

**QUALIDADE DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS NO SEMIÁRIDO DURANTE SECA
PROLONGADA: UMA DISCUSSÃO PARA AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Daniele Jovem da Silva Azevêdo⁽¹⁾

(1) Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). e-mail: daniele.jazevedo@gmail.com

Evaldo de Lira Azevêdo⁽²⁾

(2) Programa de Pós-Graduação em Etnobiologia e Conservação da Natureza – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). e-mail: evaldoazevedo@yahoo.com.br

Wilma Izabelly Ananias Gomes⁽³⁾

(3) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). e-mail: wilmaizabelly@hotmail.com

José Fernandes Bezerra Neto⁽⁴⁾

(4) Departamento de Biologia Geral – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). e-mail: joseneto.ufmg@gmail.com

Joseline Molozzi⁽⁵⁾

(5) Departamento de Biologia; Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). e-mail: jmolozzi@gmail.com

RESUMO

Ecosistemas de água doce estão entre os mais ameaçados do mundo, principalmente pelas atividades antrópicas sobre esses ambientes. Desse modo torna-se essencial a avaliação da qualidade hídrica. Nosso estudo teve o objetivo de avaliar a qualidade da água de reservatórios em períodos de seca prolongada. As coletas foram realizadas nos anos de 2014 (Junho, Setembro e Dezembro) e 2015 (Março), em seis reservatórios localizados na região semiárida do Brasil, Sabugí, Traíras e Cruzeta (Bacia do Rio Piranhas-Assu), e Cordeiro, Sumé e Poções (Bacia do Rio Paraíba) foram estabelecidos 141 pontos de amostragem ao longo dos 6 reservatórios na região litorânea. Com a redução do volume hídrico dos reservatórios ocorreu degradação da qualidade da água, refletido pelo aumento nas concentrações de fósforo total, nitrogênio e clorofila-a, além da redução na transparência da água. A análise da água dos reservatórios nos permite concluir que os ecossistemas estudados estão submetidos a um elevado estado de degradação, sendo o estado de trofia influenciado pela redução drástica do volume hídrico durante todo o período analisado. Este panorama deve ser considerado muito mais pelas mudanças no clima, as quais produzirão secas cada vez mais acentuadas, e que conduzirão a processos gradativos de deterioração dos corpos hídricos, sobretudo em regiões áridas e semiáridas.

PALAVRAS-CHAVE: Trofia, Qualidade de água, Stresse hídrico.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos continentais já são considerados os mais ameaçados do mundo, devido à rápida e frequente modificação do estado natural (Dodson et al., 2005). As alterações mais frequentes estão relacionadas às mudanças nos padrões hidromorfológicos da bacia, homogeneização dos canais e adição de nutrientes, o que conseqüentemente altera a qualidade da água. A qualidade da água pode ser medida através das características físicas, químicas, morfológicas e hidrológicas nos mais variados ecossistemas aquáticos (ex. lagos, rios, águas de transição, ecossistemas artificiais ou corpos de água fortemente modificados, a exemplo dos reservatórios) (Heiskanen et al., 2004). As alterações antrópicas quando relacionadas a variações periódicas do clima, podem tornar os efeitos da degradação da qualidade hídrica muito mais acentuada.

De acordo com informações do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2014), o aquecimento global está de fato ocorrendo, sendo muitas mudanças observadas desde a década de 1950, como o aumento da temperatura atmosférica e dos oceanos. Apesar disso, acredita-se que as atividades antropogênicas sejam fortes direcionadores de alterações no sistema climático, a exemplo das emissões de gases de efeito estufa. Deste modo, as projeções são de que a temperatura atmosférica sofra aumento entre 1°C e 4°C até o ano 2100. Os ecossistemas aquáticos situados em zonas áridas e semiáridas já estão frequentemente sujeitos a variações climáticas acentuadas,

principalmente devido a características peculiares na região: baixa precipitação anual (400-800 mm), altas taxas de evaporação (Sousa et al., 2008), o que torna a rede hidrográfica predominantemente composta por rios e riachos intermitentes. O semiárido brasileiro é marcado pelo grande número de reservatórios que permitem a retenção da água para provimento de necessidades das populações humanas durante a seca, além do desenvolvimento de atividades de irrigação, piscicultura, industriais e lazer. Apesar dos inúmeros benefícios, econômicos e sociais, promovidos pela construção de reservatórios, as atividades desenvolvidas, em muitos casos, não planejadas e alinhadas aos arredores desses sistemas e associadas aos eventos de seca prolongada na região, promovem efeitos sinérgicos que favorecem o processo de eutrofização artificial, com conseqüente perda da qualidade da água.

