

Qualidade da água em um sistema de reservatórios em cascata – um estudo de caso no semiárido brasileiro

Water quality in a cascade reservoir system – a case study in the Brazilian semiarid region

Josefa Marciana Barbosa de França^{1,2*} , Samíria Maria Oliveira da Silva¹ , Cláudio Maurício Gesteira Monteiro² , Walt Disney Paulino² , José Capelo Neto¹ 

RESUMO

A escassez hídrica e o aumento da demanda de água para usos múltiplos incentivaram a construção de diversos reservatórios e sistemas de transferências hídricas entre bacias hidrográficas em diversas partes do mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Apesar de essas medidas mitigarem os aspectos quantitativos do abastecimento, a diminuição da qualidade da água disponível pode se tornar uma limitação importante. Este estudo teve por objetivo avaliar a qualidade da água no sistema de transferência que abastece a Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. Foram analisados 20 parâmetros de qualidade de água ao longo do sistema. Aplicou-se em seguida a análise de agrupamento utilizando a distância euclidiana associada ao método de ligação de Ward para agrupar os 13 pontos de coleta que foram estabelecidos conforme suas similaridades. A piora da qualidade da água ficou evidente ao longo do sistema, com o aumento da concentração de cianobactérias, pH, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, turbidez e clorofila-a. Com relação às cianobactérias, duas espécies mostraram-se dominantes – *Oscillatoria* sp. e *Microcystis* sp. – e sete abundantes – *Merismopedia* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Pseudanabaena* sp., *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp., *Aphanocapsa* sp. e *Dolichospermum* sp. A presença de cianobactérias potencialmente tóxicas e a piora da qualidade da água tornam a realização de monitoramentos frequentes e o desenvolvimento de sistemas de alerta essenciais para a adequada gestão dos recursos hídricos, tanto do ponto de vista ambiental quanto do de saúde pública.

Palavras-chaves: eutrofização; transferência de água; cianobactérias; abastecimento público.

ABSTRACT

Water scarcity and increasing water demand for multiple uses encourage the construction of reservoirs and water transfer systems between watersheds in various parts of the world, especially in arid and semi-arid regions. Although these measures may mitigate the quantitative aspects of water supply, the quality decrease of the available water may become an important limitation. This study aimed to evaluate the water quality in the water transfer system that supplies the metropolitan region of Fortaleza, Ceará. Twenty water quality parameters were analyzed throughout the system followed by the application of the Euclidean distance and Ward's method to group the 13 sampling points according to their similarities. The worsening of the water quality was evident with increasing cyanobacterial concentration, pH, total nitrogen, dissolved oxygen, turbidity, and chlorophyll-a. Regarding cyanobacteria, two species were dominant: *Oscillatoria* sp. and *Microcystis* sp. while seven were abundant: *Merismopedia* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Pseudanabaena* sp., *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp., *Aphanocapsa* sp. e *Dolichospermum* sp. The presence of potentially toxic cyanobacteria and the worsening of water quality make frequent monitoring and the development of alert systems essential for the management of water resources, both from an environmental and public health point of view.

Keywords: eutrophication; water transfer; cyanobacteria, public water supply.

¹Universidade Federal do Ceará – Fortaleza (CE), Brasil.

²Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - Fortaleza (CE), Brasil.

*Autor correspondente: marciana.fran@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 16/03/2020 – Aceito: 23/02/2021 – Reg. ABES: 20200328

INTRODUÇÃO

Reservatórios ou represas artificiais são lagos construídos pelo homem, normalmente por meio do barramento de um rio. Os reservatórios artificiais localizados em sequência, ao longo do mesmo rio ou não, possuem processos físico-químicos e ecológicos interligados, sendo a qualidade da água, a estrutura e a composição do fitoplâncton influenciadas pela morfologia, tamanho, idade, presença de tributários, atividades humanas e procedimentos de operação do sistema rio-reservatório (FANG *et al.*, 2011). Reservatórios em cascata podem causar mudanças significativas na qualidade da água de um rio, impactando suas características físicas, químicas e biológicas e o funcionamento dos reservatórios a jusante (BARBOSA *et al.*, 1999).

Os reservatórios artificiais de grande porte são, geralmente, sistemas compartimentados e com elevada complexidade espacial (altimetria, área, volume) e temporal (tempo de residência) (NOGUEIRA *et al.*, 2010). Grande parte de sua variabilidade ocorre ao longo do seu eixo principal e é influenciada: pelos gradientes longitudinais de velocidade da água, pelo tempo de retenção, pela profundidade e largura, pela transparência e penetração de luz e por possíveis estratificações térmicas ocorridas no plano vertical graças ao gradiente de aquecimento da coluna d'água (BARBOSA *et al.*, 1999). Os reservatórios artificiais podem ser divididos em zonas fluvial, de transição e lacustre, que são unidades dinâmicas do ponto de vista espacial e temporal, podendo variar em função dos aportes da bacia hidráulica, das características da água de entrada e da operação do sistema de saída.

Com relação à dinâmica do rio represado, o reservatório tem potencial de influenciar na qualidade da água não só no reservatório, mas também a montante e a jusante dele. Vários fatores contribuem para essa alteração: a dinâmica de erosão e deposição de sedimentos e decomposição da biomassa submersa, que causa desoxigenação da água e aumenta a concentração de nutrientes e a acidez da água; tempo de retenção da água e evaporação; acúmulo de nutrientes e sais; e aumento da turbidez e da temperatura da água (GAETA *et al.*, 2014; SHARMA, 2015). Além disso, tanto a abundância quanto a diversidade da comunidade planctônica variam significativamente em ambientes represados, já que as barragens promovem uma descontinuidade de fluxo, induzindo mudanças consideráveis na organização das comunidades ao longo do gradiente longitudinal (GUMIERO *et al.*, 1998).

Para Wang *et al.* (2016), os sistemas de transferência de água e de reservatórios em cascata geram efeitos complexos nas condições hidrológicas, na qualidade da água e na estrutura ecológica aquática, em consequência da variação do tempo de residência e da recirculação de nutrientes. As novas conexões de tempo-espaço advindas desses sistemas revelam a necessidade de se repensar a gestão de recursos hídricos, uma vez que os impactos em nível local não são mais determinados apenas por fatores locais e podem ser também influenciados pelo uso e ocupação de bacias hidrográficas distantes (SILVA *et al.*, 2017).

No Brasil, destacam-se projetos relevantes de transferência de água entre bacias hidrográficas com reservatórios em cascata, tais como: o sistema Paraíba do Sul/ Guandu/ Região Metropolitana do Rio de Janeiro; a Bacia do Piracicaba/ Região Metropolitana de São Paulo; a Bacia do Alto Tietê e a reversão para a Baixada Santista; os eixos de integração hídrica no estado do Ceará; a transposição do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Dessa forma, a utilização cada vez mais frequente dessas infraestruturas revela a importância de se avaliar a dinâmica da qualidade da água como ferramenta de tomada de decisão pelos órgãos de gestão dos recursos hídricos, no intuito de monitorar o aporte de nutrientes e a qualidade da água ao longo desses sistemas. Apesar

da grande importância desse tópico, estudos detalhados da influência de reservatórios em cascata sobre a biota aquática e os fatores limnológicos ainda são escassos no Brasil (NOGUEIRA *et al.*, 2010).

Um dos grandes problemas nas águas superficiais tem sido a presença das cianobactérias (Cian), que são um grupo importante de organismos em termos de abundância no planeta em virtude, principalmente, do seu modo de vida fotoautotrófico, que garante sua presença em diversos ambientes (PADE *et al.*, 2015). Embora tenham o papel extremamente relevante de produzir de 30 a 40% do total de oxigênio atmosférico na biosfera, esses organismos podem causar alguns efeitos nocivos nos ecossistemas aquáticos, como o fenômeno conhecido por floração ou *bloom*, o qual inibe o desenvolvimento de vários organismos, limita o acesso à luz e libera metabólitos prejudiciais no meio aquático (CEPOI, 2019). Alguns táxons de Cian produzem metabólitos secundários tóxicos, como microcistinas, cilindrospermopsinas e saxitoxinas, enquanto outros produzem compostos de sabor e odor, como a geosmina e o 2-metilisoborneol (MIB), que mesmo não causando efeitos negativos à saúde humana atribuem características organolépticas desagradáveis à água potável e aos produtos da aquicultura (OLSEN *et al.*, 2016).

