



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

CURSO DE MESTRADO

KÁSSIA CRISLAYNE DUARTE FERREIRA

QUALIDADE DE ÁGUA EM UM RESERVATÓRIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA

FORTALEZA-CE

2014

KÁSSIA CRISLAYNE DUARTE FERREIRA

QUALIDADE DE ÁGUA EM UM RESERVATÓRIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientadora: Prof^a PhD. Eunice Maia de Andrade

Coorientador: Dr. Fernando Bezerra Lopes

FORTALEZA-CE

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- F441q Ferreira, Kássia Crislayne Duarte.
Qualidade de água em um reservatório na região semiárida / Kássia Crislayne Duarte
Ferreira. – 2014.
63 f.: il., enc.; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Departamento de Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos
Naturais, Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Ecologia e Recursos Naturais.
Orientação: Prof. Dra. Eunice Maia de Andrade.
Coorientação: Dr. Fernando Bezerra Lopes
1. Eutrofização. 2. Água - Qualidade. 3. Açude de Orós. I. Título.

CDD 577

KÁSSIA CRISLAYNE DUARTE FERREIRA

QUALIDADE DE ÁGUA EM UM RESERVATÓRIO NA REGIÃO SEMIÁRIDA

Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

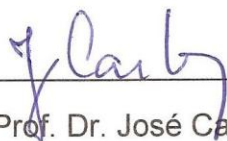
Aprovada em 28/08/2014.

BANCA EXAMINADORA



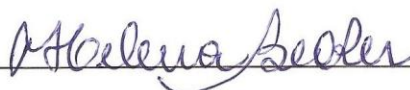
Prof. PhD. Eunice Maia de Andrade (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará- UFC



Prof. Dr. José Carlos de Araújo

Universidade Federal do Ceará-UFC



Profa. Dra. Helena Becker

Universidade Federal do Ceará-UFC

*Dedico este trabalho àqueles que considero minha família,
mas, especialmente, à minha querida mãe Francisca.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha vida e por todas as oportunidades que tive ao longo da mesma;

Aos meus pais, Francisca e Deurivan, pelo incentivo, apoio e amor durante minha jornada;

À Amanda Rodrigues, pela presença constante e indispensável nos momentos mais importantes dessa história;

À prof. Eunice Andrade, por todo o conhecimento transmitido, pelo apoio no decorrer do mestrado e por ser uma inspiração;

Aos professores Dr. José Carlos de Araújo e Dra. Helena Becker, pela participação na banca de defesa e pelas preciosas contribuições a este trabalho;

Aos amigos, Marcus Vinicius, Raphaela, Dayse, Beatriz, Fernanda e Naiane, pelas palavras de conforto e alegria sempre que precisei;

Ao Fernando Bezerra Lopes, pela ajuda altamente necessária e pelos conselhos durante a pesquisa;

Aos colegas do grupo de pesquisa MASSA, pela disponibilidade de ajudar e ensinar sempre que solicitei e pelo companheirismo nos momentos de coleta e estudos;

Ao CNPq e à CAPES, pelo financiamento da pesquisa;

Ao PPGERN, ao PPGEA e à UFC;

E a todos aqueles não mencionados, mas que foram importantes nesta caminhada!

RESUMO

O açude Orós é o segundo maior reservatório do estado do Ceará e utilizado para abastecimento humano das populações do Baixo e Médio Jaguaribe e da Região Metropolitana de Fortaleza, além de ser utilizado para produção de alimentos, piscicultura e turismo. Devido à importância desse reservatório no contexto da gestão de recursos hídricos do estado, esse trabalho visa investigar a qualidade de água do reservatório ao adaptar um índice de qualidade de água às condições físicas, químicas e biológicas do reservatório, e calcular o aporte e balanço de nutrientes em suas águas. O período total de estudo compreendeu os meses de abril de 2008 a dezembro de 2012, onde foram realizadas coletas de água em sete pontos no reservatório, para monitoramento dos atributos pH, temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrato, sólidos totais, turbidez e coliformes termotolerantes, para adaptação do índice de qualidade, utilizando análise da componente principal; e sete pontos com o monitoramento de nitrogênio total e fósforo total para cálculo do balanço e aporte de nutrientes. De acordo com o índice de qualidade de água adaptado, o reservatório tem águas de qualidade regular a boa e que não há efeito da sazonalidade sobre a qualidade da água. Com relação ao aporte e balanço de nutrientes, o reservatório está armazenando os nutrientes nitrogênio (176 toneladas no período de estudo) e fósforo (230 toneladas). Além disso, pôde-se inferir a mesma tendência de aporte dos nutrientes no reservatório e houve aumento do aporte ao longo do tempo.

Palavras-chave: eutrofização, nutrientes, índice de qualidade de água.

ABSTRACT

Oros reservoir is the second largest in the state of Ceará and is used for human supply for the population of the Lower and Middle Jaguaribe and the Metropolitan Region of Fortaleza, besides being used for food production, aquaculture, tourism and irrigated fields. Due to the importance of this reservoir in the context of management of water resources in the state, this work aims to investigate the water quality of the reservoir to adapt an water quality index to the physical, chemical and biological conditions of the reservoir, and calculate the intake and balance of nutrients in its waters. The total period of study comprehended the months from April 2008 to December 2012, where water sampling were performed in a total of nine points in the reservoir, for monitoring of attributes pH, temperature, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total phosphorus , nitrate, total suspended solids, turbidity and fecal coliform, to adapt the quality index, using principal component analysis; and seven points with monitoring of the concentrations of total nitrogen and total phosphorus to calculate balance and nutrient input. When obtaining adapted water quality index, it was concluded that the reservoir has water classified as regular to good quality and there is no effect of seasonality on water quality. With respect to intake and nutrient balance, the reservoir is storing the nutrients nitrogen (176 tonnes during the study period) and phosphorus (230 tonnes). Moreover, we could infer the same trend of intake of nutrients in the reservoir for both nutrientes and there was increase in the intake over time.

Keywords: eutrophication, nutrients, water quality index.

SUMÁRIO

1. Introdução	10
Referências	13
2. Capítulo I - Adaptação do índice de qualidade de água da <i>National Sanitation Foundation</i> ao semiárido brasileiro	16
Resumo	16
Abstract	17
2.1. Introdução	17
2.2. Materiais e métodos	19
2.2.1. Área de estudo	19
2.2.2. Monitoramento	20
2.2.3. Peso dos atributos indicadores do IQA	21
2.2.4. Teste de médias	23
2.2.5. Comparação entre os índices	24
2.3. Resultados e discussão	24
2.4. Conclusões	30
Referências	31
3. Capítulo II - Aporte e balanço de nutrientes, nitrogênio e fósforo, em reservatório no semiárido	36
Resumo	36
Abstract	36
3.1. Introdução	37
3.2. Materiais e métodos	39
3.2.1. Área de estudo	39
3.2.2. Monitoramento	41
3.2.3. Cálculo do fluxo e balanço de nutrientes	42
3.2.4. Cálculo do aporte e saída de nutrientes	44
3.3. Resultados e discussões	46
3.3.1. Concentração de nutrientes	46
3.3.2. Balanço de nutrientes	48
3.3.3. Aporte e saída de nutrientes	53
3.4. Conclusões	56

Referências	57
4. Considerações Finais	63
5. Perspectivas Futuras	63
Anexo A: Declaração de Aceite do artigo “Adaptação do índice de qualidade de água da <i>National Sanitation Foundation</i> ao semiárido brasileiro”	64

1. Introdução

A necessidade de água pela população torna imprescindível a perenização de rios em ambientes com escassez de água, bem como a criação de reservatórios para seu armazenamento (Liu *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2011). Entretanto, o crescimento populacional, a urbanização, a transformação do uso do solo e a poluição têm tornado a disponibilidade de água para usos múltiplos um dos problemas principais enfrentados pela população (Vialle *et al.*, 2011).

No caso do semiárido, a aridez e a distribuição irregular da precipitação no tempo e no espaço tornam a captação e armazenamento de água um problema severo (Palácio *et al.*, 2011). A escassez e a má qualidade de água estão ligadas, pois a contaminação reduz a oferta e aumenta os custos de tratamento de água para uso pela população (Carpenter *et al.*, 1998). Além disso, as águas que sofrem barramento, bem como as demais, estão sujeitas à deterioração de sua qualidade devido à taxa de evaporação alta e à precipitação irregular, além da eutrofização (Liu *et al.*, 2011).

A eutrofização está se tornando evidente em corpos hídricos diversos em torno do mundo (Bordalo; Nilsumranchit; Chalermwat, 2001; Zeng *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2011; Ekholm; Lehtoranta, 2012; Galvez-Cloutier *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2012). O aumento rápido no crescimento de algas provoca a alteração da qualidade de água nesses locais, diminuindo a transparência do espelho d'água e reduzindo a penetração de luz e produção de oxigênio, comprometendo, assim, a vida aquática animal desse ambiente. Dependendo do grau de eutrofização, problemas graves de qualidade de água podem se desenvolver (Honti; Istvánovics; Kovács, 2010; Galvez-Cloutier *et al.*, 2012).

Ambientes aquáticos eutrofizados sofrem a perda da sua biodiversidade. A falta de oxigênio causada pela decomposição de algas mortas após sua multiplicação excessiva causa mortandade de peixes (Carpenter *et al.*, 1998). O aumento do crescimento de algas interfere no uso da água para pesca, consumo humano, recreação, indústria e agricultura.

A multiplicação excessiva de determinadas classes de algas é indesejável, pois pode ocorrer produção de toxinas e liberação de odores que afetam a segurança do

suprimento urbano de água, ameaçam a sustentabilidade do ecossistema aquático e põem em perigo a saúde em longo prazo e o bem-estar humano (Carpenter *et al.*, 1998; Yang *et al.*, 2012).

Esse aumento ocorre devido à disponibilidade de nutrientes no corpo hídrico. Os nutrientes principais (nitrogênio e fósforo) são constituintes essenciais envolvidos no processo de formação de matéria orgânica nos seres vivos, iniciando-se nos produtores primários, chegando até o organismo do topo da cadeia (Eschrique, 2011).

O aumento das cargas de fontes poluidoras nos ambientes aquáticos continentais e as características climáticas regionais do semiárido brasileiro contribuem para o processo de degradação da qualidade de água dos reservatórios, aumentando a disponibilidade de nutrientes que facilitarão sua eutrofização (Sousa, 2013). A teoria de ciclagem de nutrientes demonstra que a disponibilização dos mesmos no meio ambiente é provocada por associações entre condições climáticas, uso e ocupação do solo e interações de seres vivos.

Desta forma, é necessário investigar e monitorar a disponibilidade desses nutrientes no corpo hídrico bem como a qualidade de água. Os principais nutrientes responsáveis pelo equilíbrio da biota aquática, nitrogênio e fósforo, são mais abundantes na natureza e, atualmente, a disponibilidade destes elementos é aumentada em função do uso de fertilizantes na agricultura e do aporte de esgotos urbanos e industriais das aglomerações humanas (Vidal, 2011).

Para avaliação do impacto da poluição e da eficácia das medidas de controle, é necessária a quantificação das cargas poluidoras afluentes ao corpo d'água (Mota, 1997). A partir disso, determinar a carga de nutrientes, com a finalidade de avaliar o processo de eutrofização ao longo de um sistema, e o balanço de massa, através das estimativas de entradas, saídas e retenção de nutrientes no corpo d'água, é importante para a definição de estratégias de recuperação, conservação e manejo da bacia hidrográfica (Barbosa, 2002).

Entretanto, para avaliar a qualidade de água de um corpo hídrico, também se deve levar em conta outros fatores (Alexandre *et al.*, 2010). Com a utilização de técnicas estatísticas multivariadas, é possível avaliar as relações das variáveis entre

si e quais são as mais significativas estatisticamente (Andrade *et al.*, 2010), além de possibilitar a adaptação um índice de qualidade de água (IQA) às condições do semiárido brasileiro. Assim, torna-se possível avaliar e interpretar a qualidade de água para que medidas de prevenção e mitigação sejam tomadas.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de água do reservatório a partir da adaptação de um índice de qualidade de água e do cálculo do balanço de nutrientes do açude Orós. O trabalho está subdividido em dois capítulos: o primeiro capítulo é composto por um artigo sobre a adaptação de um índice de qualidade de água e sua utilização para avaliar a qualidade da mesma no açude Orós; e o segundo capítulo tem um artigo que aborda o balanço de nutrientes no reservatório.

O artigo do capítulo I foi submetido à Revista Ciência Agronômica, e a declaração de aceite encontra-se em anexo. O segundo artigo, do capítulo II, será submetido à mesma revista.

Referências

- Alexandre, D.M.B.; Andrade, E.M.; Lopes, F.B.; Palácio, H.A.Q.; Ferreira, A.C.S. 2010. The water quality investigation using GIS and multivariable analysis in a semiarid region reservoir. *Revista Ciência Agronômica*, 41: 554-561.
- Andrade, E.M.; Lopes, F.B.; Palácio, H.A.Q.; Aquino, D.N.; Alexandre, D.M.B. 2010. Land use and groundwater quality: the case of Baixo Acaraú Irrigated Perimeter, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, 41: 208-215.
- Barbosa, J. E. L. 2002. Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictimeral/sazonal) e de espaço (vertical/horizontal) no açude Taperoá II: trópico semiárido paraibano. Tese de Doutorado. Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 201 p.
- Bordalo, A.A.; Nilsumranchit, W.; Chalermwat, K. 2001. Water quality and uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand). *Water Research*, 35: 3635-3642.
- Carpenter, S.R.; Caraco, N.F.; Correll, D.L.; Howart, R.W.; Sharpley, A.N.; Smith, V.H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applicationis*, 8: 559-568.
- Ekholm, P.; Lehtoranta, J. 2012. Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication? *Journal of Environmental Management*, 93:140-146.
- Eschrique, S.A. 2011. Estudo do balance biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Galvez-Cloutier, R.; Saminathan, S.K.M.; Boillot, C.; Triffaut-Bouchet, G.; Bourget, A.; Soumis-Dugas, G. 2012. An evaluation of several in-lake restoration techniques to improve the water quality problem (eutrophication) of Saint-Augustin Lake, Quebec, Canada. *Environmental Management*, 49: 1037-1053.