OBJETIVO

Diante do contexto, o principal objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade da água de reservatórios no semiárido durante período de seca prolongada.

METODOLOGIA

Área de Estudo e Design Amostral

Este estudo foi realizado nas bacias hidrográficas do Rio Piranhas-Assu (Estado da Paraíba e Rio Grande do Norte) e do Rio Paraíba (Paraíba), onde em cada Bacia Hidrográfica foram selecionados 3 reservatórios (Tabela 1). Na Bacia do Rio Piranhas-Assu selecionamos 66 pontos de amostragem, distribuídos entre os reservatórios Sabugí (São João do Sabugí), Passagem das Traíras (Jardim do Seridó) e Cruzeta (Cruzeta). Na Bacia do Rio Paraíba foram selecionados 75 pontos de amostragem localizados entre os reservatórios Cordeiro (Congo), Sumé (Sumé) e Poções (Monteiro). Todos os locais de amostragens foram escolhidos *a priori* com base na paisagem, englobando características locais baseadas na presença de influência antrópica (presença de residências, agricultura e áreas de pastagens) e a integridade das margens pela presença de vegetação nativa. As coletas foram realizadas entre os anos de 2014 (Junho, Setembro e Dezembro) e 2015 (Março), todas no compartimento litorâneo dos reservatórios, devido ao fato de ser a região onde se verifica maior influência da bacia de drenagem na entrada de material alóctone que favoreça o enriquecimento de nutriente no corpo aquático.

Descritores Ambientais

I) Hidrológicos

Dados e informações hidrometeorológicas e de cota/volume foram obtidos junto a Gerência Executiva de Monitoramento e Hidrometria da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba/SECTMA (AES/A) e do Secretária do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH).

II) Variáveis Físicas e Químicas da Água

Em cada ponto de amostragem a transparência da água foi avaliada com base no desaparecimento do disco de Secchi. Além disso, um litro de água foi coletado, com auxílio da garrafa de van Dorn, para determinação dos teores de nitrogênio total, fósforo total de acordo com “Standart Methods for the Examination of Water and Wasterwater” (American Public Health Agency, 2005). Para a análise da concentração de clorofila-a na coluna d’água as amostras foram filtradas em um volume de 250 ml, sendo posteriormente realizada maceração dos filtros (Millipore AP45) e extração em acetona fria 90%, conforme método descrito por Lorenzen (1967).

III) Índice de Estado Trófico

A classificação trófica foi obtida a partir da aplicação do índice de estado trófico proposto por Carlson (1977), modificado por Toledo et al. (1983). Onde: $I < 44$ = oligotrófico; $44 < I < 54$ = mesotrófico e $I > 54$ = eutrófico.

Análise de Dados

Para avaliar as diferenças dos descritores ambientais entre os reservatórios, períodos de coleta e bacias hidrográficas foi realizada “Permutational Multivariate Analysis of Variance” (PERMANOVA), com 9999 permutações e nível de significância escolhido a priori de $\alpha \leq 0,05$. Os dados ambientais foram previamente transformados em $\log_{(x+1)}$ e posteriormente normalizados. Para analisar a distribuição dos condicionantes físicos e químicos da água entre os reservatórios e períodos de amostragem, foram construídos gráficos de Box Plots, considerando a média e desvio padrão dos condicionantes. Analisamos também a tendência de flutuação da condição trófica dos reservatórios ao longo do período de redução do volume hídrico.

