



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E RECURSOS**  
**AQUÁTICOS TROPICAIS**

**PAOLA VITORIA BRITO PIRES**

**O FITOPLÂNCTON COMO BIOINDICADOR DA QUALIDADE DA ÁGUA DO**  
**SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA DA REGIÃO**  
**METROPOLITANA DE BELÉM (PARÁ, BRASIL)**

**BELÉM**

**2021**

**PAOLA VITORIA BRITO PIRES**

**O FITOPLÂNCTON COMO BIOINDICADOR DA QUALIDADE DA ÁGUA DO  
SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA DA REGIÃO  
METROPOLITANA DE BELÉM (PARÁ, BRASIL)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Amazônia como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, para a obtenção do título Mestre.

Área de Concentração: Ecologia Aquática.  
Orientador: Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo  
Co-orientadora: Dra. Eliane Brabo de Sousa

**BELÉM**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- P667f Pires, Paola Vitória Brito  
O fitoplâncton como bioindicador da qualidade da água do sistema de abastecimento público de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil) / Paola Vitória Brito Pires. - 2021.  
147 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais (PPGARAT), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.  
Orientador: Prof. Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo  
Coorientador: Profa. Dra. Eliane Brabo de zousa.
1. Fitoplâncton . 2. Ecologia Aquática . 3. Grupos Funcionais . 4. Grupos Morfofuncionais . 5. Índices Ecológicos . I. Melo , Nuno Filipe Alves Correia de , *orient.* II. Título
-

**PAOLA VITÓRIA BRITO PIRES**

**O FITOPLÂNCTON COMO BIOINDICADOR DA QUALIDADE DA ÁGUA DO  
SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA DA REGIÃO  
METROPOLITANA DE BELÉM (PARÁ, BRASIL)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Amazônia como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, para a obtenção do título Mestre.

**28/06/2021**

**Data de Aprovação**

**Banca Examinadora:**

*Nuno Filipe A. C. Melo*

Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo- Orientador  
Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA

*Eliane Brabo de Sousa*

Dra. Eliane Brabo de Sousa- Co-orientadora  
Ministério da Saúde, Instituto Evandro Chagas- IEC

*Samara Cristina C. Pinheiro*

Dra. Samara Cristina Campelo Pinheiro- Membro  
Ministério da Saúde, Instituto Evandro Chagas- IEC

*Bárbara Dunck Oliveira*

Dra. Bárbara Dunck Oliveira- Membro  
Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA

*Xiomara Franchesca Garcia Diaz*

Dra. Xiomara Franchesca García Díaz- Membro  
Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal Rural da Amazônia e a CAPES, que me proporcionaram apoio e condições para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Evandro Chagas, que durante esses 2 anos se tornou minha segunda casa, e me proporcionou a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo, sem a sua dedicação, empenho e paciência este trabalho não seria possível.

À Dra. Eliane Brabo de Sousa, que, além de co-orientadora se tornou uma amiga, uma mentora e uma grande mestre, que terei o orgulho de levar ao longo da vida. Quería agradecer por ter dado todo seu empenho a realização deste trabalho, e em tempos difíceis como os que estamos passando hoje, sempre foi positiva e me incentivou de todas as formas.

Aos amigos da pós-graduação, Rayane Guimarães, Carlos Patricio, Taiana Amanda, Renan Matangrano, Janylle Araújo, Ricarla Viana e Aldry Lohan que foram companheiros e proporcionaram momentos de alegria durante esta caminhada e a todos os professores da UFRA que ao longo do curso nos ensinaram e aconselharam em todos os momentos.

Aos amigos do Laboratório de Cianobactérias e Bioindicadores Aquáticos, Aline Lemos, Vanessa Tavares, Celly Cunha, Lisbethe Melo, Samara Pinheiro, Samara Pinto, Raissa Serrão, Gabriel Calandrini e Marcos Paiva, que todos os dias me acolheram e me proporcionaram conselhos, ensinamentos e risadas no laboratório.

À minha mãe Glaura Brito, minha avó Odomarina Ferreira, aos meus irmãos Bianca Pires e Thiago Pires, pelo amor, incentivo e amparo incondicional durante essa longa jornada.

Aos meus amigos Karoline Menezes, Camila Leão, Jade Ohana, Bruno Moura, Roberto Porto e Naina Jardim que sempre estiveram ao meu lado independentemente das situações.

Ao meu namorado Arthur Henriques por todo suporte emocional e incentivo em horas necessárias.

A todos que mesmo indiretamente me apoiaram ao longo dessa jornada, aqui fica o meu muito obrigada!

## **LISTA DE SIGLAS**

1-D – Índice de Simpson

$\mu\text{S}$ - microsiemens

$\mu\text{m}^3$ - micrômetro cúbico

$\mu\text{m}$ - micrômetro

$^{\circ}\text{C}$ - grau célsio

ANA- Agência Nacional de Águas

C.E- Condutividade elétrica

cm- centímetro

CETESB- Companhia de Saneamento de São Paulo

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

$D\alpha$ - Índice de Margalef

GF- Grupos Funcionais

GFBM- Grupo Funcional Baseado na Morfologia

GMF- Grupos Morfofuncionais

$H'$ - Índice de Shannon

H- horas

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICF- Índice da Comunidade Fitoplanctônica

IET- Índice de Estado Trófico

ind.- indivíduo

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

$J'$ - Índice de Pielou

Km- quilômetro

$\text{L}^{-1}$ - litro

mg- miligrama

mL- mililitro

mm- milímetro

PCA- Análise de componentes principais

PEUT- Parque Ambiental Estadual do Utinga

RDA- Análise de redundância

RMB- Região Metropolitana de Belém;

SNIS- Sistema Nacional de informações sobre Saneamento

T- Temperatura

TDS- Sólidos totais em suspensão

STS- Sólidos totais dissolvidos

UNEP- Programa de Proteção Ambiental das Nações Unidas

UNT- Unidades Nefelométricas de turbidez

WHO – World Health Organization

## RESUMO

Este trabalho teve como temática abordar os grupos funcionais do fitoplâncton e os índices ecológicos do sistema de abastecimento público de água da Região Metropolitana de Belém (Amazônia, Pará, Brasil). O sistema abrange os reservatórios Água Preta, Bolonha e o Rio Guamá, visto que estudos sobre essas temáticas são escassos, sendo pouco conhecidas as respostas do fitoplâncton sobre a qualidade das águas destes ambientes. O objetivo deste trabalho foi identificar a composição, densidade e biomassa do fitoplâncton do sistema de abastecimento de Belém (reservatórios Bolonha, Água Preta e Rio Guamá), através do estudo do biovolume algal, índices ecológicos e grupos funcionais nas interpretações da dinâmica desta comunidade, da dinâmica limnológica e suas respostas às possíveis alterações da qualidade da água. Nos reservatórios foram realizadas coletas mensais (jan, fev, mar, abr, jun, jul e out/2019) de água em quatro pontos. Já no Rio Guamá as amostragens ocorreram mensalmente de maio/2019 a abril/2021, no ponto de captação de água para o sistema de abastecimento público. Nestes pontos foram determinados os fatores físico-químicos, densidade e biomassa do fitoplâncton. Houve variação sazonal da turbidez, transparência e precipitação pluviométrica dos fatores físico-químicos nos reservatórios e N-amoniaco, STS, CV e transparência no Rio Guamá. No sistema de abastecimento foram identificadas 262 espécies fitoplanctônicas, as quais apresentaram variações espaço-temporais na densidade e biomassa. Nos reservatórios os principais GF foram W1, Lm e Q; GMF: 6a, 1a, 5b e 11c; GFBM: V, VI e VII. A riqueza de espécies variou significativamente entre os meses. O reservatório Bolonha apresentou menor riqueza, menor diversidade, maior dominância e menor equitabilidade, em relação ao reservatório Água Preta. Já no Rio Guamá o GF P prevaleceu nos meses de estudo, a clorofila- *a* acompanhou as variações das densidades, a clorofila- *c* foi mais elevada que a clorofila- *b*, indicando a dominância das diatomáceas com mais de 80 % durante todo o período, o ICF considerou as águas variando de boa a ótima. O IET classificou o Rio Guamá de oligo- mesotrófico. Este estudo recomenda os grupos funcionais do fitoplâncton- GFs e os índices ecológicos como ferramenta de bioindicação e monitoramento da qualidade ambiental por serem práticos e representativos do ambiente.

Palavras-chave: estuários amazônicos, reservatórios tropicais, qualidade da água, indicadores aquáticos.

## ABSTRACT

This work had as its theme to approach the phytoplankton functional groups and the ecological indexes of the public water supply system in the Metropolitan Region of Belém (Amazon, Pará, Brazil). The system encompasses the reservoirs Água Preta, Bolonha and the Guamá River, since studies on these themes are scarce, and the answers of phytoplankton about the quality of the water in these environments are little known. The aim of this work was to identify the phytoplankton composition, density and biomass of the Belém supply system (reservoirs Bologna, Água Preta and Rio Guamá), through the study of algal biovolume, ecological indexes and functional groups in the interpretations of the dynamics of this community, of the limnological dynamics and their responses to possible changes in water quality. In the reservoirs, monthly collections (Jan, Feb, Mar, Apr, Jun, Jul and Oct / 2019) of water were carried out at four points. On the Guamá River, sampling took place monthly from May/2019 to April/2021, at the collection point of water to the public supply system, to determine the physico-chemical factors, density and biomass of phytoplankton. There was seasonal variation in turbidity, transparency and rainfall of the physical-chemical factors in the reservoirs and N-ammonia, STS, CV and transparency in the Guamá River. In the supply system, 262 phytoplankton species were identified, which showed space-time variations in density and biomass. In the reservoirs the main GF were W1, Lm and Q; GMF: 6a, 1a, 5b and 11c; GFBM: V, VI and VII. Species richness varied significantly between months. The Bolonha reservoir showed less richness, less diversity, greater dominance and less evenness, in relation to the Água Preta reservoir. In the Guamá River, GF P prevailed in the months of the study, chlorophyll-a followed variations in densities, chlorophyll-c was higher than chlorophyll-b, indicating the dominance of diatoms with more than 80% throughout the period, the ICF considered the waters varying from good to excellent. The IET classified the Guamá River as oligo-mesotrophic. This study recommends the functional groups of phytoplankton-GFs and ecological indexes as a tool for bioindication and monitoring of environmental quality as they are practical and representative of the environment.

