



# Análise temporal de *Cyanobacteria* e Índice de Estado Trófico na PCH Porto Franco, Tocantins

Anelise Kappes MARQUES<sup>1,\*</sup>; Dayane Juliate BARROS<sup>1</sup> e Paula Benevides MORAIS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas. Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia. Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte, 77001-090. Palmas-TO, Brasil. Email: dayjuliat@gmail.com

<sup>2</sup> Professora do programa de Pós-Graduação Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (BIONORTE). Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia. Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte, 77001-090. Palmas-TO, Brasil. E-mail: moraispb@uft.edu.br

INFORMAÇÕES	RESUMO
<b>Recebido em:</b> 01/09/2015	As cianobactérias são componentes naturais do fitoplâncton e têm recebido uma atenção da comunidade científica e dos órgãos ambientais por desenvolverem florações em ambientes com condições eutróficas. O Índice de Estado Trófico (IET) é um diagnóstico da saúde do corpo hídrico em relação ao seu grau de trofia. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água no reservatório da PCH Porto Franco através da abundância relativa de <i>Cyanobacteria</i> e o IET. Foram realizadas 19 coletas no período de 2009 a 2014 onde se avaliou em quatro pontos amostrais a comunidade fitoplancônica, fósforo e clorofila <i>a</i> . As cianobactérias ocorreram em todos os pontos monitorados e foram representadas por vários táxons potencialmente tóxicos, como <i>Cylindrospermopsis raciborski</i> e <i>Planktolyngbya limnetica</i> . Esses organismos são potencialmente tóxicos e podem provocar danos à saúde humana e ao ambiente. A dominância de <i>Cyanobacteria</i> está associada às condições mesotróficas a supereutróficas que ocorreram principalmente no ponto a montante barramento. O predomínio do ambiente lêntico, disponibilidade de radiação subaquática, bem como a alta concentração de nutrientes demonstrados pelo IET são condições que determinam o expressivo desenvolvimento de <i>Cyanobacteria</i> neste reservatório.
<b>Aceito em:</b> 20/11/2015	
<b>Publicado em:</b> 23/12/2015	
<b>Document Object Identifier</b> 10.18067/jbfs.v2i4.57	
<b>Termos de indexação:</b> eutrofização qualidade da água bioindicadores	
*Autor para correspondência <a href="mailto:aneliseuft@hotmail.com">aneliseuft@hotmail.com</a>	

## Temporal analysis of *Cyanobacteria* and Trophic State Index in PCH Porto Franco (Tocantin's State, North Brazil)

**ABSTRACT-** *Cyanobacteria* are typical phytoplankton components and they have received attention from the scientific community due to develop blooms in eutrophic environments. The Trophic State Index (TSI) is diagnosis of water body's condition due to trophic level. This work aimed to estimate water quality from PCH Porto Franco reservoir based on *Cyanobacteria* abundance and TSI. During the period of 2009 to 2014, 19 sampling were performed in four points in which were analyzed the phytoplankton community, phosphorus and chlorophyll *a*. *Cyanobacteria* were detected in all the monitored points and exhibit potentially toxic taxa, for instance, *Cylindrospermopsis raciborski* and *Planktolyngbya limnetica*. These organisms are substantially toxic and may provoke harm to human health and to the environment. The *Cyanobacteria* dominance is associated with mesotrophic to hypereutrophic conditions, which have occurred mainly in upstream barriers. The predominance of a lentic environment, underwater radiation availability and high nutrient concentration demonstrated by TSI are conditions that determine the significantly development of *Cyanobacteria* in this reservoir.

**Index terms:** eutrophication, water quality, bioindicators



**Copyright:** © 2015 JBFS all rights. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Financiamento:** Os autores reportam que houve suporte e auxílio financeiro pela Fundação de Apoio Científico e Tecnológico do Tocantins (Convênio 314).

**Conflito de interesse:** Os autores declaram que não há conflito de interesse.

### Como referir esse documento (ABNT):

MARQUES, A. K.; BARROS, D. J.; MORAIS, P. B. Análise temporal de *Cyanobacteria* e Índice de Estado Trófico na PCH Porto Franco, Tocantins. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v.2, n.4, p.137-144, out./dez., 2015. <http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v2i3.57>

## INTRODUÇÃO

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são empreendimentos hidrelétricos com potência

instalada até 30MW que representam uma forma rápida e eficiente de expansão da oferta de energia elétrica, sendo importante fonte de energia

renovável [1]. Sua implantação envolve a construção de barramentos e formação de reservatórios.