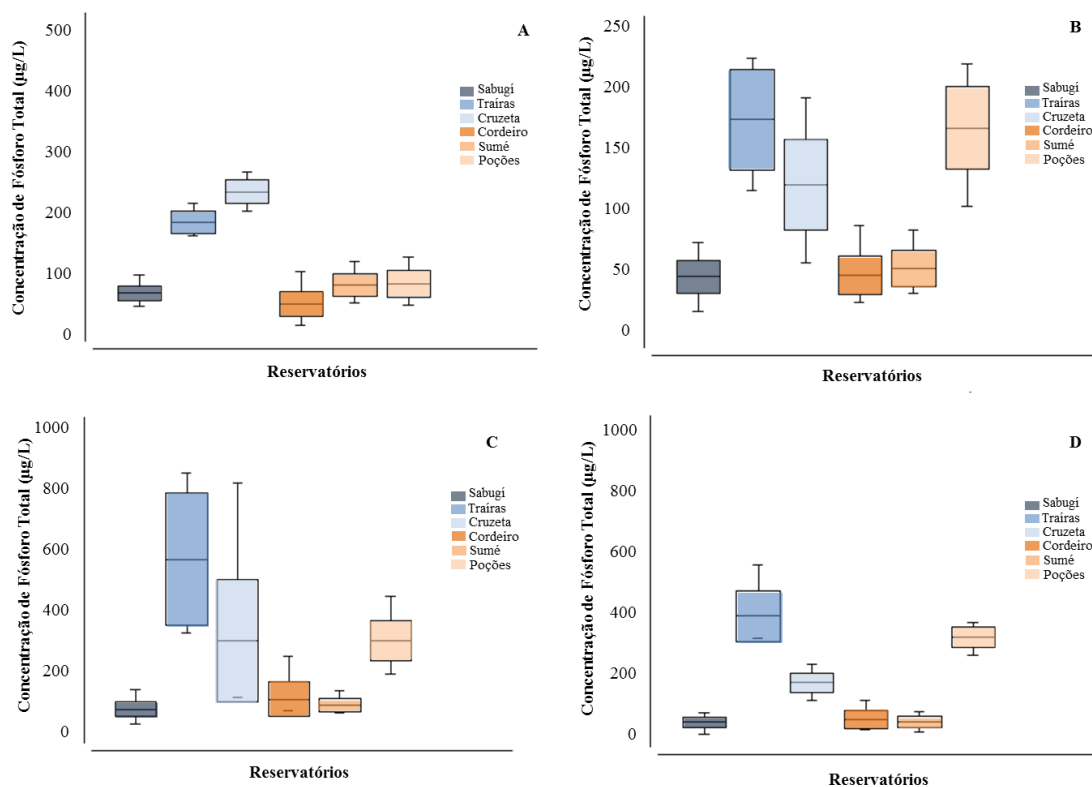
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diferenças significativas entre as variáveis ambientais analisadas (fósforo total, nitrogênio total, clorofila-*a* e transparência da água) ocorreram tanto para os reservatórios (PERMANOVA: Pseudo- $F_{(5,477)} = 20,46$; $p = 0,0001$), quanto para os períodos (PERMANOVA: Pseudo- $F_{(3,477)} = 26,53$; $p = 0,0001$) e bacias hidrográficas (PERMANOVA: Pseudo- $F_{(1,477)} = 13,92$; $p = 0,0001$).

Em Junho de 2014, na bacia do rio Piranhas-Assú as maiores concentrações de fósforo total ocorreram nos reservatórios Cruzeta e Traíras e na Bacia do rio Paraíba Sumé e Poções. Em Setembro maiores concentrações de fósforo total ocorreram nos reservatórios Poções, Traíras e Cruzeta. Em Dezembro as maiores concentrações foram observadas nos reservatórios Traíras, Poções e Cruzeta. No período de Março de 2015 as maiores concentrações foram registradas no reservatório Traíras e Poções (Tabela 1, Figura 1A-D).

