

DETERMINAÇÃO DO INCREMENTO DE FÓSFORO PROVENIENTE DA ATIVIDADE PISCÍCOLA EM RESERVATÓRIO DO NORDESTE DO BRASIL

Marcela Rafaela de Freitas Silva ⁽¹⁾; Akira Duarte Kobayashi ⁽²⁾, Emanuella Almeida Figueiredo ⁽³⁾,
Juliana Argélia Garcia de Almeida ⁽⁴⁾

^(1,2,3) Universidade Federal da Paraíba, ⁽⁴⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
marcela.rafaela@gmail.com ⁽¹⁾; akiradukoba@gmail.com ⁽²⁾; emanuella.afigueiredo@gmail.com ⁽³⁾;
juliana.garciah@gmail.com ⁽⁴⁾

Resumo: A piscicultura possui relevância acentuada no semiárido brasileiro, principalmente por se caracterizar como uma das principais fontes de renda para as famílias que vivem na região, porém, o manejo inadequado dessa atividade, é capaz de causar impactos significativos na qualidade da água dos reservatórios. A fim de compreender a degradação que a piscicultura pode causar no meio, levando em consideração o fósforo como fator limitante no processo de eutrofização de um reservatório, e tomando como área de estudo o açude Aracoiaba e as três piscicultura identificadas na região, nesse trabalho calculou-se o aumento na concentração do fósforo na água proveniente da atividade piscícola para vários cenários de armazenamento do reservatório e de produção de tilápia, a partir de dois métodos distintos de estimativa de concentração desse nutriente; e analisou-se os resultados com relação ao parâmetro da Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 2. Nesse sentido, foi verificado altas concentrações do fósforo, que, na maioria das vezes, ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 2 (0,03 mg/L), assim como foi observado também que para todos os cenários, o acréscimo gerado pela piscicultura foi significativo. Dessa forma, concluiu-se que, a atividade piscícola no reservatório Aracoiaba está sendo praticada de forma indiscriminada e que, portanto, a metodologia de outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos para piscicultura deve ser revista pelos órgãos competentes.

Palavras-Chave: piscicultura, fósforo, capacidade de suporte.

Introdução

A piscicultura em tanques-rede possui crescente importância econômica e social, gerando empregos e fonte de renda no semiárido nordestino. Entretanto, essa prática enfrenta desafios em seu manejo, devido ao seu potencial contaminante e de degradação do corpo hídrico. Muitos países proíbem ou restringem fortemente essa atividade. No Brasil, a piscicultura em tanques-rede é permitida em 1% da superfície do reservatório, mas ainda assim causa preocupações no que se refere a sua sustentabilidade devido aos impactos relacionados, principalmente a eutrofização e a sedimentação do reservatório (GUNKEL *et al.*, 2015).

Para um melhor entendimento do quanto a piscicultura pode comprometer a qualidade da água, tomando o Açude Aracoiaba como área de estudo, objetivamente no que diz respeito a eutrofização e levando em consideração que o macronutriente fósforo é fator limitante nesse processo de trofia, foi calculado o acréscimo na concentração de fósforo na água do reservatório gerado pela prática aquícola para vários cenários, e realizada uma análise crítica dos resultados

