

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **CAPACIDADE DE CARGA DE FÓSFORO EM RESERVATÓRIO DA REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA**

*Carmem Júlia Sant'Anna de Oliveira<sup>1</sup>; José Luiz de Attayde<sup>2</sup> & Joana D'arc Freire de Medeiros<sup>3</sup>*

**RESUMO** – A eutrofização de lagos e reservatórios tem ocorrido de forma acelerada, devido ao lançamento de carga excessiva de nutrientes oriundos de atividades humanas. Portanto, torna-se necessário, no manejo da qualidade da água desses ambientes, o controle das cargas de nutrientes, especialmente do fósforo (P), por ser este elemento, geralmente, o nutriente limitante para a produção primária e as florações de cianobactérias. O objetivo deste trabalho consiste em estimar as cargas máximas de fósforo em um reservatório da região semiárida brasileira, visando o manejo da qualidade da água. Para essa estimativa foi utilizado um modelo matemático que integrasse o balanço hídrico ao balanço de massa do P no reservatório. A carga máxima de fósforo foi definida como a carga relativa à concentração de P total máxima estabelecida pela Resolução 357/05 do CONAMA para águas doces de classe 2. Os resultados obtidos mostraram que os parâmetros assumidos para as simulações influenciam diretamente nos valores de carga máxima de fósforo, que aumenta quanto maior for o volume da demanda hídrica, por exemplo. E que a incorporação do balanço hídrico ao balanço de massa de fósforo representou bem a alta variabilidade volumétrica da região, tornando-os mais próximos à real condição do reservatório.

**ABSTRACT**– Eutrophication of lakes and reservoirs has occurred at an accelerated rate, due to the release of excessive nutrient loading from human activities. Therefore, it is necessary to control the water quality of these environments, the control of nutrient loads, especially phosphorus (P), since this element is usually the limiting nutrient for primary production and cyanobacteria blooms. The objective of this work is to estimate the maximum phosphorus loads in a reservoir of the Brazilian semi - arid region, aiming at water quality management. For this estimation a mathematical model was used that integrated the water balance to the mass balance of the P in the reservoir. The maximum phosphorus load was defined as the load relative to the maximum total P concentration established by CONAMA Resolution 357/05 for Class 2 freshwater. The results showed that the parameters assumed for the simulations directly influence the maximum load values of phosphorus, which increases the greater the volume of water demand, for example. And that the incorporation of the water balance to the mass balance of phosphorus represented well the high volumetric variability of the region, making them closer to the real condition of the reservoir.

**Palavras-Chave** – Eutrofização; balanço de massa; balanço hídrico.

1) Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da UFRN. Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal-RN; [carmem.julia.oliveira@gmail.com](mailto:carmem.julia.oliveira@gmail.com)

2) Professor Permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da UFRN. Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal-RN; [cocattayde@gmail.com](mailto:cocattayde@gmail.com)

3) Professora Permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da UFRN. Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal-RN; [joanadarc.medeiros@gmail.com](mailto:joanadarc.medeiros@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

O enriquecimento excessivo dos corpos de água por nutrientes e o aumento da produção primária é um processo natural que acontece de forma lenta, podendo levar centenas de anos para ser estabelecido (Esteves, 2011). No entanto, este processo tem ocorrido nas últimas décadas rapidamente, devido ao aumento na carga externa antropogênica de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, por fontes pontuais e difusas de poluição (Carpenter et al., 1998; Bechini e Castoldi, 2009; Jeppesen et al., 2014; de Souza Lima et al., 2016).

Considerando que o fósforo, é geralmente, o elemento mais limitante para o crescimento do fitoplâncton em lagos e reservatórios temperados e tropicais (Huzsar, 2006; Rangel et al., 2012), a melhor forma de controlar os efeitos da eutrofização é controlar a entrada desse nutriente no sistema (Schindler, 2008). Existe uma carga limite ou máxima que o ambiente é capaz de absorver sem que ocorra deterioração excessiva da qualidade da água, ou seja, uma carga máxima que possa manter as condições ambientais desejáveis do ecossistema aquático (Middleton e Doubell, 2014). Portanto, conhecer esta carga limite é essencial para a tomada de decisões na gestão das águas.