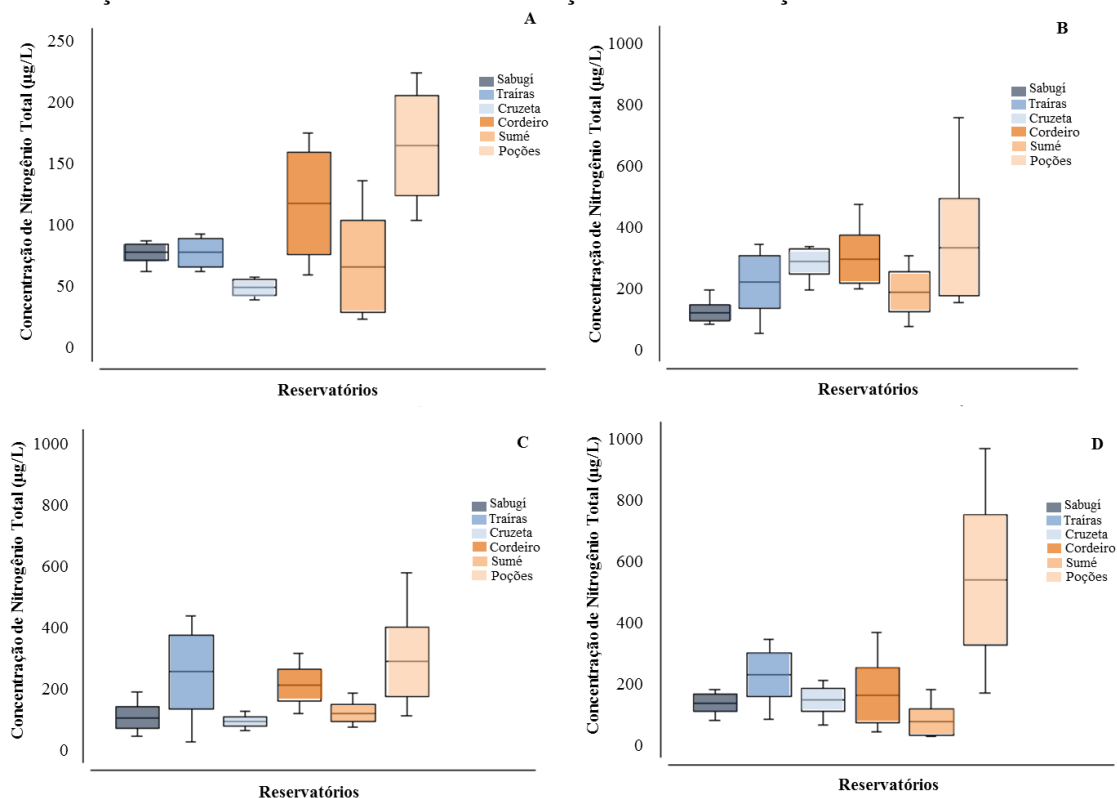
Em relação ao Nitrogênio total, em Junho as maiores concentrações foram observadas nos reservatórios de Poções, Cordeiro e Traíras. Em Setembro as concentrações de nitrogênio dobraram, sendo as maiores registradas em Poções, Cordeiro e Cruzeta. Em Dezembro, a concentração de nitrogênio foi semelhante à média anterior, sendo as maiores concentrações em Poções, Cordeiro e Traíras. Em Março de 2015 as maiores concentrações ocorreram nos reservatórios Poções, Traíras e Cordeiro (Tabela 1, Figura 2A-D).

Figura 1. Médias e desvios-padrão das concentrações de Fósforo total (PT) nos reservatórios da Bacia do Rio Piranhas-Assu e Rio Paraíba. Sendo A = concentração de PT em Junho; B = concentração de PT em Setembro; C = concentração de PT em Dezembro e D = concentração de PT em Março.



O fósforo total é um importante indicador do processo de eutrofização dos corpos aquáticos, sendo sua razão com as concentrações de nitrogênio determinantes para o crescimento algal e para as florações de cianobactérias. Apesar das concentrações de fósforo total terem reduzido durante o período de menor volume hídrico (Março) observamos que houve uma inversão na concentração de nutrientes, onde, neste mesmo período, o Nitrogênio total foi o nutriente de maior concentração na coluna d'água. Este nutriente representa o nitrogênio orgânico disponível e o nitrogênio amoniacal, podendo o aumento deste ser associado ao *input* de material orgânico rico em nitrogênio, advindo principalmente de fontes relacionados a compostos nitrogenados utilizados na agricultura. Em reservatórios, quando o volume hídrico reduz, frequentemente a ocupação com plantações agrícolas ou pastagens é verificada junto a zona de inundação para fins de otimização no processo de irrigação, o que favorece o enriquecimento de nutrientes nesses ecossistemas.

Figura 2. Médias e desvios-padrão das concentrações de Nitrogênio total (NT) nos reservatórios da Bacia do Rio Piranhas-Assu e Rio Paraíba. Sendo A = concentração de NT em Junho; B = concentração de NT em Setembro; C = concentração de NT em Dezembro e D = concentração de NT em Março.



Semelhantemente observamos em nosso conjunto de dados que as concentrações de Clorofila-*a* respondem ao mesmo padrão descrito para os nutrientes. Maiores concentrações de Clorofila-*a* em Junho ocorreram nos reservatórios de Poções e Traíras. De forma geral, as concentrações de Clorofila reduziram em Setembro, contudo os reservatórios Traíras e Poções apresentaram maiores concentrações em relação ao período anterior, assim como para as concentrações de fósforo. Em Dezembro as maiores concentrações de Clorofila-*a* ocorreram nos reservatórios Traíras, Poções e Cruzeta. Em Março as maiores concentrações ocorreram novamente em Traíras, Cruzeta e Poções (Tabela 1, Figura 3A-D).