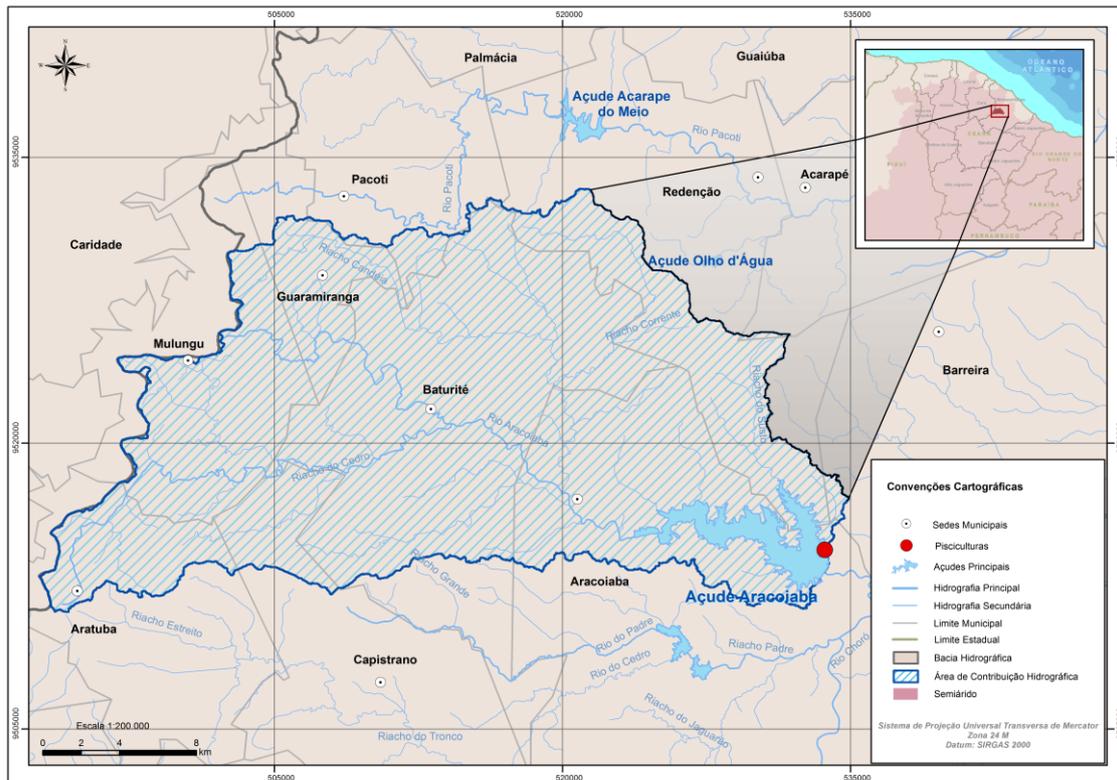
obtidos com relação ao parâmetro da Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 2, do proposto por Thornton e Rast (1993) e série histórica de concentrações de fósforo apresentada no website da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) de janeiro de 2014 a novembro 2016.

Área de Estudo

A região em questão abrange a bacia de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoiaba (localizado entre as coordenadas UTM Zona 24S, 9533400mN e 9510787mN, e 534940mE e 499076mE), que drena 532,83 km², englobando majoritariamente os municípios de Aracoiaba, Baturité, Guaramiranga, Mulungu e Redenção, com o reservatório inserido no município de Aracoiaba, no Ceará. Nessa área, foram identificadas três pisciculturas, sendo elas: Associação Comunitária Amigos de Todos (ACAT) (coordenada UTM Zona 24S, 951440mN e 53365mE), Piscicultura Aracoiaba (coordenada UTM Zona 24S, 951427mN e 53368mE) e a Cooperativa dos Piscicultores do Açude Aracoiaba (COPA) (coordenada UTM Zona 24S, 951440mN e 53364mE) (Figura 1).

O clima predominante na área de contribuição da bacia hidrográfica do açude Aracoiaba, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger é o Aw', caracterizado como tropical chuvoso, quente e úmido, com estação chuvosa concentrada no outono.

Figura 1. Localização da área de contribuição hidrográfica do reservatório Aracoíaba e identificação da área onde se encontra as Pisciculturas visitadas



Fonte: elaboração própria (2017).

Visitas à campo

Durante levantamento de campo, realizado nos dias 5 e 7 de dezembro de 2016, foi verificado que as três associações têm sua produção voltada para a criação do peixe *Oreochromis niloticus*, popularmente conhecido como tilápia-do-Nilo. Após entrevistas com os produtores, foi determinada que a produção total de peixe varia aproximadamente entre 348 e 1080 toneladas por ano. Tendo como principal limitante na produção, o volume de água armazenado no reservatório.

Quanto ao fator de conversão, quantidade ração necessária para produzir certa quantidade de peixe (kg de ração/kg de peixe), foi relatado pelos produtores que é aproximadamente 1,7. Ou seja, 1,7 kg de ração produz 1,0 kg de peixe. O tipo de ração utilizada na criação é a Fri-Aqua, fabricada pela Nutreco Fri-rib Nutrição Animal Ltda. Utilizando os dados da composição da ração indicados pelo fabricante, bem como estudos anteriormente elaborados, Gunkel *et al.* (2015), Rodrigues (2014), Américo *et al.* (2012), Queiroz e Boeira (2008), Rocha (2008), Guo e Li (2003) e Folke e Kaurtky (1992), a concentração média de fósforo nesse tipo de ração é de aproximadamente 0,9%, onde desses, cerca de 70% não é absorvido pelos peixes.