A qualidade da água e consequente eutrofização dos reservatórios está relacionada com os vários usos múltiplos das bacias hidrográficas: irrigação, ausência de tratamento de esgotos nas cidades com consequente lançamento de efluentes os cursos de rios, atividade de pecuária e atividades agrícolas [2]. Essa crescente degradação dos recursos hídricos pelo enriquecimento de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, produz profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio, tornando a água imprópria ao consumo humano, e aumentando a incidência de florações de microalgas e cianobactérias [3].

Cianobactérias são organismos procariotos fotossintetizantes, cosmopolitas, que podem ser encontrados em vários ambientes no planeta, sendo muito comuns no plâncton de reservatórios. Estruturalmente se assemelham as bactérias, podendo ser unicelulares, coloniais e filamentosas. A capacidade de crescimento nos mais diferentes meios é uma das características relevantes das cianobactérias. O enriquecimento por nutrientes dos corpos hídricos cria condições favoráveis ao estabelecimento destes micro-organismos que podem formar florações [4].

O Índice do Estado Trófico (IET) possui como objetivo a classificação de corpos d'água em diferentes graus de trofia, partindo do levantamento das concentrações do nutriente limitante (fósforo) e da clorofila "a" [5]. O IET pode ser considerado como um registro das atividades humanas nas várias bacias hidrográficas, além de fornecer subsídios para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos, por meio de estratégias que visem à sustentabilidade dos recursos hídricos e que garantam os usos múltiplos da água, em médio e longo prazo [6].

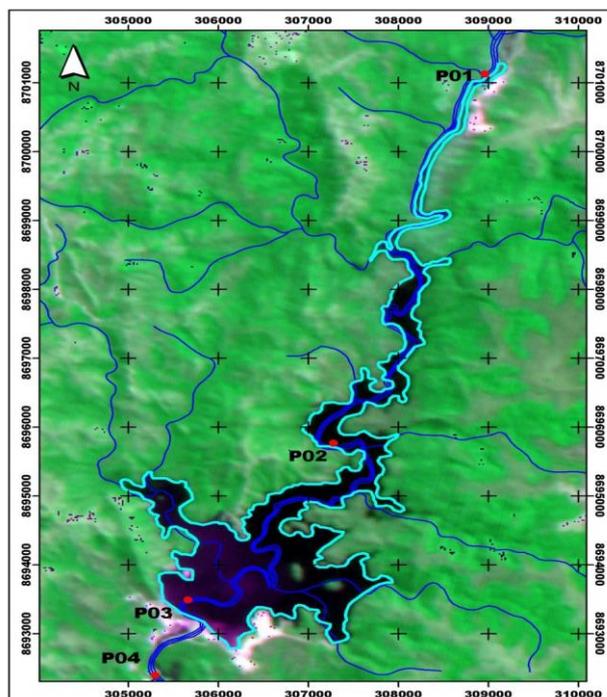
Assim, torna-se necessário o conhecimento da representatividade das cianobactérias planctônicas, organismos bioindicadores da qualidade da água e que se desenvolvem nos reservatórios para que medidas mais efetivas possam ser tomadas, sendo extremamente escassos os trabalhos com este objetivo. Diante da importância ecológica e sanitária das cianobactérias e da insuficiência de dados mais detalhados sobre sua relação com a qualidade da água, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água no reservatório da PCH Porto Franco através da abundância relativa de *Cyanobacteria* e o IET.

## MATERIAL E MÉTODOS

A PCH Porto Franco, localizada no rio Palmeiras, abaixo da PCH Diacal, ocupa áreas pertencentes aos municípios de Dianópolis pela margem direita e de Novo Jardim pela margem esquerda. As obras foram iniciadas em agosto de 2006 com término em agosto de 2009. O início do enchimento do reservatório da PCH Porto Franco ocorreu em maio de 2009, com finalização do enchimento total em agosto de 2009, com o uma área total de 5,6 km<sup>2</sup>. O rio Palmeiras, desde a década de noventa, vem sendo objeto de estudos buscando o aproveitamento do seu potencial hidrelétrico. Entretanto, somente em 2002 a Agência Nacional de Energia Elétrica aprovou a construção de PCHs em seu leito. A PCH Porto Franco está localizada na área de influência considerada Complexo Hidrelétrico Palmeiras [7]. Atualmente é um ambiente destinado a produção de energia elétrica e aquicultura compondo um sistema de reservatórios em cascata.

