and classify the reservoir as hypereutrophic. It was found that the reservoir is under an advanced process of eutrophication, which is still increasing over time. The results of the monitored parameters compared with Resolution CONAMA 357/05 for freshwater class 2 remained outside the established standards, except for the pH parameter. The total phosphorus exhibited much higher concentrations than the limits established by the environmental legislation, which reflected directly in the trophic level of the reservoir.

Keywords: chlorophyll-a, eutrofication, nutrients, total phosphorus, urban lakes.

¹ Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil

² Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Brasil

*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Brasil.
Bloco 713 - 1.º Andar - Centro de Tecnologia, CEP 60451-970, Brasil. Email: germariomarcos@gmail.com

Resumo

Reservatórios urbanos apresentam crescente deterioração da qualidade de suas águas devido à falta de saneamento, principalmente relacionados com esgotos domésticos e aos resíduos sólidos dispostos de forma incorreta. Tais constituintes promovem o aporte de contaminantes por meio de fontes pontuais e difusas, ocasionando impactos significativos no manancial. Um dos impactos é a eutrofização, que é o crescimento excessivo de algas, devido a carga elevada de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Tal fenômeno é observado principalmente em ambientes lênticos, os quais, contribuem para o desenvolvimento de fitoplâncton e macrófitas aquáticas em níveis acima do crescimento natural. Este estudo avaliou o processo de eutrofização em um reservatório urbano raso, tendo sido utilizado como estudo de caso o açude Santo Anastácio, localizado no estado do Ceará, nordeste do Brasil. Para identificar o grau de trofia do referido açude, foi utilizado o Índice de Estado Trófico (IET). As análises de fósforo total e clorofila-a permitiram calcular o IET médio e classificar o manancial na categoria de hipereutrófico. Verificou-se que o açude se encontra em um processo de eutrofização avançado e crescente ao longo do tempo. Os resultados dos parâmetros monitorados quando comparados com a Resolução 357/05 CONAMA para águas doces classe 2, se mantiveram fora dos padrões estabelecidos, com exceção do parâmetro pH. O fósforo total apresentou concentrações muito acima da legislação ambiental o que repercutiu diretamente no grau de trofia do reservatório.

Palavras chave: clorofila-a, eutrofização, nutrientes, fósforo total, lagoas urbanas.

Introdução

As atividades antrópicas realizadas dentro de uma bacia hidrográfica têm alterado as características naturais do ambiente. Estas alterações muitas vezes estão associadas a um aumento na geração de cargas poluidoras, que geralmente alcançam sistemas hídricos (Novothy, 2003). O processo de urbanização desordenado aliado a falta de infraestrutura do saneamento aumentam os problemas ambientais nas cidades.

Os problemas ambientais, sociais e econômicos que o mundo enfrenta hoje estão na sua grande maioria localizados nas grandes cidades. A urbanização e intensificação da agricultura nas últimas décadas resultaram em aumento de cargas de nutrientes e rápida deterioração da qualidade da água em mananciais ao redor do mundo (Salas e Martino, 1991; Lung e Larson, 1995; Ruley e Rusch, 2004).

Fontes pontuais e difusas de poluição são grandes problemas em áreas urbanas, principalmente em razão da excessiva carga de nutrientes. O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são os dois nutrientes mais comuns que têm impacto direto sobre a qualidade da água. Enquanto N e P são essenciais para a vida aquática, uma superabundância no sistema de água pode levar à eutrofização (Carpenter *et al.*, 1998; Daniel *et al.*, 1998 e O'Neill *et al.*, 2013).

A eutrofização de corpos hídricos é um grave problema ambiental enfrentado pela sociedade (Von Sperling, 2005). Ela ocorre principalmente em ambientes lênticos, em virtude da carga excessiva de fósforo e nitrogênio, os quais contribuem para o desenvolvimento de fitoplâncton e macrófitas aquáticas em níveis acima do crescimento natural (Bem *et al.*, 2013).

A análise do grau de eutrofização ou da tipologia trófica de um corpo aquático pode ser avaliada através de classificações tróficas que se expressam em Índices de Estado Trófico (IET) para facilitar a comunicação ao público sobre o estado de trofia de um determinado ecossistema aquático (Tavares *et al.* 2014).

O Índice de Estado Trófico tem a finalidade de classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando assim o seu enriquecimento por nutrientes. A avaliação do estado trófico de sistemas aquáticos pode oferecer subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão desses ecossistemas, por meio de estratégias que internalizem as premissas da sustentabilidade dos recursos hídricos e que incorporem uma visão prospectiva, pautada na garantia dos usos múltiplos da água em médio e longo prazo (Cunha, 2007).

A classificação de ecossistemas aquáticos por meio de índices de estado trófico é comum em ciências aquáticas (Dodds *et al.*, 1998). Um dos índices utilizados é o Índice do Estado Trófico – IET, desenvolvido por Carlson (1977). Este, tem como finalidade, tornar mais objetiva a resposta de estudos envolvendo a eutrofização e a classificação de corpos aquáticos. Carlson, por meio da análise de dados coletados em lagos de regiões temperadas, estabeleceu um índice que utiliza valores de concentração de clorofila-a e fosforo total, e transparência do disco de Secchi (Bem *et al.* 2013).