Determinação do incremento de fósforo devido a atividade piscícola

Para estimar o incremento na concentração de fósforo na água gerado pela atividade piscícola foi utilizado o modelo proposto por Beveridge (1984), informações levantadas em campo (produção de peixe; ração utilizada; fator de conversão) e dados do reservatório disponibilizados no Website da FUNCEME.

O modelo proposto por Beveridge (1984), normalmente utilizado no cálculo da capacidade de suporte (quantidade máxima de peixe produzido no reservatório - sem comprometimento da qualidade da água), em um modelo simplificado, trata-se da associação da equação de estimativa de concentração de fósforo em reservatórios de Dillon e Rigler (1974), modificada de Vollenweider (1969), com a estimativa do aporte de fósforo incorporado no reservatório pela prática piscícola a partir da concentração média do nutriente na ração, taxa de conversão alimentar no cultivo e concentração de fósforo no peixe despescado (considerando a tilápia como espécie referência).

Vale destacar que no modelo proposto por Beveridge (1984), o mesmo deixa claro a necessidade de escolher uma metodologia apropriada para o cálculo do coeficiente de retenção (R) (adequada as características do reservatório), variável usada no modelo de Dillon e Rigler (1974), modificado de Vollenweider (1969). Isso, devido aos estudos de Dillon e Rigler (1974) terem sido realizados em reservatórios no Canadá. Logo, ainda por Beveridge (1984), para águas mais quentes, é proposto para o cálculo do coeficiente de retenção (R) a metodologia segundo Larsen e Marcier (1976), onde fizeram estudos com reservatórios no nordeste e meio oeste dos EUA.

Diante do comentado, o incremento na concentração de fósforo gerado pela piscicultura será estimado de duas formas, pelo método normalmente utilizado, explanado acima, e pelo método Beveridge (1984), agora associado ao modelo proposto por Salas e Martino (1990), adaptado de Vollenweider (1976), tendo no estudo reservatórios da América Latina e África como referência.

A seguir, será descrito o modelo proposto por Beveridge (1984) associado ao modelo de Dillon e Rigler (1974) e coeficiente de retenção (R) calculado segundo Larsen e Marcier (1976). Pela Equação 1 estima-se a carga de fósforo aportada no reservatório após produção de uma tonelada de peixe:

$$P_e = (P_r \times TCA) - P_d \quad (1)$$

Onde:

P_e = Carga de fósforo gerada para produzir uma tonelada de peixe (kg/t de peixe);

P_r = Concentração de fósforo na ração (kg/t de ração);

P_d = Concentração de fósforo no peixe despescado (kg/t de peixe despescado);

TCA = Taxa de Conversão alimentar.

Na Equação 2 determina-se a parcela de concentração de fósforo na água que poderá ser acrescida na concentração média anual de fósforo no reservatório, sem que ultrapasse limite estabelecido pelos órgãos ambientais responsáveis (valor do incremento da concentração permitido):

$$\Delta P = Pf - Pi \quad (2)$$

Onde:

ΔP = Incremento permitido na concentração de fósforo (mg/L);

Pf = Concentração de fósforo limite estabelecida por órgão competente (mg/L);

Pi = Concentração média anual de fósforo no reservatório (mg/L).

Determinado o “ ΔP ”, utiliza-se o valor no modelo de estimativa de concentração de fósforo em reservatórios de Dillon e Rigler (1974) (Equação 3), isolando a variável “ Lp ”, que é a quantidade de fósforo aportado no reservatório responsável pela variação na concentração (ΔP):

$$Lp = \frac{\Delta P \times Zm \times \rho}{1 - R} \quad (3)$$

Onde:

Lp = Carga de fósforo (mg/m²/ano);

ΔP = Incremento da concentração de fósforo na água (mg/m³);

ρ = Taxa de renovação da água - inverso do tempo de residência (dados do açude – relação entre vazão e volume);

Zm = Profundidade média do reservatório (m) – calculada para este estudo pelo método proposto por Von Sperling (1999), conforme Equação 4;

R = Coeficiente de retenção – calculado pelo modelo de Larsen e Marcier (1976), conforme Equação 5.