Keyword: amazonian estuaries, tropical reservoirs, water quality, aquatic indicators.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

### CONTEXTUALIZAÇÃO

<b>Figura 1-</b>	Mapa de localização do sistema de abastecimento de Belém (Pará) identificando o Rio Guamá e os reservatórios Bolonha e Água Preta.	<b>14</b>
<b>Figura 2-</b>	Fotos dos reservatórios Bolonha e Água Preta, inseridos no Parque Ambiental do Utinga (Belém, Pará).	<b>15</b>
<b>Quadro 1-</b>	Composição de espécies do sistema de abastecimento público de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil)	<b>115</b>
<b>Tabela 1, apêndice-</b>	Espécies fitoplanctônicas e suas principais formas geométricas aplicadas ao cálculo do biovolume dos reservatórios do sistema de abastecimento de Belém (Pará, Brasil), segundo Sun e Liu (2003).	<b>126</b>
<b>Tabela 2, apêndice-</b>	Composição das espécies identificadas nos reservatórios (Água Preta e Bolonha) e Rio Guamá (Belém, Pará, Brasil).	<b>135</b>
<b>Tabela 3, apêndice-</b>	Espécies dos Grupos Funcionais (REYNOLDS et al., 2002; PADISÁK et al., 2009) dos reservatórios (Água Preta e Bolonha) e Rio Guamá.	<b>142</b>
<b>Capítulo 1: Uso dos Grupos Funcionais do fitoplâncton como descritores das condições ambientais em reservatórios urbanos tropicais eutrofizados</b>		
<b>Figura 1-</b>	Mapa da localização do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil) com os pontos de coleta: Água Preta (AP1, AP2, AP3) e Bolonha (BL4).	<b>26</b>
<b>Figura 2-</b>	Variação espaço-temporal das classes do fitoplâncton dos reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil).	<b>30</b>
<b>Figura 3-</b>	Triplot da Análise de Redundância do fitoplâncton dos reservatórios Água Preta e Bolonha.	<b>38</b>
<b>Figura 4-</b>	Variação espaço-temporal dos grupos funcionais do fitoplâncton dos reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil).	<b>39</b>
<b>Tabela 1-</b>	Varáveis físico-químicas e climáticas registradas para o Sistema de Abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil).	<b>29</b>
<b>Tabela 2-</b>	Valor de explicação da RDA para cada abordagem utilizada nos reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil).	<b>40</b>
<b>Tabela 3, suplementos-</b>	Grupos funcionais do fitoplâncton segundo Reynolds et al. (2002) e Padisák et al. (2009).	<b>47</b>
<b>Tabela 2, suplementos-</b>	Biomassa dos Grupos morfofuncionais do fitoplâncton, segundo Salmaso e Padisák (2007).	<b>53</b>
<b>Tabela 3, suplementos-</b>	Biomassa dos Grupos funcionais baseados na morfologia segundo Kruk et al. (2010).	<b>59</b>
<b>Capítulo 2: Índices Ecológicos do fitoplâncton em dois reservatórios urbanos abastecidos por rio de Águas Brancas (Belém, Pará, Brasil)</b>		
<b>Figura 1-</b>	Mapa da localização do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil) com os pontos de coleta: Água Preta (AP1, AP2, AP3) e Bolonha (BL4).	<b>68</b>
<b>Figura 2-</b>	Correlação de Spearman das variáveis abióticas, bióticas e índices ecológicos aplicados ao fitoplâncton dos reservatórios de Belém (Pará, Brasil).	<b>71</b>

<b>Figura 3-</b>	Varição espaço-temporal da densidade ( $\text{ind.L}^{-1} \times 10^3$ ) do fitoplâncton registrada para o sistema de abastecimento público de Belém (Pará, Brasil).	<b>73</b>
<b>Figura 4-</b>	Densidade relativa do fitoplâncton registrada para os reservatórios de abastecimento público de Belém (Pará, Brasil).	<b>74</b>
<b>Figura 5-</b>	Triplot da Análise de Redundância do fitoplâncton dos reservatórios Água Preta e Bolonha.	<b>75</b>
<b>Tabela 1-</b>	Variáveis abióticas registradas para o sistema de abastecimento público de Belém (Pará, Brasil).	<b>72</b>
<b>Tabela 2-</b>	Varição temporal dos índices ecológicos registrada para os reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil).	<b>79</b>
<b>Tabela 3-</b>	Varição espacial dos índices ecológicos registrada para os reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil).	<b>80</b>
<b>Tabela 4-</b>	Valores da correlação de Spearman das variáveis abióticas, bióticas e índices ecológicos registrados para o sistema de abastecimento público de Belém (Pará, Brasil).	<b>80</b>
<b>Capítulo 3: Efeito da sazonalidade e das águas estuarinas sobre o fitoplâncton do Rio Guamá (Amazônia, Belém, Brasil)</b>		
<b>Figura 1-</b>	Mapa da área de estudo, Rio Guamá evidenciando o ponto de coleta defronte a Estação de captação de água para os reservatórios de abastecimento público da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil).	<b>91</b>
<b>Figura 2-</b>	Análise de Componentes Principais das variáveis abióticas do Rio Guamá (Belém, Pará).	<b>95</b>
<b>Figura 3-</b>	Varição temporal e das marés da densidade ( $\text{ind.L}^{-1}$ ) e biomassa do fitoplâncton ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) do Rio Guamá (Belém, Pará), durante maio/2019 a abril/2021.	<b>96</b>
<b>Figura 4-</b>	Varição temporal Densidade ( $\text{ind.L}^{-1}$ ) e biomassa do fitoplâncton ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) do Rio Guamá (Belém, Pará).	<b>97</b>
<b>Figura 5-</b>	Varição temporal densidade dos Grupos Funcionais- GFs do fitoplâncton ( $\text{ind.L}^{-1}$ ) do Rio Guamá (Belém, Pará).	<b>99</b>
<b>Figura 6-</b>	Varição temporal das divisões do fitoplâncton (%), densidade ( $\text{ind.mL}^{-1}$ ) e índices de comunidade fitoplanctônica- ICF e estado trófico- IET do Rio Guamá (Belém, Pará).	<b>100</b>
<b>Figura 7-</b>	Triplot da Análise de Redundância (RDA) mostrando a variação temporal das relações entre o fitoplâncton e variáveis abióticas do Rio Guamá (Belém, Pará).	<b>103</b>
<b>Tabela 1-</b>	Variáveis Físico-químicas registradas para o Rio Guamá (Belém, Pará, Brasil).	<b>109</b>
<b>Tabela 2-</b>	Grupos funcionais do fitoplâncton, segundo Reynolds et al. (2002) e Padisák et al. (2009) registrados para o Rio Guamá (Pará, Brasil).	<b>110</b>

## SUMÁRIO

<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Hipóteses.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Divisão da Dissertação.....</b>	<b>17</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>19</b>
<b>3 CAPÍTULO 1: Uso dos Grupos Funcionais do fitoplâncton como descritores das condições ambientais em reservatórios urbanos tropicais eutrofizados.....</b>	<b>21</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>21</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.1 Área de estudo e amostragens.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2 Coleta e análise das variáveis ambientais e biológicas .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3 Análise estatística.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.1 Fatores limnológicos e climáticos .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.2 Composição e biomassa do fitoplâncton .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.3 Grupos funcionais do fitoplâncton- GFs.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.4 Grupos morfofuncionais do fitoplâncton- GMFS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.5 Grupos funcionais baseados na morfologia- GFBMs.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>
<b>SUPLEMENTOS .....</b>	<b>46</b>
<b>4 CAPÍTULO 2: Índices ecológicos do fitoplâncton em dois reservatórios urbanos abastecidos por rio de águas brancas (Belém, Pará, Brasil).....</b>	<b>63</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>63</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 MATERIAL E METODOS .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.1 Área de Estudo e Amostragem .....</b>	<b>66</b>

<b>4.2.2 Coleta e análise das variáveis bióticas e abióticas.....</b>	<b>67</b>
<b>4.2.3 Análises estatísticas.....</b>	<b>68</b>
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>4.3.1 Fatores abióticos .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3.2 Fatores bióticos .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.3 Análise de índices ecológicos.....</b>	<b>75</b>
<b>4.4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
<b>5 CAPÍTULO 3: Efeito da sazonalidade e das águas estuarinas sobre o fitoplâncton do Rio Guamá (Amazônia, Belém, Brasil).....</b>	<b>86</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>86</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>87</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>88</b>
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>89</b>
<b>5.2.1 Área de estudo e amostragens.....</b>	<b>89</b>
<b>5.2.2 Coleta e análise das variáveis abióticas .....</b>	<b>90</b>
<b>5.2.3 Coleta e análise das variáveis bióticas.....</b>	<b>91</b>
<b>5.2.4 Análise estatística .....</b>	<b>92</b>
<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>93</b>
<b>5.3.1 Variáveis abióticas.....</b>	<b>93</b>
<b>5.3.2 Variáveis bióticas.....</b>	<b>95</b>
<b>5.4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>
<b>SUPLEMENTOS .....</b>	<b>108</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>113</b>

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A água é um recurso natural essencial à origem, manutenção e preservação da vida e do funcionamento dos processos ambientais. Nos últimos anos há uma grande preocupação em relação à escassez de água, visto está perdendo a capacidade de autopurificação e, portanto, reduzindo seus usos múltiplos, principalmente o abastecimento público (JIANPING et al., 2014).

Os reservatórios são corpos d'água formados ou modificados pela atividade humana para fins específicos, a fim de fornecer um recurso confiável e controlável. Seus principais usos incluem o abastecimento de água potável, geração de energia, irrigação agrícola, regulação de rios e controle de enchentes, pesca, recreação, navegação, entre outras (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; DI BERNARDO et al., 2010).

Os reservatórios são suscetíveis à eutrofização cultural ou a um aumento da taxa de envelhecimento causado pelo assentamento humano e atividades na bacia hidrográfica (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2002). As investigações do Programa de Proteção Ambiental das Nações Unidas (UNEP) indicaram que 30% de lagos e reservatórios em todo o mundo estão eutrofizados (YANG et al., 2008).

A eutrofização é o aumento da quantidade de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, no ambiente aquático com conseqüente aumento dos produtores primários que podem ser o fitoplâncton, cianobactérias ou macrófitas aquáticas (SCHINDLER, 2006; COSTA et al., 2018).

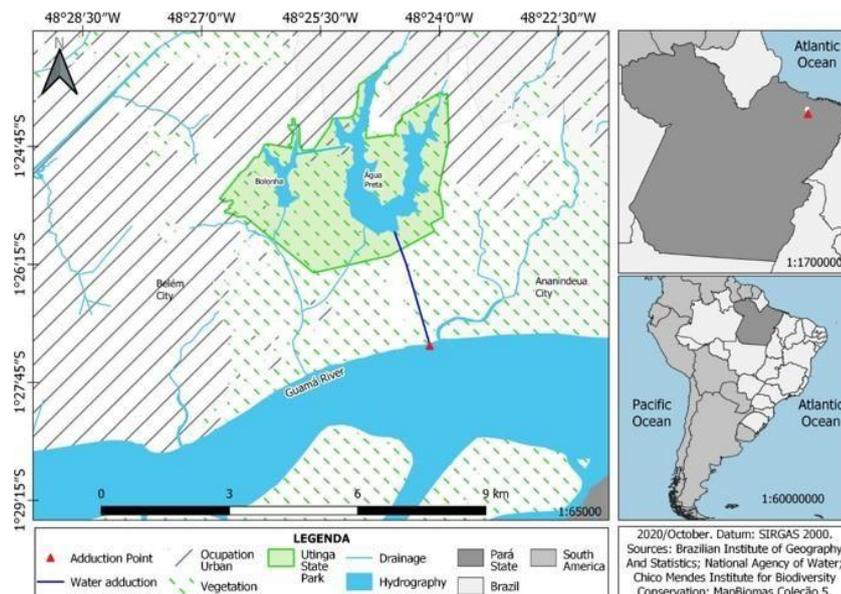
A eutrofização dos reservatórios urbanos é causada por fontes pontuais de nutrientes, como os esgotos domésticos e industriais, sobretudo em regiões de baixa cobertura de saneamento básico como de média e baixa renda (WHO, 2011). Outros fatores como a falta de drenagem do solo, por conta de construções e asfalto, e a poluição atmosférica industrial e automotiva, que são carregados pelas chuvas, contribuem para o assoreamento e eutrofização destes ambientes (PAERL; HUISMAN, 2009; MACHADO et al., 2016; RIBEIRO, 1992; MORALES et al., 2002).