Ressalta-se que estudos realizados nesse tema, até o momento, referenciam majoritariamente os reservatórios artificiais dos sistemas integrados e desconsideram as variáveis qualitativas e quantitativas nos trechos principais dos rios e canais. Adicionalmente, apenas alguns esforços foram realizados para determinar como seu funcionamento afeta a estrutura ecológica dos rios que foram barrados (BARBOSA *et al.*, 1999; JORCIN *et al.*, 2005; NALIATO *et al.*, 2009).

Assim, o presente artigo teve como objetivo avaliar a variação da qualidade da água, especialmente a concentração e a classificação de Cian, em reservatórios artificiais, canais, rios, túneis e adutoras componentes do sistema de transferência de água em cascata da Região Metropolitana de Fortaleza (SCRMF), Ceará. Dadas as observações oriundas do monitoramento realizado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) ao longo dos anos, foi avaliada a hipótese de que a qualidade da água tenda a degradar-se ao longo do sistema em cascata.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi realizado no SCRME, que é composto de seis reservatórios localizados em distintas bacias hidrográficas (BH), conforme a divisão das macrorregiões de planejamento da política estadual de recursos hídricos do Ceará (Figura 1), em cujas áreas de reservatórios estão inseridos:

- BH Médio Jaguaribe – reservatório Castanhão;
 - BH Banabuiú – reservatório Curral Velho;
 - BH Metropolitana – reservatórios: Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião.
- Importante destacar que essa divisão de bacia hidrográfica é política, não havendo uma única bacia física com o nome Metropolitana.

O sistema em estudo atende a diversas demandas, incluindo o abastecimento do município de Fortaleza, com 2.452.185 de habitantes (IBGE, 2010), de polos industriais (Pecém, Maracanaú e Eusébio) e dos municípios adjacentes, como Caucaia, Guaiúba, Maranguape, Pacatuba, Chorozinho, Horizonte, Pacajus, Aquiraz, Itaitinga, São Gonçalo do Amarante. Um aspecto relevante a

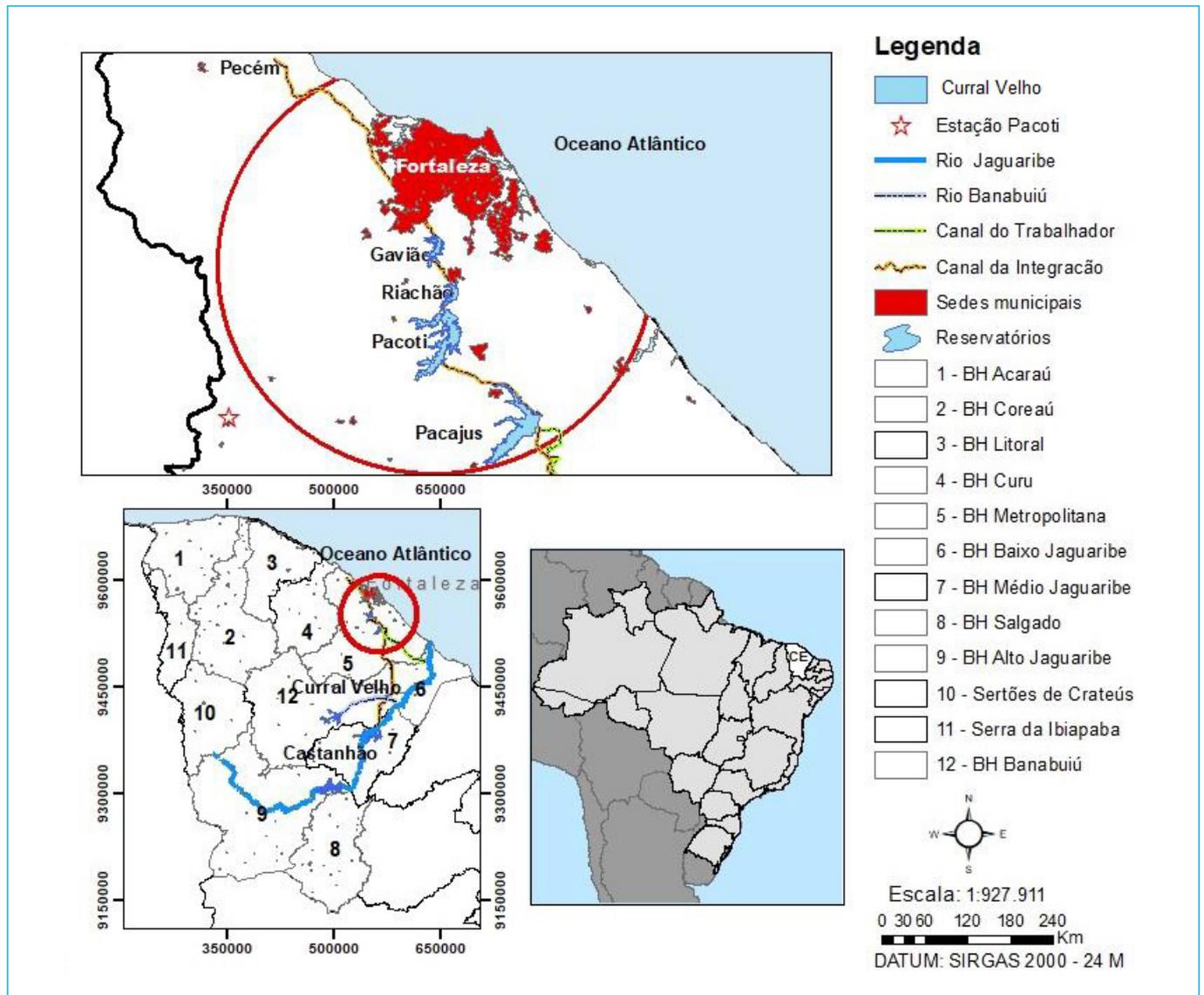


Figura 1 - Localização do Sistema em Cascata da Região Metropolitana de Fortaleza, com zoom na bacia hidrográfica metropolitana.

destacar-se no SCRMF é que os reservatórios menores se localizam a jusante no sistema, o que difere da maioria dos sistemas em cascata, nos quais eles se encontram a montante (GÜNTNER *et al.*, 2004).

O sistema é formado por seis reservatórios de distintos tamanhos, estações de bombeamento, canais, sifões, adutoras e túneis que realizam a transposição das águas até o reservatório Gavião, localizado na bacia hidrográfica metropolitana. O principal sistema de adução, que parte do reservatório Castanhão, é o canal da Integração, denominando de “Eixão das Águas”, com aproximadamente 172 km de extensão (COGERH, 2017). A transferência de água pelo Eixão das Águas tem vazão regularizada de projeto entre 19 e 22 m³.s (SRH, 2015). No entanto, a média de transferência para o SCRMF é de 9 m³.s (COGERH, 2017), em virtude da limitação de capacidade de um sifão que compõe o canal. Neste estudo, o reservatório Orós foi desconsiderado, visto que no período das coletas de dados ele ofertava água apenas para a demanda local. O reservatório Pacajus, especificamente, é abastecido por outro canal, o Canal do Trabalhador, e tem suas águas integradas ao sistema pelo canal Ererê até o reservatório Pacoti (COGERH, 2017).