Porém, como as equações de Carlson foram desenvolvidas para ambientes de clima temperado, o metabolismo dos seres vivos difere daquele de ambientes tropicais e subtropicais. Assim, no Brasil, Toledo Junior *et al.* (1983) realizaram estudos para adequar, a ambientes subtropicais. Da mesma forma que Carlson, aplicaram a análise de regressão linear aos valores das concentrações de fósforo total, ortofosfatos, clorofila-a e transparência do disco de Secchi a reservatórios do Estado de São Paulo.

No Estado de São Paulo, desde 1983, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) tem aplicado este índice para a determinar o grau de eutrofização de ambientes lênticos. No entanto, para que este índice pudesse representar a realidade dos ambientes aquáticos, que mudam em função do uso e ocupação do solo e da variação das características dos corpos aquáticos no tempo e no espaço, houve a necessidade de adequar as equações. Como consequência, foram inseridas outras categorias de trofia em função das alterações propostas por Toledo Junior (1990) (Bem *et al.* 2013).

Lamparelli (2004), promoveu uma atualização do IET, que utiliza a concentração de fósforo total e clorofila-a para determinar o grau de trofia, sendo o resultado composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo - IET(PT) e pelo Índice do Estado Trófico para a clorofila-a - IET(Cl-a).

No Estado do Ceará, o problema da eutrofização tem sido atribuído a fatores como a erosão intensa, aumento do assoreamento dos reservatórios, altas cargas poluidoras e baixas profundidades dos lagos e reservatórios (Figueiredo *et al.*, 2007). Um levantamento realizado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH, 2015) mostrou que cerca de 75% dos 132 reservatórios monitorados por ela, os quais possuem volumes variando entre aproximadamente 1.0 e 6700 hm³, já apresentavam estado eutrófico ou hipereutrófico.

Estima-se que a eutrofização também atinja uma parcela significativa de reservatórios com volumes inferiores a 1,0 hm³, os quais apresentam, em geral, baixas profundidades e condições precárias de proteção ambiental, sendo, portanto, mais susceptíveis ao problema. O problema da eutrofização tem se demonstrado ainda mais grave em lagoas e reservatórios localizados em áreas urbanas da cidade de Fortaleza/CE, por exemplo, os quais recebem, muitas vezes, contribuições significativas de esgoto bruto e de resíduos sólidos carreados durante a estação chuvosa (Becker *et al.*, 2010).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o Índice de Estado Trófico (IET) do açude Santo Anastácio em Fortaleza, Ceará – Brasil, através da análise do seu comportamento ao longo do tempo e das concentrações dos parâmetros pH, OD, fósforo total e clorofila “a”. Os resultados também serão comparados com os limites estabelecidos na Resolução 357/05 do CONAMA e com estudos anteriores.

Materiais e métodos

Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no estado do Ceará – Brasil, na cidade de Fortaleza, conforme mostrado na Figura 1, sendo estudado o reservatório urbano denominado de açude Santo Anastácio, conforme mostrado na Figura 2.

Pontos amostrais e monitoramento

Para a pesquisa foram demarcados 02 (dois) pontos, distribuídos ao longo do açude Santo Anastácio. A seguir são apresentadas as características de cada ponto.

- P1 - Amostra próximo a entrada do açude Santo Anastácio
- P2 - Amostra próximo ao vertedouro de saída no açude Santo Anastácio

O período de monitoramento foi de junho de 2013 a março de 2014, através de coletas mensais de amostras nos pontos acima citados. Logo que coletadas, as amostras eram acondicionadas e encaminhadas para os laboratórios LABOSAN e LAQUIM da UFC, para determinação dos parâmetros. Ao todo foram realizadas oito coletas.



Figura 1. Mapa indicando a localização da cidade de Fortaleza, estado do Ceará-Brasil.



Figura 2. Mapa indicando o reservatório Santo Anastácio, localizado na cidade de Fortaleza – Ceará - Brasil.
Fonte: Adaptado Google Maps 2016.

Na data da construção (1918), o reservatório supracitado possuía uma capacidade de acumulação de 0.51 hm³ e uma profundidade máxima de aproximadamente 6.0 m.

Foi realizado um estudo batimétrico pela prefeitura de Fortaleza, em 2007, onde é relatado uma redução da profundidade do açude atribuída ao assoreamento. Um outro levantamento foi realizado em pesquisa de Lima (2011) onde consta que a profundidade foi reduzida pelo assoreamento, com volume atual do reservatório de aproximadamente 0,30 hm³, do volume inicial do reservatório, fato corroborado por Lima Neto *et al.* (2011) que relatam que o assoreamento reduziu o volume do açude.

O referido açude faz parte da bacia do Rio Maranguapinho, situada a oeste do município de Fortaleza, que é um dos principais eixos de drenagem da cidade. A referida bacia é um dos alvos preferenciais de ocupação desordenada de suas margens e planícies de inundação.

Parâmetros analisados e tratamento dos dados

Os parâmetros analisados foram Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD), Fósforo Total e Clorofila-a. Os métodos analíticos que foram utilizados seguiram as recomendações de APHA *et al.* (2005).