Segundo Oliver *et al.* (2019) o aumento na ocorrência do fenômeno de eutrofização reservatórios urbanos ao redor do mundo e no Brasil aumenta o interesse de estudar este problema. Cerca de 20% de estudos sobre ambientes eutrofizados são brasileiros, apontando que o país vem sofrendo crise hídrica nos últimos anos. Esta crise está presente por todo país, principalmente na região amazônica, que possui os piores indicadores de

saneamento do país, onde apenas 36,8% dos municípios são abastecidos de água por rede geral e 88% dos municípios não possuem redes de esgotamento sanitário (SNIS, 2017).

A Região Metropolitana de Belém- RMB (estado do Pará) é composta pelos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Castanhal e Santa Izabel do Pará, os quais possuem as mais baixas coberturas de saneamento básico do Brasil. Belém e Ananindeua, maiores municípios, coletam e tratam menos de 5% do esgoto domésticos (TRATA BRASIL, 2018), sendo todo o esgoto despejado nos corpos hídricos da região. O sistema de abastecimento desta região é constituído pelo Rio Guamá e os reservatórios Bolonha e Água Preta, os quais abastecem aproximadamente 70% da população (ANA, 2010) (Figura 1).

**Figura 1-** Mapa de localização do sistema de abastecimento de Belém (Pará) identificando o Rio Guamá e os reservatórios Bolonha e Água Preta.



**Fonte:** Autor

O rio Guamá recebe despejos de esgotos domésticos e industriais sem tratamento prévio e resíduos sólidos diversos de bacias hidrográficas próximas à região. Este rio contribui com alta carga de material orgânico (principalmente N e P), o que favorece a eutrofização dos riachos (igarapés) urbanos (SIQUEIRA; APRILE, 2013).

Os reservatórios Água Preta e Bolonha foram construídos por barramento das suas bordas na década de 30, sendo alimentados inicialmente por pequenas drenagens e, embora apresentem volumes de água consideráveis os reservatórios não são capazes de abastecer as cidades, tornando necessária à execução de adução das águas do Rio Guamá, o que provoca algumas mudanças nas suas características limnológicas (RIBEIRO, 1992). Estão inseridos

em uma Unidade de Conservação denominada Parque Ambiental do Utinga- PEUT (PARÁ, 2013).

Apesar de rodeados por uma faixa de vegetação os reservatórios Água Preta e Bolonha estão muito próximo a aglomerados urbanos subnormais, caracterizados pela ausência de esgotamento sanitário, o que aumenta os riscos de *inputs* de nutrientes oriundos de esgoto doméstico. Como possível consequência, os reservatórios apresentam intensa proliferação de macrófitas aquáticas, que indica a poluição do ambiente hídrico por compostos orgânicos oriundos de esgoto e outras atividades que liberam nitrogênio e fósforo para o sistema (SOUSA, 2017) (Figura 2).

**Figura 2-** Fotos dos reservatórios Bolonha e Água Preta, inseridos no Parque Ambiental do Utinga (Belém, Pará): A- Bolonha dominado por macrófitas aquáticas B- Bolonha logo após a retirada de parte das macrófitas; C- atividades no entorno do Água Preta; e D- Água Preta com tapetes de macrófitas aquáticas nas suas margens.



Fonte: Autor

Além disso, os reservatórios estão localizados a 1,4 km de distância o aterro sanitário do Aurá que pode afetar as águas dos reservatórios. Siqueira e Aprile (2013) evidenciaram que existe uma pluma de chorume oriunda do aterro sanitário que apresenta forte influência a presença de íons metálicos (Al, Fe, Mn, Cr, Ni, Cu) na bacia e seu

consequente enriquecimento, que se depositam no sedimento, podendo causar impactos e possíveis riscos de contaminação. Embora o aterro esteja desativado desde 2016 há um risco eminente de contaminação das águas e sedimentos, devido, principalmente, às características geológicas do aterro e o volume do lixo acumulado (SOUSA, 2017).

Neste contexto, os reservatórios Água Preta e Bolonha encontram-se vulneráveis a degradação e poluição ambiental podendo comprometer a qualidade de suas águas e dificultar o seu tratamento para o consumo. A qualidade da água dos reservatórios é avaliada de acordo com critérios de propriedades presentes em duas legislações brasileiras CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005) e Portaria GM/MS nº88, de 04 de maio de 2021 (BRASIL, 2021). Segundo a resolução CONAMA 357/2005, as águas dos reservatórios da RMB pertencem à classe 2 de águas doces, destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional.

A resolução também sugere como avaliação da qualidade da água o estudo de bioindicadores, como consta no Art 8º § 3º “a qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas”. Por outro lado, a Portaria GM/MS nº88 avalia a qualidade da água para consumo usando parâmetros físico-químicos, microbiológicos e a avaliação de cianobactérias e cianotoxinas.

Dessa forma, a comunidade fitoplanctônica, a qual abrange grandes grupos que englobam também as cianobactérias, tem sido um importante parâmetro na determinação da qualidade da água e da dinâmica dos ambientes aquáticos, principalmente dos reservatórios. Além disso, esta comunidade está relacionada com a produtividade primárias destes ecossistemas, uma vez que são base da cadeia alimentar aquática.

Os resultados das investigações com o fitoplâncton são utilizados no monitoramento e gerenciamento destes ambientes. Entretanto, a forma clássica da abordagem do fitoplâncton algumas vezes é pouco compreendido pelos órgãos e gestores ambientais. Lista e contagem de espécies muitas vezes não refletem a resposta que estes organismos dão sobre os ambientes.

Assim, no mundo todo há uma crescente corrente do emprego de índices de integridade ecológica e grupos funcionais do fitoplâncton aliados a estudos estatísticos multivariados (REYNOLDS et al., 2002; FRANCE et al., 2021; VARKITZI et al., 2018) que fortaleçam a caracterização do ambiente.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Nos reservatórios de Belém e águas amazônicas estudos sobre as abordagens funcionais do fitoplâncton são escassos, sendo pouco conhecidas as respostas do fitoplâncton sobre a qualidade das águas destes ambientes. O objetivo deste trabalho foi identificar a composição, densidade e biomassa do fitoplâncton do sistema de abastecimento de Belém (reservatórios Bolonha, Água Preta e Rio Guamá), utilizando abordagens de índices ecológicos e grupos funcionais nas interpretações da dinâmica desta comunidade, da dinâmica limnológica e suas respostas às possíveis alterações da qualidade da água.

### **2.1 Hipóteses**

Este estudo tem como hipótese:

H<sub>0</sub>: O fitoplâncton é um bom indicador da dinâmica limnológica e da qualidade das águas do sistema de abastecimento de Belém (Pará) quando empregado nos índices ecológicos e grupos funcionais do fitoplâncton e;

H<sub>a</sub>: O fitoplâncton NÃO é um bom indicador da dinâmica limnológica e da qualidade das águas do sistema de abastecimento de Belém (Pará) quando empregado nos índices ecológicos e grupos funcionais do fitoplâncton.

### **2.2 Divisão da Dissertação**

O presente trabalho aborda o tema em três artigos, divididos em capítulos:

Capítulo 1 - possui o título “Uso dos Grupos Funcionais do fitoplâncton como descritores das condições ambientais em reservatórios urbanos tropicais eutrofizados” e explora as diferentes abordagens do fitoplâncton que utilizam a biomassa (biovolume) das espécies. O objetivo deste artigo foi aplicar três conceitos de grupos do fitoplâncton (Grupos Funcionais- GFs, Grupos Morfofuncionais- GMFs e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia- GFBM) e descrever a abordagem que melhor representa a dinâmica do fitoplâncton nos reservatórios Bolonha e Água Preta;

Capítulo 2 - possui o título “Índices ecológicos do fitoplâncton em dois reservatórios urbanos abastecidos por rio de águas brancas (Belém, Pará, Brasil)” usa a abordagem clássica do fitoplâncton baseada na densidade das espécies, sendo a mais usada nos estudos do fitoplâncton da região amazônica brasileira. Utilizou-se índices aplicados em estudos fitossociológicos, tais como os índices de Riqueza, Diversidade, Dominância e

Equitabilidade. O objetivo do artigo foi avaliar o uso dos índices ecológicos na comunidade do fitoplâncton como ferramenta de monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios;

Capítulo 3 - possui o título “Efeito da sazonalidade e das águas estuarinas sobre o fitoplâncton do Rio Guamá (Amazônia, Belém, Brasil)” abordou o uso do índice de comunidade fitoplanctônica- ICF e os grupos funcionais- GFs do fitoplâncton como indicadores das condições ambientais do Rio Guamá no ponto de adução das águas para os reservatórios Bolonha e Água Preta. O objetivo foi avaliar o uso do ICF e do GF como ferramentas de monitoramento da qualidade das águas do Rio Guamá durante dois ciclos sazonais consecutivos de monitoramento entre os anos de 2019 e 2021.