Amostragem de campo e parâmetros analisados

As informações foram obtidas de um banco de dados da COGERH do estado do Ceará utilizado para o monitoramento da qualidade da água transposta e estão disponíveis em COGERH (2017). Entre os 20 parâmetros analisados, 19 são abióticos e um biótico, referenciando as características físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos. As coletas foram realizadas em 13 pontos ao longo do SCRMF (Figura 2) à profundidade de 30 cm da superfície, nos meses de fevereiro, abril, agosto e outubro de 2017, e levadas imediatamente para análise em laboratório. O *shape* do uso e ocupação do solo foi feito por meio de *download* do *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

As metodologias de análise e os limites de detecção dos métodos são apresentados na Tabela 1. As contagens de células de Cian foram realizadas usando um microscópio invertido (Zeiss Axio A1) com uma câmara Sedgewick-Rafter (APHA, 2012). Os campos foram contados em ampliações múltiplas (200x ou 400x dependendo do tamanho do fitoplâncton) até que pelo menos 100 indivíduos ou colônias / filamentos (≥ 4 células) fossem observados para cada amostra,

de forma a garantir uma cobertura suficiente da diversidade fitoplanctônica ambiental (YOO *et al.*, 2018). Todas as classificações seguiram as chaves existentes para Cian (ANAGNOSTIDIS *et al.*, 1990; KOMÁREK *et al.*, 1989; 1998; 2005).

Em relação à densidade de Cian, consideraram-se como espécie dominante aquelas cujos valores de densidade foram superiores a 50% do total encontrado em cada ponto monitorado; e espécies abundantes aquelas cujos valores de densidade foram superiores à média desses organismos naquele ponto, conforme metodologia

descrita por Lobo *et al.* (1986). As Cian com densidades inferiores a 5% da densidade total foram agrupadas em “outras cianobactérias” para facilitar a visualização e a interpretação dos dados, seguindo a recomendação de Carlos (2013).

Informações sobre precipitação pluviométrica, bem como volume dos reservatórios, foram utilizadas para subsidiar uma discussão sobre o impacto da estiagem na qualidade de água observada. Todos os dados referentes às características dos reservatórios e às condições climáticas também foram obtidos na COGERH. Na Tabela 2 e na Figura 2, observam-se a localização dos pontos de coleta e a descrição técnica dos reservatórios considerados.

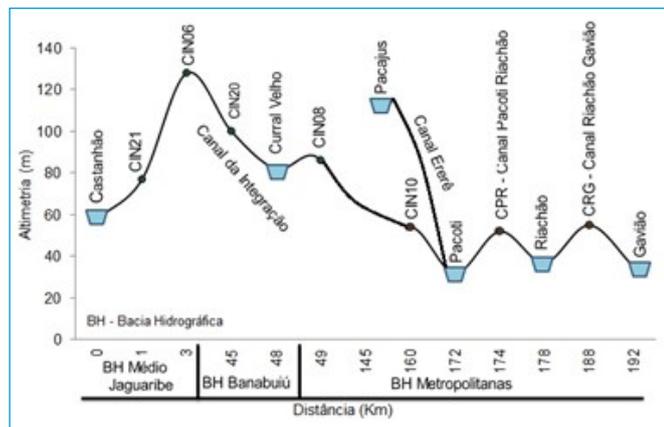


Figura 2 - Infográfico do Sistema em Cascata da Região Metropolitana de Fortaleza indicando as distâncias em relação ao Açude Castanhão, altitudes do sistema, bacias hidrográficas e pontos de coletas.

Análise dos dados

Ao se analisar uma base de dados, um dos principais desafios é resumir a informação coletada de forma que a análise se torne mais fácil. Em muitos casos, quando contamos com um grande número de observações, pode ser de interesse criar grupos. Em cada grupo os elementos devem ser semelhantes entre si e diferentes dos elementos que fazem parte dos outros grupos. A análise de agrupamento das medianas das concentrações de cada parâmetro foi realizada recorrendo-se à medida de dissimilaridade métrica da distância euclidiana agregada ao método de agrupamento hierárquico Ward (JONHSON *et al.*, 2002). O corte em relação aos agrupamentos foi feito por variação percentual das distâncias. Na sequência, o teste U ou teste de Wilcoxon-Mann-Whitney foi aplicado para duas amostras independentes previamente estabelecidas pela análise de agrupamento, adotando-se um $\alpha = 5\%$, pois as amostras não apresentaram distribuição normal. O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar

Tabela 1 - Parâmetros qualitativos analisados no sistema de transferência de água em cascata da Região Metropolitana de Fortaleza, 2017.

Parâmetros	Sigla	LQ	Método
Alcalinidade de bicarbonato (mg. CaCO ₃ .L)	AB	8,95	Titrimetria Ácido-Base (2320 B)
Condutividade elétrica (µS.cm)	CE	0,01	Condutimetria (2510 B) - APHA, 2012. Sonda YSI Pro Plus Multi-Parameter Water Quality Meter
Cálcio (mg Ca.L)	Ca	0,40	Titrimetria com EDTA (3500-Ca B) - APHA, 2012
Cloreto (mg Cl.L)	Cl	7,35	Argentométrico (4500-Cl-B) - APHA, 2012
Clorofila-a (µg.L)	Cl-a	1,00	Espectrofotométrico (10200 H) - APHA, 2012. Solvente de extração Metanol - Espectrofotômetro: HACH - DR1900-01H
Cianobactérias (células.mL)	Cian	-	Sedgewick-Rafter - APHA, 2012
Feofitina (µg.L)	Feo	1,00	Espectrofotométrico (10200 H) - APHA, 2012. Solvente de extração Metanol - Espectrofotômetro: HACH - DR1900-01H
Fósforo Total (mg.PL)	PT	0,01	Método do Persulfato (4500-P-J) e (4500-P-E) - APHA, 2012
Magnésio (mg.Mg.L)	Mg	0,24	Método do Cálculo (3500-Mg B) - APHA, 2012
Nitrogênio total (mg.N.L)	NT	0,02	Método do Persulfato (4500-P-J) e (4500-NO3-E) - APHA, 2012
Oxigênio dissolvido (mg.O ₂ .L)	OD	-	YSI Pro Plus Multi-Parameter Water Quality Meter
pH	pH	-	YSI Pro Plus Multi-Parameter Water Quality Meter
Potássio (mg.K.L)	K	2,00	Fotometria de Emissão de Chama (3500-K-B) - APHA, 2012
Salinidade	Sal	-	YSI Pro Plus Multi-Parameter Water Quality Meter
Sódio (mg.Na.L)	Na	2,00	Fotometria de Emissão de Chama (3500-Na-B) - APHA, 2012
Sólidos dissolvidos totais (mg.L)	SDT	2,00	Gravimetria (2540 D) e Cálculo - APHA, 2012
Sólidos totais (mg.L)	ST	2,00	Gravimetria (2540 B) - APHA, 2012
Sulfatos (mg.L)	SO ₄	7,68	Turbidimetria - (4500-SO42-E) - APHA, 2012
Temperatura da água (°C)	Temp	0,1	YSI Pro Plus Multi-Parameter Water Quality Meter
Turbidez (NTU)	Turb	0,1	Nefelométrico (2130B) - APHA, 2012. Turbidímetro: HACH - 2100Q

LQ: limite de quantificação definido em laboratório ou pelo fabricante das sondas.

Tabela 2 - Localização, tempo de detenção, volume e áreas das bacias hidráulicas dos reservatórios considerados no estudo.