Foram realizadas 19 coletas, a partir do enchimento do reservatório, no período de julho 2009 a junho de 2014, onde se avaliou em quatro pontos amostrais a comunidade fitoplanctônica, fósforo e clorofila a. O ponto 01 está localizado a montante do reservatório na área de transição entre o sistema lótico e lântico, o ponto 02 na parte central do reservatório, em frente ao barramento se encontra o ponto 03 e o ponto 04 está a jusante da barragem (Figura 1).

**Figura 1.** Pontos de coleta no reservatório da PCH – Porto Franco.



Fonte: Elaborado pelo autor

Amostras quali-quantitativas de fitoplâncton foram coletadas na subsuperfície dos pontos amostrais por meio de rede de plâncton 25µm e recolhimento de 1 litro de água bruta. As amostras para estudos qualitativos foram fixadas com solução de Transeau (1:1), analisadas em microscópio óptico OLYMPUS BX41 e aquelas para análise quantitativa com lugol acético com concentração final a 1% [8]. A densidade do fitoplâncton foi estimada pelo método de Utermöhl [9] a partir de campos aleatórios através de quantificação de organismos (células, colônias, cenóbios e filamentos) em microscópio ZEISS PRIMOVERT a 400 aumentos, e expressa em ind.mL<sup>-1</sup>. As contagens foram feitas após cerca de 3 horas de sedimentação para cada centímetro de altura da câmara. A quantificação dos organismos foi efetuada até estabilizar o número de espécies adicionadas por campo (área de compensação) ou até atingir 100 indivíduos da espécie mais frequente. De acordo com Lund [10], deste modo, o erro da contagem será inferior a 20%, nível de significância 95%. As espécies dominantes e abundantes foram definidas segundo Lobo e Leighton [11]. A abundância relativa de *Cyanobacteria* apresentada nos resultados é referente à porcentagem que este grupo representa no fitoplâncton total e foi calculada de forma a demonstrar percentualmente o quanto cada táxon é presente dentro da amostra [12].

As análises de clorofila *a* e fósforo total seguiram metodologia preconizada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [9] e tiveram suas concentrações mensuradas em espectrofotômetro (HACH DR 5000). Para a análise de clorofila *a*, as amostras foram agitadas vigorosamente e uma alíquota de 250 ml foram filtradas através de uma bomba de vácuo, usando filtro analítico em microfibras de vidro de 47 mm de diâmetro. Os filtros utilizados foram deixados, por um período de quatro horas, em uma solução de Clorofórmio-Metanol (2:1) [13] (Wood, 1985). Posteriormente, a leitura da clorofila *a* foi feita em espectrofotômetro (HACH DR 5000), com comprimentos de onda de 665 nm e 750 nm.

O Índice do Estado Trófico é composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo - IET (PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila *a* - IET (CL), modificados por Lamparelli [14] e estabelecidos para ambientes lênticos conforme as equações:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - (1,77 - 0,42 \times (\ln \text{PT}) / \ln 2)) \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: PT é a concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L<sup>-1</sup>; CL é a concentração de clorofila *a* medida à superfície da água, em µg.L<sup>-1</sup>; ln é o logaritmo natural

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para rios são: ultraoligotrófico (IET ≤ 47), oligotrófico (47 < IET ≤ 52), mesotrófico (52 < IET ≤ 59), eutrófico (59 < IET ≤ 63), supereutrófico (63 < IET ≤ 67) e hipereutrófico (IET > 67). O IET final foi à média aritmética simples dos índices anuais relativos ao fósforo total e a clorofila *a*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ponto localizado na entrada do reservatório (P01), com interface entre o ambiente lótico e lêntico, apresentou menores valores de abundância relativa de cianobactérias quando comparados com os demais. Em 19 coletas variou de ausência a 26,58%. A influência do ambiente lótico neste local pode explicar os valores reduzidos de abundância relativa na maioria das amostragens, uma vez que águas com maior turbulência limitam o desenvolvimento destes organismos (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Abundância relativa de *Cyanobacteria* (%) nos pontos amostrais estudados.