Tendência semelhante foi observada quando analisamos a variação na transparência da água, onde os reservatórios com maior concentração de clorofila foram também os que estiveram associados aos menores valores de transparência da água. Em Junho os menores valores de transparência da água ocorreram nos reservatórios Traíras, Cruzeta e Poções. Em Setembro os menores valores de transparência da água ocorreram no reservatório Poções, Traíras e Sumé. Em Dezembro, de forma geral, os reservatórios apresentaram baixa transparência da água, sendo que transparências mais baixas ocorreram nos reservatórios Traíras e Poções. Em Março ocorreu redução da transparência em todos os reservatórios, sendo que os menores valores foram registrados nos reservatórios Traíras, Poções e Cruzeta (Tabela 1, Figura 4A-D). A associação entre as concentrações de clorofila-*a* e a transparência da água são frequentemente associadas devido à relação linear que estes parâmetros apresentam, sendo as concentrações de clorofila indicado como um fator de verificação no nível de produção primária. Corpos de água eutróficos frequentemente apresentam alta taxa de produção primária, refletidos pela concentração de clorofila-*a*, o que também está associado ao alto percentual de material orgânico suspenso (células fitoplanctônicas) que impedem a penetração de luz na coluna com maior coeficiente de atenuação (menor transparência). O declínio nas concentrações de clorofila, mesmo com a redução no volume hídrico dos reservatórios, podem ser associados com a redução nas concentrações de fósforo, fator que limita o crescimento fitoplanctônico, ou até com o estágio de senescência da comunidade em que os fitopigmentos diminuem e há aumento dos produtos de degradação celular (feopigmentos e carotenoides).

Figura 3. Médias e desvios-padrão das concentrações de Clorofila-a (Clo-a) nos reservatórios da Bacia do Rio Piranhas-Assu e Rio Paraíba. Sendo A = concentração de Clo-a em Junho; B = concentração de Clo-a em Setembro; C = concentração de Clo-a em Dezembro e D = concentração de Clo-a em Março.