Ponto	Coordenadas Universal Transversa de Mercator (m): Zona 24M Datum: Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul 2000		Ano de inauguração	Tempo de detenção (dias)	Volume (hm ³)	Área da bacia hidráulica (km ²)
	Sul	Leste				
Castanhão	560.466	9.392.963	2003	921	6.700,00	32,5
CIN21	561.214	9.393.802	-	NA	NA	NA
CIN06	560.737	9.395.806	-	NA	NA	NA
CIN20	571.149	9.435.426	-	NA	NA	NA
Curral Velho	576.873	9.438.016	2007	187	12,17	4,13
CIN08	577.017	9.438.537	-	NA	NA	NA
CIN10	555.602	9.542.223	-	NA	NA	NA
Pacoti	551.164	9.553.220	1981	456	380,00	37,0
Pacajus	567.919	9.533.329	1993	390	240,00	35,6
CPR	550.087	9.554.497	-	NA	NA	NA
Riachão	552.601	9.558.003	1981	460	46,95	0,1
CRG	549.823	9.563.691	-	NA	NA	NA
Gavião	549.266	9.568.234	1973	45	32,90	6,2

Bacia Hidráulica: área molhada quando o reservatório está em sua plena capacidade. NA: não se aplica. Não consideramos volume, área e tempo de detenção em trechos de canais e de rios.

a normalidade dos dados. Essa metodologia estatística permitiu embasar a discussão e avaliar, com 95% de confiança, se a qualidade de água ao longo do sistema muda significativamente. A análise estatística dos dados foi realizada com o programa Statistica 9.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

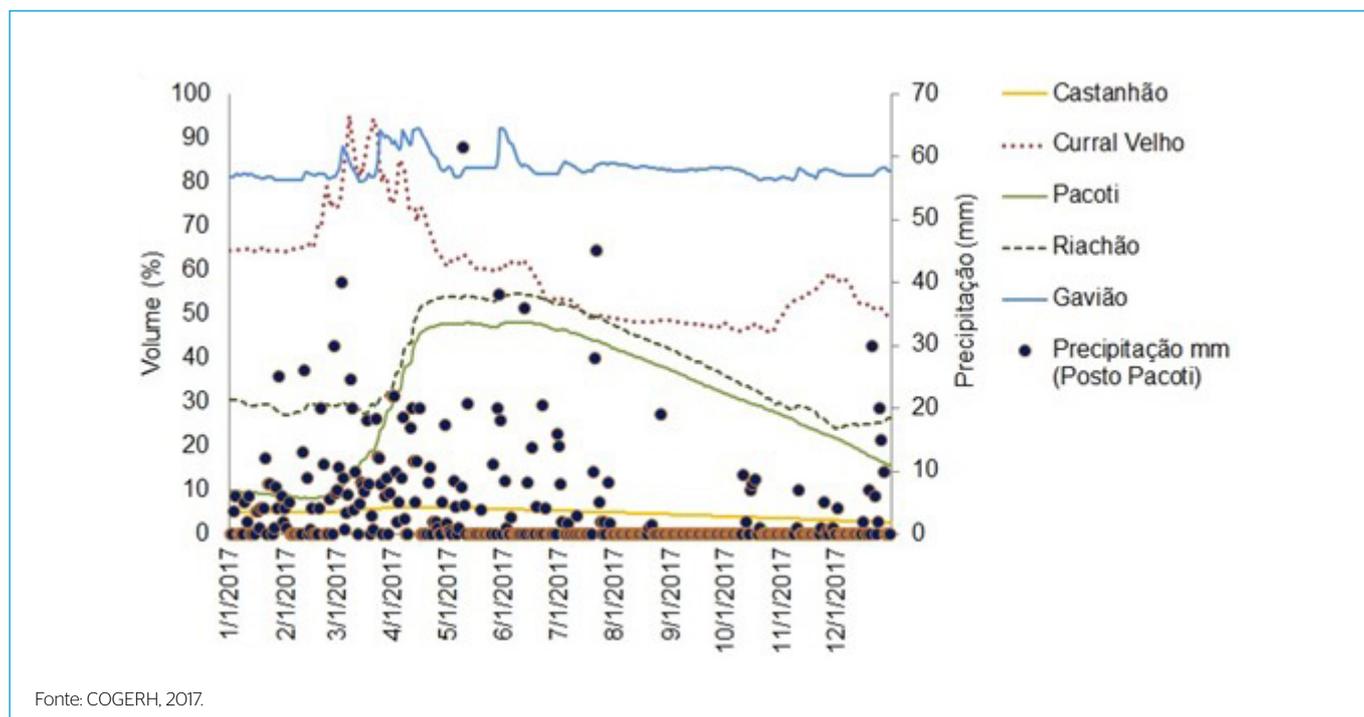
As áreas urbanizadas, indicadas como áreas artificiais, cresceram de 0,58% na bacia do reservatório Castanhão para 21,30% na bacia do Riachão e 3,26% na bacia do Gavião. Esse aumento relativo, entretanto, não garante que as áreas urbanizadas sejam as principais responsáveis pelo aumento no nível trófico dos reservatórios. Isso porque, do ponto de vista absoluto, a bacia hidrográfica do reservatório Castanhão, com área de 44.723 km², é a maior unidade hidrográfica desse sistema e corresponde a 30% da área do estado do Ceará, enquanto as bacias dos reservatórios do Riachão e do Gavião têm apenas 25,49 e 104,42 km², respectivamente. A área da bacia do reservatório Castanhão é, majoritariamente, destinada a pastoreio de animais e agricultura (IPECE, 2011). Conley *et al.* (2009) apontam que atividades agropecuárias e urbanas são consideradas as principais fontes de nitrogênio (N) e fósforo (P) para os ecossistemas aquáticos. Para Varol *et al.* (2012), o excesso desses nutrientes pode causar problemas variados, como florações de algas, desoxigenação da água, alterações no paladar e odor, morte de peixes e outros organismos aquáticos, bem como perda de biodiversidade.

Um ponto importante que deve ser observado quando se avalia o aumento do nível trófico em reservatórios artificiais é o volume de chuvas precipitado sobre suas bacias hidrográficas contribuintes. O estado do Ceará encontra-se em situação de seca desde 2010 (CORTEZ, 2017). Em 2017, apesar de a pluviometria anual de 554,5 mm estar em torno da média histórica, os volumes armazenados nos reservatórios em estudo permaneceram abaixo da capacidade volumétrica, conforme exposto na Figura 3 (COGERH, 2017).

A reserva hídrica do açude Castanhão, principal reservatório do sistema, atingiu o percentual de 2,71% (179,70 hm³) de sua capacidade no fim do ano de 2017 (Figura 3). Em contraponto, o reservatório Gavião, com menor capacidade de armazenamento, oscilou em torno do volume de 80% (26,63 hm³) em grande parte do período, com exceção de alguns picos de enchimento ocorridos em decorrência de precipitações pluviométricas pontuais. O açude Gavião é mantido artificialmente nesse volume pela transferência de água no período de estiagem e pelo aporte de água de sua bacia hidrográfica, com o objetivo de manter o fornecimento de água por gravidade para a estação de tratamento de água da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que atende ao abastecimento de água da capital.

As medianas dos 20 parâmetros observados da água em cada ponto de amostragem possibilitaram a formação de três *clusters* (agrupamentos) distintos, conforme apresenta a Figura 4. A localização dos equipamentos hídricos (reservatórios e canais) e, mais especificamente, a proximidade entre eles foram os fatores preponderantes para a formação dos agrupamentos. Isso pode indicar que a bacia hidrográfica contribui de forma perceptível para a qualidade da água, mesmo após a sua transposição entre bacias pelo sistema de transferência. Observa-se também que as bacias do Médio Jaguaribe e a do Banabuiú se aproximaram em um *subcluster*, diferenciando-se da bacia Metropolitanas, provavelmente também pela proximidade entre as duas. No entanto, não é possível afirmar que a interligação não tenha interferido nos agrupamentos, já que não dispomos de informações sobre o comportamento desses equipamentos antes da interligação do sistema.

Quando as médias dessas variáveis são comparadas, 11 das 20 variáveis ambientais monitoradas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) ao longo do sistema de transferência (Tabela 3). Entre elas, alcalinidade de bicarbonato (AB), condutividade elétrica (CE), potássio (K), sólidos dissolvidos totais (SDT) e sólidos totais (ST) tiveram seus valores reduzidos ao longo do SCRME,



Fonte: COGERH, 2017.

Figura 3 - Variação do volume dos reservatórios do sistema de transferência de água em cascata da Região Metropolitana de Fortaleza e precipitação média mensal em 2017.