Modelos clássicos de eutrofização vêm sendo utilizados como ferramenta para auxiliar na gestão, restauração e conservação dos recursos hídricos, para reduzir a carga externa de nutrientes, e assim atingir o estado trófico desejável para o lago ou reservatório em questão (Gunkel et al., 2003; Bittencourt & Gobbi, 2006; Torres et al., 2007; Dunalska et al., 2015; Djelita et al., 2017). No entanto, como esses modelos clássicos assumem que não há variação de volume de água no lago ou reservatório eles são inadequados para a gestão da qualidade da água de lagos e reservatórios em regiões semiáridas que sofrem grande variação de volume de água.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo estimar as cargas máximas de fósforo para o reservatório Itans, localizado na região semiárida do RN, através de um modelo dinâmico que integre o balanço de massa de fósforo e o balanço hídrico do reservatório, visando a gestão integrada da qualidade e quantidade da água do reservatório.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, parcialmente inserida nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, possui área de drenagem de 43.681,50 km<sup>2</sup>. Está totalmente inserida em região de clima semiárido tropical (BS'h', Kottek et al., 2006), apresentando chuvas concentradas em poucos meses do ano e altas taxas de evapotranspiração, com forte alternância entre anos com pluviosidade acima da média e anos seguidos de seca e baixa disponibilidade hídrica. (ANA, 2016).

Quanto à qualidade da água armazenada, parâmetros, como a concentração de fósforo total, e índices, como o Índice de Estado Trófico (IET), mostraram que praticamente todos os

reservatórios da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu apresentam altas concentrações de fósforo total, e que mais de 80% dos pontos analisados na bacia estavam entre os estados tróficos de hipereutrófico e eutrófico. (ANA, 2016).

Para este estudo foi selecionado o reservatório Itans, localizado na bacia hidrográfica do rio Piancó-Piranhas-Açu. O reservatório possui como capacidade máxima de armazenamento 81,75 hm<sup>3</sup> e área de bacia hidráulica 1.340,00 ha (SEMARH, 2015).

O reservatório selecionado é de múltiplos usos, com demandas hídricas para abastecimento humano, pecuária, irrigação e indústria. Atualmente os usos outorgados pela ANA representam aproximadamente 50,0% da disponibilidade hídrica.

## 2.2. Estimativa da Carga Máxima

O modelo utilizado neste estudo para a estimativa da carga máxima admissível de fósforo é uma adaptação do modelo de Vollenweider (1969, 1976), que leva em consideração a variabilidade volumétrica do lago ou reservatório no intervalo de tempo. O modelo realiza inicialmente o balanço hídrico, para considerar a variação de volume do reservatório, a partir da seguinte equação:

$$V_{t+1} = V_t + Q_{af} - (E - P) \times \bar{A} - dem \quad (1)$$

Onde:  $V_t$  e  $V_{t+1}$ : Volumes no início e final do intervalo de tempo (m<sup>3</sup>);  $Q_{af}$ : Volume afluente ao reservatório (m<sup>3</sup>);  $dem$ : Volume de demanda/usos do reservatório (m<sup>3</sup>);  $E$ : Evaporação (mm);  $P$ : Precipitação (mm);  $\bar{A}$ : Média das áreas superficiais referentes aos volumes (m<sup>2</sup>).

O volume armazenado no intervalo de tempo  $t+1$  ( $V_{(t+1)}$ ), é limitado inferiormente pelo volume morto ( $V_{mín}$ ), e superiormente pelo volume máximo ( $V_{máx}$ ).

$$V_{mín} \leq V_{t+1} \leq V_{máx} \quad (2)$$

Os dados de precipitação e evaporação foram disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As curvas cota-área-volume foram obtidas nas fichas técnicas disponibilizadas pelo SEMARH, e a demanda utilizada foi estimada a partir de balanço hídrico em período seco, sendo utilizada a média dos valores encontrados.