Mês de amostragem	Pontos amostrais			
	P01	P02	P03	P04
Julho/2009	6,25	12,5	4,73	5,83
Agosto/2009	3,15	6,76	1,67	3,2
Setembro/2009	18,09	9,33	4,81	1,93
Dezembro/2009	15,97	4,88	3,43	11,41
Março/2010	5,79	23,98	13,16	3,51
Junho/2010	8,81	19,53	3,6	9,15
Setembro/2010	Ausente	15,17	20,12	9,7
Dezembro/2010	11,51	5,25	31,17	36,39
Março/2011	18,03	20,54	60,56	61,79
Junho/2011	24,61	25,68	50,34	43,42
Setembro/2011	5,48	28,65	26,03	29,65
Janeiro/2012	7,34	14,11	52,99	51,59
Agosto/2012	56,6	7,87	72,56	1,54
Janeiro/2013	11,45	6,28	25,29	24,14
Março/2013	11,45	6,28	25,29	24,14
Junho/2013	17,59	40	57,59	32,01
Setembro/2013	26,58	48,56	89,05	83,34
Dezembro/2013	14,29	27,24	63,37	69,95
Junho/2014	2,97	45,78	27,76	50,09

Fonte: Dados da pesquisa (2015)

Na região central do reservatório (P02) os valores de abundância relativa foram mais elevados que em P01, e menores que P03 e P04 e variaram de 4,88% a 48,56% nos períodos amostrais.

O ponto localizado a montante do barramento foi o que apresentou os maiores valores de abundância relativa, variando de 1,67% a 89,05%. Baixos valores de abundância relativa neste ponto podem ser atribuídos ao período do enchimento do reservatório, uma vez que ainda não havia condições para o estabelecimento de cianobactérias neste local. Com a estabilização da coluna d'água, as densidades de cianobactérias foram aumentando e apresentaram dominância em 7 episódios amostrais. A localização deste ponto propicia o crescimento destes organismos, uma vez que além de congrega os eventos ocorridos na bacia hidrográfica em relação aos nutrientes, apresenta maior profundidade e estabilidade da coluna d'água. A proliferação de algas e cianobactérias acontece, na maioria dos casos, devido ao enriquecimento artificial por nutrientes, principalmente fosfatados e nitrogenados [15].

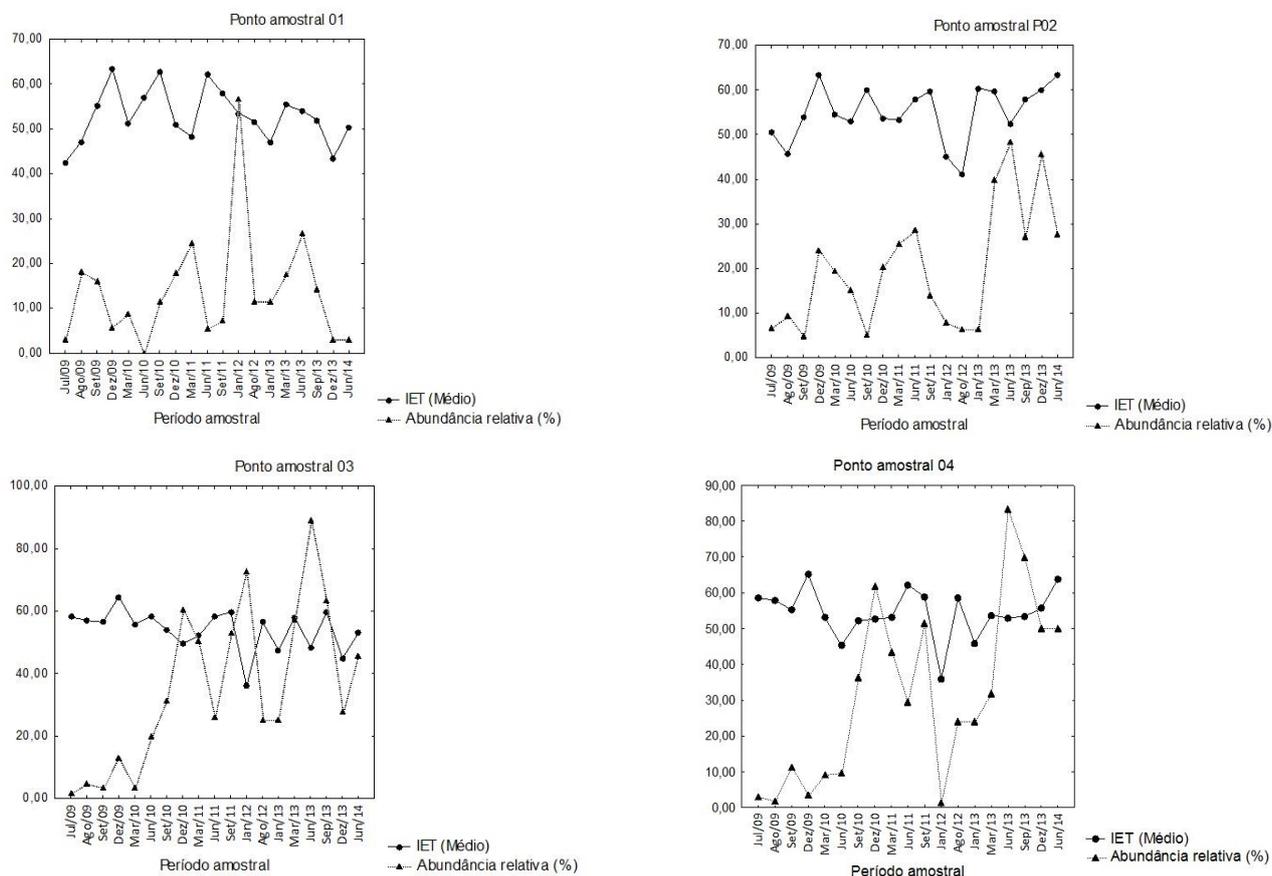
O P04 está localizado a jusante do barramento e recebe influência direta do ponto a montante e por isso também apresentou valores elevados de abundância relativa de cianobactérias que variaram de 1,54% a 83,34%.