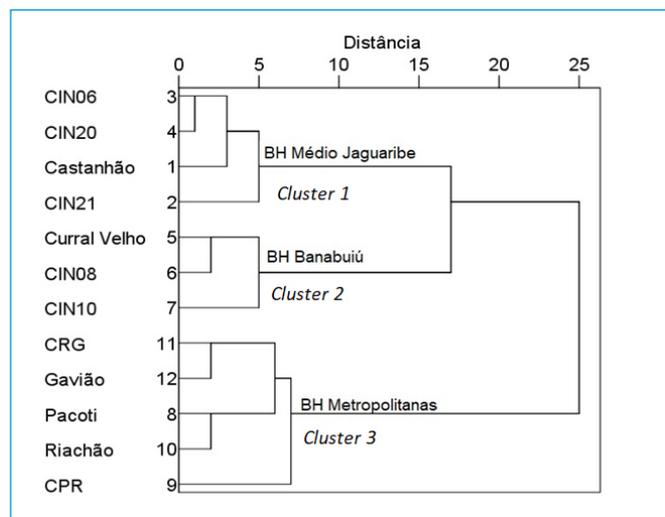


Figura 4 - Análise de agrupamento dos pontos de monitoramento nos reservatórios do sistema de transferência de água em cascata da Região Metropolitana de Fortaleza, em função da similaridade quanto aos parâmetros de qualidade de água - ano de 2017.

indicando melhoria na qualidade da água no que se refere à quantidade de sais e sólidos. A redução dos valores dessas variáveis pode estar associada às características geológicas das bacias (com solos menos salinos) mais a jusante do sistema, assim como à redução de sólidos particulados em suspensão por conta da sedimentação nos reservatórios (MAAVARA et al., 2015; LU et al., 2016).

Por outro lado, as concentrações de Cian, pH, nitrogênio total (NT), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e clorofila-a (Cl-a) tiveram aumento significativo ao longo do sistema, indicando aumento da atividade fotossintética,

Tabela 3 - Médias dos parâmetros nos clusters formados na análise de agrupamentos.

Parâmetros	Unidades	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
AB	(mg CaCO ₃ .L)	136,49	113,86	100,10
CE	(µS.cm)	0,54	0,53	0,48
Ca	(mg.Ca.L)	15,40	141,43	15,09
Cl	(mg.Cl.L ⁻¹)	75,93	80,19	82,35
Cl-a	(µg.L)	22,86	78,07	58,52
Cian	(células.mL)	39.405,00	94.585,00	165.049,00
Mg	(mg.Mg.L)	17,01	16,73	14,40
NT	(mg.N.L)	1,96	2,46	2,09
PT	(mg.PL)	0,12	0,17	0,16
Feo	(µg.L)	5,02	3,88	5,95
SDT	(mg.L)	323,75	321,25	289,65
OD	(mg.O ₂ .L)	5,37	8,05	7,92
pH	-	8,04	9,07	8,52
K	(mg.K.L)	15,00	16,00	11,00
Salinidade (SAL)	(mg.Na.L)	0,25	0,26	0,22
Na	(mg.L)	57,00	60,00	52,50
ST	(mg.L)	315,50	331,50	303,50
SO ₄	(mg.L)	14,95	14,54	17,60
Temp	(°C)	29,1	28,4	28,9
Turb	(NTU)	4,8	11,9	15,1

AB: alcalinidade de bicarbonato; CE: condutividade elétrica; Ca: cálcio; Cl: cloretos; Cl-a: clorofila-a; Cian: cianobactérias; Mg: magnésio; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total; Feo: feofitina; SDT: sólidos dissolvidos totais; OD: oxigênio dissolvido; K: potássio; Na: sódio; ST: sólidos totais; SO₄: sulfatos; Temp: temperatura; Turb: turbidez. Valores em negrito indicam diferenças significativas (p<0,05) pelo teste U.

que está ligada à produtividade primária e à eutrofização, de montante para jusante. O incremento de pH, OD, Turb e Cl-a está normalmente relacionado ao aumento da concentração do fitoplâncton, neste caso de Cian. O aumento de Cian, por sua vez, apresentou estreita associação com o incremento do NT, podendo indicar uma relação causal (CUNHA *et al.*, 2013), já que o outro macronutriente relacionado com a eutrofização, o fósforo total (PT), não apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) (Tabela 3).

Apesar de algumas espécies de Cian serem capazes de fixar o N atmosférico, o aumento de NT pode estar relacionado às contribuições difusas e pontuais de nutrientes das áreas mais urbanizadas (CONLEY *et al.*, 2009), à redução dos volumes de armazenamento pela evaporação e, conseqüentemente, ao aumento da concentração de nutrientes (JEPPESEN *et al.*, 2015) ou à recarga interna de nutrientes (*internal loading*), que mantém elevado o nível trófico em reservatórios mais antigos mesmo quando a qualidade da água afluyente apresenta melhor qualidade (MOURA *et al.*, 2020). O excesso de N e P pode causar problemas variados, como a floração de fitoplâncton, a desoxigenação e alterações no paladar e odor da água, a morte de peixes e outros organismos aquáticos, bem como a perda de biodiversidade (VAROL *et al.*, 2012).

As concentrações de PT ficaram acima do limite de 0,03 mg/L para ambientes lenticos classe 2 (BRASIL, 2005) ao longo de todo o SCRMF (Figura 4). De acordo com Smith (1979), uma limitação por P é definida quando razões entre NT:PT ficam acima de 21:1, enquanto razões abaixo de 13:1 indicam limitação por Nitrogênio (N). Razões intermediárias indicam que N e P colimitam o crescimento fitoplancônico. Neste contexto, no caso dos *clusters* 1, 2 e 3, esses valores foram 16:1, 14:1 e 13:1, indicando uma tendência de colimitação por N e P a uma limitação pelo N.

Por outro lado, Hecky *et al.* (1988) encontraram diferentes razões N:P, ótimas para diferentes espécies fitoplancônicas, variando entre um extremo de razão N:P abaixo do proposto por Redfield (1958) para *Aulacoseira* sp. e *Microcystis* sp., $N:P \leq 10$, e no outro extremo a espécie *Scenedesmus quadricauda*, com razão N:P de 87:1. Adicionalmente, o crescimento de uma espécie pode variar em função de diferentes fatores, como a taxa de crescimento, a temperatura e a luz, por exemplo.

A Figura 5 apresenta a variação das concentrações médias, ao longo do período amostral, de N, P e Cian totais ao longo do SCRMF. A concentração de Cian manteve-se acima do limite definido pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) 357/2005 (BRASIL, 2005) para ambientes lenticos classe 2 (50.000 células/mL), com exceção dos pontos Castanhão, CIN21 e CIN20. O pH alcalino encontrado ao longo de todo o sistema indica elevada atividade fotossintética (WATSON *et al.*, 1997), neste caso com a dominância das Cian.

A dominância de Cian em reservatórios em regiões semiáridas tropicais pode ser explicada pelo fato de elas possuírem estratégias para a assimilação de nutrientes, como fixação de N e acumulação de P, capacidade de utilizar diversos comprimentos de onda de luz visível, capacidade de ajustar sua profundidade na coluna d'água, entre outros (COSTA *et al.*, 2016). A alta densidade das Cian pode estar relacionada ao elevado tempo de residência da água em reservatórios e às características climáticas locais de altas temperaturas e radiação solar em regiões tropicais (COSTA *et al.*, 2016). Em ambientes lenticos eutróficos, além da influência das concentrações elevadas de nutrientes (Figura 5), outros fatores ambientais podem ser associados à dominância de Cian, como baixa turbulência, condições de pouca luz na coluna d'água e elevada temperatura (WANG *et al.*, 2011).

A Figura 6 apresenta a densidade relativa média de espécies de Cian no SCRMF ao longo do período amostral. As Cian representaram mais de 93% da densidade do fitoplâncton, com o total de 38 espécies. Verificaram-se duas espécies dominantes, *Oscillatoria* sp. (62,72%) e *Microcystis* sp. (10,39%), e sete abundantes: *Merismopedia* sp., *Cylindrospermopsis* sp., *Pseudanabaena* sp., *Anabaena* sp., *Aphanizomenon* sp., *Aphanocapsa* sp. e *Dolichospermum* sp. A espécie *Oscillatoria* sp. dominou sobre as demais na maioria dos pontos de amostragem, exceto nos pontos CIN20 e CIN08.