Nos apêndices estão disponíveis: o quadro (Quadro 1, Apêndices) de composição das espécies do sistema de abastecimento público de água de Belém, as tabelas de espécies e as principais formas geométricas aplicadas ao cálculo do biovolume do fitoplâncton (Tabela 1, Apêndices), composição das espécies identificadas nos reservatórios e Rio Guamá (Tabela 2, Apêndices) e a tabela das espécies dos grupos funcionais nos reservatórios e Rio Guamá (Tabela 3, Apêndices). Acredita-se que estas informações serão úteis em estudos futuros sobre o fitoplâncton para a região.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água. Região Metropolitana de Belém. 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=4>. Acesso em: Julho/2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº88 , de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 1-127, Edição: 85, 04 maio 2021.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 58-63, 18 março 2005.
- COSTA, J. A.; SOUZA, J. P.; TEIXEIRA, A. P.; NABOUT, J. C.; CARNEIRO, F. M. Eutrophication in aquatic ecosystems: a scientometric study. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 245–253, 2018. DOI: 10.1590/S2179-975X3016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/alb/v30/2179-975X-alb-30-e2.pdf>.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Rima, 2005.
- DI BERNARDO, L.; MINILLO A.; DANTAS, A.D.B. **Florações de Algas e de Cianobactérias: Suas Influências na Qualidade da Água e nas Tecnologias de Tratamento**. 1. ed. São Carlos: Ed. LDiBe, v. 1. p. 513, 2010.
- FRANCÉ, J.; VARKITZI, I.; STANCA, E; COZZOLI, F.; SKEJIĆ, S.; UNGARO, N.; VASCOTTO, I.; MOZETIĆ, P.; GLADAN, Ž. N.; ASSIMAKOPOULOU, G.; PAVLIDOU, A.; ZERVOUDAKI, S.; PAGOUE K.; BASSET, A. Large-scale testing of phytoplankton diversity indices for environmental assessment in Mediterranean sub-regions (Adriatic, Ionian and Aegean Seas). **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 126, p. 107630, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107630.
- JIANPING, Li; MINRONG, Li; JINNAN, Wang; JIANJIAN, Li; HONGWEN, Su; MAOXING, Huang. Global Environmental Issues and Human Wellbeing. *In*: JIANPING, Li; MINRONG, Li; JINNAN, Wang; JIANJIAN, Li; HONGWEN, Su; MAOXING, Huang (org.). **Report on Global Environmental Competitiveness (2013)**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. p. 3–21. DOI: 10.1007/978-3-642-54678-5\_1. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-54678-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-54678-5_1).
- MACHADO, L. S.; SANTOS, L. G.; DOVAL, J. C. L.; POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Fatores ambientais relacionados à ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas no reservatório de Guarapiranga, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, [S. l.], 11, 4. 2016.
- MORALES, G. P. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá - Belém- Pará**. 2002. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Universidade Federal do Pará, 2002. 240 p.
- OLIVER, S.; CORBURN, J.; RIBEIRO, H. Challenges Regarding Water Quality of Eutrophic Reservoirs in Urban Landscapes: A Mapping Literature Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], 16, 40, 1-18. 2019.
- PAERL, H. W.; HUISMAN, J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. **Environmental Microbiology Reports**, [S. l.], 1, 1, 27–37. 2009.
- PARÁ. IMAZON. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMAS), p. 378, 2013.
- REYNOLDS S, C.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, [S. l.], v. 24, p. 417–428, 2002.

RIBEIRO, H. M. C. **Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém-Pa)**. 1992. 205 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Universidade Federal do Pará, 1992.

SCHINDLER, D. W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. **Limnology and Oceanography**, [S. l.], v. 51, p. 356–363, 2006. DOI: 10.12688/f1000research.15081.1.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. **Acta Amazonica**, [S. l.], 43, 1, 51-62. 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Ministério do desenvolvimento regional. Águas e esgotos. 2017. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: Setembro 2019.

SOUSA, E. B. **Fatores ambientais reguladores da dinâmica do fitoplâncton e das cianobactérias dos mananciais de abastecimento da região metropolitana de Belém, Pará, Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 236p, 2017.

VARKITZI, I.; FRANCÉ, J.; BASSET, A.; COZZOLI, F.; STANCA, E.; ZERVOUDAKI, S.; GIANNAKOUROU, A.; ASSIMAKOPOULOU, G.; VENETSANOPOULOU, A.; MOZETIČ, P.; TINTA, T.; SKEJIC, S.; VIDJAK, O.; CADIOU, J-F.; PAGOU, K. Pelagic habitats in the Mediterranean Sea: A review of Good Environmental Status (GES) determination for plankton components and identification of gaps and priority needs to improve coherence for the MSFD implementation. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 95, n. April, p. 203–218, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.07.036.

TRATA BRASIL. **Painel de Saneamento Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5B1%5D=151>. Acesso em: 19 fev. 2021.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Lagos e Reservatórios. Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização**. 3. ed. São Carlos: IIE, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 4. ed. Switzerland: [s. n.], 2011. 564 p.

YANG, X. E.; WU, X.; HAO, H. L.; HE, Z. L. Mechanisms and assessment of water eutrophication. **Journal of Zhejiang University: Science B**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 197–209, 2008. DOI: 10.1631/jzus.B0710626.

### 3 CAPÍTULO 1: Uso dos Grupos Funcionais do fitoplâncton como descritores das condições ambientais em reservatórios urbanos tropicais eutrofizados

Segundo as normas da revista para submissão: Science of Total Environment

#### RESUMO

O uso de grupos do fitoplâncton tem aumentado no mundo e busca encontrar padrões na estrutura da comunidade que reflitam com maior clareza as mudanças do ambiente. O objetivo deste estudo foi identificar a melhor abordagem de grupo do fitoplâncton (Grupo funcional- GF, Grupo morfofuncional- GMF e Grupo funcional baseado na morfologia- GFBM) que descreve a dinâmica ambiental e do fitoplâncton em dois reservatórios urbanos de grande pressão antrópica usados para abastecimento humano (Belém, Pará). Foram realizadas coletas mensais de água em quatro pontos para determinar os fatores físico-químicos e a biomassa do fitoplâncton. Os fatores ambientais mais importantes foram a turbidez, transparência da água e precipitação pluviométrica, os quais evidenciaram variação sazonal e espacial das variáveis limnológicas e fitoplanctônicas. O mês de março foi dominado pela classe Coscinodiscophyceae (66 %), GMF 6a (71 %) e GFBM VI (58 %). Abril foi representado pela classe Raphidophyceae (94 %), grupo GF W1 (81 %) e GMF 1a (94 %) e outubro pela classe Cyanophyceae (44 %), GF Lm (55 %) e GFBM VII (69 %). O ponto AP1 foi dominado pela classe Cyanophyceae (49 %), GF Lm (42 %), GMF 5b (25 %) e 11c (22 %) e GFBM VII (70 %). O ponto AP2 dominado GF W1 (74 %) e BL4 pela classe Raphidiophyceae (94 %), GF Q (72 %) e GFBM V (75 %). A qualidade da água foi mais crítica no ponto AP1 do reservatório Água Preta, pelo domínio de cianobactérias que controlam a fluatibilidade, e no reservatório Bolonha pelo alto biovolume de *Vacuolaria* spp. e *Gonyostomum* sp., devido ao excesso de macrófitas aquáticas. Este estudo recomenda os grupos funcionais do fitoplâncton- GFs como ferramenta de bioindicação por ser prático e representativo do ambiente. Novos estudos devem abordar esse tema compreendendo maior tempo de observação e variáveis importantes, tais como os nutrientes.

Palavras-chaves: cianobactérias, macrófitas aquáticas, bioindicadores, águas amazônicas

## USE OF PHYTOPLANKTON FUNCTIONAL GROUPS AS DESCRIPTORS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN EUTROFIZED TROPICAL URBAN RESERVOIRS

### ABSTRACT

The use of phytoplankton groups has increased worldwide and seeks to find patterns in the community structure that more clearly reflect changes in the environment. The aim of the study was to identify the best approach for this group of phytoplankton (Functional group- FG, Morphofunctional group- MFG and Functional group based on morphology-FBMG that requires environmental and phytoplankton dynamics in two urban reservoirs of high anthropic pressure used for human supply (Belém, Pará). Monthly water collections were carried out at four points to determine the physicochemical factors and phytoplankton biomass. The most important environmental factors were turbidity, water transparency and rainfall, which showed seasonal and spatial variation in limnological and phytoplanktonic variables. The month of March was dominated by the class Coscinodiscophyceae (66%), MFG 6a (71%) and FBMG VI (58%). April was represented by the class Raphidophyceae (94%), group FG W1 (81%) and MFG 1a (94%) and October by the class Cyanophyceae (44%), FG Lm (55%) and FBMG VII (69%). The AP1 point was dominated by the class Cyanophyceae (49%), FG Lm (42%), MFG 5b (25%) and 11c (22%) and FBMG VII (70%). The AP2 point dominated FG W1 (74%) and BL4 by the class Raphydiophyceae (94%), FG Q (72%) and FBMG V (75%). Water quality was more critical at AP1 point on Água Preta reservoir, due to the dominance of cyanobacteria that control buoyancy, and Bolonha reservoir due to the high biovolume of *Vacuolaria* spp. and *Gonyostomum* sp., due to the excess of aquatic macrophytes. This study recommends the adaptive groups of phytoplankton- FGs as a bioindication tool as it is practical and representative of the environment. New studies should address this theme, comprising the longest observation time and important variables, such as nutrients.

Keywords: cyanobacteria, aquatic macrophytes, bioindicators, amazonian waters

### 3.1 INTRODUÇÃO

O fitoplâncton é uma ferramenta na determinação da qualidade e das condições de eutrofização das águas, sendo muito usado no monitoramento e em estudos ambientais. As alterações limnológicas quase invariavelmente estão relacionadas a mudanças na estrutura do fitoplâncton (Bauer et al., 2017; Yusuf, 2020).

Desde meados dos anos 1970, tem se buscado encontrar padrões na estrutura do fitoplâncton (Nishimura et al., 2015) que reflitam com maior clareza as mudanças ocorridas no ambiente, principalmente para a maior compreensão dos gestores públicos e da população beneficiada pelos serviços dos ecossistemas aquáticos. Neste sentido, surgem abordagens de grupos funcionais, os índices de saprobidade, os índices de integridade ecológica, entre outros.

O Grupo Funcional foi um sistema criado por Reynolds (1984) para interpretar as características do ambiente a partir do conjunto de microalgas polifiléticas organizadas em grupos ou códons alfanuméricos compostos, atualmente, por 40 códons. Cada código agrupa espécies com base em três critérios: tipos de hábitat, tolerâncias e sensibilidades às condições ambientais (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009).

Outras abordagens foram desenvolvidas no sentido de diversificar e melhorar a aplicabilidade do agrupamento de espécies do fitoplâncton, tais como a abordagem dos Grupos Morfofuncionais (Salmaso e Padisák, 2007) e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (Kruk et al., 2010). Estes grupos permitem uma aplicação relativamente simples dos organismos baseados nos traços funcionais do fitoplâncton. Traços funcionais são quaisquer características morfológica, fisiológica e fenológica mensuráveis em nível de indivíduo, que afetam a eficácia biológica via seus efeitos sobre crescimento, reprodução e sobrevivência (Violle et al., 2007).

O sistema de Grupos Morfofuncionais classifica diferentes espécies em 31 grupos, através de uma chave dicotômica que se baseia nos traços funcionais: flagelos ou motilidade (presença/ausência), capacidade mixotrófica, tamanho, forma, agrupamento (solitário/colônias) e presença de envelope muscilaginoso (Salmaso e Padisák, 2007). Os autores fazem abordagem simplificada que reflete as diferenças das assembleias algais entre sistemas aquáticos mostrando-se sensível e apropriada para monitorar ambientes aquáticos sob influência antrópica (Izaguirre et al., 2012).

