



## O SEDIMENTO COMO FONTE DE FÓSFORO EM AÇUDES EUTROFIZADOS DO SEMIÁRIDO

*Mário Cesar Wiegand<sup>1</sup>; Diego Castro Ribeiro<sup>2</sup>; Antônia Tatiana Pinheiro do Nascimento<sup>3</sup>; José Carlos de Araújo<sup>4</sup>*

**RESUMO** --- O sedimento de fundo dos açudes constitui-se em um compartimento ambiental importante no estudo da eutrofização artificial devido à sua capacidade de armazenar ou liberar nutrientes. O presente artigo discutiu, de forma breve, a importância do sedimento de fundo como fonte potencial de fósforo para o processo de eutrofização em reservatórios no semiárido. Foram realizadas análises de pH, concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , ferro, matéria orgânica, fósforo assimilável e, análise granulométrica no sedimento e temperatura, pH, transparência, fósforo total, Chl *a* da água do açude, bem como o seu Índice de Estado Trófico em dois períodos distintos com intervalo de um ano. Os resultados mostraram uma acentuada redução na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , matéria orgânica e na relação Fe:P no sedimento e, contrariamente, um aumento na concentração de fósforo total e clorofila *a* na coluna d'água com consequente elevação do grau de trofia do açude dentro do período avaliado. Assim, o estudo concluiu que a liberação do fósforo sedimentar é uma relevante fonte interna desse nutriente em açudes do semiárido, podendo explicar a variação do seu índice de estado trófico, especialmente, em épocas de estiagem.

**ABSTRACT** --- The reservoir bottom sediment is an important environmental compartment for studying the artificial eutrophication, due to its capacity to store or release nutrients. This article dealt briefly with the bottom sediment importance as a potential phosphorus source to the eutrophication process in semiarid reservoirs. Analysis were performed (on sediment) of pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , iron, organic matter, assimilable phosphorus and particle size. Analysis were also performed (on reservoir water) of temperature, pH, transparency, total phosphorus, chlorophyll *a* and trophic state index (in two subsequent years). The results showed a marked reduction in the  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , and organic matter concentrations and in the Fe:P ratio in the sediment and, conversely, an increase in the levels of total phosphorus and chlorophyll *a* in the water column with consequent increase of the reservoir trophic level within the studied interval. Thus, this study concluded that sedimentary phosphorus release is an important internal source of this nutrient in semiarid reservoirs, something that may explain its trophic state index variation, especially in drought times.

**Palavras-chave:** Fósforo sedimentar, razão Fe:P, eutrofização.

<sup>1</sup> Doutorando Engenharia Agrícola. UFC/Campus Pici (CE), Av. Humberto Monte, s/n. Fortaleza (CE). E-mail: mcwiegand1@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Doutorando Engenharia de Pesca. UFC/Campus Pici (CE), Av. Humberto Monte, s/n. Fortaleza (CE). E-mail: diegoribeiro.c@gmail.com

<sup>3</sup> Graduanda Engenharia Ambiental e Sanitária. IFCE/Maracanaú, Av. Contorno Norte, s/n. Maracanaú (CE). E-mail: tati16pinheiro@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Engenharia Agrícola. UFC/Campus Pici (CE), Av. Humberto Monte, s/n. Fortaleza (CE). E-mail:jcaraujo@ufc.br

## INTRODUÇÃO

Os sedimentos do ecossistema de água doce constituem um compartimento ambiental importante devido à sua capacidade de armazenar ou liberar compostos para a coluna de água. A construção de reservatórios geralmente resulta em transformações ecológicas importantes, como mudanças na morfometria do canal principal, variações nas condições de fluxo de água e diminui fluxos e velocidades de água em direção à barragem. Isso resulta em diferentes estruturas sedimentológicas ao longo do eixo longitudinal do reservatório (Jorcin & Nogueira, 2005).