Índice de Estado Trófico – IET

Como forma de avaliar a produtividade primária do açude Santo Anastácio, por um índice, foi utilizado o índice de estado trófico – IET de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004), com a finalidade de classificar o ASA em relação ao grau de trofia do ecossistema.

Para o cálculo do IET, conforme Lamparelli (2004), são utilizados o IET clorofila-a, denominado IET (CL) como mostra a equação 1; o IET para o fósforo total, expresso como IET (PT), como mostra a equação 2; e o IET médio que leva em consideração a média do IET (CL) e IET (PT), conforme mostra a Equação 3:

$$IET (PT) = 10 \times (6 - ((1.77 - 0.42 \times (\ln Pt))/\ln 2)) \quad \text{Equação (1)}$$

$$IET (CL) = 10 \times (6 - ((0.92 - 0.34 \times (\ln CL))/\ln 2)) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL: concentração de clorofila-a medida à superfície da água, em µg/L;

$$IET = [IET (PT) + IET (CL)] / 2 \quad \text{Equação (3)}$$

Assim, para cada dia de coleta, foi utilizada a concentração obtida de fósforo total e clorofila-a para cálculo do IET(CL) e IET(PT), conforme Equações 1 e 2. Sendo o IET final resultante da média aritmética simples dos índices mensais relativos ao fósforo total e a clorofila-a, de acordo com a Equação 3. As inferências sobre o grau de trofia será realizado de acordo com o IET determinado e comparado com a Tabela 1.

Tabela 1 Estado Trófico (Índice de Carlson Modificado)

Estado Trófico	Ponderação	P-total – P (mg/m ³)	Clorofila-a (mg/m ³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 8	Cl-a ≤ 1.17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	8 < P ≤ 19	1.17 < Cl-a ≤ 3.24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	19 < P ≤ 52	3.24 < Cl-a ≤ 11.03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	52 < P ≤ 120	11.03 < Cl-a ≤ 30.55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	120 < P ≤ 233	30.55 < Cl-a ≤ 69.05
Hipereutrófico	IET > 67	233 > P	69.05 < Cl-a

Fonte: Lamparelli (2004)

Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos parâmetros utilizados na pesquisa. Os resultados obtidos foram comparados com a Resolução 357/05 do CONAMA, tendo em vista que no Capítulo VI, Art. 42 é relatado que “Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2.

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros nos pontos P1, P2 e desvio padrão

Pontos	n	Parâmetros				
		Vazão (L/s)	pH	OD (mg/L)	P Total (mgP/L)	Clorofila-a (µg/L)
P1	8	354.2	7.4 (0.2)	0.96 (0.6)	3.25 (1.9)	14.6 (12.4)
P2	8	327.8	7.4 (0.3)	5.42 (0.78)	1.80 (0.9)	71.9 (25.2)

O desvio padrão é exibido entre parênteses.

Vazão

As concentrações médias da vazão apresentaram valor de 354.2 L/s no P1 e 327.8 L/s no P2. Percebe-se que no ponto P2 a vazão foi consistentemente menor que em P1, fato esse atribuído a evaporação já que não há outra forma de consumo de água no reservatório. A Figura 3 mostra a distribuição espaço temporal da vazão.

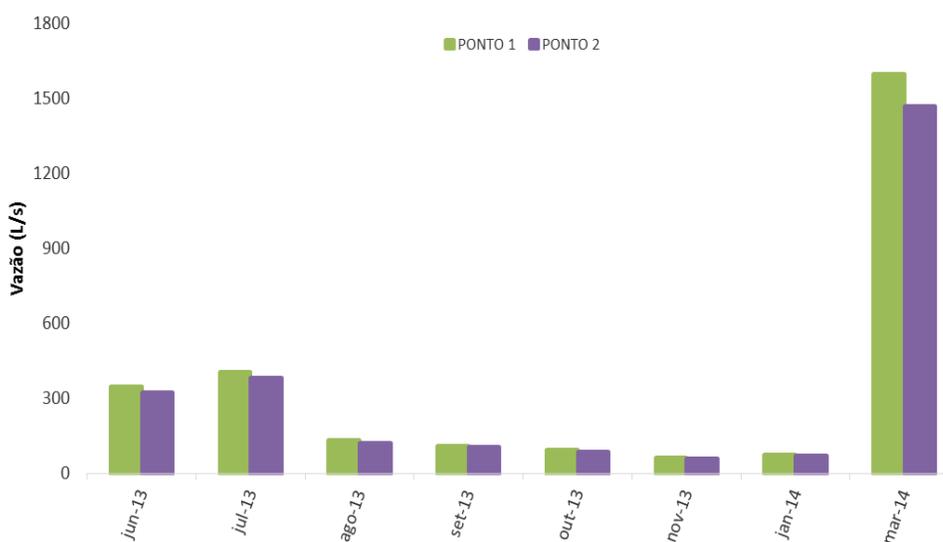


Figura 3. Distribuição espaço temporal da vazão nos pontos amostrais

Salienta-se que a vazão afluyente ao açude é proveniente de um canal de drenagem pluvial, no entanto, devido ao mal uso pela comunidade que reside nas proximidades que interliga seus esgotos e jogam seus resíduos sólidos no canal a qualidade da água é comprometida.

pH

As concentrações médias de pH apresentaram valor de 7.3 no ponto P1 e 7.4 no ponto P2. Todos os resultados se mantiveram em torno da neutralidade e atenderam a faixa recomendada pela Resolução 357/05 do CONAMA para classe 2, a qual, estabelece valores entre 6.0 a 9.0.