Método para o cálculo da profundidade média de reservatório proposto por Von Sperling (1999) (Equação 4):

$$Zm = 2,34 + 0,25 \times Zmax \quad (4)$$

Onde:

Zm = Profundidade média do reservatório (m);

$Zmax$ = Profundidade máxima do reservatório (m) – dados do açude.

Modelo proposto por Larsen e Marcier (1976) para o cálculo do coeficiente de retenção de fósforo pelo sedimento (Equação 5):

$$R = \frac{1}{1 + 0,614 \times \rho^{0,491}} \quad (5)$$

Onde:

R = Coeficiente de retenção;

ρ = Taxa de renovação da água - inverso do tempo de residência (dados do açude – relação entre vazão e volume).

Por fim, para determinar a produção anual de peixe suportada pelo reservatório, respeitando o incremento na concentração calculado na Equação 2, utiliza-se a área do reservatório e os resultados da Equação 1 e 3 (Equação 6):

$$Cs = \frac{Lp \times A}{Pe} \quad (6)$$

Onde:

Cs = Produção anual de peixe suportada pelo reservatório (toneladas/ano);

Lp = Carga de fósforo ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{ano}$);

A = Área do reservatório (m^2);

Pe = Carga de fósforo gerada para produzir uma tonelada de peixe (kg/t de peixe).

O processo utilizando o modelo proposto por Salas e Martino (1990) foi basicamente o mesmo, com a substituição no processo descrito acima das Equações 3 e 5, por equações a seguir descritas.

Da mesma forma, utiliza-se o valor de “ ΔP ” no modelo de estimativa de concentração de fósforo em reservatórios de Salas e Martino (1990) (Equação 7), isolando a variável “Lp”, que é a quantidade de fósforo aportado no reservatório responsável pela variação na concentração (ΔP):

$$Lp = \Delta P \times Zm \times \left(\frac{1}{T_w} + Kp \right) \quad (7)$$

Onde

Lp = Carga de fósforo ($\text{g}/\text{m}^2/\text{ano}$);

ΔP = Incremento da concentração de fósforo na água (mg/L);

T_w = Tempo de residência (ano) - dados do açude – relação entre volume e vazão;

Zm = Profundidade média do reservatório (m) – calculada para este estudo pelo método proposto por Von Sperling (1999), conforme Equação 4;

Kp = Coeficiente de decaimento do fósforo – calculado também pelo método proposto por Salas e Martino (1990), conforme Equação 8.

Cálculo para o coeficiente de decaimento de fósforo segundo Salas e Martino (1990)

(Equação 8):

$$Kp = \frac{2}{\sqrt{Tw}} \quad (8)$$

Onde:

Kp = Coeficiente de decaimento do fósforo;

Tw = Tempo de residência (ano) - dados do açude – relação entre volume e vazão.

Como o foco foi estimar o incremento na concentração média anual de fósforo gerada pela piscicultura, tendo todos os outros dados em conhecimento, as equações foram reconfiguradas em apenas duas, Equação 9 utilizando Dillon e Rigler (1974) e Equação 10 utilizando Salas e Martino (1990). Equação 9 utilizando Dillon e Rigler (1974):

$$\Delta P = \frac{(1-R) \times Cs \times TCA \times 10^6 \times k1 \times k2}{Zm \times \rho \times A} \quad (9)$$

Onde:

ΔP = Incremento da concentração de fósforo na água (mg/L);

Cs = Produção anual de peixe suportada pelo reservatório (toneladas/ano);

TCA = Taxa de Conversão alimentar;

R = Coeficiente de retenção – calculado pelo modelo de Larsen e Marcier (1976), conforme Equação 5;

k1 = Percentual médio de fósforo na ração;

k2 = Percentual de fósforo não incorporado pelos peixes;

Zm = Profundidade média do reservatório (m) – calculada para este estudo pelo método proposto por Von Sperling (1999), conforme Equação 4;

ρ = Taxa de renovação da água - inverso do tempo de residência (dados do açude – relação entre vazão e volume);

A = Área do reservatório (m²).