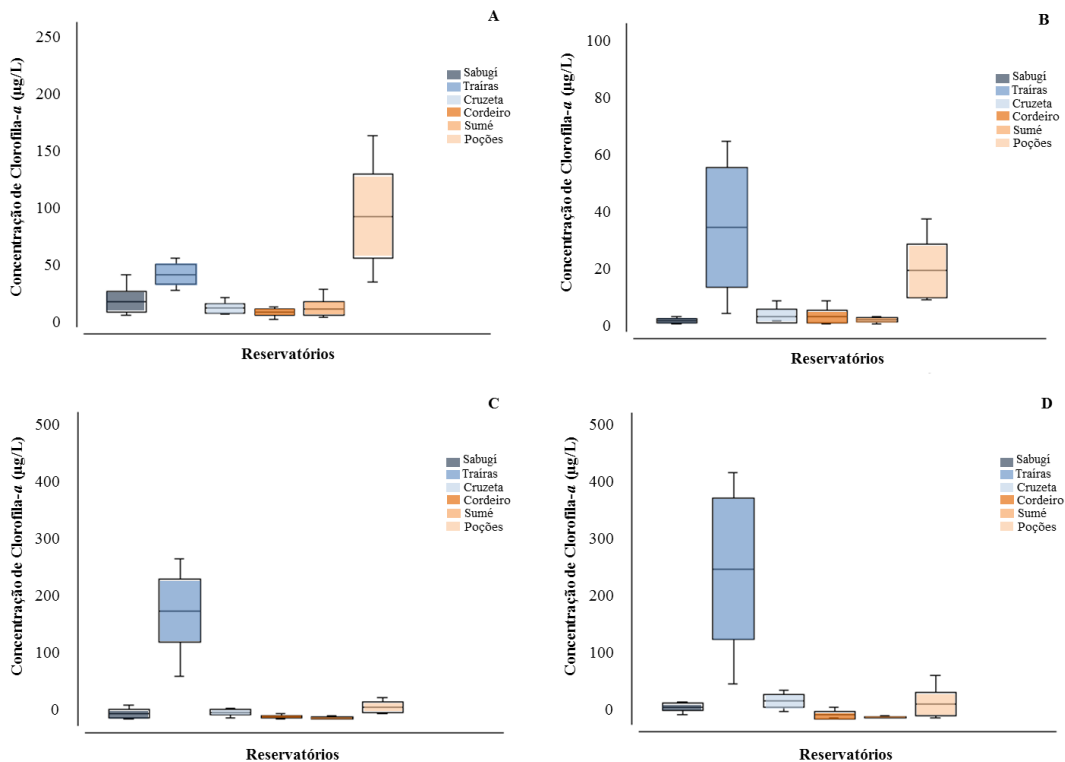


Figura 4. Médias e desvios-padrão da transparência da água nos reservatórios da Bacia do Rio Piranhas-Assu e Rio Paraíba. Sendo A = transparência em Junho; B = transparência em Setembro; C = transparência em Dezembro e D = transparência em Março.

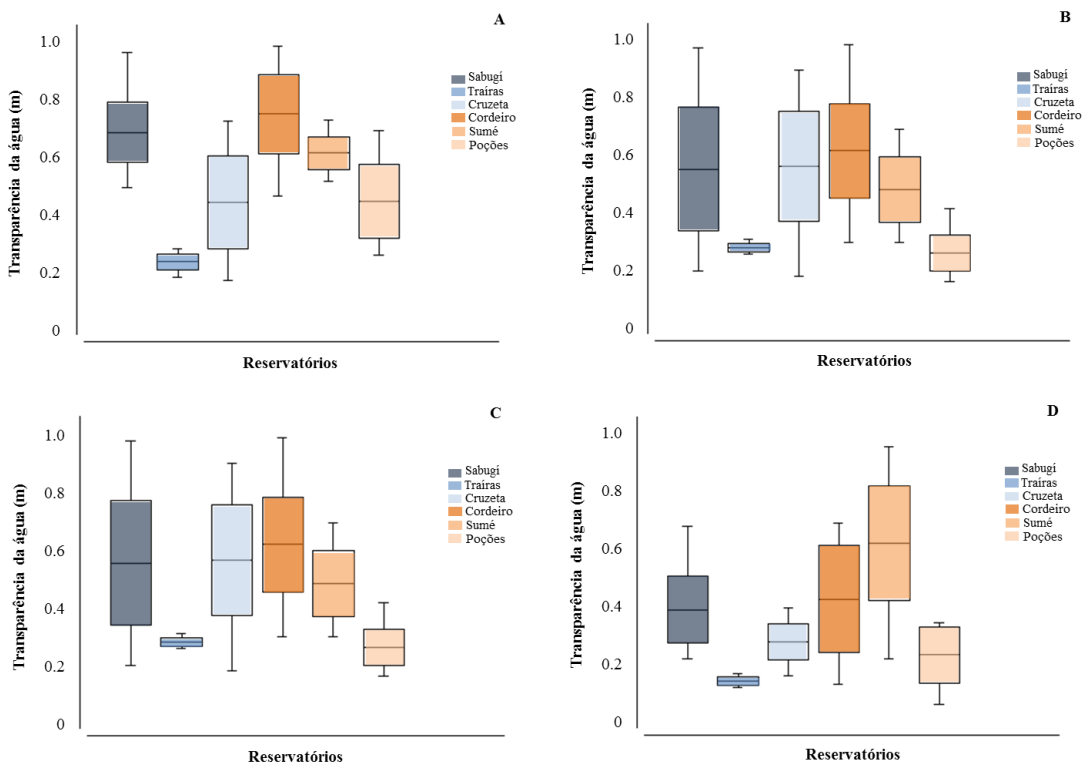


Tabela 1: Variáveis ambientais analisadas nos reservatórios na bacia do rio Piranhas-Assu (Sabugí, P. Traíras e Cruzeta) e bacia do rio Paraíba (Cordeiro, Sumé e Poções) durante os períodos de Junhos, Setembro e Dezembro de 2014 e Março de 2015.