Apesar da obtenção de valor elevado de clorofila-a no ponto P2 que demonstra elevada população de algas não foi observado efeito nos valores de pH. Provavelmente a taxa de produção de CO₂ pelas bactérias na decomposição da matéria orgânica foi maior do que a utilização de CO₂ pelas algas, fazendo com que a elevação do pH não fosse possível. Isso repercute diretamente na precipitação do fósforo no reservatório.

Os resultados próximos à neutralidade são semelhantes aos obtidos por (Oliveira 2013; Bem *et al.* 2013; Ruley e Rusch 2004), em suas pesquisas em lagos urbanos rasos eutrofizados.

O comportamento semelhante nos resultados de pH supracitados, em diferentes pesquisas, pode ser atribuído ao efeito tampão existente em águas com presença de esgotos. A Figura 4 mostra a distribuição espaço-temporal do pH.

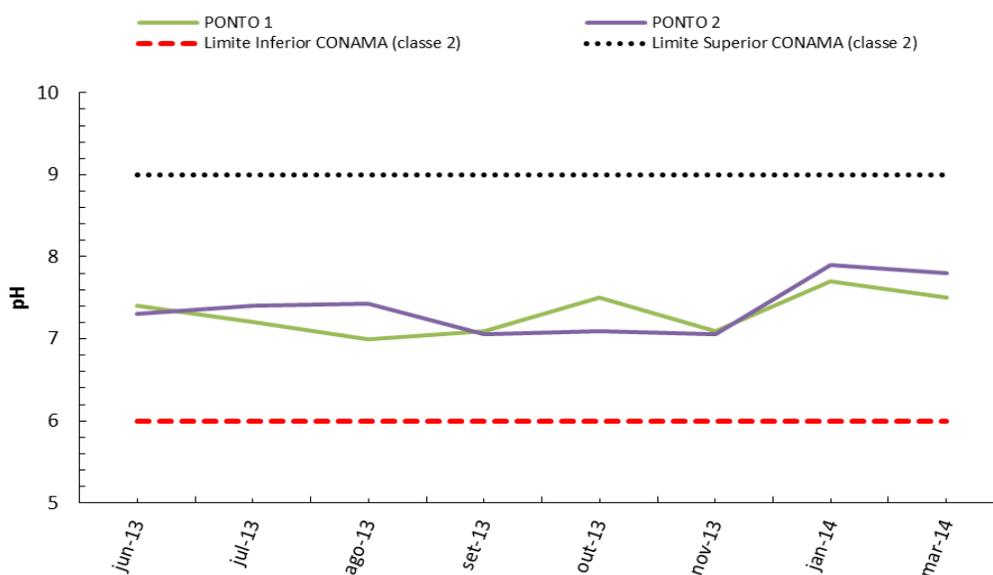


Figura 4. Distribuição espaço temporal do pH nos pontos amostrais

Fósforo Total

As concentrações médias de fósforo total nos dois pontos de coleta apresentaram valores de 3.25 mg/L no P1 e de 1.80 mg/L no P2. É possível verificar nos resultados das análises, um teor de fósforo total elevado, se comparado com a Resolução CONAMA 357/05, onde estabelece que as concentrações de fósforo total para classe 2 devem ser de 0.03 mg/L para ambientes lênticos.

Todos os pontos apresentaram valores acima da Resolução do CONAMA 357/05, isso é atribuído ao lançamento de esgotos no reservatório, já que existe um canal de drenagem, que é interligado ao açude Santo Anastácio, sem o devido tratamento, contribuindo para a eutrofização do manancial.

Em pesquisa realizada por Oliveira (2013) que monitorou o Açude Santo Anastácio nos anos de 2011 e 2012, apresentou valores semelhantes aos obtidos por esta pesquisa, mostrando que o fósforo é constantemente lançado ao longo dos anos.

A Figura 5 apresenta a variação espaço temporal do parâmetro fósforo total. Pode-se observar variações sazonais, considerando que nos meses de junho e julho de 2013 e de janeiro a março de 2014 ocorreram chuvas, o que repercutiu diretamente nos resultados das análises. Percebe-se que nestes meses supracitados os valores de P2 foram superiores ao P1, fato este atribuído a ressuspensão do fósforo no reservatório, provavelmente, o vento também influenciou na ressuspensão do fósforo. No período de estiagem percebe-se uma diminuição dos valores do ponto P2, fato este atribuído a sedimentação do fósforo no reservatório e pela assimilação pelo fitoplâncton no manancial.