Equação 10 utilizando Salas e Martino (1990):

$$\Delta P = \frac{Cs \times TCA \times 10^6 \times k1 \times k2}{Zm \times A \times \left(\frac{1}{Tw} + Kp\right)} \quad (10)$$

Onde as únicas variáveis que diferem das apresentadas na Equação 9 são:

Kp = Coeficiente de decaimento do fósforo – calculado também pelo método proposto por Salas e Martino (1990), conforme Equação 8;

Tw = Tempo de residência (ano) - dados do açude – relação entre volume e vazão.

Devido à alta variação do volume de água armazenada no reservatório, esperada, pois trata-se do semiárido brasileiro, e a variação da produção piscícola, para uma análise mais ampla, foram

propostos cenários em diferentes condições. As iterações foram com armazenamento do reservatório em 25, 50, 75 e 100% da sua capacidade (162.000.000 m³). Para cada percentual de armazenamento, foram impostas três condições de produção piscícola, máxima, média e mínima (348, 714 e 1080 toneladas/ano), totalizando 24 cenários. O Quadro 1 apresenta informações do reservatório para diferentes percentuais de armazenamento.

Quadro 1. Informações utilizadas do reservatório Aracoiaba

Variáveis do reservatório utilizadas	Armazenamento			
	25%	50%	75%	100%
Volume do reservatório - V (m ³)	40500000	81310000	121500000	162000000
Área do reservatório - A (m ²)	6263000	10200000	12000000	15783000
Profundidade máxima para o armazenamento (m)	18,49	22,73	25,64	28,84
Vazão do reservatório - Q (m ³ /s)	2,51 aproximadamente			

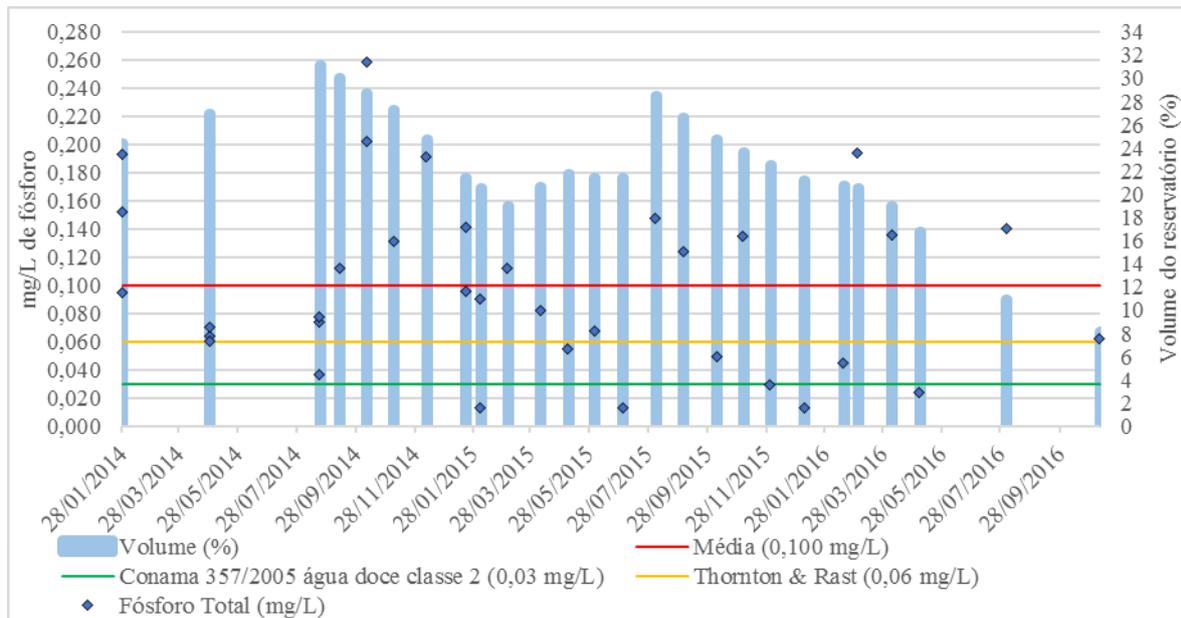
Fonte: elaboração própria (2017).

Nota: adaptada de Funceme (2017).

Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta informações de concentrações da variável “fósforo total” e percentuais do volume de água no reservatório ao longo do tempo. Nota-se que a maioria dos dados ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 2 (0,03 mg/L). As altas concentrações também podem ser representadas pela elevada média obtida (0,1 mg/L), superando e muito, mesmo quando comparado ao o limite crítico para classificar reservatórios como eutróficos estabelecido por Thornton e Rast (1993) (0,06 mg/L), esse estudo demonstrou que reservatórios em regiões semiáridas tendem a tolerar maiores concentrações de nutrientes antes de exibir sintomas de trofia. Logo, fica claro a existência de um fomento para o processo de eutrofização, tendo em vista que normalmente o fósforo é o nutriente que limita tal processo.

Figura 2. Perspectivas de concentrações de fósforo e volume do reservatório ao longo do tempo



Fonte: elaboração própria (2017).

Nota: adaptado de Funceme (2017).

Para os diferentes cenários propostos, no Quadro 2, apresenta-se os resultados obtidos dos incrementos na concentração de fósforo na água e suas respectivas cargas geradoras. Observa-se que para todos os cenários, o acréscimo gerado pela piscicultura é significativo. Pode-se ver que no melhor dos cenários, onde a produção é mínima e o volume do reservatório é máximo, que o incremento gerado é praticamente metade do parâmetro estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 2 (0,03 mg/L).

Nota-se também que para condições mais amenas (volume máximo do reservatório), as diferenças entre os métodos de estimativa de concentração de fósforo são pequenas, mas na medida que as condições vão ficando mais severas, essa diferença cresce exponencialmente, sendo significativa no final. Isso deixa claro que o modelo proposto por Salas e Martino (1990), por ter sido realizado com dados de reservatórios de regiões mais quentes do que os do estudo de Dillon e Rigler (1974), incorporou um maior decaimento do fósforo devido ao aumento no dinamismo físico-químico, que é diretamente proporcional a energia térmica disposta no meio.

Quadro 2. Resultados do incremento da concentração e carga de fósforo para diferentes percentuais do volume de água armazenado

Produção anual de peixe (tonelada)	**	Incremento da concentração média anual de fósforo na água - ΔP (mg/L)				Carga de fósforo gerada pela prática piscícola - L_p (mg/m ² /ano)			
		Vol. 25%	Vol. 50%	Vol. 75%	Vol. 100%	Vol. 25%	Vol. 50%	Vol. 75%	Vol. 100%
348 Mínimo	I	0,053	0,028	0,022	0,015	595,095	365,400	310,590	236,145
	II	0,045	0,024	0,019	0,013				
714 Média	I	0,108	0,058	0,045	0,031	1220,971	749,700	637,245	484,505
	II	0,093	0,050	0,039	0,027				
1080 Máxima	I	0,164	0,087	0,068	0,047	1846,847	1134,000	963,900	732,864
	II	0,141	0,075	0,058	0,041				

Fonte: elaboração própria (2017).

Nota: ** I Beveridge (1984) associado a Dillon e Rigler (1974); II Beveridge (1984) associado Salas e Martino (1990).

Os resultados mostraram que para mais de 30% dos cenários, o incremento gerado é extremamente alto, ultrapassando limite crítico estabelecido por Thornton e Rast (1993) (0,06 mg/L) para reservatórios no semiárido. Ainda, vale destacar que no dia da visitação, com volume do reservatório próximo dos 7%, a produção de peixe levantada para aquele mês foi de 29 toneladas, caracterizando um cenário com condições bem mais adversas.

Outro fato que ameniza os cenários propostos, foi a utilização de uma vazão constante (utilizada nos cálculos do tempo de residência e taxa de renovação), que supostamente pode ser real quando o volume do reservatório não estiver em percentuais críticos (como é o caso nos últimos anos). Nas condições dos últimos anos, com vazões retiradas bem menores, certamente o acréscimo na concentração média anual de fósforo será maior.

Supondo que a concentração média anual de fósforo seja metade do limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 1 (0,02 mg/L) (condição excelente e que difere da realidade), gerando uma boa margem para o incremento na concentração do mesmo, foi calculado a produção anual máxima para os diferentes cenários, respeitando os limites de Thornton e Rast (1993) e Resolução Conama 357/2005 para água doce classe 2 (Quadro 3).