A importância do sedimento no estudo da eutrofização artificial reside no fato de que, através da análise de alguns de seus principais componentes (*e. g.* matéria orgânica) pode-se identificar o início e a evolução temporal deste fenômeno. Em termos gerais, no âmbito do sedimento, temos como variáveis de simples mensuração e de robusto potencial indicador o conteúdo de matéria orgânica, os teores de fósforo total e concentração de feopigmentos; todos os quais apresentando tendência de incremento com intensificação do processo de eutrofização artificial (Esteves & Meirelles-Pereira, 2011).

Os nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, presentes no solo são arrastados para os rios pela erosão e, com frequência, depositam-se no fundo dos reservatórios. Nesse processo, a interferência humana é um agente catalisador importante, ao destruir a vegetação natural ou usar técnicas agrícolas inadequadas, expondo o solo à ação das enxurradas (Esteves & Panosso, 2011; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). A dinâmica do fósforo está intimamente ligada aos sedimentos límnicos. A mobilidade e a biodisponibilidade das diferentes formas de fósforo em lagos são influenciadas pela biogeoquímica do sistema água-sedimento (Dapeng *et al.*, 2011).

A poluição por sedimentos apresenta duas dimensões principais, uma física e outra química. A dimensão física se caracteriza pela perda da camada superficial do solo e degradação das terras, pela desagregação das partículas e pela erosão laminar, que conduzem a níveis excessivos de turbidez nos receptores de água e aos impactos ecológico e físico, devido à deposição em rios, lagos e reservatórios. A dimensão química está relacionada com a fração silte e argila (fração < 63µm) sendo a principal portadora dos compostos químicos adsorvidos, em especial fósforo, pesticidas clorados e grandes parte de metais, transportados pelos sedimentos dentro do sistema aquático (Chistophoridis & Fytianos, 2006; Dapeng *et al.*, 2011).

De acordo com Ongley (2001) os sedimentos, como poluentes físicos, têm causado impactos em corpos hídricos através da elevação dos níveis de turbidez e sedimentação. Altos níveis de turbidez diminuem a penetração da luz solar na coluna d'água, limitando ou inibindo o crescimento

de algas e plantas aquáticas. Por sua vez, conforme o mesmo autor, a contribuição dos sedimentos na poluição química é dependente tanto do tamanho das partículas dos sedimentos como da quantidade de partículas de carbono orgânico associadas aos sedimentos.

Entre os ambientes lânticos, os pequenos reservatórios são de grande valia para populações rurais (Lima Neto *et al.*, 2011; Mamede *et al.*, 2012), tornando-se a principal, senão a única, fonte de água em período de estiagem. Em ambientes rurais semiáridos, por exemplo, a água disponibilizada pelos reservatórios de pequeno porte permite a realização de atividades agrícolas de subsistência e a permanência do homem nessas regiões (Annor *et al.*, 2009; Faulkner *et al.*, 2008). Ante o exposto, o presente artigo pretende mostrar, de forma sucinta, a influência do fósforo sedimentar no processo de eutrofização artificial em pequenos reservatórios do semiárido.

## MÉTODOS E MATERIAIS

### Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no açude Marengo (Quieto), localizado no assentamento São Joaquim (25 de Maio), em Madalena, Ceará (Figura 1). O assentamento possui área total de 22.992 hectares e está inserido nos limites de três municípios (Madalena, Boa Viagem e Quixeramobim). Cerca de 75% do território do assentamento pertencem ao município de Madalena (INCRA, 1994).