Conforme comentado anteriormente, o valor do pH não teve influência direta na sedimentação do fósforo, já que tal fenômeno ocorre geralmente em pH elevado, fato que não ocorreu no presente estudo.

Clorofila-a

As concentrações médias de clorofila-a variaram de 14.6 µg/L no P1 e de 71.9 µg/L no P2. Os menores valores obtidos no P1 são atribuídos ao lançamento de esgotos através de um canal de drenagem, que adentrava o açude, isso porque no ponto de coleta que se localizava no início do açude, sendo, a utilização dos nutrientes pelas algas ocorria de forma parcial. Já no P2, ponto próximo ao vertedouro de saída do açude, os valores foram bem superiores quando comparados com P1, sendo atribuído a elevada presença de fósforo no reservatório, este, adentrado no reservatório ou via ressuspensão do material sedimentado.

Comparando os resultados com a Resolução CONAMA 357/05, a qual estabelece que as concentrações de clorofila-a para classe 2 devem ser de até 30 $\mu\text{g/L}$, verifica-se que o ponto P2 não atendem à legislação ambiental e o ponto P1 atende em seu valor médio. As variáveis clorofila-a e OD apresentam correlações, sendo que quanto maior a concentração de clorofila-a maiores os níveis de OD sendo o inverso também válido.

O ponto P2 apresentou os maiores resultados, atribuídos ao excesso de nutrientes presentes no ASA conforme mostra a Figura 6.

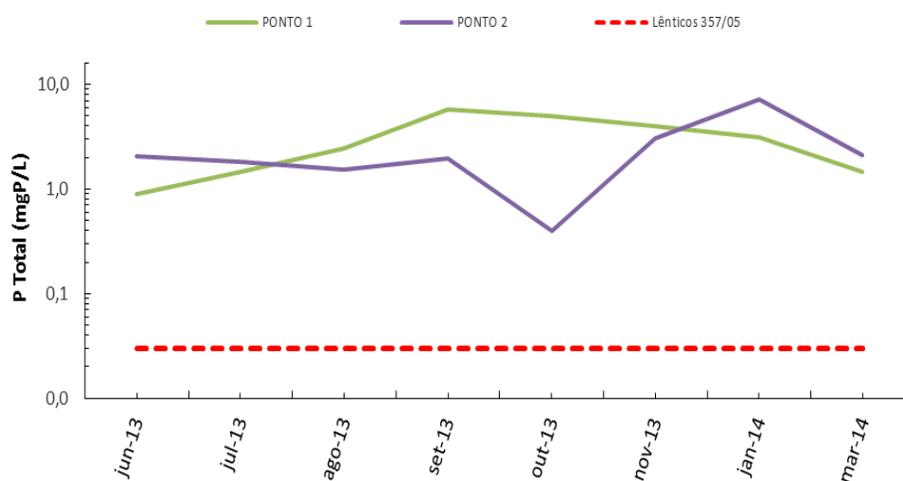


Figura 5. Distribuição espaço temporal do Fósforo Total nos pontos amostrais

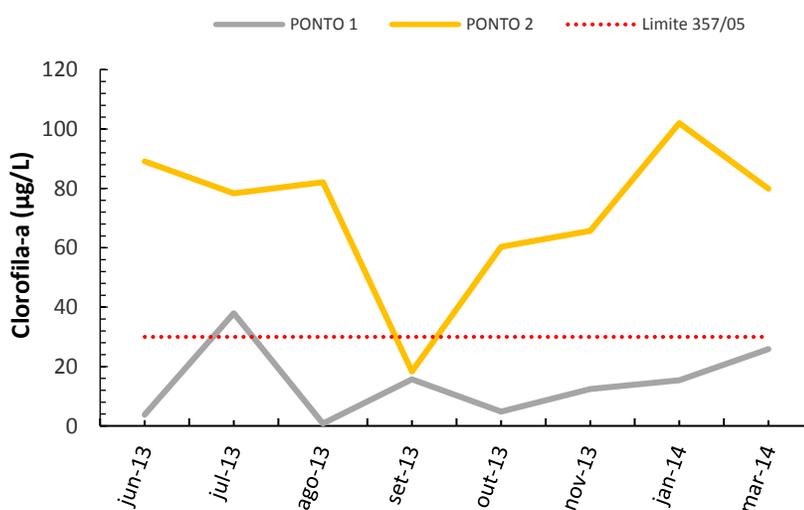


Figura 6. Distribuição espaço temporal de Clorofila-a nos pontos amostrais

Oxigênio Dissolvido - OD

As concentrações médias de oxigênio dissolvido nos dois pontos de coleta apresentaram valores de 0.7 mg/L no P1 e de 5.2 mg/L no P2. O baixo nível observado no ponto P1 são atribuídos ao lançamento de esgotos advindo do canal de drenagem, o que acarreta o consumo do oxigênio dissolvido pela ação dos microrganismos para degradação da matéria orgânica. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de microrganismos decompositores e, conseqüentemente, maior o consumo do gás oxigênio. No ponto P2 nota-se uma recuperação do teor de oxigênio dissolvido com valores superiores ao P1.