- Gomes, L.N.L.; Oliveira, S.M.A.C.; Giani, A.; Sperling, E.V. 2012. Association between biotic and abiotic parameters and the occurrence of cyanobacteria in a Brazilian reservoir. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 4635-4645.
- Honti, M.; Istvánovics, V.; Kovács, A.S. 2010. Balancing between retention and flushing in river networks - optimizing nutrient management to improve trophic state. *Science of the Total Environment*, 408: 4712-4721.
- Liu, Y.; Chen, W.; Li, D.; Huang, Z.; Shen, Y.; Liu, Y. 2011. Cyanobacteria-/cyanotoxin-contaminations and eutrophication status before Wuxi Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China. *Journal of Environmental Sciences*, 23: 575-581.
- Mota, S. 1997. Introdução à engenharia ambiental. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 388 p.
- Palácio, H.A.Q.; Araújo Neto, J.R.; Meireles, A.C.M.; Andrade, E.M.; Santos, J.C.N.; Chaves, L.C.G. 2011. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15: 395-402.
- Sousa, M. S. R. 2013. Nutrientes e fitoplâncton em reservatório do semiárido brasileiro. Dissertação de mestrado. Departamento de Biologia, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 82 p.
- Vialle, C.; Sablayrolles, C.; Lovera, M.; Jacob, S.; Huau, M.C.; Montrejaud-Vignoles, M. 2011. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water Research*, 45: 3765-3775.
- Vidal, T.F. 2011. Balanço de macronutrientes no açude Gavião/CE – uma nova abordagem. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará. 184 f.
- Xu, Y.; Zhang, M.; Wang, L.; Kong, L.; Cai, Q. 2011. Changes in water types under the regulated mode of water level in Three Gorges Reservoir, China. *Quaternary International*, 244: 272-279.

Yang, J.; Yu, X.; Liu, L.; Zhang, W.; Guo, P. 2012. Algae community and trophic state of subtropical reservoirs in southeast Fujian, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 19: 1432-1442.

Zeng, H.; Song, L.; Yu, Z.; Chen, H. 2006. Distribution of phytoplankton in the Three-Gorge Reservoir during rainy and dry seasons. *Science of the Total Environment*, 367: 999-1009.

2. Capítulo I - Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation

Foundation ao semiárido brasileiro

RESUMO – Conhecer a qualidade da água de um reservatório utilizado para consumo humano é importante. Os índices de qualidade de água são utilizados para facilitar a compreensão dessa qualidade. Este estudo teve como objetivos adaptar e comparar o índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation, às condições físicas, químicas e biológicas das águas de reservatórios artificiais em regiões com clima semiárido tropical, bem como a variabilidade espaço-temporal do mesmo. Foram realizadas doze coletas de água de abril de 2008 a abril de 2010, em sete pontos amostrais distribuídos no reservatório Orós, na região centro sul do estado do Ceará. Os atributos de qualidade de água monitorados utilizados para cálculo e adaptação do índice foram: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrato, sólidos totais, turbidez e coliformes termotolerantes. A partir delas, empregou-se a Análise de Componente Principal para determinação dos pesos a serem associados aos parâmetros presentes no índice de qualidade de água e adaptá-lo a reservatórios de regiões de clima semiárido. As águas do reservatório foram classificadas como de qualidade regular durante a maior parte do período de estudo. Apesar de variar com o regime de chuvas, foi observado efeito da sazonalidade sobre a qualidade da água. Observou-se que o índice adaptado para regiões de clima semiárido é estatisticamente diferente dos índices de outras regiões. Entretanto, observou-se diferença apenas na sensibilidade e nos pesos dos atributos determinantes da qualidade de água.

Palavras-chave: Regiões Semiáridas, Reservatório, Águas Superficiais, IQA.

Adjustment of the National Sanitation Foundation water quality index to Brazilian
semiarid

ABSTRACT - Knowledge of the water quality of a reservoir used for human consumption is important. Water quality indices are used to facilitate understanding of this quality. This study aimed to adapt and compare the water quality index of the National Sanitation Foundation to the physical, chemical and biological conditions of artificial reservoirs in regions with tropical semiarid climate and its spatio-temporal variability. Twelve water samples were taken between April 2008 to April 2010 in seven sampling points distributed in Orós reservoir in the southern of Ceará. Water quality attributes that were monitored and used for calculation and adjustment of the index were: pH, temperature, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total phosphorus, nitrate, total solids, turbidity and fecal coliform. From them, we used the Principal Component Analysis to determine the weights to be associated with the parameters of the water quality index and adapt it to reservoirs of semiarid climates. The water quality of the reservoir was classified as regular for most of the study period. Although varying with rainfall, there was effect of seasonality on water quality. It was observed that the index adapted to semiarid climate regions is statistically different from indices from other regions. However, the difference is observed only in sensitivity and weights of determining attributes quality.

Key words: Semiarid Regions, Reservoir, Surface Water, WQI.

2.1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o uso e ocupação do solo de forma desordenada limita a disponibilidade de água para usos múltiplos (VIALLE et al., 2011). Esse fato é mais agravante em regiões secas onde a limitação da disponibilidade hídrica é um processo natural. No semiárido brasileiro, a aridez e a distribuição irregular da precipitação pluviométrica no

tempo e no espaço levaram à prática da construção de reservatórios de captação e de armazenamento das águas superficiais.

As águas represadas estão sujeitas à deterioração de sua qualidade devido à alta taxa de evaporação e aos aportes de nutrientes oriundos da agricultura e esgotos domésticos (LIU et al., 2011).

A qualidade da água reflete os efeitos agregados de vários processos ao longo do caminho percorrido pela mesma e é influenciada pelas características da bacia hidrográfica (MASSOUD, 2012). Portanto, é importante avaliar a qualidade de água para adequá-la ao seu respectivo uso (SINGH; MALIK; SINHA, 2005).

Ao avaliar a qualidade das águas superficiais, deve se empregar métodos de compreensão fácil para que a informação possa ser transmitida aos usuários deste recurso. O uso de índices de qualidade de água tem sido uma alternativa para acompanhar as alterações na qualidade de água ao longo de uma bacia hidrográfica ou do tempo, sejam elas de origem antrópica ou natural (DONADIO; GALBIATTI; PAULA, 2005; LOPES et al., 2008).

A National Sanitation Foundation (NSF) desenvolveu um índice de qualidade de água (IQA) para comparar a qualidade dos corpos hídricos e monitorar as alterações temporais ou espaciais na qualidade da água, refletindo a sua contaminação por ações antrópicas, tais como esgoto doméstico, resíduos industriais ou agropecuários (ANDRADE et al., 2005; LOPES et al., 2008; SÁNCHEZ et al., 2007). O IQA desenvolvido pela NSF varia de zero (pior qualidade) a 100 (melhor qualidade) e utiliza nove atributos (oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, temperatura, turbidez e sólidos totais) com seus pesos (W_i) respectivos (CASTRO JUNIOR; SOBREIRA; BORTOLOTTI, 2007).

Em modelos empíricos os pesos de cada atributo variam de acordo com a região devido a fatores climáticos, condições geológicas e usos da terra. Portanto, o emprego de modelos

empíricos em regiões distintas da qual ele foi desenvolvido devem ser ajustados às condições locais (HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012).

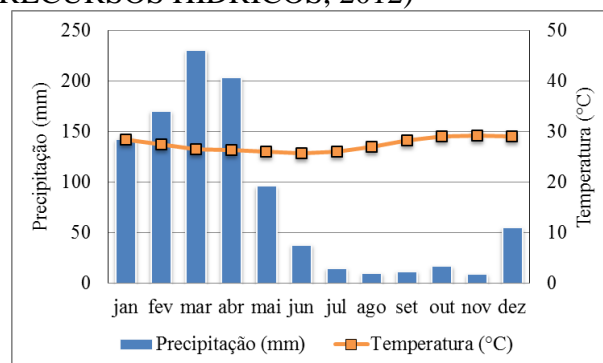
Tomando por base esta premissa, o objetivo deste trabalho foi adaptar e comparar o índice de qualidade de água desenvolvido pela National Sanitation Foundation às condições físicas, químicas e biológicas das águas de um reservatório artificial em região de clima semiárido tropical, bem como a variabilidade espaço-temporal do mesmo.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Área de estudo

A área de estudo é o reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira (conhecido como açude Orós), com volume de 1,94 bilhões de m³ e localizado na bacia do Alto Jaguaribe, nos municípios de Orós, Quixelô e Iguatu, Ceará. A classificação climática da região é BSw'h', segundo a classificação de Köppen, de clima semiárido quente com precipitações máximas de outono e temperatura média mensal do mês mais frio sempre superior a 18 °C. A precipitação anual da região, segundo a série histórica de 1974 a 2010, é 998 mm (Figura 2.1). A partir dos dados de precipitação, considerou-se como período chuvoso da região aquele com precipitação maior que 50 mm, compreendido entre os meses de dezembro e maio; e o período seco compreendendo os meses de junho a novembro.

Figura 2.1 - Figura 1 - Dados médios de temperatura e precipitação (série histórica de 1974 a 2010) na estação meteorológica do município de Iguatu, CE (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 2012)



2.2.2. Monitoramento

Sete pontos de amostragem (Figura 2.2) foram selecionados em função dos usos da terra nas margens e dos usos da água no reservatório. Doze coletas foram realizadas nestes pontos, de abril de 2008 a abril de 2010, conforme método descrito em APHA (2005). Os atributos físicos, químicos e biológicos (Tabela 2.1) foram analisados de acordo com APHA (2005), baseando-se nos atributos indicadores de qualidade da água sugeridos pela NSF, ou seja: oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes (CTT), pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato, fósforo total, temperatura, turbidez e sólidos totais (ST).

Figura 2.2 - Localização da Área de Estudo e dos Pontos de Amostragem de Atributos de Qualidade de Água no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE

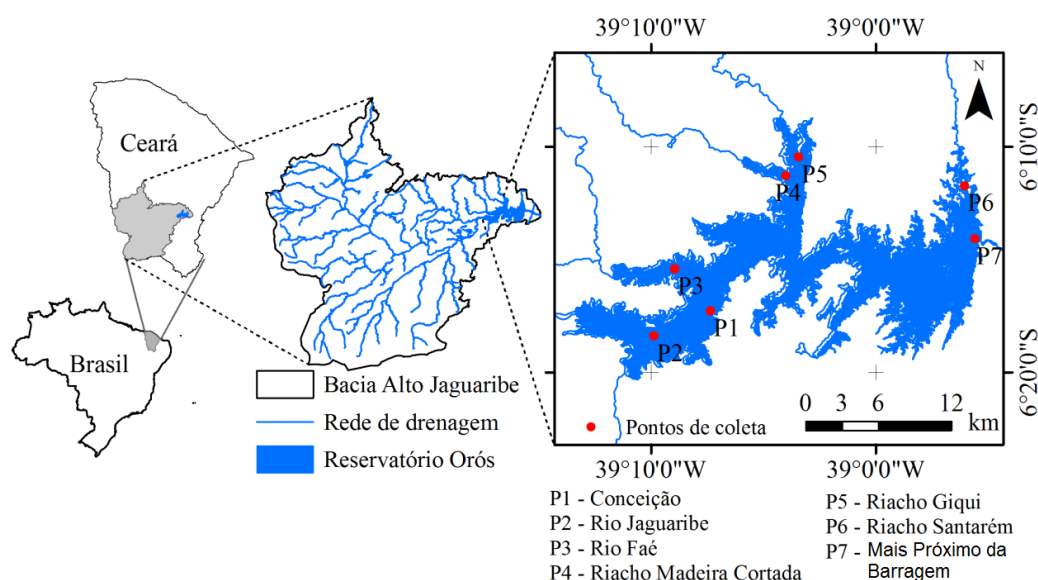


Tabela 2.1 - Variáveis físicas, químicas e biológicas monitoradas no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE e métodos utilizados segundo American Public Health Association (2005)

Análise	Método
pH	Potenciométrico
Nitrato (mg L ⁻¹)	Espectrofotométrico
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	Método de Winkler – Azida modificada (Iodometria)
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L ⁻¹)	Frascos padrões - Iodometria
Fósforo total (mgL ⁻¹)	Espectrofotométrico
Coliformes termotolerantes (Unidades Formadoras de Colônia - UFC / 100mL)	Tubos múltiplos
Turbidez (Unidades Nefelométricas de Turbidez - UNT)	Turbidimétrico
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	Gravimétrico
Temperatura (°C)	Termométrico

2.2.3. Peso dos atributos indicadores do IQA

O IQA descrito neste trabalho utilizando os pesos dos atributos calculados e adaptados para as condições do semiárido foi nomeado Manejo de Água e Solo do Semiárido (MASSA) e baseou-se no índice criado pela NSF, com a utilização das nove variáveis consideradas indicativas de qualidade desse índice. Os resultados foram comparados com os índices e pesos adaptados pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) e os originais da NSF.

Os pesos (W_i) de cada parâmetro do IQA MASSA, ou seja, os fatores de influência de cada variável na qualidade de água, foram determinados pelo emprego da Análise de Componentes Principais (ACP) dos parâmetros de IQA avaliados. A metodologia de ACP se compõe das seguintes etapas: preparação da matriz de correlação; extração dos fatores comuns e rotação dos eixos relativos aos fatores comuns (SANDS; PODMORE, 2000). Para a análise dos dados foi utilizado o programa Statistical Package for the Social Sciences 16.0 (SPSS, 2007), por apresentar versatilidade no manuseio das operações necessárias à obtenção de componentes principais, contando, inclusive, com o tratamento prévio de padronização e escalonamento dos dados. Monteiro e Pinheiro (2004) sugeriram a aferição da consistência dos dados pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO). Por esse método, compara-se a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes parciais de correlação, produzindo o índice KMO, gerado pela equação 1:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \times \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \times \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \times \sum a_{ij}^2} \quad (1)$$

em que r_{ij} - coeficiente de correlação simples entre a variável i e j ; a_{ij} - coeficiente de correlação parcial entre a variável i e j . Silveira e Andrade (2002) propuseram intervalos como critério de qualificação para o resultado do KMO (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Intervalo de validade do teste KMO para aplicação no modelo de Análise de Componentes Principais, propostos por Silveira e Andrade (2002)

Intervalo	Qualificação
$KMO < 0,50$	Inaceitável
$0,50 < KMO < 0,70$	Admissível
$0,70 < KMO < 0,90$	Adequado
$KMO > 0,90$	Excelente

A extração dos fatores (pesos de cada parâmetro) foi definida pela variância da combinação linear das variáveis observadas. O primeiro fator extraído representa a combinação linear que explica a variância máxima existente na amostra; o segundo, a combinação linear com a máxima explicação da variância remanescente e assim sucessivamente (PALÁCIO, 2004). A correlação de cada variável com os fatores é expressa (Equação 2), em termos algébricos, por:

$$X_i = A_{i1} \cdot f_1 + A_{i2} \cdot f_2 + \dots + A_{in} \cdot f_n + \xi \quad (2)$$

Em que (X_1, X_2, \dots, X_i) - expressam a combinação linear dos fatores (f); A - representa as cargas fatoriais; ξ - termo residual da variância não explicada pelos fatores.