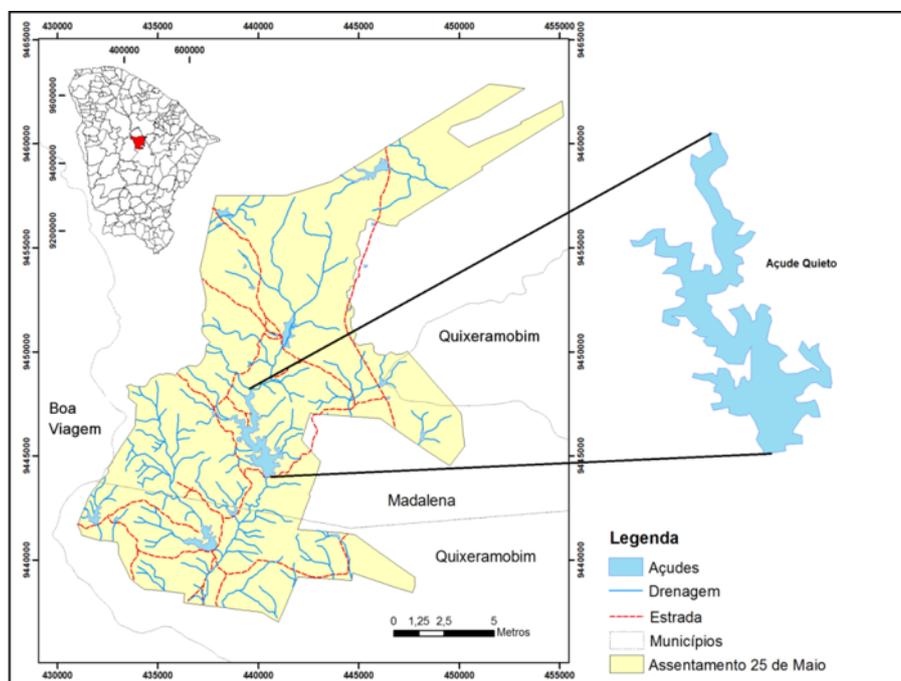


Figura 1 – Assentamento 25 de Maio, Madalena/CE. Em destaque, açude Marengo (Quieto).

A área de estudo localiza-se no sertão central do estado do Ceará. O relevo é parte da Depressão Sertaneja, com vegetação regional do tipo Caatinga Arbórea Densa e Floresta Caducifólia Espinhosa. Os solos são rasos e com textura arenosa, retendo pouca água da chuva e causando rápido escoamento e evaporação (Pereira & Silva, 2005). O clima é do tipo Tropical Semiárido, caracterizado por períodos de estiagem prolongados e variabilidade temporal das chuvas. A temperatura média varia de 26 a 28°C, podendo atingir 25°C durante o período chuvoso (fevereiro a maio). A região está sujeita a ventos fortes e secos, contribuindo para a formação da paisagem seca durante o segundo semestre (López, 2011).

O assentamento 25 de Maio possui treze comunidades que somam 430 famílias assentadas e 156 agregadas, totalizando 586 famílias. Entre essas, a comunidade Quieto possui 36 famílias e dispõe do maior reservatório da região (açude Marengo) (Feitosa, 2011; Ribeiro, 2010). O açude Marengo possui bacia hidrográfica de 75,38 km<sup>2</sup>, bacia hidráulica de 2,84 km<sup>2</sup> e capacidade de armazenamento de 15,3 hm<sup>3</sup>. A região apresenta déficit hídrico natural, devido às altas temperaturas e altas taxas de evaporação, associado com a irregularidade pluviométrica (Lopes, 2013). Salienta-se que na área são realizadas pesquisas quanto ao reuso do esgoto sanitário e qualidade da água nos açudes do Assentamento 25 de Maio (Coelho, 2013; Feitosa, 2011; Ribeiro, 2010; Silva 2014).

### **Amostras e análises**

As amostras de sedimento foram coletadas em dois períodos distintos (Agosto de 2013 e Agosto de 2014) na região do açude próxima à barragem. Nessa região é comum a atividade pesqueira através da instalação de redes de espera, bem como o plantio de vazante. O sedimento foi coletado com o auxílio de uma draga de Eckman e posteriormente foi transportado para o Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará.

A posteriori, foram realizadas análises de pH e de concentração de íons e nutrientes nas amostras, tais como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, ferro, matéria orgânica (MO), fósforo assimilável e análise granulométrica para a caracterização da quantidade de areia grossa, areia fina, argila e silte presentes nas amostras. Com os valores encontrados, pode-se determinar a relação ferro:fósforo para o sedimento do açude, o qual serve de indicador para a liberação ou não de fósforo como nutriente do sedimento para a coluna de água (Forsmann & Kjaergaard, 2014; Gunnars & Blomqvist, 1997; Jensen *et al.* 1992; Zak *et al.*, 2010).