Os Grupos Funcionais Baseados na Morfologia enquadram as espécies em sete grupos morfológicos, a partir de uma chave dicotômica, que se baseiam em características

morfológicas, fisiológicas e demográficas do fitoplâncton, tais como o volume, área e máximo diâmetro linear das espécies (Kruk et al., 2010). Tais traços relacionam-se com a forma, tamanho e motilidade dos organismos e descrevem as habilidades competitivas das espécies, em relação à pressão de herbivoria, busca por nutrientes e limitação de luz (Pacheco et al., 2010). Esta abordagem pode proporcionar uma melhor exploração das respostas dos organismos as alterações ambientais, independente da composição específica dos indivíduos (Kruk et al., 2012).

Estudos sobre grupos do fitoplâncton aplicados a reservatórios urbanos tropicais são escassos (Sousa, 2017; Amorim et al., 2019), sobretudo aos amazônicos e, portanto, sua aplicabilidade pouco conhecida. Os reservatórios urbanos são ambientes vulneráveis a eutrofização causada por esgotos domésticos e industriais, sobretudo em regiões de baixa cobertura de saneamento básico como as cidades amazônicas. A região amazônica brasileira possui os piores indicadores de saneamento básico do país, onde apenas 9% da população tem acesso a esgotamento sanitário, apenas 2,5% deste esgoto é tratado e o restante é despejado diretamente nos corpos hídricos da região (Trata Brasil, 2018), o que pode aumentar os riscos de eutrofização e a proliferação indesejada de algas (Oliver et al., 2020).

Este estudo tem como objetivo aplicar três conceitos de grupos do fitoplâncton (Grupos Funcionais- GFs, Grupos Morfofuncionais- GMFs e Grupos Funcionais Baseados na Morfologia- GFBM) em um sistema de abastecimento de água tropical (Belém, Pará) dominado por macrófitas aquáticas e descrever a abordagem que melhor representa a dinâmica do fitoplâncton.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Área de estudo e amostragens

A Região Metropolitana de Belém- RMB (Pará, Brasil) localiza-se ao Norte do Brasil (IBGE, 1973) e compreende uma área de aproximadamente 2.506,737 km<sup>2</sup> e população estimada de 2.262.159 (IBGE, 2020). O clima da região é quente e úmido com baixas amplitudes térmicas (31° a 33°) e distintas variações mensais dos fatores climáticos, sendo as médias mensais dos últimos 30 anos (1989-2019) nos períodos menos chuvoso e chuvoso, respectivamente, para a umidade relativa do ar foi de 79,6% a 89,8%, precipitação pluviométrica de 125,1 mm a 503,6 mm e velocidade média dos ventos de 3,9 km/h a 6,7

km/h. O período chuvoso compreende de janeiro a maio e o menos chuvoso de julho a novembro (INMET, 2019).

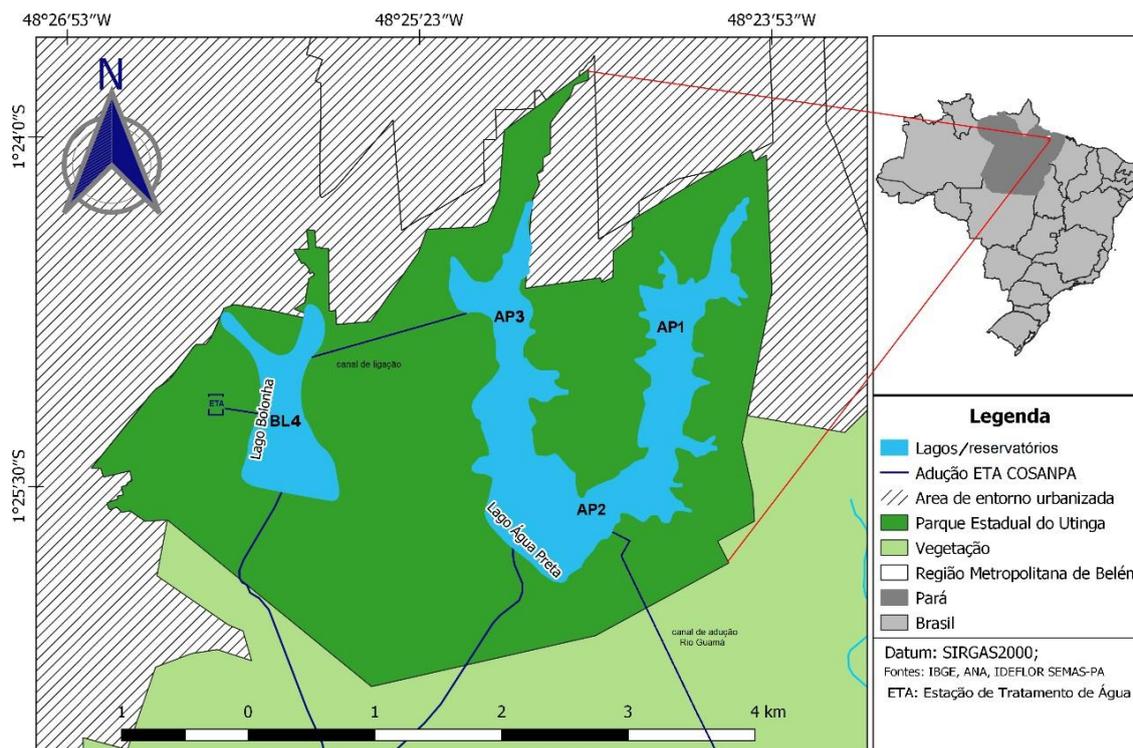
O sistema de abastecimento de água de Belém é composto pelo rio Guamá e pelos reservatórios Água Preta e Bolonha, os quais abastecem aproximadamente 70% da população da RMB, principalmente dos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba (ANA, 2010).

O rio Guamá é o principal suprimento de água para os reservatórios, nasce na serra dos Coroados seguindo a direção Sul-Norte até a cidade de Ourém percorrendo 700 km (Monteiro et al., 2009) até desaguar na baía do Guajará e rio Acará. As águas na sua foz são doces, ácidas e turvas, oscilando de mesotrófico, na preamar, a hipereutrífico na baixamar, pois recebe despejos de esgotos domésticos e industriais não tratados (Santos et al., 2014).

Os reservatórios Água Preta e Bolonha estão inseridos em uma Unidade de Conservação denominada Parque Estadual do Utinga- PEUT (01°27'21"S e 48°30'15" W) rodeadas por uma faixa de floresta primária e secundária de vegetação ombrófila (Pará, 2013). Apesar disso, Gonçalves et al. (2015) calculou que a área urbana somada à área desmatada equivalem a 43% da área total da microbacia hidrográfica onde os reservatórios estão inseridos, o que expõem estes ambientes a grande pressão antrópica.

O reservatório Água Preta tem área total de 7.199.500 m<sup>2</sup> e aproximadamente 8,5 m de profundidade máxima, já o reservatório Bolonha possui 1.790.000 m<sup>2</sup> de área total e profundidade máxima de 7,64 m (Sodré, 2007). Os reservatórios são interligados por um canal de 5 km de extensão, onde as águas do Água Preta drenam em direção ao Bolonha e ambos são dominados por macrófitas aquáticas o que indica o estado eutrofizado dos ambientes.

Nestes reservatórios foram realizadas coletas em quatro pontos, sendo AP1, AP2 e AP3, no reservatório Água Preta, e somente BL4 no reservatório Bolonha (Figura 1). Foram coletadas águas para determinar os fatores físico-químicos e o fitoplâncton. As coletas foram realizadas nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, junho, julho e outubro de 2019.



**Figura 1.** Mapa da localização do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil) com os pontos de coleta: Água Preta (AP1, AP2, AP3) e Bolonha (BL4).

### 3.2.2 Coleta e análise das variáveis ambientais e biológicas

*In situ* a transparência (m) da água foi estimada com o disco de Secchi e as variáveis limnológicas temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), oxigênio dissolvido ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e salinidade determinados através de sonda multiparamétrica (HANNA HI9828, HANNA INSTRUMENTS, USA). A turbidez (UTN) foi estimada com o uso de um turbidímetro (2100Q EPA 0-1000NTU FONTE/USB, HACH, PORTUGAL). Os dados de precipitação (mm) e vento (km/h) foram obtidos na estação meteorológica de Belém ( $1^{\circ} 25' 48.0''\text{S} - 48^{\circ} 25' 12.0''\text{W}$ ) e fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET, 2019).

As amostras fitoplancônicas foram coletadas diretamente na subsuperfície da água com frascos de polipropileno (300 mL) e fixadas com formol neutro (4%) conforme a metodologia 10200 B do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). O método de sedimentação de Utermöhl (1958) foi empregado para a quantificação do fitoplâncton ( $\text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$ ) utilizando a metodologia 10200 F (APHA, 2017), onde as amostras sedimentam por 24h e toda a área da cubeta é observada em microscópio invertido (AXIOVERT.A1, ZEISS, GERMANY) acoplado a câmera fotográfica (AXIOCAM ICC5,

ZEISS, GERMANY) com software de medição, sob um aumento de 400x, as análises foram realizadas no Laboratório de Cianobactérias e Bioindicadores Aquáticos (SEAMB 10.4/ IEC).

A biomassa do fitoplâncton ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ) foi estimada a partir do cálculo do volume dos organismos através de suas aproximações geométricas segundo Hillebrand et al. (1999), Sun e Liu (2003) e Fonseca et al. (2014), sendo calculado o volume individual de cada táxon a partir dos valores médios de no mínimo 15 indivíduos de cada espécie. A identificação, nomenclatura e enquadramento taxonômico do fitoplâncton foram realizados de acordo com literaturas especializadas: Bicudo e Menezes (2017); Komárek e Anagnostidis (2007; 2008), Komárek (2013) e Round et al. (2007).

O fitoplâncton foi classificado em Grupos funcionais- GFs (Reynolds et al., 2002 e Padisák et al., 2009), Grupos morfofuncionais- GMFs (Salmaso e Padisák, 2007) e Grupos funcionais baseados na Morfologia – GFBM (Kruk et al., 2010).

### 3.2.3 Análise estatística

Os dados físico-químicos foram padronizados por *ranging* e transformados em raiz quarta ou raiz quadrada e submetidos ao teste de Mardia (1970) e Doornik-Hansen (1994) para verificar a normalidade multivariada. A distribuição dos dados não foi normalizada, então se aplicou análise de variância multivariada PERMANOVA (One-way) usando a distância Euclidiana para verificar a diferença espaço-temporal (meses e pontos) dos fatores físico-químicos coletados nos reservatórios.

Para verificar a diferença espaço-temporal (meses e pontos) da biomassa foi realizado o teste não paramétrico H de Kruskal-Wallis e a comparação Post-hoc de Mann-Whitney. Para todos os testes foi considerada uma significância inferior a 5% ( $p < 0,05$ ) e os cálculos foram feitos utilizando o software PAST 4.02.

Para comparar as diferentes abordagens do fitoplâncton e sua relação com os fatores físico-químicos foi realizada uma Análise de Redundância- RDA para cada grupo do fitoplâncton. Foram consideradas uma matriz abiótica e quatro matrizes biológicas para descrever a abordagem que melhor representa a dinâmica do fitoplâncton, sendo as matrizes biológicas: i- matriz com os dados de biomassa das espécies mais abundantes; ii- matriz com os dados de biomassa dos Grupos Funcionais do fitoplâncton (GF); iii- matriz com os de biomassa dados dos Grupos Morfofuncionais (GMF) do fitoplâncton; iv- matriz com os dados de biomassa dos Grupos Funcionais Baseados na Morfologia (GFBM).