O número de fatores extraídos foi definido pelo critério das raízes características, autovalores (HAIR JÚNIOR; ANDERSON; TATHAN, 2005), no qual se consideram somente componentes com autovalor superior a um, ou seja, o fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável. Para minimizar a contribuição das variáveis com menor significância no fator (HAIR JÚNIOR, ANDERSON E TATHAN, 2005) empregou-se o procedimento de transformação ortogonal varimax, ou simplesmente rotação da matriz das cargas fatoriais.

O valor do peso (W_i) de cada variável para o IQA MASSA foi ponderado em função do autovalor do componente (raiz característica) associado à explicabilidade de cada variável, em relação aos componentes principais extraídos (Equação 3). O autovalor é utilizado como termo de ponderação por expressar a capacidade dos fatores em captar em níveis diferentes as variâncias das variáveis (PALÁCIO, 2004).

$$W_i = \frac{(F_1 \cdot C_1) + (F_2 \cdot C_2) + \dots + (F_n \cdot C_n)}{(F_1 \cdot \sum_1^n C_1) + (F_2 \cdot \sum_1^n C_2) + \dots + (F_n \cdot \sum_1^n C_n)} \quad (3)$$

Em que W_i - peso a ser associado a cada parâmetro de qualidade de água; F_i - autovalor de cada fator; C_i - explicabilidade da variável em relação ao componente principal.

A qualidade de cada variável do IQA MASSA foi definida conforme a curva de qualidade, ou curva média de variação da variável. A qualidade relativa da i -ésima variável (q_i) varia de 0 a 100 e foi obtida do respectivo gráfico de qualidade padrão, em função de sua concentração ou medida (BROWN *et al.*, 1970). O q_i foi escolhido de acordo com o valor de cada determinação física, química e biológica, para cada ponto coletado (sete pontos), nos períodos chuvoso (dezembro a maio) e seco (junho a novembro) dos anos estudados. Após a obtenção dos pesos e a escolha do q_i , o IQA foi calculado por meio da equação 4. O IQA, conforme estabelecido por Brown *et al.* (1970), adaptado do índice da NSF, varia numa escala de 0 a 100, sendo dividido em cinco categorias, as quais estão representadas na Tabela 2.3.

$$IQA = \prod q_i^{W_i} \quad (4)$$

Em que \prod – produtório; q_i - qualidade relativa da i -ésima variável; W_i - peso relativo da i -ésima variável; i - número de ordem da variável.

Tabela 2.3 - Categorias de classificação de qualidade de água de acordo com os valores do IQA (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013)

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

2.2.4. Teste de médias

Foi realizado o teste estatístico t de Student para três comparações: 1) entre os pesos dos três índices de qualidade (MASSA, NSF e CETESB); 2) entre as médias dos IQA obtidos utilizando os três conjuntos de pesos (MASSA, NSF e CETESB); e 3) entre os períodos seco

e chuvoso do IQA MASSA. Todas as comparações foram realizadas utilizando-se um nível de significância de 5%.

2.2.5. Comparação entre os índices

Os pesos utilizados pela CETESB e pela NSF e disponibilizados pela literatura serão aplicados na equação 4, em conjunto com os resultados das concentrações dos parâmetros utilizados neste trabalho, obtendo assim o IQA CETESB e o IQA NSF, respectivamente, para fins de comparação com o índice adaptado neste trabalho.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas de tendências centrais e de dispersão para as variáveis empregadas no estudo estão apresentadas na Tabela 2.4. O pH afeta o metabolismo de várias espécies e, para proteção das espécies aquáticas, deve estar entre 6,0 e 9,0, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, valores padrões para Classe 2 de Águas Doces (BRASIL, 2005).

Tabela 2.4 - Atributos estatísticos para as variáveis avaliadas no cálculo do IQA do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
pH	8,33	8,32	7,40	9,40	0,40	5
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,10	0,08	0,01	0,32	0,07	77
OD (mg L ⁻¹)	6,15	6,24	2,05	9,53	1,73	28
DBO (mg L ⁻¹)	6,86	6,65	2,01	13,88	2,87	42
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	0,08	0,07	0,01	0,49	0,07	87
CTT (UFC / 100 mL)	8,05	3,00	1,00	33,00	9,96	124
Turbidez (UNT)	9,87	7,34	1,12	58,70	9,15	93
ST (mg L ⁻¹)	181,48	179,50	101,00	298,00	31,9	18
Temperatura (° C)	29,06	29,00	25,90	33,00	1,43	5,0

Os valores de turbidez estiveram abaixo do padrão de 100 UNT estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, apesar de apresentar variabilidade alta e heterogeneidade, o que pode ser observado no valor alto do Coeficiente de Variação (CV). Por outro lado, os dados de ST são homogêneos, variando de 101 a 298 mg L⁻¹. Temperatura, pH e OD, por sua

vez, apresentaram alta homogeneidade dos dados, com valores baixos de CV, tendo baixa variabilidade ao longo do período avaliado.

A DBO esteve acima do padrão estabelecido ($<5,0 \text{ mg L}^{-1}$) em 75% das coletas realizadas, demonstrando que há a possibilidade de lançamentos regulares de cargas orgânicas no reservatório. Além disso, a aquicultura demanda oxigênio, influenciando positivamente nos valores de DBO, principalmente no ponto 6 (Riacho Santarém). O padrão de 10 mg L^{-1} para nitrato foi atendido em todas as coletas realizadas. Ao contrário deste, o nutriente fósforo total apresentou concentrações superiores ao padrão ($0,050 \text{ mg L}^{-1}$), em 65% das coletas realizadas, o que pode ser atribuído ao lançamento de esgoto doméstico não-tratado (AYROZA, 2012) e os fertilizantes agrícolas (SHRESTHA; KAZAMA, 2007; LOPES *et al.*, 2014). O esgoto doméstico possui alta concentração de fósforo em relação ao nitrato; neste efluente, as demais formas nitrogenadas (amônia, nitrito) possuem maior concentração.

Os coliformes estiveram dentro do padrão estabelecido de 200 UFC / 100 mL em todas as coletas. Por outro lado, o OD, cujos valores devem ser superiores a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, esteve dentro dos limites em 77,4% das coletas, enquanto que suas menores concentrações ocorreram em período mais quente, quando é menor a solubilidade e mais intenso o metabolismo do ambiente (AYROZA, 2012).

Os valores das análises físicas, químicas e biológicas de cada variável foram utilizados para a análise de componente principal, que resultou em uma matriz rotacionada de cargas fatoriais, utilizada para o cálculo dos pesos do IQA. A modelo da matriz das cargas fatoriais de melhor ajuste para os atributos de qualidade de água no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, foi composta por quatro componentes, Tabela 2.5, seguindo os critérios do KMO igual a 0,522, considerado aceitável, Tabela 2.2, (SILVEIRA; ANDRADE, 2002), e do autovalor igual ou superior a um. Os mesmos critérios também foram usados por Palácio (2004); Andrade *et al.* (2005); Lopes *et al.* (2014).

Os pesos de cada atributo representativo da qualidade de água (W_i) foram calculados conforme Equação 3 e Tabela 2.5. Os valores de explicabilidade das variáveis foram empregados em módulo para efeitos de cálculo.

Tabela 2.5 – Matriz das cargas fatoriais rotacionadas das variáveis para cada componente

Variável	Componentes (C_i)			
	C_1	C_2	C_3	C_4
pH	0,744	-0,275	0,050	0,116
Turbidez	-0,211	0,105	0,824	0,035
ST	0,180	-0,156	0,817	0,037
DBO	-0,632	-0,404	-0,032	0,061
Nitrato	-0,045	0,653	-0,109	0,286
Fósforo Total	0,181	0,293	0,256	0,649
CTT	0,001	0,808	0,043	-0,117
OD	0,855	0,015	-0,082	0,049
Temperatura	-0,022	-0,098	-0,073	0,847
Somatório	2,870	2,807	2,287	2,198
Autovalor (F_i)	1,869	1,518	1,442	1,114
Variância (%)	20,763	16,868	16,024	12,383
Variância Acumulada (%)	20,763	37,631	53,654	66,037

De acordo com os pesos encontrados (Tabela 2.6), o pH é a variável que mais influencia a qualidade de água do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, seguido pela DBO, pelo nutriente fósforo e pelos sólidos totais.

Tabela 2.6 - Pesos de cada variável do IQA MASSA (ordem decrescente)

Variável	W_i
pH	0,13
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,12
Fósforo Total	0,12
Sólidos Totais	0,12
Oxigênio Dissolvido	0,12
Turbidez	0,12
Nitrato	0,10
Coliformes Termotolerantes	0,09
Temperatura	0,08

Apesar de ser a variável mais importante para a determinação da qualidade de água no reservatório, o pH, possui valores cuja interpretação é de alta complexidade devido ao grande

número de fatores que podem influenciá-lo (PALÁCIO, 2004; LOPES *et al.*, 2008). A presença de solos alcalinos com elevados teores de cálcio (CEARÁ, 2009) na região pode explicar os valores mais altos do pH das águas do reservatório estudado.

A sub-bacia do Alto Jaguaribe é constituída de rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, representado por gnaisses e migmatitos diversos, quartzitos e metacalcários, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica (CEARÁ, 2009). Os metacalcários liberam carbonatos, conferindo uma condição alcalina ao reservatório. Esse aumento de pH devido às características básicas do solo pode explicar a maior importância do parâmetro para a qualidade de água do reservatório.

Os pesos de cada variável da qualidade da água obtidos neste trabalho (Tabela 2.7) foram diferentes dos pesos estabelecidos pela NSF (BROWN *et al.*, 1970) e pela CETESB (2013); entretanto, a diferença não foi estatisticamente significativa, segundo o teste t de Student ($p > 0,05$). Identifica-se, ainda, que das cinco variáveis de maior peso, pelo menos duas foram comuns aos índices. Tal fato mostra que, embora os índices tenham como suporte as mesmas variáveis, existe a necessidade de se determinar os pesos para as condições da região quando se trabalha com modelos empíricos (HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012; LAI *et al.*, 2013).

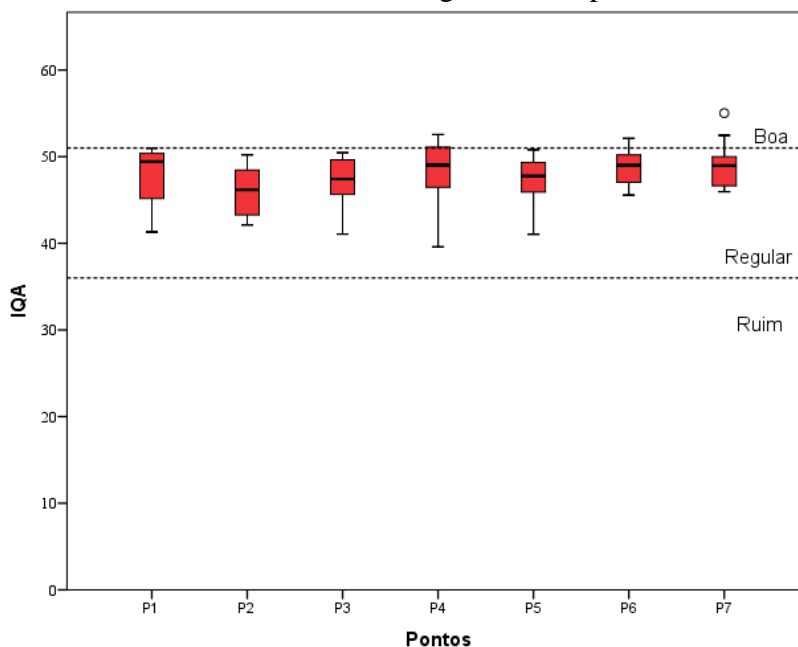
Tabela 2. 7 - Pesos de IQA determinados para cada variável no presente trabalho (MASSA) e pesos estabelecidos pela CETESB e NSF

Variável	Wi (MASSA)	Wi (CETESB)	Wi (NSF)
pH	0,13	0,12	0,11
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,12	0,10	0,11
Fósforo Total	0,12	0,10	0,10
Sólidos Totais	0,12	0,08	0,07
Oxigênio Dissolvido	0,12	0,17	0,17
Turbidez	0,12	0,08	0,08
Nitrato	0,10	0,10	0,10
Coliformes Termotolerantes	0,09	0,15	0,16
Temperatura	0,08	0,10	0,10

Os pesos estabelecidos pela CETESB (2013) apontam OD, CTT e pH como as variáveis mais influentes na qualidade de água. Para a NSF, as variáveis de maior influência são OD, CTT, DBO e, só então, pH, enquanto que para o índice MASSA as variáveis de maior influência foram pH, seguidas de DBO, fósforo total, sólidos totais, oxigênio dissolvido e turbidez, com o mesmo peso.

Os pesos foram utilizados para efetuar o cálculo do IQA de cada ponto amostrado a cada coleta. A mediana dos valores de IQA ao longo dos sete pontos (variação temporal) esteve sempre em torno de 48 (Figura 2.3), com valores variando de 41 a 55. Além disso, 93% das amostras de água foram classificadas como de qualidade Regular e 7% como Boa. Valores baixos de IQA podem ser associados ao lançamento de esgotos domésticos sem tratamento prévio e à exploração agropecuária nas margens dos rios e reservatórios (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012).

Figura 2.3 - Variação espacial do IQA MASSA no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, ao longo dos sete pontos amostrados

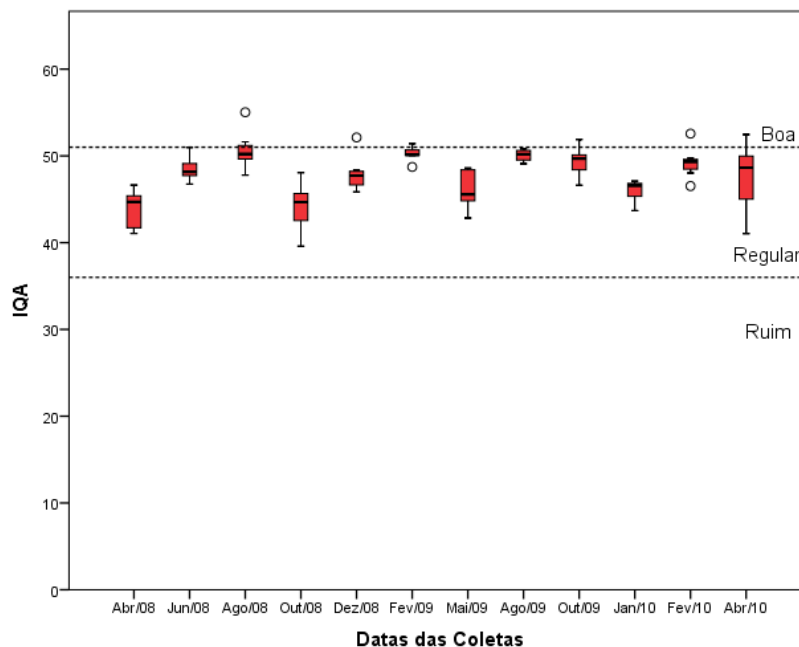


O ponto de coleta 4 apresentou a maior variação ao longo do tempo e o P6 a menor. O P7 (a montante da barragem) apresentou os melhores valores de qualidade, demonstrando a

eficiência da autodepuração ao longo do reservatório, ou seja, sua capacidade de se recuperar após receber uma descarga de poluentes (SAINT et al., 2012; SILVA et al., 2009).