Quadro 3. Capacidade produtiva de peixe para diferentes limites de concentração de fósforo e volume de reservatório

Volume do reservatório (%)	**	Produção com ΔP 0,02 - Limite Conama 357/2005 classe 2 - (toneladas)	Produção com ΔP 0,05 - Limite Thornton e Rast (1993) - (toneladas)
25	I	131,90	329,74
	II	153,63	384,07
50	I	247,51	618,78
	II	288,30	720,74
75	I	317,60	793,99
	II	369,93	924,82
100	I	455,90	1139,78
	II	531,03	1327,58

Fonte: elaboração própria (2017).

Nota: ** I Beveridge (1984) associado a Dillon e Rigler (1974); II Beveridge (1984) associado Salas e Martino (1990).

Conclusão

Apesar da atividade de piscicultura possuir uma importância econômica e social para muitas famílias, conclui-se que a atividade piscícola no Reservatório Aracoíaba está sendo praticada de forma indiscriminada e que a metodologia de outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos específica para a piscicultura deve ser revista pelos órgãos competentes. Portanto, apenas se poderá garantir a sustentabilidade dessa atividade, a partir de uma revisão das outorgas, bem como também de uma melhor gestão da atividade.

Referências

AMÉRICO, J. H. P.; CIGLIANO, G. D.; CARVALHO, S. L. Avaliação de alguns parâmetros físico-químicos da água de uma piscicultura com sistema de cultivo em tanques-rede. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.l.], v. 8, p. 60-71, 2012.

BEVERIDGE, M. C. M. **Cage and Pen fish farming Carrying capacity models and environmental impact**: FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER 255 FIRI/T255. [S.l.]: Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 1984. 131 p.

DILLON, P. J.; RIGLER, F. H. Test of a Simple Phosphorus Nutrient Budget Model Preilicting the Concentrationin Lake Waterl. **J.Fish.Res.Board.Can.**, Toronto, v. 31, n. 14, p. 1771-1778, 1974.

FOLKE, C.; KAUTSKY, N. Aquaculture with its Environment: Prospects for Sustainability. **Ocean & Coastal Managemen**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 5-24, 1992. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/aqua-online>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

GUNKEL, G.; MATTA, E.; SELGE, F.; SOBRAL, M. Carrying capacity limits of net cage aquaculture in brazilian reservoirs. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [S.l.], v. 1, n. 36, p. 128-144, 2015.

- GUO, L.; LI, Z. Effects of nitrogen and phosphorus from fish cage-culture on the communities of a shallow lake in middle Yangtze River basin of China. **Aquaculture**, [S.l.], v. 226, n. 1, p. 201-212, 2003. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/aqua-online>>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- LARSEN, D. P.; MERCIER, H. T. Phosphorus Retention Capacity of Lakes. **J.Fish.Res.Board.Can.**, Corvallis, v. 33, n. 8, p. 1742-1750, 1976.
- QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, R. C. **Determinação do percentual de troca de água em função do acúmulo de amônia (NH₃) nos viveiros de piscicultura**. 1. ed. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 4 p. v. 1, 2008.
- ROCHA, A. C. L. **Caracterização limnológica e determinação da capacidade suporte do reservatório Mendubim, (Rio Grande do Norte) para o cultivo de peixes em tanques-rede**. 2008. 64 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- RODRIGUES, E. R. N. **Avaliação da produção e consumo de peixes no Estado da Bahia – perspectivas para uma produção sustentável**. 2014. 97 f. Dissertação (Zootecnia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.
- SALAS, H. J.; MARTUNO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water Research**, Great Britain, v. 25, n. 3, p. 341-350, 1990.
- THORNTON J.A.; W. RAST. **A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes**. In: M. Straskrabra, J.G.Tundisi; A. Duncan (eds.), 1993. Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management, Kluwer Academic Publishers, p.1-24, 1993.
- VOLLENWEIDER, R. A. **Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication**. Mere. Inst. Ital. Idrobiol. Bott. Marco de Marchi, n. 33, p. 53-83, 1976.
- VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication**. OECD, Paris. Tech. Report No. DAS/CSI/68.27. 1968.
- VON SPERLING, E. **Profundidade média de lagos e represas brasileiros e sua influência na qualidade da água**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20., 1999, Rio de Janeiro. Anais... [S.l.: s.n.], 1999. p. 2237-2241. v. 28.