As matrizes biológicas foram transformadas por Hellinger (Legendre e Gallagher, 2001), para a ordenação de suas biomassas em distância euclidiana, e os dados da RDA foram submetidos a um *fit* de 20% evidenciando as espécies com melhor nível de significância e melhorando a visualização da ordenação. Os testes foram realizados no programa CANOCO 4.5 for Windows (Ter-Braak e Smilauer, 2002).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Fatores limnológicos e climáticos

Houve uma diferença temporal (PERMANOVA  $F= 11,37$ ;  $p= 0,0001$ ) e espacial (PERMANOVA  $F= 1,95$ ;  $p= 0,0321$ ) dos fatores físico-químicos. O mês de março apresentou concentrações do oxigênio dissolvido ( $4,0 \pm 2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ), condutividade elétrica ( $54,0 \pm 11,3 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e turbidez ( $29,5 \pm 35,0 \text{ UTN}$ ) mais elevadas do que nos demais meses chuvosos (janeiro, fevereiro e abril) e sem diferenças com os meses menos chuvosos (junho a outubro). Já junho apresentou a menor turbidez ( $12,8 \pm 8,1 \text{ UTN}$ ) do que os meses menos chuvosos, principalmente outubro ( $23,3 \pm 14,5 \text{ UTN}$ ) que apresentou a maior turbidez (Tabela 1).

Os pontos AP1, AP2 e BL4 foram diferentes entre si, pois o AP2 apresentou maior turbidez ( $38,0 \pm 21,0 \text{ UTN}$ ), pois é o ponto de captação das águas do rio Guamá e, portanto, com muita influência da elevada turbidez deste rio.

O AP1, no sentido leste, é essencialmente lacustre, pois segundo Lima et al. (2015) a velocidade nesta porção é praticamente nula. Portanto, apresenta maior transparência ( $1,7 \pm 0,3 \text{ m}$ ), maior condutividade elétrica ( $56,4 \pm 10 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e menor turbidez ( $7,0 \pm 2,3 \text{ UTN}$ ), pois se localiza a montante de AP2 e, logo, não recebe influência do rio. Já BL4 é pouco oxigenado ( $2,0 \pm 2,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e sofre influência das próprias condições do reservatório que possui extensos tapetes das macrófitas aquáticas. Este mesmo padrão espacial foi encontrado nos estudos de Gonçalves et al. (2015) e Santos et al. (2013) para a turbidez e para o oxigênio dissolvido.

**Tabela 1.** Varáveis físico-químicas e climáticas registradas para o Sistema de Abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil).

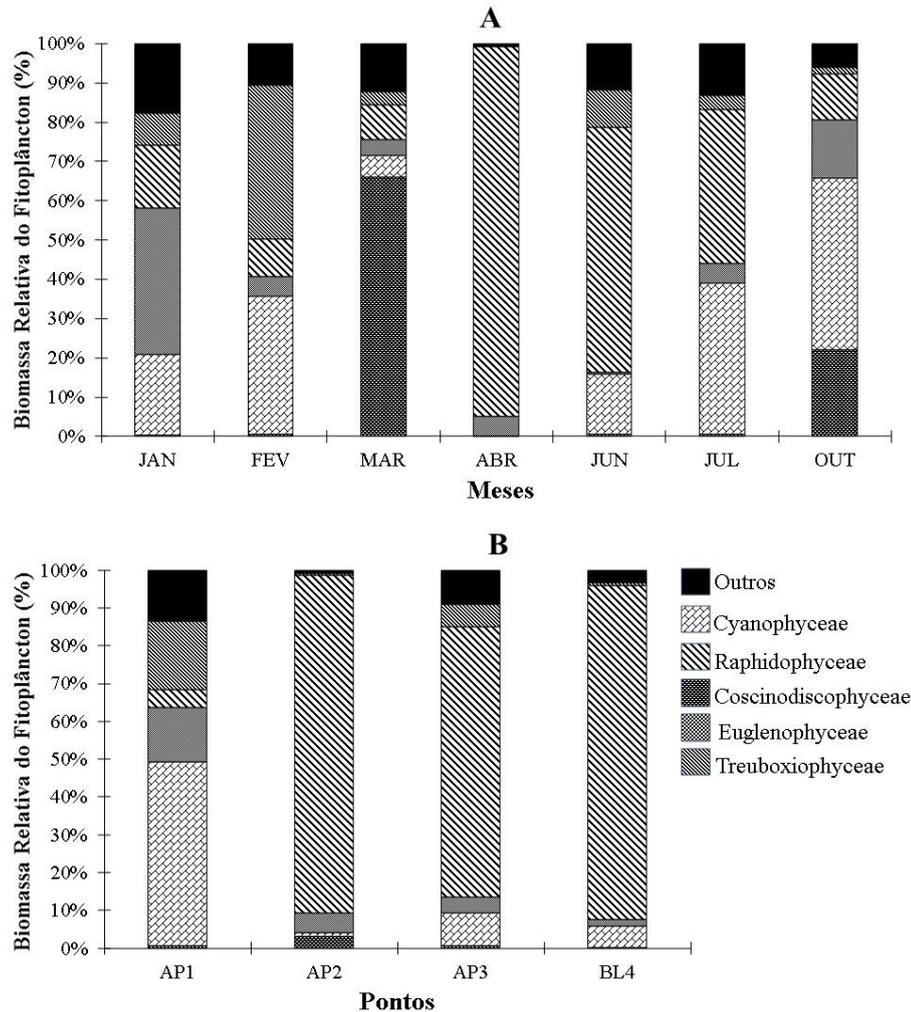
	JAN	FEV	MAR	ABR	JUN	JUL	OUT
	Min.-Máx. (Méd.± DP); Med.	Min.-Máx. (Méd.± DP); Med.	Min.-Máx. (Méd.± DP); Med.	Min.-Máx. (Méd.± DP); Med.	Min.-Máx. (Méd.± DP); Med.	Min.-Máx. (Méd.± DP); Med.	Min.-Máx. (Méd.± DP); Med.
Tra. (m)	0.4-1.4 (0.6 ± 0.6); 0.4	0.5-1.5 (1.0 ± 0.4); 0.9	0.3-1.7 (1.1 ± 0.7); 1.2	0.7-2.4 (1.7 ± 0.7); 1.8	1.5-2.2 (1.7 ± 0.5); 1.7	1.0-2.0 (1.5 ± 0.5); 1.5	0.7-1.8 (1.3 ± 0.5); 1.2
T (C°)	28.6-29.7 (29.2 ± 0.6); 29.1	27.9-30.08 (29.2 ± 1.0); 27.3	27.6-28.1 (27.9 ± 0.2); 29.8	28.9-29.8 (29.3 ± 0.4); 29.1	29.7-30.8 (30.1 ± 0.5); 29.9	28.06-30.07 (29.5 ± 1.0); 29.9	28.9-30.4 (30.4 ± 1.1); 30.4
O.D (mg.L <sup>-1</sup> )	0.1-0.5 (0.3 ± 0.2); 0.19	0.0-0.9 (0.2 ± 0.5); 0.0	1.3-5.9 (4.0 ± 2.0); 4.3	0.8-9.4 (6.0 ± 3.6); 6.8	1.3-7.4 (4.0 ± 2.6); 5.4	6.1-9.09 (7.4 ± 1.4); 7.08	3.9-8.6 (6.4 ± 2.0); 6.4
C.E (µS.cm <sup>-1</sup> )	36.0-52.0 (44.0 ± 7.7); 44.0	0.0-46.0 (20.0 ± 23.6); 17.0	37.9-63.5 (54.1 ± 11.3); 57.4	42.0-49.0 (44.3 ± 3.3); 43.0	56.4-74.4 (65.6 ± 7.5); 65.7	26.0-51.0 (37.5 ± 10.3); 36.5	56.0-70.0 (63.0 ± 5.7); 62.9
Sal	0.02-0.02 (0.02 ± 0.0); 0.02	0.0-0.02 (0.0075 ± 0.009); 0.005	0.01-0.02 (0.017 ± 0.005); 0.02	0.02-0.02 (0.02 ± 0.0); 0.02	0.03-0.04 (0.03 ± 0.005); 0.04	0.01-0.02 (0.015 ± 0.005); 0.015	0.03-0.04 (0.03 ± 0.005); 0.03
pH	5.6-6.4 (5.9 ± 0.3); 5.8	6.4-6.8 (6.6 ± 0.16); 6.6	6.1-6.5 (6.3 ± 0.14); 6.3	6.1-6.5 (6.3 ± 0.2); 6.4	6.5-7.03 (6.8 ± 0.2); 6.8	6.4-6.8 (6.6 ± 0.2); 6.6	6.4-6.8 (6.5 ± 0.19); 6.5
Tur. (UNT)	7.0-31.0 (17.2 ± 10.9); 15.5	7.0-34.0 (16.0 ± 12.3); 11.5	9.0-82.0 (29.5 ± 35.1); 13.5	2.0-23.0 (9.2 ± 9.3); 6.0	6.0-24.0 (12.7 ± 8.05); 10.5	7.0-27.0 (14.0 ± 9.2); 11.0	8.3-42.0 (23.3 ± 14.5); 21.5
Prec. (mm)	182- 599 (393.7 ± 92.4); 392.3	233- 672 (432.2 ± 107.08); 417.4	261- 931 (503.6 ± 129.5); 476.7	304- 633 (456.02 ± 86.2); 455.05	58- 320 (205.3 ± 71.2); 207.8	29- 337 (163.2 ± 69.2); 162.05	8.2- 264 (133.9 ± 59.8); 136.9
Vv (Km.h <sup>-1</sup> )	1,9- 7,3 (4,3 ± 1,2); 4,4	2,1- 6,1 (4,08 ± 1,2); 4,3	1,9- 5,8 (3,9 ± 1,1); 4,1	1,5- 5,6 (3,9 ± 1,1); 4,2	2,7- 7,4 (6,6 ± 7,5); 5,6	3,4- 8,4 (5,5 ± 1,1); 5,6	3,2- 9,7 (6,7 ± 1,6); 7,1

Legenda: Min- mínimo; Máx- máximo; Méd- média; DP- desvio padrão; Med= mediana; Tra.- transparência; T- temperatura; O.D- oxigênio dissolvido; C.E- condutividade elétrica; sal- salinidade; Tur.- turbidez; Prec. Precipitação pluviométrica; Vv- velocidade dos ventos.