Consoante à qualidade de água no açude, foram coletadas amostras mensais de água para análise laboratorial. As amostras eram acondicionadas em uma caixa térmica com gelo, sendo encaminhadas ao Laboratório de Química, Águas e Resíduos, no Instituto Federal de Ciência,

Educação e Tecnologia do Ceará (IFCE/Maracanaú). Os equipamentos e métodos utilizados estão expressos na Tabela 1. O pH e a temperatura foram monitorados para identificar possíveis interferências de outras variáveis limnológicas.

Tabela 1 – Equipamentos e métodos usados na análise de água do açude Marengo

Parâmetros	Autor	Método / Equipamento
Clorofila a	APHA, AWWA, WPCF (2012)	Espectrofotometria
Fosforo Total	APHA, AWWA, WPCF (2012)	Colorimetria
pH	-	pHmetro portátil
Temperatura	-	Oxímetro portátil
Transparência	-	Disco de Secchi

### Índice de Estado Trófico (IET)

Realizaram-se análises das concentrações de clorofila *a* e fósforo total para a determinação do Índice de Estado Trófico – IET médio do açude de acordo com a metodologia proposta por Toledo Jr. *et al.* (1983). Também foi medida a variação da transparência da água utilizando-se um disco de Secchi para o cálculo do referido índice (Equações 1 a 4).

$$IET(SD) = 10 * \left( 6 - \frac{0,64 + \ln SD}{\ln 2} \right) \quad (1)$$

$$IET(Chl) = 10 * \left( 6 - \frac{2,04 - 0,695 \cdot \ln Chl}{\ln 2} \right) \quad (2)$$

$$IET(TP) = 10 * \left( 6 - \frac{\ln(80,32/TP)}{\ln 2} \right) \quad (3)$$

$$IET(M) = \frac{IET(SD) + 2 \cdot (IET(Chl) + IET(TP))}{5} \quad (4)$$

Em que: SD = Profundidade do disco de Secchi (m); Chl = Clorofila *a* (µg/L) e TP = Fósforo total (µg/L). Os limites definidos, conforme Toledo Jr. (1990), foram: Oligotrófico: IET < 44; Mesotrófico: 44 < IET > 54; Eutrófico: 54 < IET > 74 e Hipereutrófico: IET > 74.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise do sedimento de fundo do açude Marengo e dos parâmetros utilizados para estimativa do seu IET são apresentados na Tabela 2. Neles podemos observar que no sedimento ocorreu uma acentuada redução na concentração dos íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e MO. As concentrações de P assimilável e Fe aumentaram na ordem de 24 e 7 vezes, respectivamente. A classificação textural do sedimento foi definida como “areia”, sendo 57% areia grossa, 32% areia fina, 7% silte e 4% argila. Ainda, em relação ao sedimento de fundo, salienta-se a elevação do seu pH e o decréscimo acentuado da razão Fe:P de um período anual.

Tabela 2 - Análise físico-química do sedimento de fundo do açude Marengo e parâmetros utilizados para estimativa do IET com seus respectivos valores em dois períodos distintos de análise

	Período da Análise	
	agosto/2013	agosto/2014
<b>Sedimento</b>		
$\text{Ca}^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> /kg)	28,8	2,80
$\text{Mg}^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> /kg)	17,2	2,30
$\text{Al}^{3+}$ (cmol <sub>c</sub> /kg)	0,05	0,00
MO (g/kg)	54,4	7,1
pH	6,8	8,1
P Assimilável (mg/kg)	1	24
Fe (mg/kg)	32	212
Fe:P	32	9
<b>Coluna d'água</b>		
PT (µg/L)	120	180
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	48	95
Secchi (m)	0,28	0,25
pH	8,7	8,9
T (°C)	28	28
IET Médio	72	77

Consoante à análise da água, temos uma constância em relação aos valores de pH e temperatura para o período avaliado e uma diminuição da profundidade do disco Secchi. Contudo, como esperado em virtude da seca sob a qual se encontra a região em estudo (400 mm de média para o período segundo ANA, 2014), os valores da concentração de fósforo total e clorofila *a* aumentaram acentuadamente, 50% e 98% respectivamente. Por conseguinte, o IET médio também sofreu um aumento, elevando o grau de trofia do açude do estado eutrófico (agosto/2013) para hipereutrófico (agosto/2014).