No *cluster* 3 predominou a espécie *Oscillatoria* sp. em CIN10 (56%), Pacoti (84%), CPR (86%), Riachão (81%), CRG (69%) e Gavião (69%). A dominância da *Oscillatoria* sp. também foi observada por Chellappa *et al.* (2003) no reservatório Gargalheiras (RN), durante o período seco. Essa dominância, apesar de alternada com outras Cian, foi atribuída pelos autores à diminuição da transparência da água pelo autoassombreamento provocado pelas elevadas densidades celulares.

Cardoso *et al.* (2017) estudaram a composição e a distribuição fitoplancônica em rios e reservatórios da Bacia do Rio Piranhas-Açu (RN) entre 2010 e 2011. Entre algumas espécies de Cian identificadas como potencialmente produtoras de toxinas, *Oscillatoria* sp. apresentou alto índice de abundância, indicando risco potencial à saúde das populações abastecidas.

Aragão (2011) estudou a taxonomia e a distribuição das Cian em reservatórios do estado de Pernambuco entre fevereiro de 2009 e janeiro de 2010.

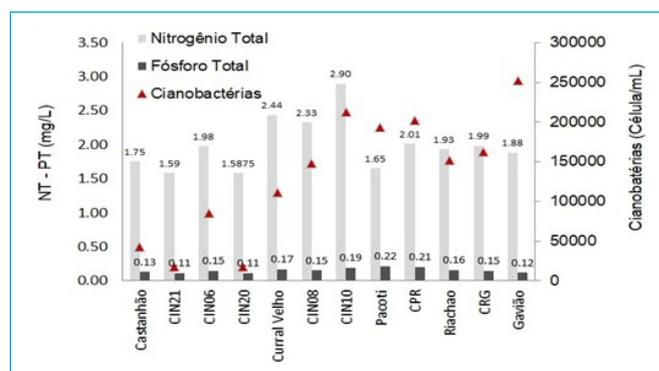


Figura 5 – Concentrações médias de nitrogênio total, fósforo total e cianobactérias ao longo do sistema de transferência de água em cascata da Região Metropolitana de Fortaleza.

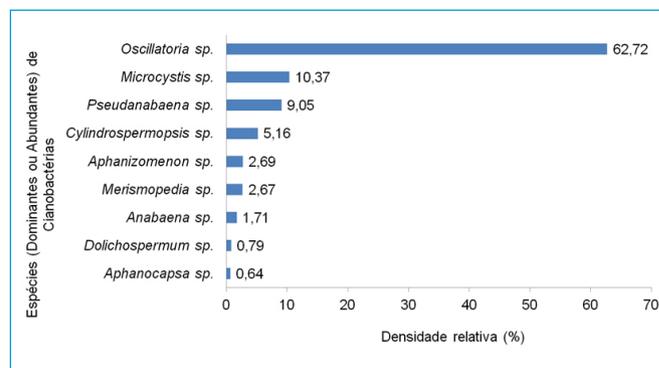


Figura 6 – Abundância relativa (%) média de cianobactérias no sistema de transferência de água em cascata da Região Metropolitana de Fortaleza, no período amostral.

Dos 19 reservatórios estudados, 12 apresentam florações de Cian, entre elas *Oscillatoria* sp., apresentando densidade e biomassa acima de 10^7 cel.mL e 10^2 mg.L, respectivamente. Essa espécie também dominou no reservatório Sidi Abderrahmane, localizado na cidade de Safi (Marrocos), tanto no verão, com presença de alta temperatura, quanto no inverno, em baixas temperaturas (BELOKDA et al., 2019). Na Tailândia, em 2015, observou-se que 95% do fitoplâncton presente no reservatório Songkhla era composto de *Oscillatoria* sp. (THAMMASANE et al., 2016).

Pesquisas identificaram que algumas espécies do gênero *Oscillatoria* são produtoras de Microcistinas, um grupo de hepatotoxinas heptapeptídicas cíclicas (RINEHART et al., 1994; WARD et al., 1997). Esses metabólitos são altamente tóxicos à saúde de seres humanos e outros mamíferos acima de determinadas concentrações (1 µg.L), fazendo-se necessárias sua detecção e quantificação e, caso estejam presentes, sua remoção (BELL et al. 1996).

A Figura 7 apresenta a densidade relativa de Cian baseada nos valores médios das análises no período amostral. O reservatório Gavião, apesar de apresentar o menor tempo de residência hidráulica em consequência do manejo operacional e da menor capacidade volumétrica, apresentou maior densidade de Cian entre os reservatórios analisados (Figura 7). Acredita-se que esse fato esteja associado principalmente ao acúmulo de nutrientes ao longo das bacias hidrográficas do SCRME, mas também aos usos e ocupação das bacias hidrográficas de reservatórios mais próximos da RMF que apresentam maior grau de ocupação urbana.

O SCRME apresentou características mais eutróficas de montante para jusante, tendência de qualidade de água diferente de outros sistemas em cascata brasileiros. No sistema Cantareira, na Região Metropolitana de São Paulo, composto de cinco reservatórios em cascata interconectados por 48 km de canais, verificou-se que os reservatórios a montante eram mais eutrofizados, com maior carga de nutrientes, que os localizados a jusante, em razão provavelmente da

proximidade a áreas com fortes concentrações urbanas (SMITH et al., 2014). Já no caso do Ceará a lógica é inversa, uma vez que os maiores centros (portanto maiores cargas) estão a jusante do sistema.

Houve diminuição no transporte específico de poluentes ao longo dos rios Una, Sorocabaçu e Sorocamirim, o que evidencia a influência dos reservatórios na mitigação das cargas poluidoras (CONCEIÇÃO et al. 2015). Nos seis reservatórios do baixo e médio Tietê (SP), identificou-se ao longo do rio uma melhora na qualidade ambiental no sentido montante-jusante, o que impactou a composição das macrófitas, no tipo de sedimento e na transparência dos habitats (SMITH et al., 2014). Na bacia hidrográfica do São Francisco, a condição trófica dos reservatórios variou conforme a posição espacial de cada reservatório em cascata: Três Marias (MG), Sobradinho, Itaparica, Complexo de Paulo Afonso e Xingó, com tendência de oligotrofização crescente no sistema (LIMA et al., 2014).

CONCLUSÕES

O abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, com mais de 3 milhões de habitantes, é garantido por um macrosistema de transferência de água entre bacias hidrográficas: Médio Jaguaribe, Banabuiú e Metropolitanas. Nesse complexo sistema, os reservatórios com maior capacidade de armazenamento estão localizados a montante, diferindo, nesse aspecto, da maioria dos sistemas em cascata brasileiros. Com base na análise de agrupamento, identificou-se que os três clusters foram formados em função da proximidade geográfica das bacias hidrográficas Médio Jaguaribe, Banabuiú e Metropolitana, colaborando com o aumento das áreas artificiais do sistema de montante para jusante e indicando que as características de uso e ocupação das bacias têm um papel importante na definição da qualidade da água desse sistema.