Para identificar se a sazonalidade climática alterou a qualidade da água, investigou-se a variabilidade temporal das amostras (Figura 2.4). A maior variação do IQA MASSA ocorreu em abril de 2010, mês em que a precipitação pluviométrica foi de 268 mm. Embora os valores médios do IQA MASSA para os períodos seco e chuvoso tenham apresentado diferença estatisticamente significativa ao nível de 5%, não existe tendência do índice para o período seco ou chuvoso, sugerindo um sistema dinâmico complexo da qualidade das águas (GHARIBI et al., 2012; ZAMBRANO et al., 2009). A representação da dinâmica da qualidade de água não influenciada de forma regular pela estação climática é exemplificada nos valores de melhor IQA (ocorridos em fevereiro e agosto de 2009) e pior IQA (abril e outubro de 2008), sendo ambos os períodos secos, sem ocorrência de precipitação, e chuvosos (FUNCEME, 2012).

Figura 2.4 - Variação temporal dos valores de IQA MASSA no reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE

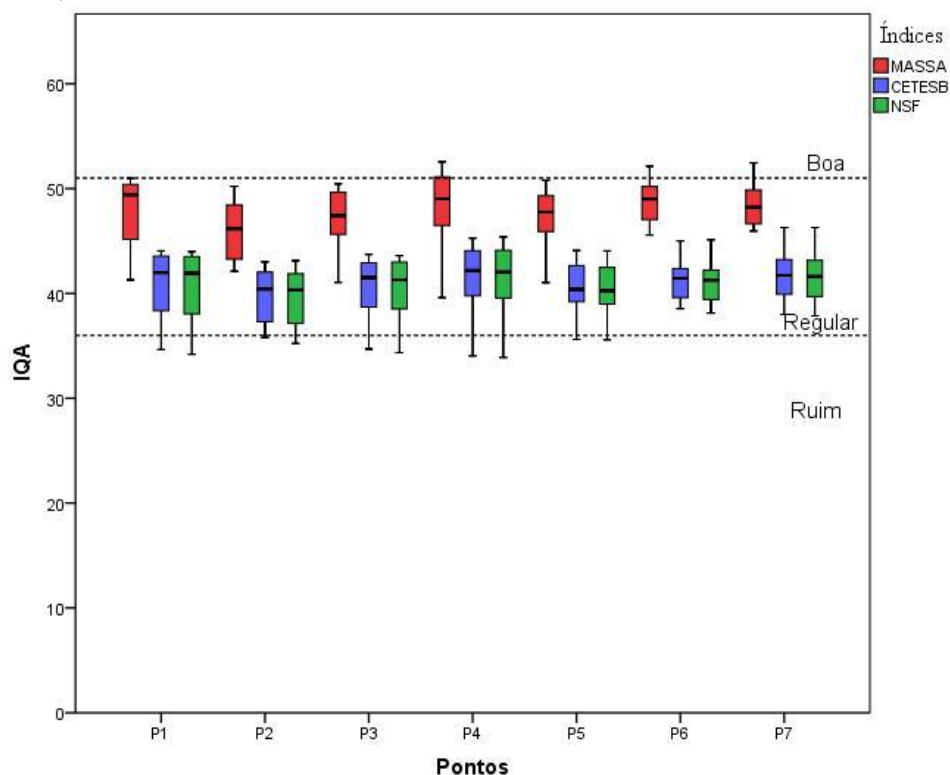


O IQA calibrado para as águas do reservatório na região de clima semiárido (Figura 2.5) apresentou valores superiores aos determinados com os pesos da CETESB e da NSF. Tal fato

confirma que IQA deve ter os pesos dos parâmetros calibrados em função do local que se deseja aplicá-los (AKKOYUNLU; AKINER, 2012; HURLEY; SADIQ; MAZUMDER, 2012).

As médias do IQA ajustado às condições de reservatórios de clima semiárido apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% dos valores médios do IQA determinados com os pesos da CETESB e da NSF.

Figura 2.5 - Comparação entre os índices de qualidade de água calculados (MASSA, CETESB, NSF) do reservatório Presidente Juscelino Kubitscheck de Oliveira, Orós, CE



Essa diferença entre os pesos das variáveis e, conseqüentemente, entre os índices de qualidade pode ser explicada pela variação ambiental e pelos usos da terra e da própria água nos locais onde cada peso foi determinado.

2.4. CONCLUSÕES

1. O atributo que mais influencia a qualidade de água do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Orós, CE, é o pH, variável que é afetada por vários fatores, entre eles a composição das rochas da região;

2. Há diferenças significativas entre o índice de qualidade utilizando os pesos determinados para a região climática semiárida e os índices de qualidade utilizando os pesos determinados para outras regiões, tais como os IQAs adaptado pela CETESB e desenvolvido pela NSF ($p < 0,05$). Entretanto, os índices seguem a mesma tendência, demonstrando diferenças apenas na sensibilidade e nos pesos dos atributos determinantes da qualidade de água;
3. As águas do reservatório Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, Iguatu, CE, com IQA calculado pelo índice proposto (MASSA) podem ser consideradas de qualidade regular;
4. Foi observado efeito da sazonalidade sobre a qualidade de água.

REFERÊNCIAS

- AKKOYUNLU; A.; AKINER; M. E. Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 501-511, 2012.
- ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n.2, p. 135-142, 2005.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: Water Environment Federation, 2005. 1496p.
- AYROZA, D. M. M. R. **Características limnológicas em área sob influência de piscicultura em tanques-rede no reservatório da Uhe Chavantes, Rio Paranapanema, SE/S, Brasil**. 2012. 130f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições

e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, nº 053, 18 mar. 2005, p. 58-63.

BROWN, R. M., N.; MCCLELLAND, R. A.; DEININGER, R. G. TOZER. A water quality index - do we dare?. **Water Sewage Works** p.339-343, 1970.

CASTRO JUNIOR, R. M.; SOBREIRA, F. G.; BORTOLOTI, F. D. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros da qualidade da água (IQA-NSF) para a sub-bacia hidrográfica do rio Castelo (ES) usando sistema de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 3, p. 241-253, 2007.

CEARÁ, Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**. Fortaleza: INESP, 2009. 119 p.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Índices de qualidade de água. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas>. Acesso em: 15 jan. 2013.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Qualidade das águas superficiais de São Paulo 2011**. São Paulo: CETESB, 2012. 356p.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Redes de Monitoramento**. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

GHARIBI, H.; MAHVI, A. H.; NABIZADEH, R.; ARABALIBEIK, H.; YUNESIAN, M.; SOWLAT, M. H. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. **Journal of Environmental Management**, v. 112, p. 87-95, 2012.

HAIR JÚNIOR, J. F; ANDERSON, R. E; TATHAN, R. L; Black, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. **Water Research**, v. 46, n.11, p. 3544-3552, 2012.

LAI, Y. C.; TU, Y. T.; YANG, C. P.; SURAMPALLI, R. Y.; KAO, C. M. Development of a water quality modeling system for river pollution index and suspended solid loading evaluation. **Journal of Hydrology**, v. 478, p. 89-101, 2013.

LIU, Y.; CHEN, W.; LI, D.; HUANG, Z.; SHEN, Y.; LIU, Y. Cyanobacteria-/cyanotoxin-contaminations and eutrophication status before Wuxi Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 4, 575-581, 2011.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BECKER, H.; BATISTA, A. A. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 437-445, 2014.

LOPES, F. B.; TEIXERA, A. S.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; ARAÚJO, L. de F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, p. 392-402, 2008.

MASSOUD, M. F. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 7, p. 4151-4160, 2012.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 2, p. 365-387, 2004.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 2004. 97 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

SAINT, G. M.; FURTADO, C. M.; MENEZES, R. S. A.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecologia Aplicada**, v. 11, n.1, p. 23-31, 2012.

SÁNCHEZ, E., COLMENAREJO, M. F., VICENTE, J., RUBIO, A., GARCÍA, M. G., TRAVIESO, L., BORJA, R. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, v. 7, n.2, p. 315–328, 2007.

SANDS, G. R.; PODMORE, T. H. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, n.1, p. 29-41, 2000.

SHRESTHA, S.; KAZAMA F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. **Environmental Modelling & Software**, v. 22 n. 04, p. 464-475, 2007.

SILVA, A. P. S.; DIAS, H. C. T.; BASTOS, R. K. X.; SILVA, E. Qualidade da água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1063-1069, 2009.

SILVEIRA, S. S.; ANDRADE, E. M. Análise de componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 2, p. 174-177, 2002.

SINGH, K. P; MALIK, A.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India) using multivariate statistical techniques - a case study. **Analytica Chimica Acta**, v. 538, n. 1-2, p. 355-374, 2005.

SPSS for Windows 16. Version 16.0. Chicago (IL), 2007. Programa de computador.

VIALLE, C.; SABLAYROLLES, C.; LOVERA, M.; JACOB, S.; HUAU, M. C.; MONTREJAUD-VIGNOLES, M. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. **Water Research**, v. 45, n.12, p. 3765-3775, 2011.

ZAMBRANO, L.; CONTRERAS, V.; MAZARI-HIRIART, M.; ZARCO-ARISTA, A. E.

Spatial heterogeneity of water quality in a highly degraded tropical freshwater ecosystem.

Environmental Management, v. 43, n. 2, p. 249–263, 2009.

3. Capítulo II - Aporte e balanço de nutrientes, nitrogênio e fósforo, em reservatório no semiárido

RESUMO – A eutrofização dos reservatórios de água aumenta os custos de tratamento para utilização da mesma em seus múltiplos usos. Conhecer o aporte de nutrientes que causam a eutrofização destes corpos hídricos é fundamental. Em busca de quantificar o aporte e o balanço dos nutrientes, nitrogênio e fósforo, bem como identificar o efeito da sazonalidade climática sobre a dinâmica dos mesmos em um reservatório do semiárido brasileiro, foram realizadas 21 campanhas de coleta em sete pontos no açude Orós, localizado na região centro sul do estado do Ceará, entre abril de 2008 e dezembro de 2012. Deste modo, pôde-se calcular o fluxo de entrada e saída de nitrogênio e fósforo no período estudado, e obter o balanço de nutrientes do reservatório. Foi observado que o reservatório está retendo os nutrientes, sendo considerado local de armazenamento na bacia hidrográfica. Foi retido um total de 176 toneladas de nitrogênio e 230 toneladas de fósforo durante o período de estudo. Concluiu-se que os nutrientes possuem a mesma tendência de aporte no reservatório, demonstrando virem de fontes agrícolas e pecuárias. Houve aumento do aporte de nutrientes ao longo do tempo.

Palavras-chave: nitrogênio, fósforo, aporte de nutrientes, balanço de massa.

Intake and balance of nutrients, nitrogen and phosphorus, in a reservoir in semiarid

ABSTRACT - Eutrophication of water reservoirs increases treatment costs for its multiple uses of water. Knowing the supply of nutrients that cause eutrophication of these water bodies is critical. Seeking to quantify the intake and the balance of nutrients, nitrogen and phosphorus, as well as identify the effect of seasonality on their dynamics in a reservoir in Brazilian semiarid, 21 sampling campaigns were conducted in seven points in the Oros

reservoir, located in the central region of the state of Ceará, between April 2008 and December 2012. Thus, we could calculate the inflow and outflow of nitrogen and phosphorus during the study period, and get the nutrient balance from the reservoir. It was observed that the reservoir is retaining the nutrients and is considered storage location in the watershed. A total of 176 tonnes of nitrogen and 230 tonnes of phosphorus were retained during the study period. It was concluded that nutrients have the same trend of inflow to the reservoir, showing that they come from agricultural and livestock sources. There was an increase in the supply of nutrients over time.

Keywords: nitrogen, phosphorus, nutrient input, mass balance.

3.1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população, aliado à má distribuição espaço-temporal das precipitações em ambientes semiáridos, resulta no déficit hídrico sempre presente nestas regiões (FLEIFE et al., 2014). Como forma de minimizar a escassez de água do semiárido brasileiro, os governos federal e estadual sempre adotaram a prática da construção de reservatórios para armazenamento do escoamento superficial.

De acordo com a literatura, durante os processos de escoamento e armazenamento das águas, uma grande quantidade de nutrientes é transportada e depositada nos reservatórios. No semiárido brasileiro, a variabilidade climática, o longo tempo de retenção hidráulica e as taxas elevadas de evapotranspiração, adicionadas às ações antrópicas a montante da bacia hidráulica, provocam aumento das concentrações de nutrientes na coluna de água e aceleração do processo de eutrofização que são considerados prejudiciais à organização biológica dos ecossistemas (FIGUEIRÊDO et al., 2007; DANTAS et al., 2008; SOUSA, 2013).

Um maior aporte da carga de nutrientes em corpos hídricos aumenta a produção líquida do ecossistema, deslocando o sistema em direção à autotrofia (VON SPERLING;

FERREIRA; GOMES, 2008), com a proliferação de fitoplâncton (NORIEGA; ARAÚJO, 2011; YANG et al., 2012). Entre os nutrientes que influenciam na eutrofização dos ecossistemas aquáticos, o nitrogênio e o fósforo são os de maior contribuição (GOMES et al., 2012). O nitrogênio (N) é um importante elemento para a formação da matéria orgânica viva. As principais fontes de N para os ecossistemas aquáticos continentais são a fixação biológica de nitrogênio realizada por fitoplâncton, chuvas, tempestades atmosféricas de raios, aporte orgânico e inorgânico a partir de ecossistemas adjacentes e aporte de efluentes domésticos e industriais não tratados ou tratados parcialmente nos corpos d'água (HIJO, 2009; ESTEVES, 2011). Algumas das formas de nitrogênio podem ser absorvidas imediatamente pelos organismos; enquanto que outras precisam ser convertidas (SEITZINGER et al., 2006; ESCHRIQUE, 2011). Para a maioria dos organismos, o nitrato é a forma nitrogenada assimilável biologicamente. Outra forma de nitrogênio presente no meio aquático é a amônia, que é um indicativo de contaminação recente por esgoto doméstico (VON SPERLING, 1996).