Variáveis Ambientais/ Reservatórios	Junho					
	Sabugí	P. Traíras	Cruzeta	Cordeiro	Sumé	Poções
Fósforo total (µg/L)	68,85±12,68	187,25±18,72	321,11±41,45	61,74±22,68	129,04±94,06	83,87±22,71
Nitrogênio total (µg/L)	85,70±7,76	118,51±57,19	57,62±8,06	124,73±42,05	72,36±37,92	172,36±41,22
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	16,74±9,65	41,34±8,87	10,89±4,24	8,31±4,53	10,59±6,36	108,91±63,69
Transparência da água (m)	0,68±1,12	0,25±0,05	0,44±0,16	0,76±0,15	0,61±0,07	0,45±0,13
Índice de Estado trófico	52,60±3,64	63,78±4,49	74,29±1,80	51,84±8,33	61,93±6,42	62,14±6,28
	Setembro					
Fósforo total (µg/L)	53,12±13,62	209,5±91,43	129,03±37,58	53,19±25,39	79,26±103,79	256,04±307,62
Nitrogênio total (µg/L)	134,37±27,57	274,38±144,3	294,09±57,33	311,01±78,66	203,77±65,13	347,63±162,51
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	1,99±1,29	34,78±21,43	5,64±7,16	5,98±14,18	2,50±1,62	21,68±13,17
Transparência da água (m)	0,56±0,21	0,3±0,10	0,56±0,19	0,62±0,16	0,48±0,11	0,25±0,06
Índice de Estado trófico	44,02±5,07	64,73±5,81	58,96±5,20	48,4±27,90	50,58±4,97	62,81±3,80
	Dezembro					
Fósforo total (µg/L)	255,24±305,95	656,88±282,26	400,44±296,72	124,75±58,76	137,50±93,95	416,82±279,62
Nitrogênio total (µg/L)	124,86±35,77	276,82±121,76	109,03±21,60	232,93±51,76	139,45±27,97	310,30±113,47
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	8,71±7,27	189,61±55,14	12,62±6,56	7,58±16,46	2,22±1,62	22,99±13,01
Transparência da água (m)	0,39±0,12	0,25±0,04	0,43±0,14	0,36±0,14	0,47±0,10	0,25±0,03
Índice de Estado trófico	65,37±9,13	84,99±6,18	70,09±10,33	57,73±8,22	58,82±3,91	71,60±5,86
	Março					
Fósforo total (µg/L)	70,70±44,80	411,83±84,42	174,31±53,64	87,10±61,50	88,93±78,11	481±347,70
Nitrogênio total (µg/L)	162,67±40,22	246,42±71,90	164,89±36,77	221,11±184,18	160,76±243,57	560±214,15
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	18,84±6,55	263,05±124,96	29,53±11,30	4,64±5,73	3,90±8,02	24,58±20,81
Transparência da água (m)	0,40±0,11	0,13±0,02	0,30±0,09	0,42±0,18	0,63±0,20	0,22±0,11
Índice de Estado trófico	50,73±4,77	69,92±6,80	60,68±6,31	54,20±9,21	45,82±11,25	78,20±2,74