### 3.3.2 Composição e biomassa do fitoplâncton

Foram identificadas 187 espécies do fitoplâncton distribuídas em 8 divisões e 15 classes. A biomassa apresentou diferenças significativas nos meses ( $H= 14,29$ ;  $p < 0,01$ ), onde foi maior em junho ( $233.917,1 \pm 716.891,0 \mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ) em relação aos meses de março ( $54.080,8 \pm 26.6729,1 \mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ) e outubro ( $142.213,9 \pm 52.2601,0 \mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ). Essa diferença ficou evidente nas classes dominantes: Raphidophyceae (62%), Coscinodiscophyceae (66 %), Cyanophyceae (44 %), respectivamente junho, março e outubro. O mês de fevereiro ( $61.885,7 \pm 167.292,1 \mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ) foi maior que janeiro ( $35.370,7 \pm 105.218,7 \mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ), sendo as classes dominantes Treuboxiophyceae (39%) e Euglenophyceae (37 %), respectivamente (Figura 2A).

As cianobactérias dominaram em AP1 (49 %) e nos demais pontos dominou a classe Raphidophyceae (Figura 2B). Esse padrão espaço-temporal da composição do fitoplâncton foi encontrado por Sousa (2017) e relacionado às entradas de nutrientes provenientes do entorno dos reservatórios.



**Figura 2.** Variação espaço-temporal das classes do fitoplâncton dos reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil). A- Biomassa das classes/mês; B- Biomassa das classes/ponto.

Estudos sobre fitoplâncton em reservatórios tropicais apontam a sazonalidade como fator principal das variações temporais (Cunha e Calijuri, 2011; Rangel et al., 2012). Na região amazônica a chuva é a variável de maior importância na variação do plâncton (Pinheiro et al., 2019). Entretanto, outros fatores como o efeito das macromarés e as dimensões espaciais são pouco mencionadas e isso se deve, talvez, a abordagem que se tem dado ao fitoplâncton ao utilizar majoritariamente os valores de densidade. Estudos realizados nos reservatórios (Costa et al., 2010) e rio Guamá (Paiva et al., 2006; Monteiro et al., 2009), por exemplo, evidenciam apenas variações temporais.

Sugerimos, portanto, o uso do biovolume, pois a contribuição de uma espécie está fortemente relacionada ao seu tamanho, onde um único indivíduo grande, pode ser equivalente a vários indivíduos de uma espécie pequena (Fonseca et al., 2014) e a taxa de crescimento, as atividades fisiológicas específicas, como a captação de luz e nutrientes, e a comestibilidade são influenciadas diretamente pelo tamanho e forma dos organismos (Weithoff, 2003).

Entretanto, o biovolume na análise de RDA obteve o menor percentual de descritor ecológico (22,4 %) (Tabela 2), sendo os eixos 1 (9,5 %) e 2 (8,7 %) associados as diferenças espaciais e temporais, respectivamente. As variáveis mais importantes foram a turbidez, transparência da água e a precipitação pluviométrica (Figura 3A). A turbidez agrupou o ponto AP2 de todos os meses e associou as diatomáceas *Aulacoseira veraluciae*, *A. distans* e *Coscinodiscus centralis*, as quais são descritas como frequentes e abundantes nas águas do rio Guamá (Paiva et al., 2006; Monteiro et al., 2009; Rocha Neto et al., 2017) demonstrando a influência deste rio neste trecho do reservatório. Por outro lado, a espécie *Golenkinia radiata* foi fortemente influenciada pela transparência da água, visto ser sensível a pouca luz (Reynolds et al., 2002). Os meses de maiores chuvas evidenciaram um ambiente lacustre onde predominaram espécies dulciaquícolas, tais como *Coelastrum astroideum* e euglenófitas, como *Phacus oscillans*.

### 3.3.3 Grupos funcionais do fitoplâncton- GFs

Foram identificados 24 GFs, os quais enquadraram 127 espécies (68 % da composição). Os grupos mais importantes foram Lo (354.300  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ), X2 (280.687  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ), Tc (85.668  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ), Q (83.028  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ), K (81.668  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ), X3 (62.810  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ) e Lm (37.289  $\mu\text{m}^3.\text{mL}^{-1}$ ) (Tabela 3, suplementos), os quais caracterizam os reservatórios em pequenos, húmicos, rasos, de águas paradas a baixo fluxo, mas com mistura completa das camadas de águas e variando de meso a eutrófico (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009).

Todas essas características são apontadas por estudos realizados nos reservatórios e que descreveram a hidrodinâmica (Lima et al., 2015), as características limnológicas (Vasconcelos e Souza, 2011; Gutierrez et al., 2017) e o grau de eutrofia dos ambientes (Santos et al., 2013; Oliveira et al., 2021). Também, esses grupos são predominantes nos estudos sobre GFs aplicados em reservatórios brasileiros (Cunha e Calijuri, 2011).

O mês de abril foi dominado pelo grupo W1 (81 %) e outubro pelo grupo Lm (55 %) (Figura 4A). A dominância de W1 em abril se deve, possivelmente, aos inputs nos

reservatórios durante as chuvas e que favorecem espécies euglenóides. A decomposição do material alóctone, possivelmente, eleva o DBO da água, variável tolerável pelas euglenas (Reynolds et al., 2002). Embora o DBO não tenha sido mensurado no presente estudo, estas observações foram descritas por Sousa (2017) para o mesmo ambiente.

O grupo Lm dominou em outubro devido à capacidade que a espécie *Microcystis aeruginosa* tem de controlar sua flutuabilidade, mesmo em condições de pouca luz e mistura encontradas neste mês (Reynolds et al., 2002).

Os pontos AP1, AP2 e BL4 foram diferentes entre si, sendo dominados pelos grupos Lm (42 %), W1 (74 %) e Q (72 %), respectivamente (Figura 4B). O ponto AP1 se constitui em um ponto eutrófico com representatividade das cianobactérias, o AP2 águas misturadas mesotróficas e BL4 pequenos lagos húmicos dominados por macrófitas o que está totalmente ligado às características dos reservatórios observado em trabalhos anteriores (Santos et al., 2013). A presença de macrófitas impacta diretamente a comunidade fitoplanctônica através da produção de substâncias alelopáticas, que limitam o crescimento de algumas espécies de microalgas, e da formação de microhabitats que favorecem o zooplâncton que pastoreia esta comunidade (Barrow et al., 2019). Importante mencionar que as distinções dos pontos foram semelhantes às observadas nas variações físico-químicas.

De acordo com a RDA, essa abordagem de GF foi o melhor descritor das condições ambientais dos reservatórios, com 32,5 % de explicação da distribuição das espécies nestes ambientes (Tabela 2). Assim como a biomassa, os eixos 1 (13,7 %) e 2 (7,8 %) estabeleceram diferenças espacial e temporal das amostras e GFs, sendo as variáveis mais importantes turbidez, precipitação pluviométrica e oxigênio dissolvido (Figura 3B).

A turbidez agrupou as amostras dos pontos AP2 e AP3 sem nenhum grupo funcional associado. Mas contrário à turbidez, encontram-se os grupos funcionais: Na, constituído de clorófitas duciaquícolas, e Tb constituído por diatomáceas penadas dulciaquícolas epifíticas associado aos pontos AP1 e BL4. No eixo 2, os grupos W2 e E predominaram nos meses chuvosos sugerindo que durante as chuvas os reservatórios variavam em meso- eutróficos (Figura 3B).

Apontamos quatro vantagens para o uso de GFs nos reservatórios urbanos: (i) a possibilidade de inferir sobre o estado trófico do ambiente a partir do grupo funcional predominante, pois a abordagem fitossociológica pode oferecer indicativos do grau de enriquecimento do ambiente estudado (Cunha e Calijuri, 2011) mesmo sem deter as concentrações de nutrientes, tais como no presente estudo; (ii) os reservatórios possuem suas

características limnológicas e hidrodinâmicas bem descritas (Vasconcelos e Souza, 2011; Santos et al., 2013; Lima et al., 2015; Gutierrez et al., 2017; Oliveira et al., 2021) que fortalecem as associações dos GFs encontrados com o ambiente; (iii) a aplicação dos GFs é comparável a outros estudos, pois pode utilizar dados de biovolume, mais comumente usados nos lagos e reservatórios do mundo (Padisák et al. 2009; Kozak, et al. 2020) e densidades, mais utilizados nos reservatórios brasileiros (Cunha e Calijuri, 2011; Zanco et al., 2017), sobretudo na região de estudo (Sousa et al., 2017) e (iv) os grupos funcionais definem, quando existentes, com maior clareza as variações espaço-temporais do que a abordagem pelas classes ou divisões taxonômicas do fitoplâncton.

De forma geral, os GFs vêm sendo apontados como bons indicadores no monitoramento da qualidade da água e da saúde ambiental, principalmente em ambientes sob influência antrópica (Abonyi et al., 2012; Cruz et al., 2013; Shen et al., 2014; Zanco et al., 2017).

Porém, três aspectos precisam ser avaliados para melhorar seu uso: (i) aumentar os estudos que associem, através de análise multivariada, espécies e variáveis ambientais para consolidar os GFs existentes (ii) ampliar o enquadramento de novas espécies nos grupos já consolidados; (iii) criar novos grupos com base nas características locais, visto que a fragilidade apresentada neste estudo foi o reduzido percentual (68%) de abrangência da composição do fitoplâncton e a pouca associação dos grupos mais representativos com as variáveis mais importantes, tais como a turbidez, transparência e precipitação.

### 3.3.4 Grupos morfofuncionais do fitoplâncton- GMFS

Foram identificados 24 GMFs abrangendo 100% das espécies (Tabela 4, suplementos). Em março predominou o grupo 6a (71 %), o qual inclui diatomáceas cêntricas grandes, tais como *Aulacoseira veraluciae*, *A. distans* e *Coscinodiscus centralis* adaptadas a permanecer em águas turvas, como a apresentada neste mês. Segundo Tolotti et al. (2010) o GMF 6a é adaptado as condições de mistura e disponibilidade de nutrientes (Figura 4C).

Nos meses de abril, junho e julho predominou o grupo 1a (94 %, 61 % e 25%, respectivamente), representados por flagelados, mixotróficos, unicelulares (*Merotrichia* spp. e *Vacuolaria* spp.) e coloniais (*Dinobryon baravicum* e *Dinobryon sertulari*) (Figura 4D). Essas formas são dominantes devido aos reservatórios serem rasos, a qualquer tempo, com mistura total da camada de água e entrada de nutrientes através das chuvas e do rio Guamá (Sousa, 2017), os quais criam condições ambientais que exigem um conjunto de adaptações do fitoplâncton, representados por seus traços morfo- funcionais, principalmente os flagelos, que

permite motilidade eficaz na busca por alimento e de luz, e a mixotrofia, presença de comportamento heterotrófico e autotrófico de nutrição, uma adaptação particularmente vantajosa em corpos aquáticos muito oligotróficos ou ricos em matéria orgânica e fortemente limitados por luz (Padisák, 2003; Brasil e Huszar, 2011) como dos reservatórios Bolonha e Água Preta.