Flores e Sorrini (2001) destacam que baixos valores de oxigênio dissolvido no fundo de mananciais se relacionam com a ressolubilização de substâncias a partir do sedimento de fundo, o que pode acarretar o fenômeno de ressolubilização. Apesar das coletas deste estudo não serem realizadas no fundo, os resultados obtidos (coletas próximas à superfície) indicam que, de fato, a ressolubilização pode estar ocorrendo, já que os valores de OD não foram elevados e os de fósforo total apresentaram grande variação.

Comparando os resultados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 para águas doces classe 2, que não deve ser inferior a 5.0 mg/L de OD, o ponto P1 está fora dos padrões, com valor bem reduzidos, já o P2 o valor atendeu à legislação ambiental em seu valor médio, no entanto em 3 coletas, os resultados foram abaixo do padrão estabelecido pela referida resolução.

Correlacionando estes resultados com o parâmetro clorofila-a, verifica-se que o ponto em desacordo com o limite para OD, está de acordo perante a referida legislação no tocante a clorofila-a. Isso porque quanto menor a quantidade de algas menor a atividade fotossintética e, conseqüentemente, menores valores de OD, somando-se a isso o consumo do oxigênio para a degradação da matéria orgânica. Já os valores no ponto P2, que atendeu a legislação em relação ao OD, não atende quanto ao parâmetro clorofila-a, o que é explicado pelo fato que quanto maior o número de algas maior a atividade fotossintética e maiores serão os valores de OD.

Os resultados médios de OD obtidos na presente pesquisa (5.2 mg/L) apresentaram valores próximos aos obtidos por Oliveira (2013), cujo valor foi de 4.87 mg/L de OD. Foi observado também um comportamento semelhante entre as pesquisas, onde foi perceptível a recuperação da qualidade dentro do reservatório, nesse caso, tendo ocorrido a elevação dos níveis de OD.

Comparando os resultados obtidos no açude Santo Anastácio com pesquisa realizada por Ruley e Rusch (2004), que monitoraram um lago hipereutrófico subtropical urbano, localizado em

Baton Rouge, Louisiana Estados Unidos, os resultados foram próximos, sendo que o valor médio foi superior aos obtidos pelos autores citados que obtiveram média de 4,58 mg/L, enquanto nesta pesquisa foram obtidos 5.2 mg/L.

Em estudos realizados por Macedo (2011) em um córrego urbano em Belo Horizonte e na pesquisa de Araújo e Duarte (2014) em um rio urbano em Sobral Ceará, os resultados foram semelhantes, com baixos valores de OD (abaixo de 5.0 mg/L), em desacordo com a legislação ambiental, assim como no ponto P1 desta pesquisa. Mostra-se assim, que em áreas urbanas, os reservatórios são receptores de esgoto, comprometendo a qualidade da água e limitando seus usos.

A Figura 7 mostra a variação espaço temporal do parâmetro OD. É notório no gráfico a diferença dos pontos P2 (valor maior) do ponto P1 (baixo valor). Neste último, também era perceptível maus odores, caracterizando a presença de esgotos.

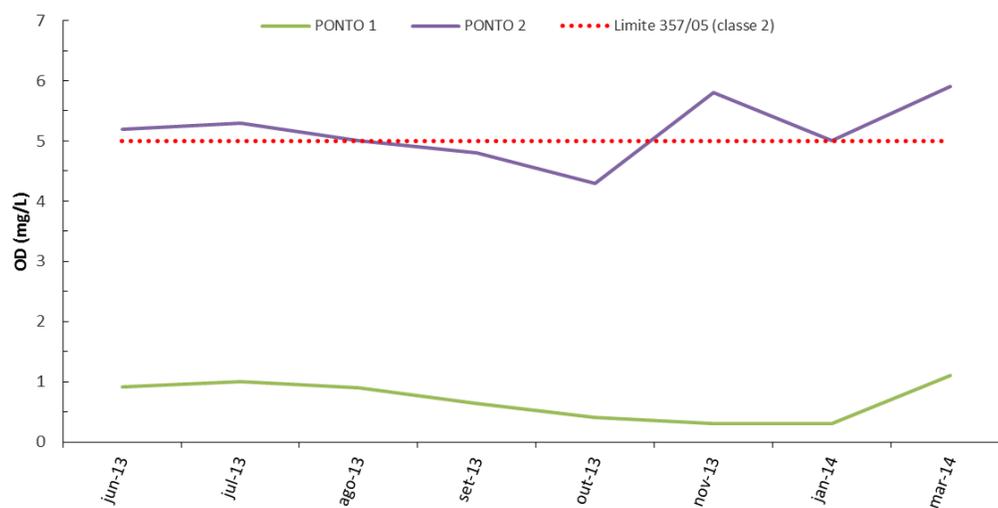


Figura 7. Distribuição espaço temporal do OD nos pontos amostrais

Índice do Estado Trófico - IET

Para determinação do IET foram adotados os estados de trofia ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, cujos limites, para lagos, em cada nível de trofia, conforme apresentado na Tabela 1.

Os resultados encontrados para o IET (PT), IET (Cl a) e o IET médio nos pontos P1 e P2 (através das equações 1, 2 e 3) estão disponíveis na Tabela 3 e 4.