Em 2009, ano de enchimento do reservatório, as cianobactérias foram pouco representativas no fitoplâncton total, tendência que se estabeleceu até setembro de 2010, onde os valores de abundância relativa começaram a se elevar (em torno de

30,00%) principalmente nos pontos a montante (P03) e jusante do reservatório (P04). A partir de dezembro de 2010, foram realizadas 12 coletas e dentre elas o reservatório apresentou 9 episódios de dominância de cianobactérias (valores acima de 50,00%). Sob determinadas condições ambientais as cianobactérias podem se tornar a parcela dominante do fitoplâncton de lagos, reservatórios e rios, formando muitas vezes florações. O enriquecimento das águas com nutrientes provenientes de esgotos urbanos, efluentes provenientes de atividades agropastoris e industriais, principalmente nitrogênio e fósforo, e considerado a principal causada ocorrência de florações de cianobactérias [4].

A partir de dezembro de 2010, após o período de enchimento e estabilização do reservatório, as condições climáticas e hídricas da PCH Porto Franco se mostram propícias à predominância de cianobactérias. Devido às características climáticas da região, o reservatório da PCH Porto Franco apresentou durante o estudo, período de chuva e estiagem bem distintos, ocorrendo de outubro a março e maio a setembro respectivamente. Observou-se, porém a inexistência de um padrão de dominância destes organismos relacionado à sazonalidade. A dominância de cianobactérias ocorreu tanto no período seco como no chuvoso (Figura 2).

Figura 2. Valores de IET (médio) e abundância relativa (%) dos pontos amostrais



Os episódios de dominância de cianobactérias estiveram relacionados às altas densidades de *Planktolynghya limnetica* e *Cylindrospermopsis raciborskii*, espécies fitoplanctônicas muito comuns em reservatórios brasileiros. *C. raciborskii* tem sido registrada como espécie dependente de certa estabilidade física da coluna de água e que se desenvolve quase que exclusivamente em águas com temperatura acima de 20°C, característica comumente encontrada no reservatório da PCH Porto Franco. O sucesso da espécie invasora *C. raciborskii*, pode ser atribuído a fatores como: habilidade de flutuar; baixo requerimento de luz; alta taxa de assimilação do amônio; capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico; alta afinidade pelo fósforo e grande capacidade de estoque deste elemento; e resistência a predação pelo zooplâncton [4, 16, 17]. *P. limnetica* tem sido associada a ambientes turbidos e misturados sendo tolerantes a baixas intensidades de luz [18].

*Planktolynghya limnetica* e *Cylindrospermopsis raciborskii* são consideradas espécies potencialmente tóxicas relacionadas à produção de hepatotoxinas e neurotoxinas. A mesma espécie de *C. raciborskii* está relacionada à produção de diferentes toxinas (cilindrospermopsina e saxitoxina) em locais distintos do planeta. De acordo com suas estruturas químicas, as cianotoxinas podem ser incluídas em três grandes grupos: os peptídeos cíclicos, os alcaloides e os lipopolissacarídeos. Entretanto, por suas ações farmacológicas, as duas principais classes de cianotoxinas até agora caracterizadas são as neurotoxinas e hepatotoxinas. Nem todas as florações de cianobactérias são tóxicas e algumas podem ser tóxicas durante apenas um período do ano, do mês ou da semana [4].

O aumento das densidades de cianobactérias é um bom indicador da qualidade da água. O reservatório da PCH Porto Franco está constantemente sujeito a alta incidência luminosa e altas temperaturas do ar o que somados as condições predominantemente mesotróficas do reservatório, o tornou favorável ao crescimento destes organismos.