A importância do nutriente fósforo se deve à participação em processos fundamentais dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia, estruturação da membrana celular e metabolismo celular (ESTEVES, 2011). Em sistemas aquáticos, o fósforo é um elemento limitante, se comparado à disponibilidade dos demais nutrientes, e sua disponibilização em excesso resulta no florescimento de fitoplâncton (EKHOLM; LEHTORANTA, 2012; GALVEZ-CLOUTIER et al., 2012). A disponibilidade do fósforo influencia positivamente na biomassa fitoplanctônica (HONTI; ISTVÁNOVICS; KOVÁCS, 2010), a qual compromete a camada fótica e desencadeia o processo de eutrofização. O fósforo é biologicamente assimilado apenas na forma de fosfato. O fosfato presente em ecossistemas aquáticos tem origens naturais e artificiais: rochas da bacia de drenagem, precipitação atmosférica, e esgotos domésticos e industriais (ESTEVES, 2011; HELLMAN; VERMAAT, 2012).

Infere-se, portanto, que o aporte de nutrientes em um lago artificial é um agente potencial para a eutrofização desse corpo hídrico, além de alterar o equilíbrio iônico presente no açude (PAULA et al., 2010). Em ambientes rurais os maiores aportes de nutrientes aos corpos hídricos são oriundos das fontes difusas como áreas agrícolas e pecuárias.

Avaliar o comportamento dos nutrientes nos reservatórios de abastecimento é uma ação indispensável para o monitoramento da qualidade das águas (VIDAL; NETO, 2014). Uma vez que as águas armazenadas nos açudes das regiões semiáridas apresentam diferentes usos, a compreensão do balanço de nutrientes é importante para assegurar sua qualidade. Assim, objetivou-se com esta pesquisa quantificar o aporte e o balanço dos nutrientes fósforo e nitrogênio; bem como identificar o efeito da sazonalidade climática sobre a dinâmica dos nutrientes em reservatório do semiárido brasileiro.

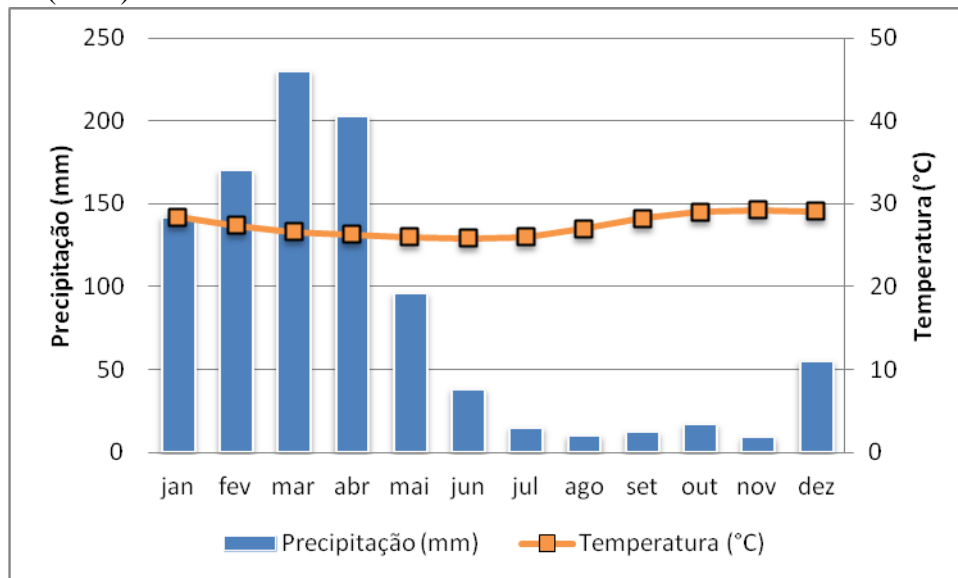
3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Área de estudo

A área de estudo, reservatório Orós, está inserida na bacia do Alto Jaguaribe, que abrange uma área de drenagem de 24.639 km², correspondente a 16,56% do território cearense. A seleção do referido reservatório para o estudo foi decorrente da sua importância como reservatório estratégico na gestão dos recursos hídricos pelo Estado. O Orós tem capacidade de armazenar 1,94 bilhões de m³, sendo o segundo maior açude do estado, com vazão média regularizada de 5,63 m³/s (COGERH, 2010). Entre os usos múltiplos das águas armazenadas no reservatório, destaca-se o abastecimento humano da população do Médio e Baixo Jaguaribe, bem como a região metropolitana da capital do estado, Fortaleza. A perenização do rio Jaguaribe pelo açude Orós também abastece os campos irrigados das bacias do baixo e médio Jaguaribe para produção de alimentos, piscicultura e turismo.

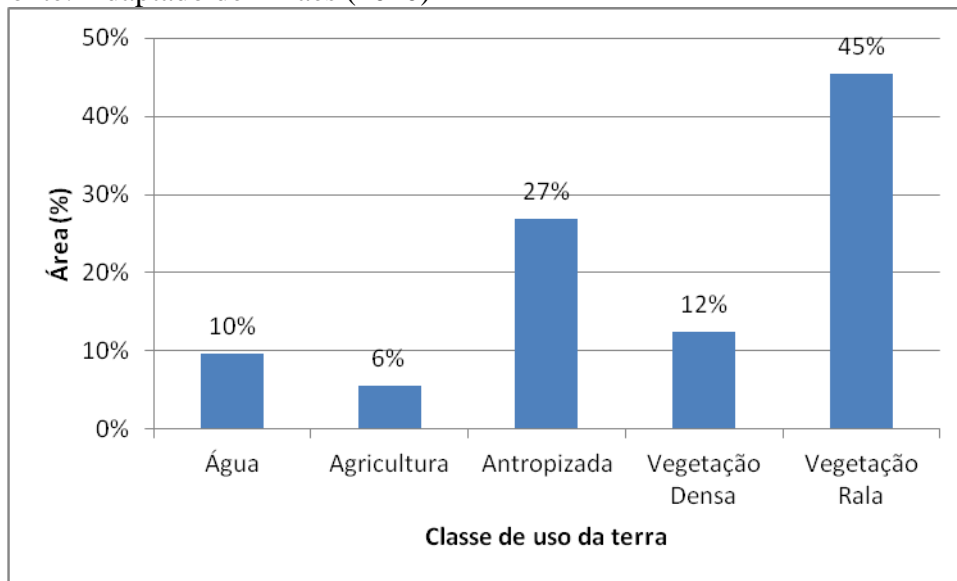
A zona climática da região é do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen, clima semiárido quente com precipitações máximas de outono e temperatura média mensal superior a 18 °C (Figura 3.1). A precipitação média no posto pluviométrico de Iguatu, segundo a série histórica de 1974 a 2010, foi de 998 mm (FUNCEME, 2011). Utilizando como base a Figura 1, determinou-se como período chuvoso aquele em que a precipitação média mensal foi superior a 50 mm (meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio); os demais meses foram considerados como pertencentes ao período seco.

Figura 3.1 - Dados médios de temperatura e precipitação na estação meteorológica de Iguatu FUNCEME (2011)



A área do entorno da bacia hidráulica do açude Orós possui usos diversos (ARRAES; ANDRADE; SILVA, 2012), os quais podem influenciar no balanço de nutrientes das águas do reservatório (VAN OEL et al., 2008). Os cinco usos da terra de maior expressão nas áreas circunvizinhas do açude (Figura 3.2) foram classificados e apresentados por Arraes (2010).

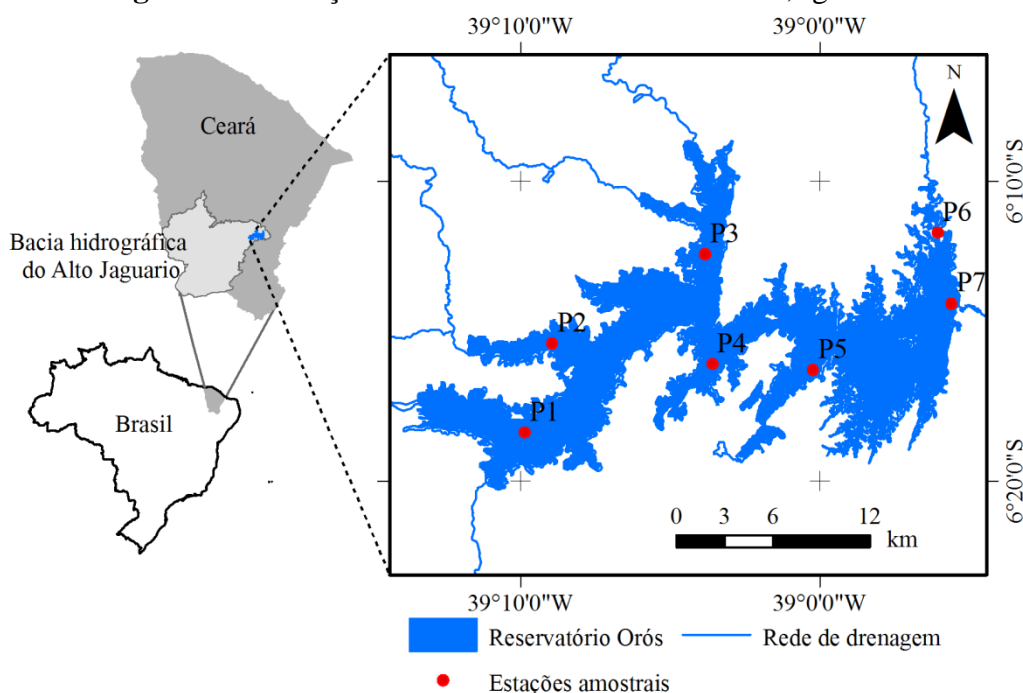
Figura 3.2 - Classes de uso da terra na área em torno da bacia hidráulica do açude Orós em 2008. Fonte: Adaptado de Arraes (2010)



3.2.2. Monitoramento

Durante o período de estudo, abril/2008 a dezembro/2012, foram realizadas 21 campanhas de coletas em sete estações (P1, P2, P3, P4, P5 P6 e P7) de monitoramento de qualidade de água distribuídas nas principais entradas do açude Orós (Figura 3.3). As estações de P1 a P6 representam as entradas, enquanto a P7, localizada no vertedouro do açude, expressa as saídas. Foi coletado um total de 147 amostras (21 campanhas x 7 estações). As amostras foram acondicionadas de acordo com o protocolo e enviadas ao laboratório de Química da Universidade Federal do Ceará onde as análises de Fósforo Total (PT) e Nitrogênio Total (NT) foram realizadas segundo a metodologia presente em APHA (2005).

Figura 3.3 - Estações amostrais no reservatório Orós, Iguatu-CE



3.2.3. Cálculo do fluxo e balanço de nutrientes

Para calcular o balanço de nutrientes em termos de fluxo, foram considerados P-1 como ponto de entrada do principal afluente do açude (rio Jaguaribe) e P-7 como ponto de saída, que fica à montante da barragem (Figura 3.3). A metodologia utilizada para o cálculo do balanço de nutrientes foi adaptada de Hijo (2009) e Vidal e Neto (2014), que a aplicaram nos açudes Castanhão e Gavião, respectivamente, ambos os reservatórios localizados no estado do Ceará.

Os fluxos hídricos de entrada e saída foram baseados na equação da continuidade (Equação 1) e indicaram o balanço dos materiais analisados ao longo do açude. O balanço foi determinado pela vazão de água que entra no açude através do transporte fluvial do rio Jaguaribe e a vazão de saída do açude via liberação pelo vertedouro, determinada segundo a rotina de operação do reservatório.

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (1)$$

Em que S : volume (m^3); t : tempo (s); I : vazão afluente ($m^3.dia^{-1}$); Q : vazão efluente ($m^3.dia^{-1}$).

De acordo com Vidal (2011), a vazão que entra no açude (afluências, $m^3.dia^{-1}$) foi calculada considerando a variação diária do volume armazenado no açude, obtido a partir das leituras diárias das cotas, e as relações com evaporação, precipitação e vazão liberada pela barragem. Todas as informações foram fornecidas pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH). A Equação 2 foi utilizada para estimar a vazão de entrada, representada por I :

$$V_{t+1} = V_t + I - E_t - S_t - R_t \quad (2)$$

Onde V_{t+1} , volume do tempo atual (m^3); V_t , volume do tempo anterior (m^3); I , afluência total ao açude ($m^3.d^{-1}$); E_t , evaporação em determinado tempo ($m^3.d^{-1}$); S_t , vertimento (m^3); R_t , retirada ($m^3.d^{-1}$).

Rearranjando os termos, temos a Equação 3:

$$I = \Delta V + E_t + S_t + R_t \quad (3)$$

O termo ΔV (m^3) foi obtido a partir da tabela COTA x VOLUME durante o período estudado. Os valores de E_t foram baseados nos dados diários obtidos no açude Orós e fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O termo R_t é a vazão liberada pela barragem, determinada segundo a rotina de operação do açude. Essa vazão considera o volume armazenado no período chuvoso e as demandas ao longo da bacia incluindo a perenização do rio Jaguaribe, o abastecimento humano e os perímetros irrigados. A tabela COTA x VOLUME e a vazão liberada pela barragem foram informações cedidas pela COGERH.

O volume vertido (S_t) foi estimado a partir de fórmula empírica, tendo como base a cota máxima de vertimento de 200 m. Se cota < 200 m, o vertimento é nulo ($S = 0$). Se cota > 200 m, o vertimento é dado pela Equação 4:

$$S = C.L.(H - H_{vert})^{1,5} \quad (4)$$

Onde C, coeficiente de vertimento (varia em função da forma do sangradouro; tendo sido utilizado 2,1); L, largura do sangradouro (180 m); H, cota atual; H_{vert} , cota de vertimento (200 m).

Determinadas as vazões diárias de entrada, calculou-se a vazão afluyente média entre as campanhas de coleta, através da soma das vazões diárias dividida pelo número de dias em cada período.

A vazão de saída em escala diária foi obtida através da rotina de operação do reservatório pela COGERH. O cálculo da soma das vazões diárias dividida pelo número de dias em cada período forneceu a vazão de saída média. Conhecendo-se os valores de vazão de entrada e saída de água do reservatório, os fluxos de entrada e saída foram calculados empregando-se a equação 5:

$$Fluxo = \frac{[N] \times Vazão}{1000} \quad (5)$$

Onde *Fluxo*: fluxo de entrada ou saída (kg.dia⁻¹); *[N]*: concentração do nutriente (mg.L⁻¹); *Vazão*: vazão de entrada ou saída (m³.dia⁻¹).