Tabela 3. Valores médios do IET no ponto P1.

Coletas	IET (PT)	IET (Cl a)	IET médio	Classificação do estado trófico
jun-13	83.53	53.29	68.41	Hipereutrófico
jul-13	86.45	64.57	75.51	Hipereutrófico
ago-13	89.55	45.64	67.59	Hipereutrófico
set-13	94.71	60.24	77.47	Hipereutrófico
out-13	93.93	54.43	74.18	Hipereutrófico
nov-13	92.51	59.08	75.80	Hipereutrófico
jan-14	91.09	60.12	75.60	Hipereutrófico
mar-14	86.47	62.69	74.58	Hipereutrófico

Fonte: Autor (2015)

Tabela 4. Valores médios do IET no ponto P2

Coletas	IET (PT)	IET (Cl a)	IET médio	Classificação do estado trófico
jun-13	88.50	68.75	78.63	Hipereutrófico
jul-13	87.74	68.12	77.93	Hipereutrófico
ago-13	86.71	68.35	77.53	Hipereutrófico
set-13	88.28	61.00	74.64	Hipereutrófico
out-13	78.61	66.84	72.72	Hipereutrófico
nov-13	90.87	67.25	79.06	Hipereutrófico
jan-14	96.10	69.41	82.76	Hipereutrófico
mar-14	88.75	68.22	78.48	Hipereutrófico

Fonte: Autor (2015)

Observa-se através da Tabela 3, 4 e da Figura 8 que o IET médio segundo Lamparelli (2004), para o ponto P1, se manteve na classificação hipereutrófico. Para o ponto P2 em todo período monitorado, também foi classificado como hipereutrófico (IET > 67), que é a classificação máxima para o nível de eutrofização para a metodologia utilizada. Esses altos índices representam à pressão que o açude está sofrendo com a entrada de nutrientes, por meio da poluição, principalmente no tocante aos esgotos e resíduos sólidos.

Este cenário é preocupante, principalmente considerando um acréscimo das concentrações ao longo do tempo nos parâmetros fósforo total e clorofila-a, quando comparados com pesquisas realizadas por Oliveira (2001) e por Oliveira (2013) no mesmo reservatório. Considerando o parâmetro fósforo total foram acrescidos 600% entre a pesquisa de 2001 para o estudo 2013 e 79% desta última para o presente estudo. Para o parâmetro clorofila-a o acréscimo foi de 101.5% entre a pesquisa de 2013 para o presente estudo.

Este problema ainda é mais grave em regiões semiáridas, onde os reservatórios têm seus volumes reduzidos durante a estação seca e continuam recebendo nutrientes – particularmente o fósforo - provenientes de atividades urbanas, acarretando em uma redução significativa na qualidade de suas águas.

Os resultados obtidos são concordantes com pesquisa realizada por Sales, 2010 que avaliou a qualidade da água dos principais sistemas lacustres de Fortaleza, pertencentes a bacia hidrográfica do Rio Cocó. Ao todo foram estudadas 8 lagoas urbanas, e todas foram classificadas como hipereutróficas (IET > 67) que é a classificação máxima para o nível de eutrofização pela metodologia de Lamparelli. Isso mostra que outros mananciais da cidade de Fortaleza estão sendo degradados, principalmente por esgotos domésticos e resíduos sólidos, comprometendo a qualidade da água.

Comparando o presente estudo com o avaliado por Tavares et al. 2014, que avaliaram pelo método TRIX o nível de eutrofização no estuário do Rio Potengi em Natal – RN, a causa da aceleração do processo de eutrofização foi semelhante, visto que a intensificação do processo de eutrofização citada no referido estudo é influenciada pelo arraste de poluentes trazidos a partir do sistema de drenagem e estão relacionados com a presença de esgotos.

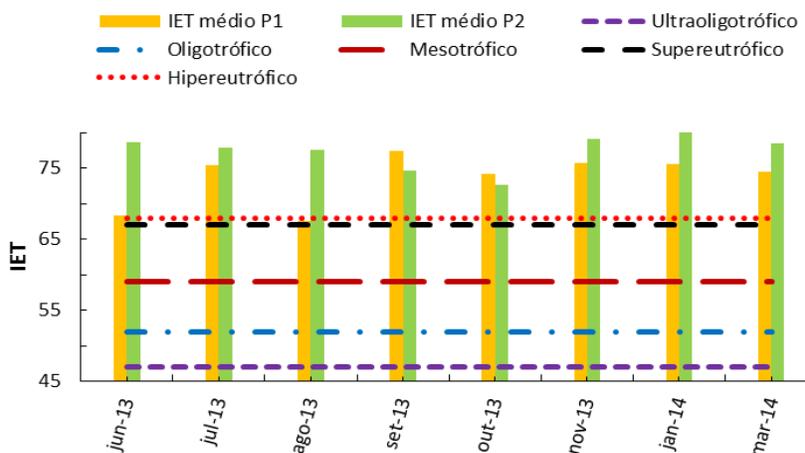


Figura 8. Estados de trofia do açude Santo Anastácio de acordo com o IET médio

Conclusões

A aplicação do IET (médio) possibilitou a classificação do reservatório na categoria de hipereutrófico. É possível afirmar que o açude se encontra em um processo de eutrofização avançado e crescente ao longo do tempo.