A avaliação dos dados mostra que, os valores de clorofila *a* e fósforo total apresentaram uma ampla gama de variação. As concentrações encontradas do parâmetro fósforo total para as águas superficiais no reservatório da PCH Porto Franco, oscilaram entre o limite de detecção do método (0,002) e 0,540 mg.L<sup>-1</sup>. Com destaque, para os dados obtidos durante a amostragem de dezembro de 2009 que apresentaram altas concentrações do parâmetro em todos os pontos amostrais.

Dos 76 dados obtidos de fósforo total, 63,16% (n=48) apresentaram concentrações inferiores ou iguais a 0,050 mg.L<sup>-1</sup>. Segundo metodologia proposta por LAMPARRELI (2004), amostras com valores superiores a 0,052 mg.L<sup>-1</sup> para o parâmetro fósforo total são considerados ambientes com estado de trofia, eutrófico.

Dos 76 dados de clorofila *a* analisados 83,34% (n=60 amostras) apresentaram concentrações inferiores ou iguais a 11,03 µg.L<sup>-1</sup>, limite estabelecido por Lamparrelli [14] para ambientes eutrofizados. As concentrações de clorofila *a* variaram de 0,15 a 28,36 µg.L<sup>-1</sup> no período amostral, ou seja, entre as classes ultraoligotrófico e eutrófico. As maiores concentrações foram observadas no ponto amostral P02, com valor médio de 6,87 µg.L<sup>-1</sup>.

O ponto localizado na entrada do reservatório (P01), com interface entre o ambiente lótico e lêntico apresentou predominância do estado “oligotrófico”, durante o período observado. Em 42,10% das coletas nesse ponto amostral, o mesmo foi considerado “oligotrófico”, seguido de 26,32% das amostras sendo consideradas “mesotróficas”, 15,80% das amostras classificadas como estado trófico “ultraoligotrófico”, 10,52% como eutrófico e 5,26% “supereutrófico”. Em dezembro de 2009, a classificação foi “supereutrófico”, justificado pelo incremento observado para o PT em todos os pontos amostrais. Sendo assim, o ponto amostral 01 apresentou seus valores de IETm oscilando entre 43,41 e 63,32. Esse resultado mostra um ponto de amostragem com baixas concentrações de nutrientes e produtividade primária, com eventos esporádicos de condições eutróficas. Pode-se destacar, a contínua diminuição do grau de trofia a partir de setembro de 2011.

Nota-se também, a ocorrência de apenas um evento de dominância de cianobactérias nesse ponto amostral, ocorrido em janeiro de 2012, com abundância relativa de 56,60 % e com densidade total de 1908 ind.ml (**Tabela 2**).

Através do cálculo do índice do estado trófico segundo Lamparelli [14], a estação amostral localizada na parte central do reservatório, P02, apresentou uma ampla gama de variação durante o período amostral. Os valores de IET médio oscilaram de 41,00 em agosto de 2012 a 63,33 em dezembro de 2009. Em 42,11% das amostras coletadas nessa estação amostral, o ponto foi classificado como “mesotrófico”, em 26,31% como “eutrófico”, em 15,79% como “ultraoligotrófico”, em 10,53% como supereutrófico e em 5,26% como “oligotrófico”. Foi observada uma leve deterioração da qualidade da água do P01 para o P02, uma vez

que essa estação amostral foi classificada como “mesotrófica” com uma incidência maior de eventos, que demonstram condições de elevado enriquecimento de nutrientes e alta produtividade planctônica (“eutrófico” e “supereutrófico”) corroborando com o incremento da densidade total ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) de fitoplâncton. Em janeiro de 2013 foi observado um acréscimo da biomassa fitoplanctônica com densidade total de  $3591 \text{ ind.mL}^{-1}$ , a maior observada durante o período amostral. O estado trófico, durante essa amostragem, foi classificado como “eutrófico”. É válido ressaltar que mesmo com essas condições não tivemos dominância de Cianobactérias durante as amostragens.