Com os fluxos de entrada e saída calculados, foi possível analisar o balanço de nutrientes no reservatório Orós.

3.2.4. Cálculo do aporte e saída de nutrientes

Para calcular o aporte de nutrientes em termos de massa, indicativos da capacidade do açude de retê-los ou exportá-los, foram escolhidos mais cinco pontos que, adicionados ao P-1, passaram a representar as entradas de nutrientes no reservatório (P-2, P-3, P-4, P-5, P-6). O monitoramento foi realizado no período maio de 2011 a abril de 2013. Mais uma vez, o P-7 foi utilizado como ponto de saída. a estimativa do aporte e da saída de nutrientes foi realizado empregando-se os seguintes passos.

-Aporte de nutrientes (AN)

Foi calculada a média aritmética das concentrações de cada nutriente (nitrogênio e fósforo) nos pontos correspondentes à entrada, conforme Equação 6:

$$[X]_E = \frac{([P1]+[P2]+[P3]+[P4]+[P5]+[P6])}{6} \quad (6)$$

Em que: $[X]_E$: concentração média na entrada a cada período (mg.L^{-1}); $[P1]$, $[P2]$, $[P3]$...: concentração no ponto correspondente em cada período (mg.L^{-1}).

Os valores encontrados de concentração média na entrada foram então multiplicados pelo volume de entrada em cada período, obtendo, assim, o montante em massa de entrada de cada nutriente, conforme Equação 7:

$$AN = \frac{[X]_E \times V}{10^6} \quad (7)$$

Em que: AN : aporte de nutrientes (ton); $[X]_E$: concentração média na entrada em cada período (mg.L^{-1}); V : volume de entrada em cada período (m^3); $1/10^6$: fator de conversão de unidade.

-Saída de nutrientes (SN)

De maneira semelhante, foi utilizada a concentração de saída no P-7 multiplicado pelo volume de saída no período (Equação 8):

$$SN = \frac{[P7] \times V}{10^6} \quad (8)$$

Em que: SN : saída de nutrientes (ton); $[P7]$: concentração média na saída em cada período (mg.L^{-1}); V : volume de saída em cada período (m^3); $1/10^6$: fator de conversão de unidade.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Concentração de Nutrientes

As concentrações de nitrogênio total (NT) nas águas do reservatório Orós apresentaram sempre valores aceitáveis ($\leq 10 \text{ mg. L}^{-1}$) para consumo humano, definidos pela portaria do ministério da saúde (BRASIL, 2011). Estas baixas concentrações são explicadas pelo fato de o nitrogênio apresentar uma rápida mineralização (BARROS et al., 2005). Os valores médios foram registrados na seguinte ordem $P3 > P5 > P4 > P6 > P2 > P1 > P7$, mostrando que os maiores aportes não ocorrem pelo tributário principal, P1, (Tabela 3.1, Figura 3.3). Essas maiores concentrações estão relacionadas aos criatórios de peixes em gaiola (P3), expressando o enriquecimento das águas por resíduos da ração da piscicultura (MACEDO; CIPAÚBA-TAVARES, 2010). O menor CV foi registrado no P3, expressando a menor variabilidade temporal na concentração de nitrogênio total, ou seja o aporte ocorreu de forma constante independente da época do ano.

Tabela 3.1 - Estatísticas descritivas das concentrações de NT nos afluentes monitorados entre abril de 2008 e dezembro de 2012

Ponto	NT (mg.L^{-1})				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (CV) (%)
P-1	0,867	0,085	2,303	0,532	61,4
P-2	0,893	0,085	1,506	0,373	41,8
P-3	1,262	0,961	1,885	0,383	30,3
P-4	1,159	0,166	3,176	1,167	100,7
P-5	1,204	0,219	1,865	0,589	48,9
P-6	0,952	0,047	3,381	0,764	80,2
P-7	0,843	0,048	2,275	0,505	59,9

As concentrações médias do fósforo em todos os pontos (Tabela 3.2) apresentaram valores superiores aos limites padrões determinados para consumo humano pela resolução CONAMA n°357/2005 que estipula o máximo de 0,02 e 0,03 mg.L^{-1} em ambientes lênticos, para água doce classe I e II, respectivamente (BRASIL, 2005). Tais resultados expressam o

enriquecimento das águas por este nutriente. O maior valor médio e CV foram registrados no P1, principal tributário do reservatório, rio Jaguaribe. O CV superior a 153% identifica uma elevada variabilidade temporal no aporte de fósforo ao reservatório, o que se explica pelas maiores descargas registradas durante a estação chuvosa (Tabela 3.3).

O escoamento superficial oriundo de áreas agrícolas, normalmente, é rico em fósforo como já discutido por diferentes pesquisadores (ARAÚJO et al., 2009; JORDAN et al., 2012; VON SPERLING, 1996).

Tabela 3.2 - Estatísticas descritivas das concentrações de Fósforo Total entre abril de 2008 e dezembro de 2012

Ponto	Fósforo Total (mg.L ⁻¹)				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (CV) (%)
P-1	0,332	0,020	1,828	0,508	153,0
P-2	0,178	0,019	0,695	0,177	99,4
P-3	0,205	0,031	0,514	0,152	74,1
P-4	0,164	0,089	0,359	0,101	61,6
P-5	0,316	0,059	1,280	0,401	126,9
P-6	0,142	0,006	0,485	0,147	103,5
P-7	0,102	0,003	0,304	0,087	85,3

A vazão média diária que o rio Jaguaribe, principal afluente, aportou reservatório Orós é apresentada na Tabela 3.3. Os resultados expressam a flutuação da vazão com descargas máximas registradas durante o período chuvoso.

Tabela 3.3 - Vazão de entrada calculada em função dos dias entre uma coleta e outra

Período	Número de dias em cada período (dia)	Vazão de entrada total por período (hm ³ /período)	Vazão de entrada média diária (hm ³ /dia)
abr-jun/08	48	36,22	0,76
jun-ago/08	81	90,55	1,12
ago-dez/08	103	101,85	0,99
dez/08-fev/09	70	80,15	1,14
fev-mai/09	82	376,19	4,59
mai-jul/09	50	138,53	2,77
jul-out/09	116	310,33	2,67
out-dez/09	42	76,36	1,82
dez/09-fev/10	77	122,58	1,59
fev-abr/10	54	74,19	1,37
abr-jun/10	64	144,96	2,26
jun-set/10	78	140,46	1,80
set/10-mar/11	184	411,66	2,24
mar-jun/11	87	473,49	5,44
jun-ago/11	80	189,08	2,36
ago-set/11	30	25,41	0,85
set/11-fev/12	131	222,19	1,69
fev-mai/12	108	325,53	3,01
mai-ago/12	83	113,95	1,38
ago-dez/12	123	21,72	0,18

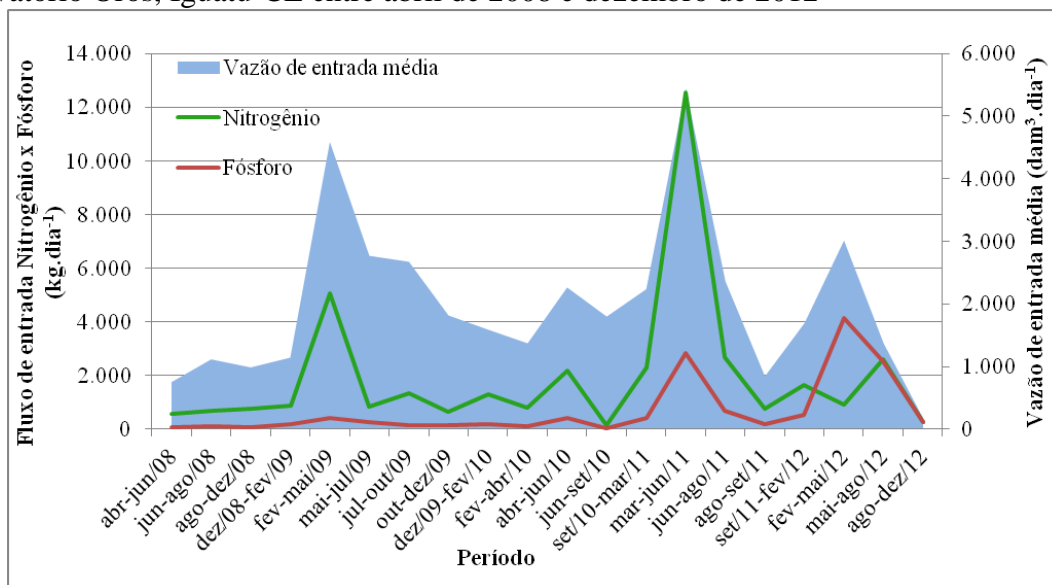
3.3.2. Balanço de nutrientes

As entradas dos nutrientes nitrogênio total e fósforo total apresentaram a mesma tendência ao longo do período estudado (Figura 3.4). Tal comportamento indica que os nutrientes são oriundos da mesma fonte. As maiores concentrações de nutrientes associadas às maiores vazões caracterizam que o aporte de nutrientes é oriundo das áreas agrícolas e pecuárias, sendo os mesmos conduzidos ao corpo hídrico pelo processo de escoamento superficial. Em regiões secas, o escoamento superficial é determinado pelo fluxo hortoniano.

Em adição a esta condição natural, a retirada da cobertura natural para a introdução da agropecuária quebra o ciclo interno dos nutrientes, passando a existir a necessidade da adoção de fertilizantes para manter ou aumentar a produtividade agrícola. Normalmente, ocorre a aplicação de nutrientes superior ao que as culturas podem absorver, tornando os mesmos disponíveis ao transporte pelo escoamento superficial e deposição nos corpos hídricos (VON

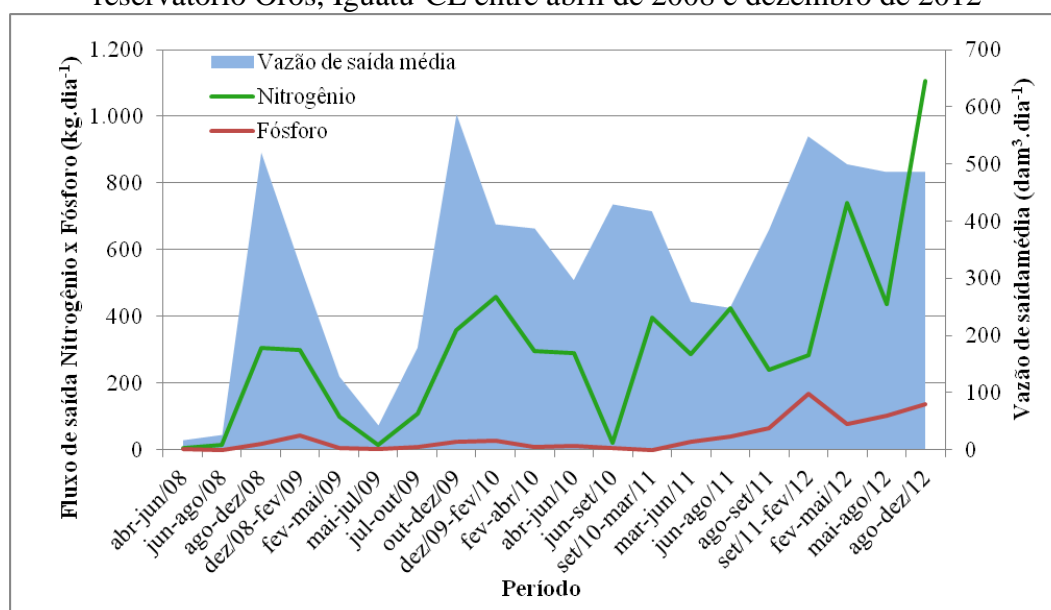
SPERLING, 1996). A substituição da vegetação natural pela agricultura resulta em menores taxas de infiltração e maior escoamento superficial. Tal fato, combinado com o regime pluviométrico (ANDRADE; MEIRELES; PALÁCIO, 2010) e os solos rasos (IBGE, 1999) da bacia tributária do açude, determinam uma baixa taxa de infiltração e elevadas lâminas escoadas; favorecendo, assim, um maior transporte de nutrientes para os corpos hídricos.

Figura 3.4 - Comparativo do fluxo de entrada entre os nutrientes nitrogênio e fósforo no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



De modo adverso à entrada dos nutrientes, não foi observada semelhança na saída dos nutrientes do reservatório, como retratado na Figura 3.5. Entretanto, um aumento na concentração dos mesmos ao longo do período estudado é observado tanto no nitrogênio como no fósforo, embora ocorra de forma mais suave neste último. Os valores de vazão de saída expressos na figura confirmam que os picos de liberação de nutrientes pelo reservatório coincidem com os picos de vazão de saída.

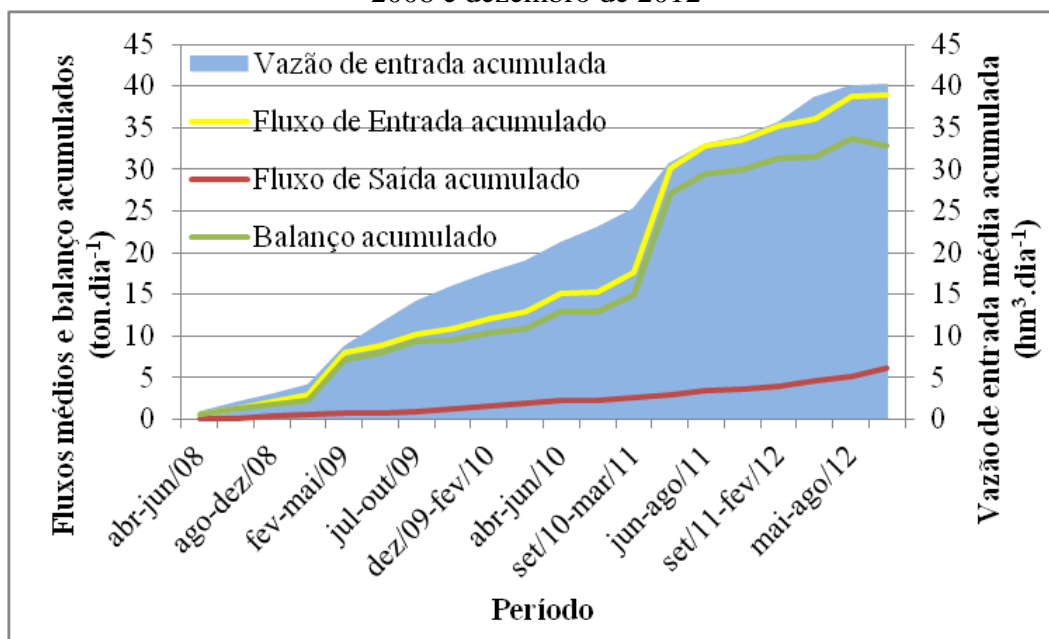
Figura 3.5 - Comparativo do fluxo de saída entre os nutrientes nitrogênio e fósforo no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



A comparação entre os fluxos demonstrou que, independentemente da gestão da barragem e do tempo de residência da água, a distribuição de concentração de nutrientes é altamente variável e controlada por muitos fatores, incluindo entradas antropogênicas, o que pode aumentar as concentrações em todo o reservatório, podendo reduzir ou ampliar a disponibilidade de nutrientes em áreas a jusante do mesmo. (MOLISANI et al., 2013).