O estudo mostrou que o açude Santo Anastácio, apresenta uma grande concentração de fósforo e clorofila-a, e são atribuídos ao lançamento de esgotos e resíduos sólidos que são carreados por um canal de drenagem que é interligado ao reservatório.

Os resultados dos parâmetros monitorados quando comparados com a Resolução 357/05 CONAMA para águas doces classe 2 se mantiveram fora dos padrões estabelecidos, com exceção do parâmetro pH. O fósforo total apresentou concentrações muito acima da legislação ambiental o que repercutiu diretamente no grau de trofia do reservatório.

Recomendações

Para reduzir a descarga de nutriente no reservatório e proporcionar uma melhoria da qualidade da água do açude podem ser utilizadas as seguintes alternativas:

- Redução do aporte (esgotos, resíduos sólidos e sedimento) para o açude;
- Dragagem do leito do reservatório Santo Anastácio;
- Limpeza periódica do canal de drenagem e recuperação do sistema de drenagem urbana, verificando as ligações clandestinas, visto que estes desagüam no açude.

Referências bibliográficas

- APHA, American Public Health Association (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21^a ed. Washington: American Public Health Association.
- Becker, H., Farias, D.B.A., Silva, R.S. (2010) *Açude Santo Anastácio: um Estudo de Caso*. In: Juliana M. Oliveira Silva; Edson Vicente da Silva; Giovanni Seabra; José M. Mateo Rodriguez. (Org.). *Gestão dos Recursos Hídricos e Planejamento*. 1^a Ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, p. 148-158.
- Bem, C.C.A., Braga, M.C.B., Azevedo, J.C.R. (2013) Avaliação do Estado Trófico de um Lago Urbano Raso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. **10**(1), 41 -50, Jan/Jun.
- Carlson, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. **22**(2), 261-269.
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H. (1998) Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Application*, **8**(3), 559– 568.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). *Resolução Conama Nº 357*. Acesso em 31/05/2014. Disponível em: www.mma.conama.gov.br/CONAMA
- Cunha, D.G.F., Calijuri, M.C. (2007) *Variação do estado trófico de um rio tropical em curto período de tempo*. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, 15. São Carlos. Anais eletrônicos.
- Daniel, T.C., Sharpley, A.N., and Lemunyon, J.L. (1998) Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview. *Journal of Environmental Quality*, **27**(2), 251– 257.

- Dodds, W.K., Jones, J.R., Welch, E.B. (1998) Suggested classification of stream trofic state: distributions of temperature streams types by chloropHyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research*. **32**(5), 1455-1462.
- Figueiredo, M.C.B., Teixeira, A.S., Araújo, L.F.P., Rosa, M.F., Paulino, W.D., Mota, S., Araújo, J.C. (2007) Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **12**, 399-409.
- Google Maps (2016). Acesso em 09 de maio de 2016, disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-3.7448863,-38.572899,1950m/data=!3m1!1e3?hl=en>
- Lima Neto, I.E., Wiegand, M.C., Araújo, J.C. (2011) Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semi-arid Brazilian basin. *Hydrological Sciences Journal*, **56**, 319-333.
- Lima, F.P. (2011) *Avaliação do Processo de Assoreamento do Açude Santo Anastácio – Fortaleza/CE e Sua Influência no Ecossistema Local. Monografia* (Graduação), Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia de Pesca.
- Lung, W.S., Larson, C.E. (1995) Water quality modeling of upper Mississippi River and Lake Pepin. *Journal. Environmental. Eng.* **121**(10), 691–699.
- Novotny, V. (2003) *Diffuse Pollution and Watershed Management. Water Quality* Ed Jonh Wiley And Sons, Inc NY, EUA.
- Oliveira, A.C.B. (2013) *Avaliação da Qualidade das Águas do Açude Santo Anastácio. (Dissertação)*. Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará – UFC.
- O'neill S., Achyut, R., Adhikari, M.R.G., Kumud A. (2013) Bacterial contamination due to point and nonpoint source pollution in a rapidly growing urban center in an arid region. *Urban Water Journal*, **10**(6), 411-421.
- Ruley, J.E., Rusch, K.A. (1991) Development of a simplified phosphorus management model for a shallow, subtropical, urban hypereutrophic lake. *Journal Ecology Enginnering*. **22** (2004) 77-99, 2004.
- Salas, H.J., Martino, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*. **25**(3), 341–350.
- Sales, J.W. de F. (2010) *Análise Multivariada aplicada na qualidade de água dos principais sistemas lacustres da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. (Dissertação)*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Tavares, J.L., Araújo, A.L.C., Fontes, F.R.C. (2014) Estudos Iniciais para Uso do Índice Trix para Análise do Nível de Eutrofização no Estuário do Rio Potengi – Natal – RN - Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. **7**(3) 297 – 308.
- Toledo Júnior, A.P., Talarico, M., Chinez, S.J., Agudo, E.G. (1983) *A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. Camburiu; Anais do 12º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Camburiu.