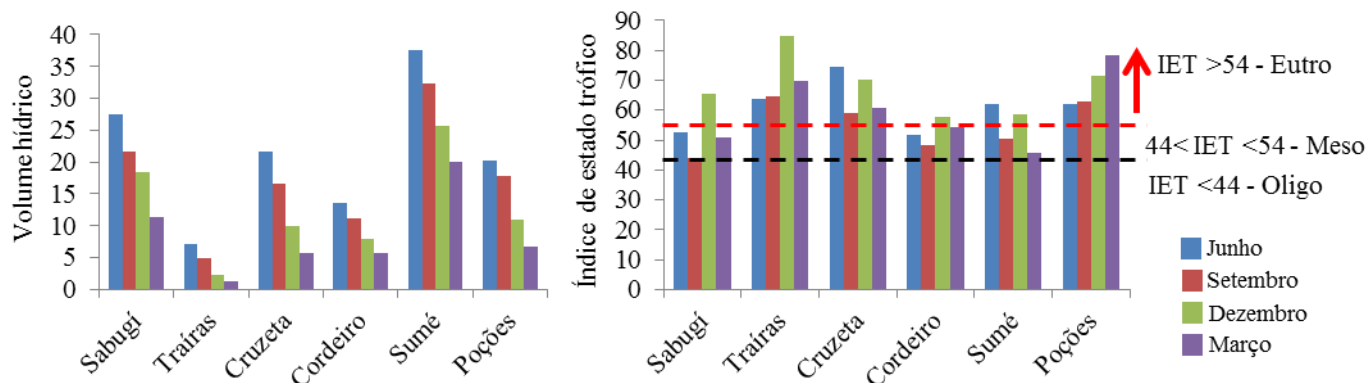
Analisando os resultados do índice de estado trófico dos reservatórios durante o período estudado verificamos que em Junho os reservatórios Sabugí e Cordeiro foram classificados com mesotróficos e os demais foram classificados com eutróficos (Cruzeta, Sumé e Poções). Em Setembro o reservatório Sabugí foi classificado como oligotrófico, enquanto Cordeiro e Sumé como mesotróficos, e Traíras, Poções e Cruzeta como eutróficos. Nosso conjunto de dados mostra que em Dezembro, ocorreu aumento da trofia em todos os reservatórios, assim todos foram classificados como eutróficos, Sabugí, Traíras, Cruzeta, Cordeiro, Sumé e Poções. Em Março alguns reservatórios foram classificados como mesotróficos, como Sumé, Sabugí, e os demais eutróficos, Cordeiro, Cruzeta, Traíras e Poções (Tabela 1), corroborando com a redução na concentração de fósforo para este último mês. O volume dos reservatórios reduziu drasticamente durante os quatro meses analisados. Contudo, os menores volumes hídricos foram registrados no reservatório Traíras (1,3%), Cruzeta (5,65%), Cordeiro (5,8%) e Poções (6,7%) (Figura 5). Nosso conjunto de dados mostra que a redução no volume hídrico foi acompanhada do aumento na concentração de fósforo e clorofila, assim como redução da transparência, o que conduz a uma condição eutrófica nesses corpos aquáticos (como pode ser observado na Figura 5) e consequentemente reduz a qualidade da água. Esse panorama é preocupante quando consideramos as mudanças climáticas e previsões do IPCC, pois o aumento da temperatura trará consequências para o regime pluviométrico nas regiões, sobretudo áridas e semiáridas, assim como aumento nas taxas de evaporação e residência da água, ocasionando a deterioração da qualidade hídrica.

CONCLUSÃO

A análise da água dos reservatórios frente a um período prolongado de estiagem nos permite concluir que os reservatórios estudados estão submetidos a um elevado estado de degradação da qualidade da água, sendo o estado de trofia influenciado pela redução drástica do volume hídrico durante todo o período analisado. Desse modo, políticas efetivas de gestão de recursos hídricos devem ser implementadas como forma preventiva da manutenção da qualidade da água como uma questão associada à saúde pública. Este panorama preventivo deve ser considerado muito mais pelas

mudanças no clima, as quais produzirão efeitos acentuados que conduzirão a processos gradativos de deterioração dos corpos hídricos, sobretudo em regiões áridas e semiáridas.

Figura 5. Variação temporal do volume hídrico e estado trófico dos reservatórios estudados para os períodos amostrais, Junho, Setembro e Dezembro de 2014 e Março 2015. Onde: IET = Índice de estado trófico; Eutro = eutrófico; Meso = mesotrófico e Oligo = oligotrófico.



REFERÊNCIAS

- APHA, Awwa. WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21: 258-259, 2005.
- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/>>. Acesso em 12 Mai. 2016.
- CARLSON, Robert E. A trophic state index for lakes. *Limnology and oceanography*, 22.2: 361-369. 1977.
- DODSON, S.I.; LILLIE, R.A. and WILL-WOLF, S. Land use, water chemistry, aquatic vegetation, and zooplankton community structure of shallow lakes. *Ecological Applications*, v. 15. p. 1191-1198, 2005.
- HEISKANEN, A. S., VAN DE BUND, W., CARDOSO, A. C., and NOGES, P. Towards good ecological status of surface waters in Europe- Interpretation and harmonisation of the concept. *Water Science & Technology*, vol. 49, n. 7, p.169-177, 2004.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. Disponível em <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em 12 Mai. 2016.
- LORENZEN, CARL J. "Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations." *Limnology and oceanography*. 12: 343-346. 1967.
- SOUSA, W., ATTAYDE, J. L., ROCHA, E. D. S., and ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil. *Journal of Plankton Research*, vol. 30, n. 6, p. 699-708, 2008.
- Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). Disponível em: www.semarh.rn.gov.br/. Acesso em 12 Mai. 2016.
- TOLEDO, Alcibiades Pacheco de, et al. Aplicação de modelos simplificados para avaliação do processo da eutrofização em lagos reservatórios tropicais. In: *Trabalhos apresentados ao 12 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. CETESB, p. 1-34. 1983.