**Tabela 2.** Densidade total ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) nos pontos amostrais estudados.

Mês de amostragem	Pontos amostrais			
	P01	P02	P03	P04
Julho/2009	160	180	1290	1046
Agosto/2009	2700	148	1438	1592
Setembro/2009	188	1158	1415	2716
Dezembro/2009	263	574	932	1367
Março/2010	259	342	585	1169
Junho/2010	227	214	389	153
Setembro/2010	180	323	323	330
Dezembro/2010	305	305	523	404
Março/2011	172	331	839	649
Junho/2011	65	222	582	357
Setembro/2011	146	171	584	344
Janeiro/2012	109	163	1172	628
Agosto/2012	1908	178	2602	2467
Janeiro/2013	166	446	550	377
Março/2013	370	3591	2182	270
Junho/2013	91	610	1061	528
Setembro/2013	521	521	1918	1765
Dezembro/2013	56	246	1187	569
Junho/2014	472	1029	890	533

Fonte: Elaborado pelo autor

A estação amostral localizada em frente ao barramento da PCH de Porto Franco, P03, apresentou os maiores valores de densidade total de fitoplâncton do estudo. O IET médio exibiu uma oscilação de 35,94 a 59,57. A predominância de estado trófico desse ponto amostral foi “mesotrófico”, fato constatado em 57,90% das coletas realizadas, seguida da classificação “ultraoligotrófico” em 21,05%, “eutrófico” em 10,53%, 5,26% “oligotrófico” e em 5,26% “supereutrófico. Esse ponto amostral teve a maior abundância relativa de cianobactéria do estudo, em

junho de 2013, 89,05% da comunidade fitoplanctônica.

Segundo Lamparelli [14] para avaliação do grau de limitação da produtividade do fitoplâncton, são comparadas as classificações obtidas entre o IET (CI) e o IET (P). Quando os dois índices classificam os ambientes na mesma classe trófica, o grau de limitação é considerado “normal”. Quando a classificação através do índice do fósforo classifica o ambiente em classe superior à obtida através das concentrações de clorofila *a*, indicando que há algum fator limitante que reduz a produtividade das algas o grau de limitação é considerado “alto”. No caso inverso, quando as concentrações de clorofila *a* resultam em uma classificação superior à obtida pelo IET (P), o grau de limitação é considerado “baixo”, existindo condições favoráveis para a produtividade primária, considerando os nutrientes disponíveis. O ponto 03 apresentou 47,37% das amostras com grau de limitação “normal”, 42,11% com grau de limitação “alto” e 10,52% com grau de limitação “baixo”.

A estação amostral localizada à jusante da PCH de Porto Franco, P04, apresentou o IET médio oscilando de 35,94 a 65,25. A predominância de estado trófico desse ponto amostral foi “mesotrófico”, sendo que em 68,42% das coletas realizadas apresentaram essa classificação, seguido do estado “ultraoligotrófico” em 15,79%, “supereutrófico” em 10,53% das amostras coletadas e em 5,26% “eutrófico”. Os índices de eutrofização encontrados no P04 mantiveram-se linearmente durante grande parte do experimento, porém com a ocorrência de dominância de Cianobactérias em dezembro/2010, setembro/2011, junho/2013, setembro/2013, dezembro/2013 e junho/2014. Em relação à densidade total fitoplanctônica podemos observar um padrão de distribuição, com valores acima de  $1.110 \text{ ind.mL}^{-1}$  durante os meses iniciais do processo de estabilização do reservatório (julho a dezembro de 2009), um posterior declínio a partir de março de 2010 com densidades abaixo dos  $700 \text{ ind.mL}^{-1}$ , com exceção da campanha de janeiro de 2012 ( $2.467 \text{ ind.mL}^{-1}$ ) e junho de 2013 ( $1.765 \text{ ind.mL}^{-1}$ ).

## CONCLUSÃO

O reservatório da PCH Porto Franco na sua fase de enchimento e no período logo posterior (julho a setembro de 2009) apresenta condições de trofia que variaram de ultraoligotrófico a mesotrófico.

Em dezembro de 2009 ocorreu um evento estocástico, onde o reservatório apresenta altas concentrações de nutrientes e condições supereutróficas em todos os pontos. Na

amostragem posterior, março de 2010, as condições voltaram à mesotrofia com exceção do ponto localizado na entrada do reservatório, considerado oligotrófico.

As cianobactérias ocorreram em todos os pontos monitorados e foram representadas por vários táxons potencialmente tóxicos, como *Cylindrospermopsis raciborski* e *Planktolyngbya limnetica*.

A dominância de *Cyanobacteria* foi associada às condições mesotróficas, eutróficas e supereutróficas que ocorreram especialmente nos pontos a montante e a jusante do barramento, principalmente a partir de dezembro de 2010, quando o reservatório já estava em processo de estabilização.