O sedimento é uma importante fonte de fósforo em lagos e reservatórios (Wetzel, 2001). O padrão de fluxo de fósforo entre sedimentos e a água circundante é um componente essencial para o ciclo do fósforo em ecossistemas aquáticos. Vários fatores (*e. g.* físico-químicos e biológicos) interferem na imobilização (precipitação) e na mobilização do fósforo no corpo hídrico, destacando-se: a concentração dos íons de ferro, alumínio, cálcio, magnésio, compostos orgânicos e pH (Esteves & Panosso, 2011; Kleeberg *et al.*, 2012).

Em geral, a alta adsorção do fosfato pelo sedimento é favorecido por baixos valores de pH, aproximadamente de 5 a 6 (Wetzel, 2001). Fisher & Wood (2004) evidenciaram que a taxa de liberação de P em sedimentos aumentou (cerca de duas vezes) para a coluna d'água com o acréscimo do pH de 8 para 10. Em lagos tropicais, a maior parte da matéria orgânica é decomposta na coluna d'água antes de atingir o sedimento. Esse fato decorre das altas temperaturas (comumente > 20°C) e da elevada turbulência dos lagos tropicais, facilitada pela baixa profundidade dos mesmos, permitindo grande ressuspensão de sedimentos e decomposição da matéria orgânica na coluna d'água (Esteves & Camargo, 2011). Fonseca *et al.* (2011) confirmaram a forte associação de fósforo com partículas de granulação fina. Tal fato foi observado através da correlação linear significativa entre os teores de fósforo total e de argila presentes no sedimento.

Outros fatores adsorventes do fosfato seriam o  $\text{Ca}^{2+}$ , o  $\text{Mg}^{2+}$ , o  $\text{Al}^{3+}$  e o ferro. Como os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  no sedimento foram reduzidos em dez vezes em um ano de observação, a formação de hidroxiapatita [ $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$ ] no sedimento foi diminuída, aumentando assim a liberação de P orgânico para a coluna d'água. O aumento do fitoplâncton corrobora com a diminuição da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na água, uma vez que esses íons são essenciais no metabolismo celular, em especial o  $\text{Mg}^{2+}$  que compõe a molécula de clorofila. Em relação ao  $\text{Al}^{3+}$ , estudos suportam a hipótese de que os sedimentos com altas concentrações desse íon não liberam fósforo para coluna d'água (Hansen *et al.*, 2003; Kopacek *et al.*, 2005, 2007). Assim, pode-se inferir que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  não atuaram como agentes precipitadores do fósforo ao sedimento.

Particularmente em relação ao ferro, estudos depreendem que a liberação do fósforo do sedimento está estreitamente ligada à razão entre as concentrações de ferro e fósforo (Geurts *et al.*, 2008; Gunnars & Blomqvist, 1997; Jensen *et al.*, 1992; Kleeberg, *et al.*, 2012; Loh *et al.*, 2013; Sondergaard *et al.*, 2003).

A adsorção do fósforo ao ferro ocorre predominantemente quando a razão molar Fe:P é elevada (Gunnars & Blomqvist, 1997). Jensen *et al.* (1992) mostraram que em lagos temperados os sedimentos com razão Fe:P > 15 (em peso) liberavam quantidades decrescentes de ortofosfato,

enquanto lagos com Fe:P < 10 eram incapazes de fazer sua retenção. As taxas de liberação foram positivamente correlacionadas com as frações de fósforo no sedimento, revelando que a razão Fe:P foi melhor correlacionada com o fósforo total do que qualquer outro parâmetro testado.

Forsmann & Kjaergaard (2014), Geurts *et al.* (2008) e Zak *et al.* (2010) também sugerem uma proporção Fe:P de 10 como um limiar para a retenção de fósforo pelo sedimento. Nesse trabalho, conforme as variações das concentrações obtidas para o período, a proporção Fe:P foi reduzida em 72% no sedimento no período de um ano, atingindo valor abaixo do limite supracitado. Dessa forma, o fósforo sedimentar passou a ser liberado para a coluna d'água, ficando disponível aos organismos e contribuindo, assim, para a elevação do nível de eutrofização do açude.