Considerando que a massa total de fosforo no reservatório é o produto da concentração ( $C$ ) pelo volume ( $V$ ), tem-se o balanço de massa em um determinado intervalo de tempo:

$$C_{t+1} \cdot V_{t+1} = C_t \cdot V_t + Q_{af} C_{base} + C - C_{med} \cdot dem - Fluxo \quad (3)$$

Onde:  $C_t$  e  $C_{t+1}$ : Concentração de P no reservatório no início e no final do intervalo de tempo; C: Carga de P afluyente ao reservatório oriunda de fontes pontuais de poluição que independem da vazão afluyente (mg/mês);  $C_{base}$ : Concentração base de P (mg/m<sup>3</sup>);  $C_{med}$ : Concentração média no intervalo de tempo (mg/m<sup>3</sup>); e Fluxo é o fluxo vertical líquido de P entre a coluna d'água e o sedimento (mg/mês), que foi estimado a partir de balanço de massa em período seco e concentrações de P conhecidas, considerando que a sedimentação supera o retorno do P para a coluna d'água.

O parâmetro de maior incerteza no balanço de massa é o termo de concentração base de fósforo das vazões afluentes ao reservatório que é originária da bacia hidrográfica. Foi adotado um valor unitário para esta concentração. Esse valor foi assumido seguindo a mesma lógica utilizada para cálculo da vazão de diluição utilizada pela ANA nos processos de outorga de lançamento de efluentes (ANA, 2013).

O critério utilizado, para a obtenção da carga máxima que pode ser lançada no ambiente aquático, levou em consideração o limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA referente a ambientes lênticos de águas doces enquadrados na classe 2 para concentração de fósforo total, ou seja, uma concentração de 30 mg/m<sup>3</sup>. Porém, essa carga obtida é a máxima para que em 90% do período de simulação essa concentração limite de fósforo não seja ultrapassada.

O período simulado foi de 48 anos (1962-2009), sendo o mesmo período dos dados de vazões afluentes e de precipitação, disponibilizados pela ANA e EMPARN, respectivamente, enquanto que os dados de evaporação utilizados foram médias mensais, disponibilizados pelo INMET.

Foram simulados cenários com um fluxo vertical de P, dois de demandas de água, três de concentrações iniciais de P, e dois de volumes iniciais, totalizando 12 cenários.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cargas máximas de fósforo obtidas apresentaram grande variação entre os diferentes cenários, demonstrando a influência dos parâmetros sobre a carga máxima externa de fósforo, no reservatório (Tabela 1), sendo o maior valor encontrado 5,5 kg P/mês.

Tabela 1 - Capacidade de Carga de P (10<sup>3</sup>mg P/mês)

Capacidade de Carga de P (10 <sup>3</sup> mg/mês)				
Demanda	100%		50%	
Volume Inicial	V <sub>máx</sub>	50% V <sub>máx</sub>	V <sub>máx</sub>	50% V <sub>máx</sub>
Conc. Ini =1,0	5500	5500	2300	2400
Conc. Ini =10,0	4600	5100	1100	1800
Conc. Ini =20,0	3600	4600	-	1200

Percebeu-se que em cenários com um menor volume inicial a capacidade de carga de fósforo se apresentou maior, como também, quando ocorre uma maior retirada de água do reservatório, ou seja, nos cenários em que foi considerada 100% da demanda, a carga máxima de fósforo obtida é bem superior.

Esses resultados mostraram que a carga de fósforo é fortemente influenciada pelos usos da água no reservatório, quanto maior foi a retirada de água para usos múltiplos maior foi a carga de fósforo aceitável para manter o reservatório com concentrações abaixo de 30 mg/m<sup>3</sup> em 90% do tempo. Isto ocorreu porque foi considerada uma concentração de fósforo das vazões afluentes igual a 1,0 mg/m<sup>3</sup>. Como esta concentração é baixa comparada a concentração de fósforo do reservatório, a renovação da água passa a ser um fator positivo, fazendo com que quanto maior for a retirada de água maior será a carga de fósforo aceitável.