O predomínio do ambiente lântico, disponibilidade de radiação subaquática, elevadas temperaturas da água durante o ano, bem como a disponibilidade de nutrientes demonstrados pelo IET são condições que estimulam a fotossíntese e a

multiplicação das cianobactérias e determinaram o seu expressivo desenvolvimento no reservatório da PCH Porto Franco.

## AGRADECIMENTO

A FAPTO pelo financiamento deste trabalho.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

1. Condução e avaliação do experimento, análises estatísticas e elaboração do artigo:

[Dr<sup>a</sup>. Anelise Kappes Marques](#)

[Dayane Juliate Barros](#)

2. Planejamento, orientação e revisão final do artigo:

[Dr<sup>a</sup>. Paula Benevides de Moraes](#)

## REFERÊNCIAS

- [1]. CARDOSO O. R.; ROCHA N. S.; XAVIER R. A.; VALDUGA, E. T.; DISCONZI G. S.; RADTKE L.; CRUZ, R. C. Análise de fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo - RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.20, n.2, p.507-522, 2015
- [2]. VASCONCELOS, J.F.; BARBOSA, J. E. L.; DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O. Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. **Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia**, v. 39, n. 2, p. 1-20. 2011.
- [3]. ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência/FINEP, 2011, 826 p
- [4]. MOLICA, R.; AZEVEDO, S. Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. **Oecologia Brasiliensis**, n.13, v. 2, p. 229-246, 2009.
- [5]. CORDEIRO, E. M. S.; ROCHA, F. N. S.; PEQUENO, M. N. C.; BUARQUE, H. L. B.; GOMES, R. B. **Avaliação comparativa dos índices de estado trófico das lagoas do Opaia e da Sapiranga**. Fortaleza-Ce, IX ENCONTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO, IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, III SIMPÓSIO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, Fortaleza, 2009.
- [6]. FIA, R.; MATOS, T. A.; CORADI, P. C.; RAMIREZ, O. P. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.4, n.1, 2009. DOI:10.4136/ambi.agua.78
- [7]. BARROS, E. F. S.; M. C. H.; SOARES L. A.; SIQUEIRA E. Q.; PINHEIRO R. C. D. Influência do regime hidrológico sobre os parâmetros de qualidade das águas no rio Palmeiras, TO. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2011.
- [8]. BICUDO, C.E.; MENEZES, M. **Gêneros de algas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições**. 2a ed., Rima. São Carlos, 2006. 502p.
- [9]. APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington APHA/WEF/AWWA, 2005
- [10]. LUND, J. W. G. E; KIPLING, C.; LE CREN, E. D.. The inverted microscope method of estimating algal number and the statistical basis of estimating by counting. **Hydrobiologia**, n. 11, p. 143-170, 1958.
- [11]. LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitárias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v.22, p.1-29, 1986.
- [12]. ODUM, E. P. **Ecologia**. Trad. R. I. Rios. 1. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1983.
- [13]. WOOD, L. W. Chloroform-Methanol Extraction of Chlorophyll a. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, n. 42, p. 38- 43, 1985. DOI:10.1139/f85-005

- [14]. LAMPARELLI, M. C. (2004). **Grau de Trofia em Corpos D'Água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento**. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 238 p
- [15]. VERAART, A. J.; ROMAN, Í, A. M.; TORNES, E.; SABATER, S. Algal response to nutriente enrichment in forested oligotrophic stream. **Journal of Phycology**, v. 44, p. 564-572, 2008. DOI:10.1111/j.1529-8817.2008.00503.x
- [16]. BONILLA, S.; AUBRIOT, L.; SOARES, M. C. S.; GONZÁLEZ-PIANA, M.; FABRE, A.; HUSZAR, V. L. M.; LÜRLING, M.; ANTONIADES, D.; PADISÁK, J.; KRUK, C. What drives the distribution of the bloom-forming cyanobacteria *Planktothrix agardhii* and *Cylindrospermopsis raciborskii*? **FEMS Microbiology Ecology**, v. 79, p.594–607, 2012. DOI:10.1111/j.1574-6941.2011.01242.x
- [17]. TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M.; BLANCO, F. P.; ABE, D. S.; CONTRI CAMPANELLI, L.; SIDAGIS GALLI, G.; SILVA, V. T.; LIMA, C. P. P. A bloom of cyanobacteria (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) reservoir: a consequence of global change? **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 75, n. 2, p. 507-508, 2015. DOI:10.1590/1519-6984.24914
- [18]. PADISAK, J. L.; CROSETTI, L. O.; NASELLI FLORES, L. Use e misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, n. 621, p. 1-19, 2009. DOI:10.1007/s10750-008-9645-0