## CONCLUSÕES

O presente estudo indicou que o fósforo liberado do sedimento de fundo em reservatórios é limitado pelo pH e pelos íons  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  quando presentes em proporções significativas nesse compartimento. A relação Fe:P também possui vasta importância para o processo de liberação do fósforo sedimentar, o qual pode se tornar uma relevante fonte de carga interna desse nutriente em açudes do semiárido, corroborando com a elevação do seu estado trófico.

Assim, a tendência de retenção ou de liberação de fósforo pela interface sedimento-água é um fator importante no estudo da qualidade de água de reservatórios e que pode explicar a variação do índice de estado trófico, especialmente, em épocas de estiagem.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES (projeto 097/10) e ao Laboratório de Química, Águas e Resíduos, no Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Ceará (IFCE/Maracanaú).

## BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2014). *Sistema de informações hidrológicas – HidroWeb. Dados hidrológicos. Série histórica para o município de Madalena/CE*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acessado em: 08/08/2014.

ANNOR, F.O.; VAN DE GIESEN, N.; LIEBE, J.; VAN DE ZAAG, P.; TILMANT, A.; ODAI, S. N. (2009). *Delineation of small reservoirs using radar imagery in a semi-arid environment: A case study in the upper east region of Ghana*. *Physics and Chemistry of the Earth* (34), 309–315.

APHA; AWWA; WPCF. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22 ed., Washington (DC), 1496 p.

COELHO, C.F. (2013). *Impactos socioambientais e desempenho do sistema fossa verde no Assentamento 25 de Maio, Madalena (CE)*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), UFC Fortaleza - CE, 113 p.

CHISTOPHORIDIS, C.; FYTIANOS, K. (2006). *Conditions affecting the release of phosphorus from surface lake sediments*. J. Environ. Qual. (35), 1181–1192.

DAPENG, L.; YONG, H.; CHENGXIN, F.; YAN, Y. (2011). *Contributions of phosphorus on sedimentary phosphorus bioavailability under sediment resuspension conditions*. Chemical Engineering Journal (168), 1049–1054.

ESTEVES, F.A.; CAMARGO, A.F.M. (2011). *Sedimentos límnicos*, in *Fundamentos de Limnologia*. Org. por ESTEVES, F.A. 3 ed. Rio de Janeiro – RJ: Editora Interciência. pp. 339–354.

ESTEVES, F.A.; MEIRELLES-PEREIRA, F. (2011). *Eutrofização artificial*, in *Fundamentos de Limnologia*. Org. por ESTEVES, F.A. 3 ed. Rio de Janeiro – RJ: Editora Interciência. pp. 625–655.

ESTEVES, F.A.; PANOSSO, R. (2011). *Fósforo*, in *Fundamentos de Limnologia*. Org. por ESTEVES, F.A. 3 ed. Rio de Janeiro – RJ: Editora Interciência. pp. 259–281.

FAULKNER, J. W.; STEENHUIS, T.; VAN DE GIESEN, N.; ANDREINI, M.; LIEBE, J. R. (2008). *Water use and productivity of two small reservoir irrigation schemes in Ghana's upper east region*. Irrigation Drain (57), 151–163.

FEITOSA, L. S. (2011). *Aspectos Limnológicos da Pequena Açudagem no Semiárido: Estudo de Caso dos Açudes do Assentamento 25 de Maio, Madalena-CE*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) UFC Fortaleza (CE), 130 p.

FISHER, L.H.; WOOD, T.M. (2004). *Effect of water-column pH on sediment-phosphorus release rates in Upper Klamath Lake, Oregon, 2001*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 03–4271, 25 p.

FONSECA, R.; CANÁRIO, T.; MORAIS, M.; BARRIGA, F.J.A.S. (2011). *Phosphorus sequestration in Fe-rich sediments from two Brazilian tropical reservoirs*. Applied Geochemistry 26, 1607–1622.

FORSMANN, D.M.; KJAERGAARD, C. (2014). *Phosphorus release from anaerobic peat soils during convective discharge - Effect of soil Fe:P molar ratio and preferential flow*. *Geoderma* 223–225, 21–32.