As condições iniciais das simulações, como a concentração inicial de fósforo e o volume armazenado no reservatório influenciaram nos valores obtidos para cargas máximas de fósforo, apesar do longo período de simulação.

#### 4. CONCLUSÃO

Nós concluímos que a incorporação do balanço hídrico no modelo tornou os resultados obtidos mais próximos da real situação da região, devido à alta variabilidade dos níveis de água do reservatório.

A partir da diversidade de simulações foi possível perceber o forte impacto do volume da demanda sobre a capacidade de carga de fósforo, no entanto, influenciado pela qualidade das vazões afluentes ao reservatório.

As condições iniciais impostas nas simulações influenciaram nos resultados finais, apesar do período de simulação, como o volume armazenado inicialmente e a concentração de fósforo no interior do reservatório.

#### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA) (2013). *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013*. Brasília.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA) (2016). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu - Resumo Executivo*. Brasília.

BECHINI, L.; CASTOLDI, N. (2009). “*On-farm monitoring of economic and environmental performances of cropping systems: results of a 2-year study at the field scale in northern Italy*”. *Ecological Indicators*, v. 9, n. 6, p. 1096-1113.

BITTENCOURT, S.; GOBBI, E. F. (2006). “*Carga máxima de fósforo admissível ao reservatório Piraquara II, uma aplicação do processo TMDL*”. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 30, p. 595-603.

CARPENTER, S. R. et al (1998). “*Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*”. *Ecological applications*, v. 8, n. 3, p. 559-568.

CONAMA, Resolução. 357, de 17 de Março de 2005. *Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA*, v.357, 2005.

DE SOUZA LIMA, R. N. et al. (2016). “*Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica*”. *Eng Sanit Ambient*, v. 21, n. 1, p. 139-150.

DJELITA, B. et al. (2017). “*Contribution to the phosphorus flux modeling in the Hammam Boughrara dam (province of Tlemcen, Algeria): application to the eutrophication management*”. **Revue d'écologie**,

DUNALSKA, J. A. et al. (2015). “*Can we restore badly degraded urban lakes?*”. *Ecological Engineering*, v. 82, p. 432-441.

ESTEVES, F.A (2011). *Fundamentos de Limnologia*. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 790p.

GUNKEL, G. et al (2003). “*Estudos da limnologia do Reservatório de Tapacurá em Pernambuco: Problemas da Gestão de Reservatórios no semi-árido Brasileiro. Desafios à Gestão da Água no liminar do Século XXI*” in *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH. Curitiba. 2003.

HUSZAR, V. LM et al (2006). “*Nutrient-chlorophyll relationships in tropical-subtropical lakes: do temperate models fit?*”. *Nitrogen Cycling in the Americas: Natural and Anthropogenic Influences and Controls*. Springer, Dordrecht. p. 239-250.

JEPPESEN, E. et al (2014). “*Climate change impacts on lakes: an integrated ecological perspective based on a multi-faceted approach, with special focus on shallow lakes*”. *Journal of limnology*.

MIDDLETON, J. F.; DOUBELL, M. (2014). “*Carrying capacity for finfish aquaculture. Part I—Near-field semi-analytic solutions*”. *Aquacultural Engineering*, v. 62, p. 54-65.

RANGEL, L. M. et al. (2012). “*Phytoplankton biomass is mainly controlled by hydrology and phosphorus concentrations in tropical hydroelectric reservoirs*”. *Hydrobiologia*, v. 693, n. 1, p. 13-28.

SCHINDLER, D. W. et al. (2008). “*Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment*”. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 105, n. 32, p. 11254-11258.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (SEMARH). *Situação Volumétrica de Reservatórios do RN*. 2015. Disponível em: <<http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/Monitoramento/FichaTecnica?idReservatorio=1060>>. Acesso em: Abril, 2018.

VOLLENWEIDER, R. A. (1969). “*Possibilities and limits of elementary models concerning the budget of substances in lakes*”. Archiv fur Hydrobiologic. v. 66, n.1, p.1-36.

VOLLENWEIDER, R. A. (1976). “*Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication*”. Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, Dott. Marco de Marchi Verbania Pallanza.