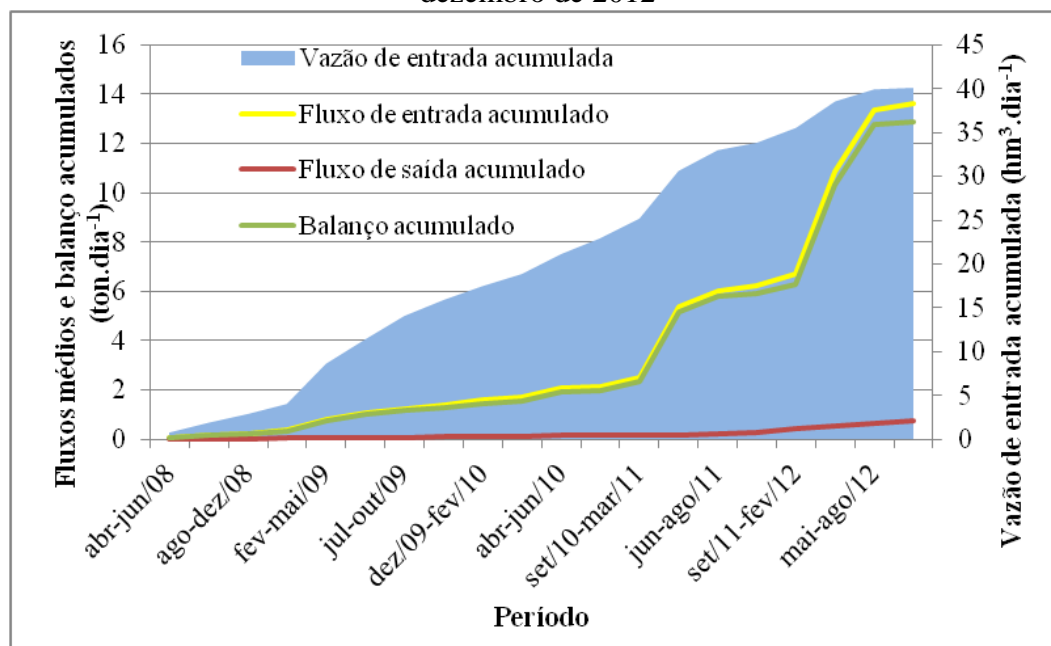
Ao longo do período estudado, ocorreu o acúmulo progressivo do nitrogênio (Figura 3.6), expressando o enriquecimento das águas do reservatório Orós. A exportação do nutriente na última campanha (retratada pela suave queda no valor de balanço acumulado) pode ser explicada por conta da vazão liberada pelo reservatório ter sido maior que a vazão de entrada (VIDAL; NETO, 2014). Observa-se que os maiores aumentos no fluxo de entrada do nitrogênio ocorreram nos períodos chuvosos de 2009 e 2011. As precipitações ocorridas durante o período chuvoso nestes anos foram maiores que a média anual e que os demais anos estudados: 1.291 mm em 2009; 839 mm em 2010; 1.484,5 em 2011; e 920 mm em 2012, segundo dados da FUNCEME (2014).

Figura 3.6 - Fluxo e balanço de nitrogênio no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



O nutriente fósforo apresentou a mesma tendência do nitrogênio (Figura 3.7), ou seja, uma maior taxa de aporte com o tempo e um maior acúmulo deste nutriente nas águas do reservatório. Tal fato expressa a disponibilidade de nutrientes nas águas, favorecendo o processo de eutrofização das mesmas (VON SPERLING, 1996). A Figura também mostra que a taxa de saída do nutriente com o tempo é bem inferior à de entrada, o que caracteriza o reservatório como um sumidouro de nutrientes em relação à bacia do rio Jaguaribe.

Figura 3.7 - Fluxo e balanço de fósforo no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



Observou-se aumento na entrada de fósforo no reservatório nos períodos considerados chuvosos, o que deve ser atribuído às atividades de agricultura no entorno do mesmo. Segundo Soares et al. (2009), mais de 15% da área de proteção permanente no entorno do reservatório Orós é ocupada por culturas de arroz, acarretando a liberação de nutrientes, tanto fósforo como nitrogênio, para o reservatório (BORBOR-CORDOVA et al., 2006). Também foi observada uma tendência de aumento do fluxo de entrada de fósforo no reservatório ao longo do tempo. Essa característica pode ser explicada pelo aumento da vazão liberada pela barragem, bem como pelo aumento substancial da concentração de fósforo ao longo do tempo. Resultados semelhantes foram encontrados por Molisani et al. (2013) no açude Castanhão.

Além disso, o elevado aumento do fluxo acumulado durante o ano de 2011 foi semelhante ao nitrogênio, também podendo ser associado à intensa precipitação ocorrida naquele ano (FUNCEME, 2014). Além do incremento da carga afluente, houve a retenção de fósforo, que pode ser causada pela concentração de diversos íons no reservatório, como ferro, alumínio, sulfeto, além de condições de pH e de oxirredução, fatores que aliados podem

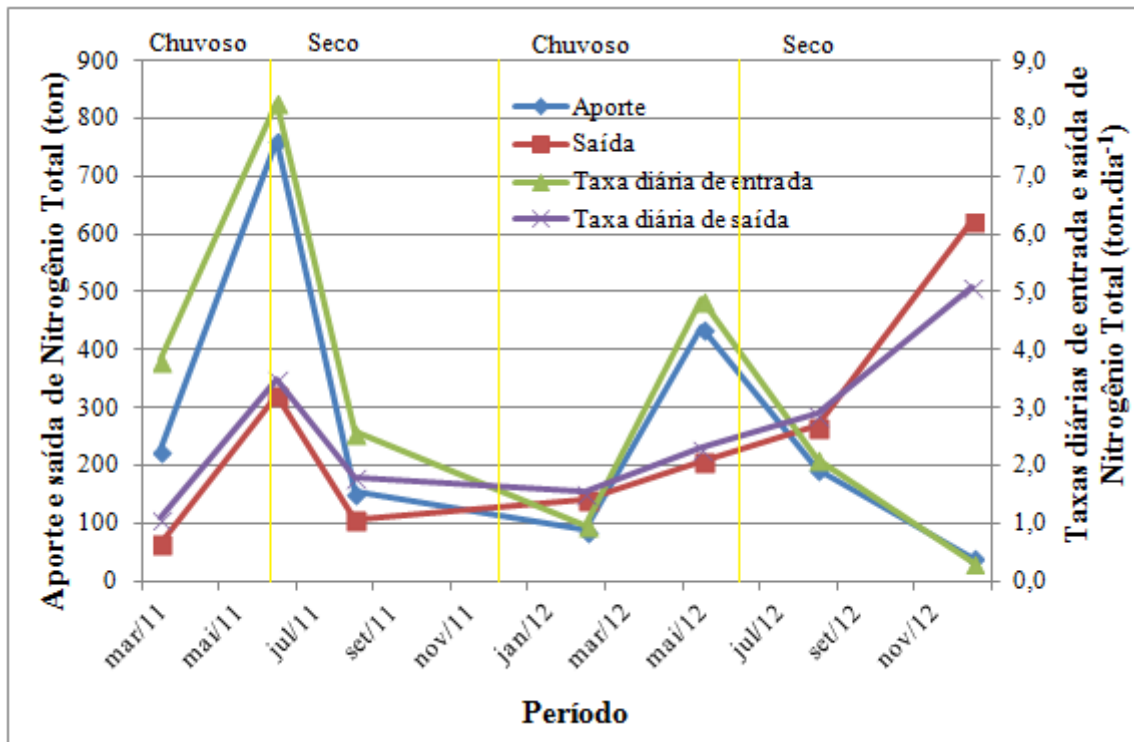
causar a precipitação do fósforo e seu armazenamento no reservatório (VIDAL; NETO, 2014).

O acúmulo crescente destes dois nutrientes no final do período de estudo aponta o potencial de eutrofização do reservatório, uma vez que os mesmos são os reguladores do processo. Destaca-se, ainda, que o fósforo é considerado o elemento limitante no desencadeamento do processo de eutrofização, uma vez que algumas espécies de algas apresentam a capacidade de fixar nitrogênio do ar atmosférico (GROEMIC; GROEMIC, 2010).

3.3.3. Aporte e saída de nutrientes

As entradas e saídas do nitrogênio, expressas em massa total ou taxa diária, estão presentes na Figura 3.8. As maiores entradas e saídas são registradas durante a estação chuvosa, período em que ocorrem as maiores descargas e, conseqüentemente, o maior aporte de sedimentos que transportam os nutrientes (VIDAL; NETO, 2014). O pico de aporte do nitrogênio (800 ton) ocorreu durante a estação chuvosa de 2011, período em que foram registradas as maiores vazões de entrada de água no açude Orós (Tabela 3.3). Já o menor aporte foi registrado no período de agosto/12 a nov/12, momento em que foi registrada a menor vazão de entrada no reservatório (Tabela 3.3). Ainda pela Figura 3.8, pode-se identificar que a partir de set/11 iniciou-se um gradativo aumento na saída de nitrogênio do reservatório, sendo que um ano depois o reservatório passou a liberar mais nitrogênio do que o que recebeu.

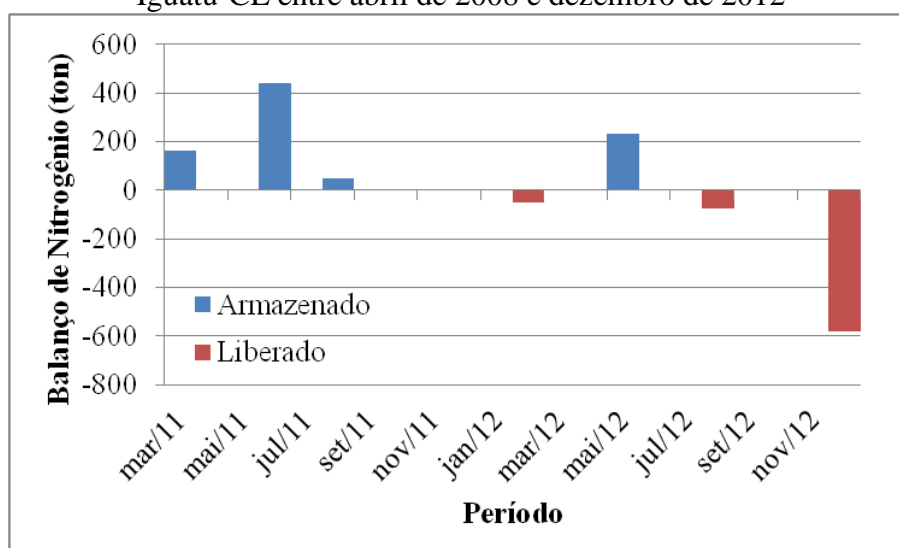
Figura 3.8 - Aporte, saída e taxas diárias do nutriente nitrogênio no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



O aumento das entradas de nutrientes no período chuvoso, quando há a diluição por conta das chuvas, está associado às atividades agrícolas às margens do reservatório (SOARES et al., 2009). De modo semelhante, em pesquisa realizada na bacia do Mississipi em Iowa, Estados Unidos, Powers (2007) comprovou que o aumento da carga de nitrogênio e fósforo no rio ocorreu devido às culturas agrícolas fronteiriças, principalmente a de milho, que também está presente nas margens do açude Orós.

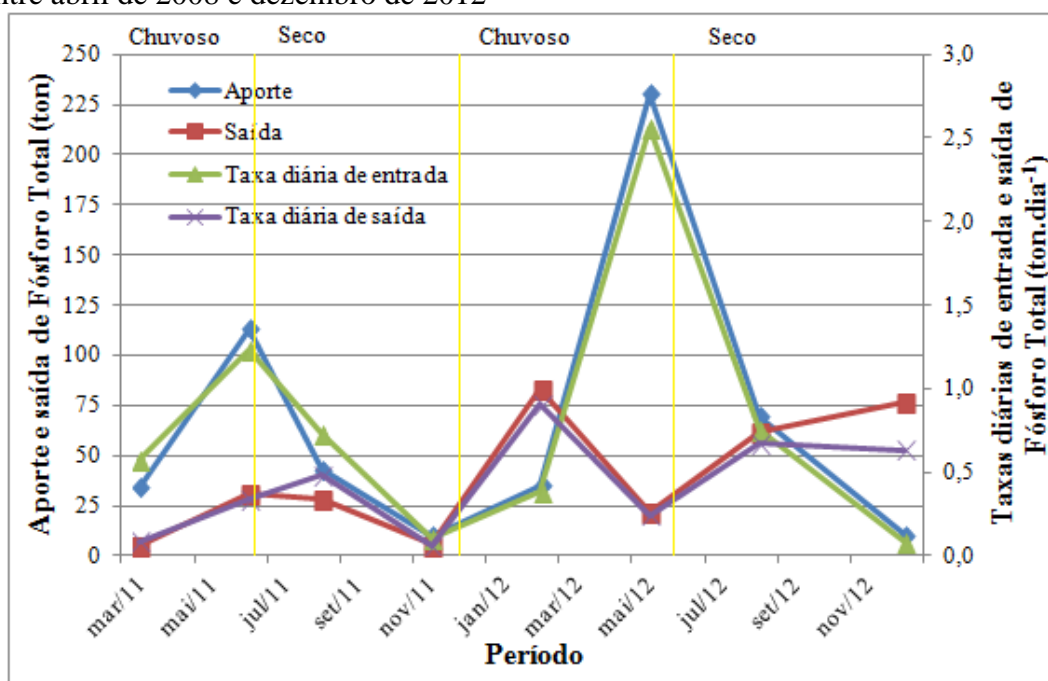
Na Figura 3.9, o balanço de nitrogênio total é demonstrado e observa-se a variação do que é armazenado ou liberado pelo reservatório, sem nenhuma tendência. Nos dois anos de estudo, entre cargas liberadas e armazenadas, foram acumuladas aproximadamente 176 toneladas de nitrogênio total.