GEURTS, J.J.M.; SMOLDERS, A.J.P.; VERHOEVEN, J.T.A.; ROELOFS, J.G.M.; LAMERS, L.P.M. (2008). *Sediment Fe: PO(4) ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity in fen waters*. *Freshw. Biol* 53 (10), 2101–2116.

HANSEN, J.; REITZEL, K.; JENSEN, H.S.; ANDERSEN, F.Ø. (2003). *Effects of aluminum, iron, oxygen and nitrate additions on phosphorus release from the sediment of a Danish softwater lake*. *Hydrobiologia* 492, 139–149.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. INCRA/CE. (1994). *Relatório do PA São Joaquim*. Fortaleza, 1994. 46 p.

JORCIN, A.; NOGUEIRA, M.G. (2005). *Phosphate distribution in the sediments along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, SE, Brazil), in Phosphate in Sediments*. Org. por SERRANO, L. & OLTERMAN, H.L. Proceeding of the 4th International Symposium. Backhuys, pp. 77–86.

KOPAČEK, J.; BOROVEC, J.; HEJZLAR, J.; ULRICH, K.U.; NORTON, S.A.; AMIRBAHMAN, A. (2005). *Aluminum control of phosphorus sorption by lake sediments*. *Environ. Sci. Technol.* 39, 8784–8789.

KOPAČEK, J.; MARESOVA, M.; HEJZLAR, J.; NORTON, S.A. (2007). *Natural inactivation of phosphorus by aluminum in preindustrial lake sediments*. *Limnol. Oceanogr.* 52. 1147-1155.

LIMA NETO, I.E.; WIEGAND, M.C.; DE ARAÚJO, J.C. (2011). *Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semi-arid Brazilian basin*. *Hydrological Sciences Journal* 56 (2), 319-333.

LOPES, J.W.B. (2013). *Modelagem hidrossedimentológica em meso-bacia no semiárido*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza (CE), 72 p.

LÓPEZ, O.C. (2011). *Estudio comparativo del manejo de los recursos hídricos en dos cuencas tropicales latinoamericanas en diferentes condiciones ambientales: la cuenca de Madalena, Ceará, Brasil y la cuenca del Río San Diego, Pinar Del Río, Cuba*. Relatório – UFC, Fortaleza (CE), 66 p.

- MAMEDE, G.L.; ARAÚJO, N.A.M.; SCHNEIDER, C.M.; De ARAÚJO, J.C.; HERMANN, H.J. (2012). *Overspill avalanching in a dense reservoir network*. PNAS 109 (19) 7191-7195.
- ONGLEY, E.D. (2011). *Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas*. Tradução de GHEYI, H.R.; DAMACENO, F.A.V.; BRITO, L.T.L. UFPB. Campina Grande, 92 p.
- PEREIRA, R.C.M.; SILVA, E.V. (2005). *Solos e vegetação do Ceará: características gerais, in: Ceará: um novo olhar geográfico*. Org. por SILVA, J.B. et al. Fortaleza – CE. Edições Demócrito Rocha. 480 p.
- RIBEIRO, D.C. (2010). *Diagnóstico da pesca e análise preliminar do estado trófico de um açude do semiárido: estudo de caso açude Paus Branco, Madalena – CE*. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, UFC Fortaleza (CE), 48 p.
- SILVA, A.C.B. (2014). *Análise da qualidade da água e da comunidade íctia durante o período de estiagem no Açude Marengo (Madalena, CE)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Pesca e Recursos Pesqueiros), Departamento de Engenharia de Pesca. UFC Fortaleza (CE), 92 p.
- TOLEDO JR., A.P. (1990). *Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais*. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório Interno CETESB. 12 p.
- TOLEDO JR., A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. (1983). *A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais*. In: Anais do XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. Camboriú, 2000. 1-34.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (2008). *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 632 p.
- ZAK, D.; WAGNER, C.; PAYER, B.; AUGUSTIN, J.; GELBRECHT, J. (2010). *Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration*. Ecol. Appl. 20 (5), 1336–1349.