Observou-se evidente piora da qualidade da água de montante pra jusante, e, dos 20 parâmetros de qualidade de água analisados ao longo do SCRME,

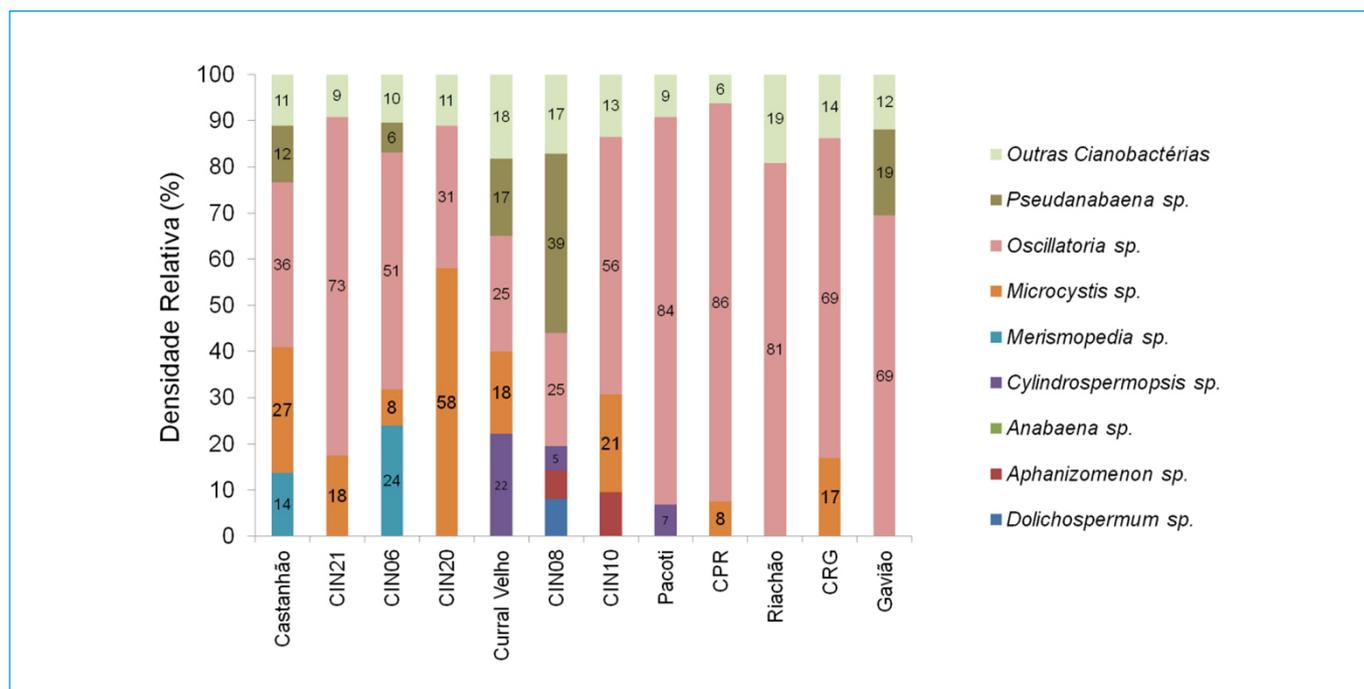


Figura 7 - Densidade relativa dos valores médios de cianobactérias ao longo do sistema de transferência de água em cascata da Região Metropolitana de Fortaleza, no período estudado (2017).

aqueles associados à eutrofização (Cian, pH, NT, OD, Turb e Cl-a) apresentaram aumento significativo de concentração. A dominância das Cian sobre o fitoplâncton ficou evidente em todo o sistema, representando mais de 93% da densidade, destacando-se a dominância das espécies potencialmente produtoras de toxinas, com ênfase para *Oscillatoria* sp. e *Microcystis* sp. O que torna os resultados ainda mais preocupantes é que o reservatório na ponta do sistema, o açude Gavião, responsável pelo fornecimento de água para cerca de metade da população cearense, sofreu a maior magnificação dos efeitos da eutrofização causados pelo sistema de transferência em cascata, apresentando a maior densidade de Cian. Por outro lado, os parâmetros associados a sais e sólidos facilmente sedimentáveis apresentaram redução significativa ao longo do sistema.

Uma limitação dos nossos estudos foi o fato de que o período em análise foi um ano com pluviometria abaixo das médias em toda a região e, portanto,

não foi possível identificar o impacto das diferenças sazonais na qualidade de água. Assim, como o conhecimento acumulado sobre sistemas em cascatas em regiões semiáridas ainda é restrito, acreditamos que nossos estudos devem ser estendidos para que incluam anos com precipitações pluviométricas em torno da média histórica ou acima dela.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

França, J.M.B.: Conceituação, Análise Formal, Metodologia, Escrita – Primeira Redação. Silva, S.M.O.: Escrita – Revisão e Edição. Monteiro, C.M.G.: Curadoria de Dados, Administração do Projeto. Paulino, W.D.: Obtenção de Financiamento, Administração do Projeto. Capelo Neto, J.: Conceituação, Metodologia, Supervisão, Escrita – Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and waste water*. 22. ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 5 – Stigonematales. *Algological Studies*, v. 59, p. 1-73, 1990.
- ARAGÃO, N.K.C.V. Taxonomia, distribuição e quantificação de populações de cianobactérias em reservatórios do estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil). 157 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.
- BARBOSA F.A.R.; PADISÁK J.; ESPÍNDOLA E.L.G.; BORICS G.; ROCHA O. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the river Tietê basin, São Paulo State, Brazil. In: Tundisi J.G., Straškraba M. (eds). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: Backhuys, p. 425-437, 1999.
- BELL, S.G.; CODD, G.A. Detection, analysis and risk assessment of cyanobacterial toxins. In: Hester, R.E.; Harrison, R.M. (eds). *Agricultural Chemicals and the Environment, Issues in Environmental Science and Technology*. Reino Unido: Royal Society of Chemistry, Cambridge, p. 109-122, 1996.
- BELOKDA, W.; KHALIL, K.; LOUDIKI M.; AZIZ, F.; ELKALAY, K. First assessment of phytoplankton diversity in a Moroccan shallow reservoir (Sidi Abderrahmane). *Journal of Biological Sciences*, v. 26, n. 3, p. 431-438, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jsbs.2017.11.047>
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Alterada pelas resoluções CONAMA nº 393/2007, nº 397/2008, nº 410/2009 e nº 430/2011. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 34. 18 mar. 2005.
- CARDOSO, A.S.; MARWELL, D.T.B.; SOBRAL, M.C.M.; MELO, G.L.; CASÉ, M.C.C. Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 2, p.261-269, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146707>
- CARLOS, A.C. Dinâmica da população de cianobactérias em um reservatório eutrófico do semiárido Brasileiro no período de seca. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.
- CEPOI, L., Environmental and Technological Stresses and Their Management in Cyanobacteria. In: MISHRA, A.K.; TIWARI, D.N.; RAI, A.N. *Cyanobacteria: from basic science to applications*. [S.l.], Massachusetts: Academic Press, p. 217-244, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00011-8>
- CHELLAPPA, N.T.; COSTA, M.A.M. Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a Eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. *Acta Oecologica*, v.24, s.1, p. s3-s10, 2003. [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(03\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(03)00005-5)
- COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (COGERH). *Portal Hidrológico*. Estado do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; GODOY, L.H.; FERNANDES A.M.; PEDRAZZI, F.J.M. Influência sazonal no transp orte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba (SP). *Geochimica Brasiliensis*, v. 29, n. 1, p. 23-34, 2015. <https://doi.org/10.5327/Z0102-980020150001000>
- CONLEY, D.J.; PAERL, H.W.; HOWARTH, R.W.; BOESCH, D.F.; SEITZINGER, S.P.; HAVENS, K.E.; LANCELOT, C. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus. *Science*, v. 323, n. 5917, p.1014-1015, 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1167755>
- CORTEZ, H.S.; LIMA, G.P.; SAKAMOTO, M.S. A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos. *Parcerias Estratégicas*, v. 22, n. 44, 2017.
- COSTA, M.R.A.; ATTAYDE, J.L.; BECKER, V. Effects of water level reduction on the dynamics of phytoplankton functional groups in tropical semi-arid shallow lakes. *Hydrobiologia*, v. 778, p. 75-89, 2016. <http://doi.org/10.1007/s10750-015-2593-6>

- CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tr}). *Ecological Engineering*, v. 60, p. 126-134, 2013. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>.
- FANG, Y.P.; DENG, W. The critical scale and section management of cascade hydropower exploitation in Southwestern China. *Energy*, v. 36, n. 10, p. 5944-5953, 2011. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.022>
- GAETA, J.W.; SASS, G.G.; CARPENTER, S.R. Drought-driven lake level decline: effects on coarse woody habitat and fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 71, n. 2, p. 315-325, 2014. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0451>
- GUMIERO, B.; SALMOIRAGHI, G. Influence of an impoundment on benthic macroinvertebrate habitat utilization. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, v. 26, n. 4, p. 2063-2069, 1998. <https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11901106>
- GÜNTNER, A.; KROL, M.S.; ARAÚJO, J.C.D.; BRONSTERT, A. Simple water balance modelling of surface reservoir systems in a large data-scarce semiarid region / modélisation simple du bilan hydrologique de systèmes de réservoirs de surface dans une grande région semi-aride pauvre en données. *Hydrological Sciences Journal*, v. 49, n. 5, p. 901-918, 2009. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.901.55139>
- HECKY, R.E.; KILHAM, P. (1988) Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnology and Oceanography*, v. 33, p. 796-822, 1988. <https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.4part2.0796>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=1&uf=23>. Acesso em: 04 ago. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cartas temáticas oriundas do Projeto Radam*. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/cartas-tematicas.html>. Acesso: 22 mar. 2017.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). *Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades*. Fortaleza: IPECE, 2011. 268 p.
- JEPPESEN, E.; BRUCET, S.; NASELLI-FLORES, L.; PAPASTERGIADOU, E.; STEFANIDIS, K.; NÖGES, T.; NÖGES, P.; ATTAYDE, J.L.; ZOHARY, T.; COPPENS, J.; BUCAK, T.; MENEZES, R.F.; FREITAS, F.R.S.; KERNAN, M.; SØNDERGAARD, M.; BEKLIÖĞLU, M. Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, v. 750, n. 1, p. 201-227, 2015. <http://doi.org/10.1007/s10750-014-2169-x>
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- JORCIN, A.; NOGUEIRA, M.G. Phosphate distribution along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, SE, Brazil). In: SERRANO, L.; GOLTERMAN, H.L. (eds.) *Phosphates in Sediments: proceedings of the 4th International Symposium*. Leiden: Backhuys Publishers, p. 77-86, 2005.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes 4 - Nostocales. *Algological Studies*, v. 56, p. 247-345, 1989.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. 1998. Cyanoprokaryota: 1. Teil. Chroococcales. In: JIRI KOMAREK, J.; REK, J.K.; JI I. KOMAREK, J.I. (eds.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Berlin: Gustav Fischer, v.19, 1998.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel, B.; Gärtner, G.; Krienitz, L.; Schagerl, M. (eds.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd.* München: Elsevier GmbH, v.19, n. 2, p. 1-759, 2005.
- LIMA, A.E.; SEVERI, W. Estado trófico na cascata de reservatórios de um rio no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 124-133, 2014. <http://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a2603>
- LOBO, E.A.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitárias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos Y esteros de la zona central de Chile. *Revista Biología Marina*, v. 22, n. 1, p.1-29, 1986.
- LU, T.; CHEN, N.; DUAN, S.; CHEN, Z.; HUANG, B. Hydrological controls on cascade reservoirs regulating phosphorus retention and downriver fluxes. *Environmental Science and Pollution Research International*, v. 23, n. 23, p. 24166-24177, 2016. <http://doi.org/10.1007/s11356-016-7397-3>
- MAAVARA, T.; CHRISTOPHER, T.; RIDENOUR, P.C.; STOJANOVIC, S.; DÜRR, H.H.; POWLEY, H.R.; CAPPELLEN, P. Global phosphorus retention by river damming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 112, n. 51, p.15603-15608, 2015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1511797112>
- MOURA, D.S.; ALMEIDA, A.S.O.; PESTANA, C.J.; GIRÃO, L.G.; CAPELO-NETO, J. Internal loading potential of phosphorus in reservoirs along a semiarid watershed. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, 2020. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020180023>
- NALIATO, D.; NOGUEIRA, M. G.; PERBICHE-NEVES, G. Discharge pulses of hydroelectric dams and their effects in the downstream limnological conditions: a case study in a large tropical river (SE, Brazil). *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, v. 14, n. 4, p. 301-314, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2009.00414.x>
- NOGUEIRA, M.G.; FERRAREZE, M.; MOREIRA, M. L.; GOUÊA, R. M. 2010. Phytoplankton assemblages in a reservoir cascade of a large tropical-subtropical river (SE, Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, v. 70, no. 3, p. 781-793, 2010. <http://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400009>
- OLSEN, B.K.; CHISLOCK, M.F.; WILSON, A.E. Eutrophication mediates a common off-flavor compound, 2-methylisoborneol, in a drinking water reservoir. *Water Research*, v. 92, p. 228-234, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.058>
- PADE, N.; HAGEMANN, M. Salt acclimation of cyanobacteria and their application in biotechnology. *Life*, v. 5, n. 1, p. 25-49, 2015. <https://doi.org/10.3390/life5010025>
- REDFIELD, A.C. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, v. 46, n. 3, p. 205-222, 1958.
- RINEHART, K.L.; NAMIKOSHI, M.; CHOI, B.W. Structure and biosynthesis of toxins from blue-green algae (cyanobacteria). *Journal of Applied Phycology*, v.6, p. 159-176, 1994. <https://doi.org/10.1007/BF02186070>
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS (SRH). Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará. 2015. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/>. Acesso em: 24 out. 2018.
- SHARMA, D.K. Impact of dams on river water quality. *International Journal of Current Advanced Research Research*, v. 4, n. 7, p. 176-181, 2015.
- SILVA, S.M.O.; SOUZA FILHO, F.A.; CID, D.A.C.; AQUINO, S.H.S. Avaliação do risco da alocação de água em período de escassez hídrica: o caso do Sistema Jaguaribe-Metropolitano. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.22, n.4, p. 749-760, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017161303>

- SMITH, V.H. Nutrient dependence of primary productivity in lakes. *Limnology and Oceanography*, v.24, n. 6, p. 1051-1064, 1979. <https://doi.org/10.4319/LO.1979.24.6.1051>
- SMITH, W. S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O. Environmental gradient in reservoirs of the medium and low Tietê River: limnological differences through the habitat sequence. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 26, n. 1, p. 73-88, 2014. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2014000100009>
- THAMMASANE, S.; KAOSOL, T. Single and combined chemical coagulants for *Oscillatoria* sp. removal in raw water for water treatment plant. *Engineering and Applied Science Research*, v. 43, s. 2, p. 247e249, 2016.
- VAROL, M.; ŞEN, B. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, v. 92, p. 1-10, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.011>
- WANG, L.; CAI, Q.; TAN, L.; KONG, L. Phytoplankton development and ecological status during a cyanobacterial bloom in a tributary bay of the Three Gorges Reservoir, China. *The Science of the Total Environment*, v. 409, n. 19, p. 3820-3828, 2011. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.041>
- WANG, Y.; ZHANG, W.; ZHAO, Y.; PENG, H.; SHI, Y. Modelling water quality and quantity with the influence of inter-basin water diversion projects and cascade reservoirs in the Middle-lower Hanjiang River. *Journal of Hydrology*, v. 541, p. 1348-1362, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.039>
- WARD, C.J.; BEATTIE, K.; LEE, E.Y.; CODD, G. Colorimetric protein phosphatase inhibition assay of laboratory strains and natural blooms of cyanobacteria: comparisons with high-performance liquid chromatographic analysis for microcystins. *FEMS Microbiology Letters*, v. 153, n. 2, p. 465-473, 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1997.tb12611.x>
- WATSON, S.B.; MCCAULEY, E.; DOWNING, J.A. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status. *Limnology and Oceanography*, v. 42, n.3, p.487-495, 1997. <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.3.0487>
- YOO, Y.D.; SEONG, K.A.; KIM, H.S.; JEONG, H.J.; YOON, E.Y.; PARK, J.; KIM, J.I.; SHIN, W.; PALENIK, B. Feeding and grazing impact by the bloom-forming euglenophyte *Eutreptiella eupharyngea* on marine eubacteria and cyanobacteria. *Harmful Algae*, v. 73, p. 98-109, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.02.003>