Figura 3.9 - Aporte, saída e armazenamento do nutriente nitrogênio no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



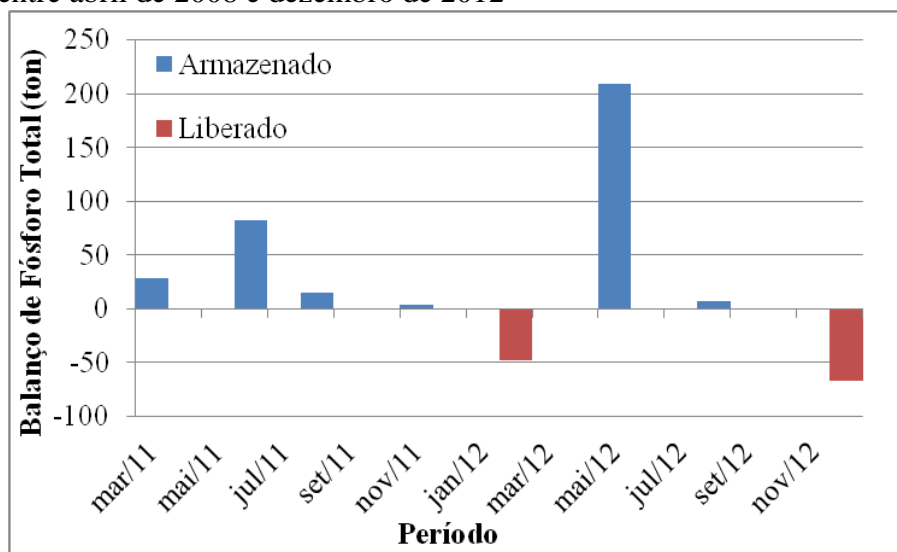
Assim como com nitrogênio, os dois picos de aporte do fósforo ocorreram durante a estação chuvosa (Figura 3.10), com maior pico em maio/12, embora a vazão de entrada para esta data não esteja entre as maiores registradas. Nos dois casos, ocorre a inversão de comportamento na última campanha de coleta, em que há maior liberação que aporte, fato ocorrido por conta do maior volume liberado segundo a rotina do reservatório.

Figura 3.10 - Aporte, saída e taxas diárias do nutriente fósforo no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



A diferença entre a quantidade de fósforo total armazenado e a quantidade liberada pelo Orós é observada na Figura 3.11. Em apenas dois momentos ocorreu saída maior que o aporte, fevereiro e dezembro de 2012, em que houve liberação do nutriente. O total acumulado nos dois anos de pesquisa foi de aproximadamente 230 toneladas. Tal número mostra que, apesar de a entrada de nitrogênio ser superior à do fósforo, a quantidade de fósforo retirada pelo reservatório é superior ao nitrogênio.

Figura 3.11. Aporte, saída e armazenamento do nutriente fósforo no reservatório Orós, Iguatu-CE entre abril de 2008 e dezembro de 2012



Analisando o balanço entre o aporte e a saída dos nutrientes estudados, observa-se que a diferença entre os mesmos é visível. O armazenamento dos nutrientes no reservatório pode ocorrer, dentre outras formas, por conta da fixação pelas macrófitas e volatilização do nitrogênio, além da sedimentação do fósforo (CHEN et al., 2013).

3.4. CONCLUSÕES

1. O reservatório Orós está retendo os nutrientes fósforo e nitrogênio, servindo como local de armazenamento dos mesmos, tendo acumulado 176 toneladas de nitrogênio e 230 toneladas de fósforo durante o período de estudo;

2. Os nutrientes possuem a mesma tendência de entrada no reservatório, por terem as mesmas origens, de áreas agrícolas e da pecuária;
3. Foi verificado o aumento do aporte de nutrientes no reservatório com o tempo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O Semiárido cearense e suas águas. In: Andrade, E. M.; Pereira, O. J.; Dantas, F. E. R. (ed.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais: Uma proposta de uso adequado do capital natural**. Fortaleza: Graphiti Gráfica e Editora Ltda., 2010, cap. 3, p.57-80
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington: Water Environment Federation, 2005. 1496p.
- ARAÚJO, F. O. **Efeitos do enriquecimento com nutrientes (N e P) em diferentes condições de luz sobre o crescimento do fitoplâncton em um reservatório eutrófico no semiárido brasileiro**. 2009. 47 f. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática) - Departamento de biologia e zoologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
- ARRAES, F.D.D. **Dinâmica do balanço de energia na bacia hidráulica do açude Orós e suas adjacências**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de engenharia agrônômica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- ARRAES, F.D.D.; ANDRADE, E.M.; SILVA, B.B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 119-127, 2012.
- BARROS, F. M.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; NEVES, J. C. L.; SILVA, D. D. Nitrogênio orgânico mineralizável em solo tratado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 146-149, 2005.

BORBOR-CORDOVA, M.J., BOYER, E.W., MCDOWELL, W.H., HALL, C.A. 2006. Nitrogen and phosphorus budgets for a tropical watershed impacted by agricultural land use: Guayas, Ecuador. **Biogeochemistry**, v. 79, p. 135-161.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, nº 03, 4 jan. 2012, p. 43.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, nº 053, 18 mar. 2005, p. 58-63.

CHEN, N.; PENG, B.; HONG, H.; TURYAHEEBWA, N.; CUI, S.; MO, X. Nutrient enrichment and N:P ratio decline in a coastal bay-river system in southeast China: The need for a dual nutrient (N and P) management strategy. **Ocean & Coastal Management**, v. 81, p. 7-13, 2013.

COGERH, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2010. **Anuário de monitoramento quantitativo dos açudes gerenciados pela COGERH**. Fortaleza: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. 124 p.

DANTAS, E. W.; MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; ARRUDA NETO, J. D. T.; CAVALCANTI, A. D. C. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. **Acta botânica brasileira**, v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008.

EKHOLM, P.; LEHTORANTA, J. Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication?. **Journal of Environmental Management**, v. 93, p. 140-146, 2012.

ESCHRIQUE, S.A. **Estudo do balance biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e**

sudeste do Brasil. 2011. 254 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica), Instituto oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ESTEVES, F.A. 2011. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 826p.

FIGUEIRÊDO, M.C.B.; TEIXEIRA, A.S.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; PAULINO, W.D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J.C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, p. 399-409, 2007.

FLEIFLE, A.; SAAVEDRA, O.; YOSHIMURA, C.; ELZEIR, M.; TAWFIK, A. Optimization of integrated water quality management for agricultural efficiency and environmental conservation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, p. 8095-8111, 2014.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Gráfico de chuvas dos postos pluviométricos**. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 10 de junho de 2014.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Redes de Monitoramento**. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 10 de janeiro de 2011.

GALVEZ-CLOUTIER, R.; SAMINATHAN, S.K.M.; BOILLOT, C.; TRIFFAUT-BOUCHET, G.; BOURGET, A.; SOUMIS-DUGAS, G. An evaluation of several in-lake restoration techniques to improve the water quality problem (eutrophication) of Saint-Augustin Lake, Quebec, Canada. **Environmental Management**, v. 49, p. 1037-1053, 2012.

GOMES, L.N.L.; OLIVEIRA, S.M.A.C.; GIANI, A.; VON SPERLING, E. Association between biotic and abiotic parameters and the occurrence of cyanobacteria in a Brazilian reservoir. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 4635-4645, 2012.

GROMIEC, M.J.; GROMIEC, T.M. Controlling of eutrophication in aquatic environments. **Journal Water and Land Development**, v. 14, p. 29–35, 2010.

HELLMAN, F.; VERMAAT, J.E. Impact of climate change on water management in Dutch peat polders. **Ecological Modelling**, v. 240, p. 74-83, 2012.

HIJO, C.A.G. 2009. **Quantificação do efeito do açude Castanhão sobre o fluxo fluvial de material particulado em suspensão e nutrientes para o estuário do rio Jaguaribe, Ceará – Brasil**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais), Instituto de ciências do mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

HONTI, M.; ISTVÁNOVICS, V.; KOVÁCS, A.S. Balancing between retention and flushing in river networks - optimizing nutrient management to improve trophic state. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 4712-4721, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe: diretrizes gerais para a ordenação territorial**. Luiz Carlos Soares Gatto (Supervisor). Salvador: IBGE, Diretoria de Geociências e 1ª Divisão de Geociências do Nordeste - DIGEO 1/NE.1, 1999. 77p.

JORDAN, P.; MELLAND, A. R.; MELLANDER, P. E.; SHORTLHE, G.; WALL, D. The seasonality of phosphorus transfers from land to water: Implications for trophic impacts and policy evaluation. **Science of the Total Environment**, v. 434, p. 101-109, 2012.

MACEDO, C. F.; CIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 26, n. 2, p. 149-163, 2010.

MOLISANI, M.M.; BECKER, H.; BARROSO, H.S.; HIJO, C.A.G.; MONTE, T.M.; VASCONCELLOS, G.H.; LACERDA, L.D. The influence of Castanhão reservoir on nutrient and suspended matter transport during rainy season in the ephemeral jaguaribe river (CE, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 73, n. 1, p. 115-123, 2013.

NORIEGA, C.E.D; ARAUJO, M. Nutrient budgets (C, N and P) and trophic dynamics of a Brazilian tropical estuary: Barra das Jangadas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 83, p. 441-456, 2011.

PAULA, F.C.F. de; LACERDA, L.D. de; MARINS, R.V.; AGUIAR, J.E.; OVALLE, A.R.C.; FALCÃO FILHO, C.A.T. Emissões naturais e antrópicas de metais e nutrientes para a bacia inferior do rio de Contas, Bahia. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 70-75, 2010.

POWERS, S.E. Nutrient Loads to Surface Water from Row Crop Production. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 6, p. 399-407, 2007.

SEITZINGER, S.P.; HARISSON, J.A.; BOHLKE, J.K.; BOUWMAN, A.F.; LOWRANCE, R.; PETERSON, B.; TOBIAS, C.; VAN DRECHT, G. Denitrification across landscapes and waterscapes: a synthesis. **Ecological Applications**, v. 16, p. 2064-2090, 2006.

SOARES, Z.M.L.; CARVALHO, M.S.B.S.; SOARES, A.M.L.; CARVALHO, G.M.B.S.; ALMEIDA, M.A.G.; SANTOS, S.M.; OLIVEIRA, F.A.J.; CHAVES, L.C.G.; FREITAS, H.C. Uso e ocupação da terra nas áreas de entorno do açude Orós com vistas ao ordenamento territorial. In: XIV **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009, p. 4417-4424.

SOUSA, M. S. R. **Nutrientes e fitoplâncton em reservatório do semiárido brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). 2013. 82 f. Departamento de Biologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VIDAL, T.F. 2011. **Balanco de macronutrientes no açude Gavião/CE – uma nova abordagem**. 2011. 184 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental). Departamento de engenharia hidráulica e ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

VIDAL, T.F.; Neto, J.C. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 402-407, 2014.

VON SPERLING, E.; FERREIRA, A.C.S.; GOMES, L.N.L. Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. **Desalination**, v. 226, p. 169-174, 2008.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

YANG, J.; YU, X.; LIU, L.; ZHANG, W.; GUO, P. Algae community and trophic state of subtropical reservoirs in southeast Fujian, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 19, p. 1432-1442, 2012.

4. Considerações Finais

Esta pesquisa se propôs a investigar a qualidade de água de um reservatório da região semiárida brasileira. Para tanto, foi utilizado um índice de qualidade de água adaptado à região e calculado o aporte, a saída e o balanço de nutrientes do reservatório.

Após a realização da pesquisa, pôde-se inferir que a qualidade das águas do reservatório Orós, consideradas qualitativamente de regular a boa, possuem grande aporte de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (investigados nesta pesquisa), de fontes antropogênicas, como áreas agrícolas e atividades de pecuária no seu entorno, além da piscicultura. Verificou-se, ainda, que o reservatório está armazenando nutrientes, possibilitando sua eutrofização.

A eutrofização causada pelo aumento da disponibilidade de nutrientes para o corpo hídrico poderia ser evitada se houvesse o manejo correto das atividades nele desenvolvidas, tanto no entorno, quanto no próprio reservatório.

5. Perspectivas futuras

Durante a pesquisa, evidenciou-se a necessidade de monitoramento constante do reservatório, tanto para atestar sua qualidade como para o desenvolvimento de políticas para preservação e mitigação de impactos ambientais.

Se possível, é necessário manter monitoramento mensal dos atributos de qualidade de água, além da utilização de um índice de qualidade como forma de facilitar o entendimento por parte de todas as parcelas da comunidade. Ainda, deve-se pesquisar a influência das atividades de piscicultura desenvolvidas no reservatório na sua eutrofização.

Também se faz necessário monitorar todas as formas dos nutrientes nitrogênio e fósforo, de modo a ter um conhecimento mais amplo do aporte e da dinâmica dos nutrientes no reservatório. Ainda, medidas de prevenção de erosão das margens e de conscientização da população que utiliza o reservatório para seus múltiplos usos também são adequadas.

ANEXO A - Declaração de Aceite do artigo Adaptação do índice de qualidade de água da *National Sanitation Foundation* ao semiárido brasileiro



DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que o artigo científico “Adaptação do índice de qualidade de água da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SP) e da National Sanitation Foundation (EUA) ao semiárido brasileiro” de autoria de **KÁSSIA CRISLAYNE DUARTE FERREIRA, FERNANDO BEZERRA LOPES, EUNICE MAIA DE ANDRADE, ANA CÉLIA MAIA MEIRELES, GERLANGE SOARES DA SILVA**, protocolo/ID 3128/13, foi aceito para publicação na REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA¹.

Fortaleza, 05 de agosto de 2014.


Prof. Alek Sandro Dutra
Editor chefe da Revista Ciência Agronômica

¹Revista indexada nas bases: AGRIS, AGRICOLA, AGROBASE, CAB Internacional, CAPES, EBSCO Publishing, ISI, LATINDEX, Redalyc, SCIELO e SCOPUS. É "B1" nas áreas de Ciências Agrárias, Interdisciplinar e Geografia.

REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA
Centro de Ciências Agrárias-CCA, Av. Mister Hull, 2.977 - CEP: 60.021-970 - Fortaleza-CE
Caixa Postal: 12.168 - Site: www.ccarevista.ufc.br
E-mail: ccarev@ufc.br - Telefone: (0**85) 3366.9702 - Fax (0**85) 3366.9417