Entre os pontos, o AP1 foi diferente dos demais, pois predominaram os grupos 5b (25 %) e 11c (22 %), sendo os demais pontos dominados pelo grupo 1a (Figura 4D). No ponto AP1 sobressaem as microalgas que possuem vantagens em controlar sua flutuabilidade através dos aerótopos (grupo 5b) e a formação de grandes colônias mucilaginosas (11c), pois este local é mais profundo, com pouca ou nenhuma turbulência/movimento do que os demais locais, como sugerido nos estudos hidrodinâmicos de Lima et al. (2013).

A RDA apresentou 31,1 % de explicação (Tabela 2), constituindo-se uma boa ferramenta de avaliação das condições ambientais, sendo as variáveis mais importantes: precipitação e transparência, ambas no eixo 1 (12,7 %), as quais agruparam amostras dos meses chuvosos e menos chuvosos, respectivamente (Figura 3C). O grupo 2b esteve associado diretamente a precipitação, sendo formado por pequenos dinoflagelados, unicelulares mixotróficos com adaptações semelhantes a 1a, diferenciando apenas o grupo taxonômico e o tamanho.

O grupo 8b é composto por grandes clorófitas solitárias, unicelulares e de vida livre dos gêneros *Centrtractus* e *Tetraedriella* associados à transparência, já que estes gêneros se desenvolvem melhor nas condições lacustres transparentes, sendo registrados em várias partes do mundo (Bicudo e Menezes, 2017).

Essa abordagem é relativamente recente e com poucos estudos no Brasil (Bohnenberger et al., 2018; Zanco et al., 2017) e suas bases são a motilidade, capacidade de absorver carbono e nutrientes por mixotrofia, tamanho, forma e presença de envelopes mucilaginosos nas espécies fitoplanctônicas, ou seja, a abordagem investe puramente nos traços morfológicos e funcionais como importantes nas estratégias de sobrevivência ao ambiente, diferente da análise filogenética das microalgas (Salmaso e Padisák 2007).

Destacamos vantagens do uso de GMFs nos reservatórios como ferramenta de bioindicação: (i) a possibilidade de inferir sobre as condições tróficas, limnológicas e hidrodinâmicas do ambiente a partir dos grupos morfo- funcionais predominantes; (ii) não é necessária a identificação do fitoplâncton a nível de espécie, bastando essencialmente identificar os traços morfológicos e funcionais que agrupam os organismos dando ênfase,

conforme Salmaso et al. (2014) e Weithoff (2003), nos principais competidores dos diferentes gradientes ambientais; e (iii) a abordagem permite a utilização do biovolume e densidade, pois utiliza uma chave dicotômica com as características morfológicas (Salmaso e Padisák, 2007).

Porém, as desvantagens são: (i) os poucos estudos sobre GMFs no Brasil impossibilitam comparações e, portanto, a consolidação como ferramenta de bioindicação; e (ii) a necessidade do conhecimento acurado em traços funcionais e ecologia dos organismos fitoplanctônicos como sugerido por Izaguirre et al. (2012).

### 3.3.5 Grupos funcionais baseados na morfologia- GFBMs

Nos reservatórios, foram identificados 7 GFBMs abrangendo todas as espécies registradas (Tabela 5, suplementos). Três grupos se destacaram V, VI e VII em representatividades, porém o grupo V apresentou maior biomassa média total com 4.545.335  $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ .

O mês de março se diferenciou dos demais meses chuvosos, pois dominou o grupo VI com 58 %, o qual abrange organismos não flagelados com exoesqueleto silicoso, essencialmente diatomáceas. Em janeiro, fevereiro e outubro foram representados pelo grupo VII (54 %; 74 %; 69 %, respectivamente), o qual abrange o fitoplâncton com grandes colônias mucilaginosas, principalmente clorofíceas e cianobactérias (Figura 4E).

O ponto AP1 foi dominado pelo grupo VII com 70 % da biomassa, sendo diferente dos demais pontos. Em BL4 houve o domínio do grupo V, com 75 % da biomassa e nos demais pontos houve a codominância destes dois grupos (Figura 4F).

Em lagos rasos urbanos ou influenciados por atividades antrópicas é esperado uma semelhança com os resultados deste estudo, pois as cianobactérias parecem aumentar em ambientes eutrofizados representadas pelos grupos MBFG III e VII (Allend et al. 2019; Bohnenberger et al. 2018). Desta forma, a dominância do grupo VII nos meses de janeiro, fevereiro e outubro, demonstra um nível trófico alto do ambiente, pois os organismos que compõe este grupo, geralmente são espécies sensíveis a baixa disponibilidade de recursos (luz e nutrientes) (Kruk et al., 2010; Kruk e Segura, 2012; Lobo et al., 2018).

Por outro lado, o grupo V demonstra uma atenuação no nível trófico do ambiente, com a redução da turbidez nos meses de abril, junho e julho e o aumento da capacidade móvel do fitoplâncton forrageiro (Kruk et al., 2012; Kruk e Segura, 2012). Neste grupo se destacam as espécies *Vacuolaria* spp. e *Gonyostomum* sp. devido aos altos valores e biomassa. *Vacuolaria*

sp. está associada a ambientes menos eutrofizados com águas levemente ácidas (Menezes e Bicudo, 2010) e *Gonyostomum* sp. associado a presença de macrófitas aquáticas, que favorecem a proliferação destes organismos pelo aumento de compostos húmicos na água (Menezes e Bicudo, 2010; Reynolds et al., 2002), tais características prevalecem no ponto BL4.

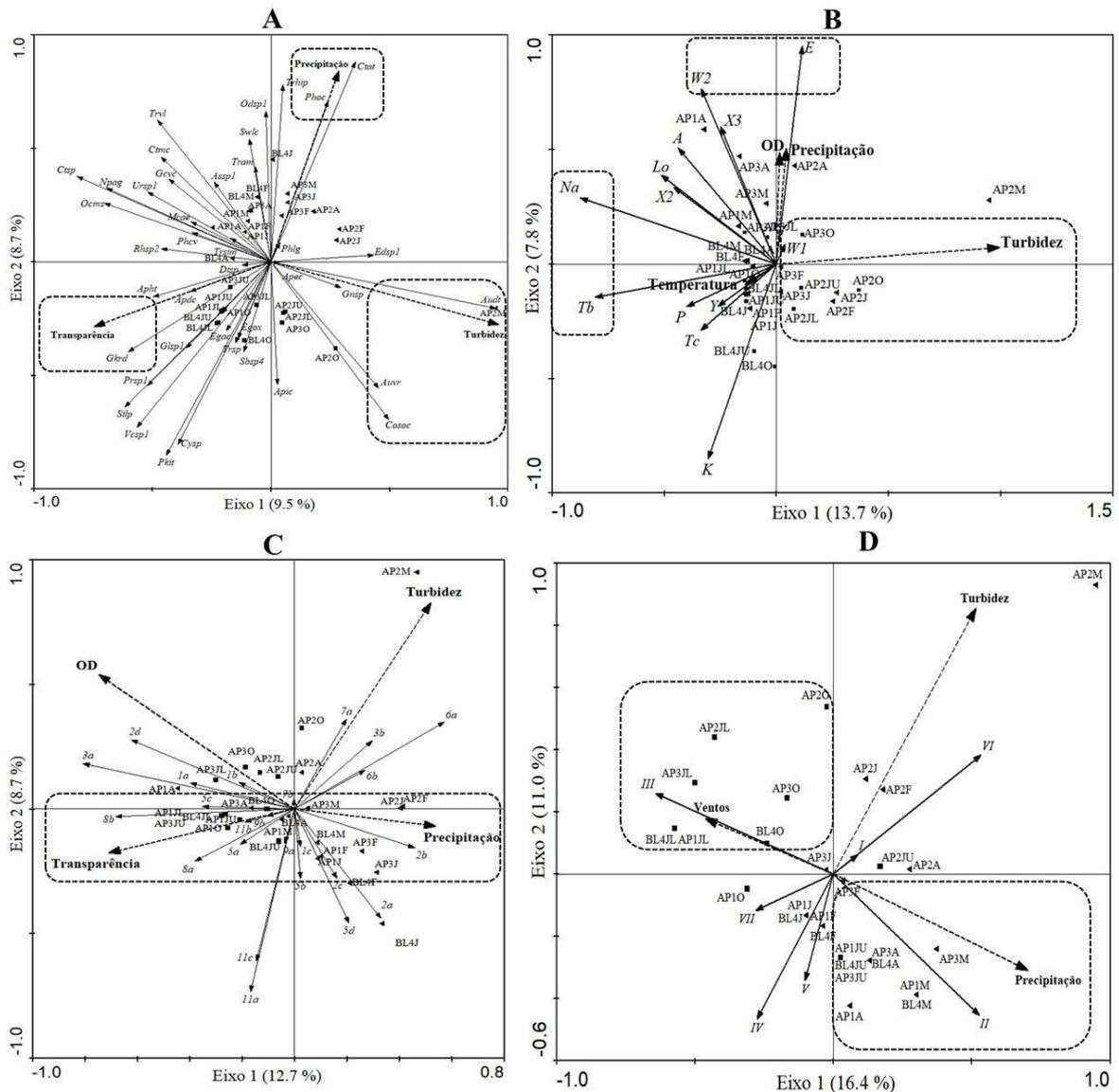
A RDA baseada GFBMs mostrou que as variáveis ambientais foram responsáveis por 30,3% da distribuição dos grupos nos reservatórios (Tabela 2). Os eixos 1 (16,4%) e 2 (11 %) estabeleceram uma ordenação das amostras e GFBM de acordo com a sazonalidade (Figura 3D). A precipitação agrupou amostras dos meses mais chuvosos associados ao GFBM II, contrários aos ventos que agruparam amostras dos meses menos chuvosos ao GFBM III. A influência da precipitação no grupo II aponta a preferência deste grupo por ambientes de temperaturas mais baixas, tendo em vista que este fator atinge seus menores valores no período de maior chuva (Kruk e Segura, 2012).

Os ventos atuando sobre o grupo III apontam a capacidade de flutuação das espécies, devido a adaptações evolutivas, como a presença de aerótopos, que lhes confere melhor estabilidade na coluna d'água e conseqüentemente mais vantagens sobre outros organismos fitoplanctônicos, além disso, o principal fator para este grupo é a luz, que é melhor captada estando mais próximos da superfície (Kruk e Segura, 2012).

As vantagens do uso de GFBMs nos reservatórios como ferramenta de bioindicação são: (i) a possibilidade de inferir sobre as condições tróficas a partir dos grupos GFBMs predominantes, principalmente impactados pela proliferação de cianobactérias (Rangel et al., 2016); (ii) não é necessária a identificação do fitoplâncton a nível de espécie, bastando essencialmente identificar os traços morfológicos, funcionais e as medidas das algas para se obter a dimensão linear máxima da alga; (iii) o reduzido número de grupos (sete) permite que as diferenças entre cada grupo seja mais fácil de visualizar nas variações espaço-temporais (Izaguirre et al., 2012) e; (iv) o aumento dos estudos sobre GFBMs no Brasil e no mundo (Bortolini et al., 2014; Allende et al., 2019; Bohnenberger et al. 2018; Lobo et al., 2018) possibilita comparações e, portanto, a consolidação como ferramenta de bioindicação.

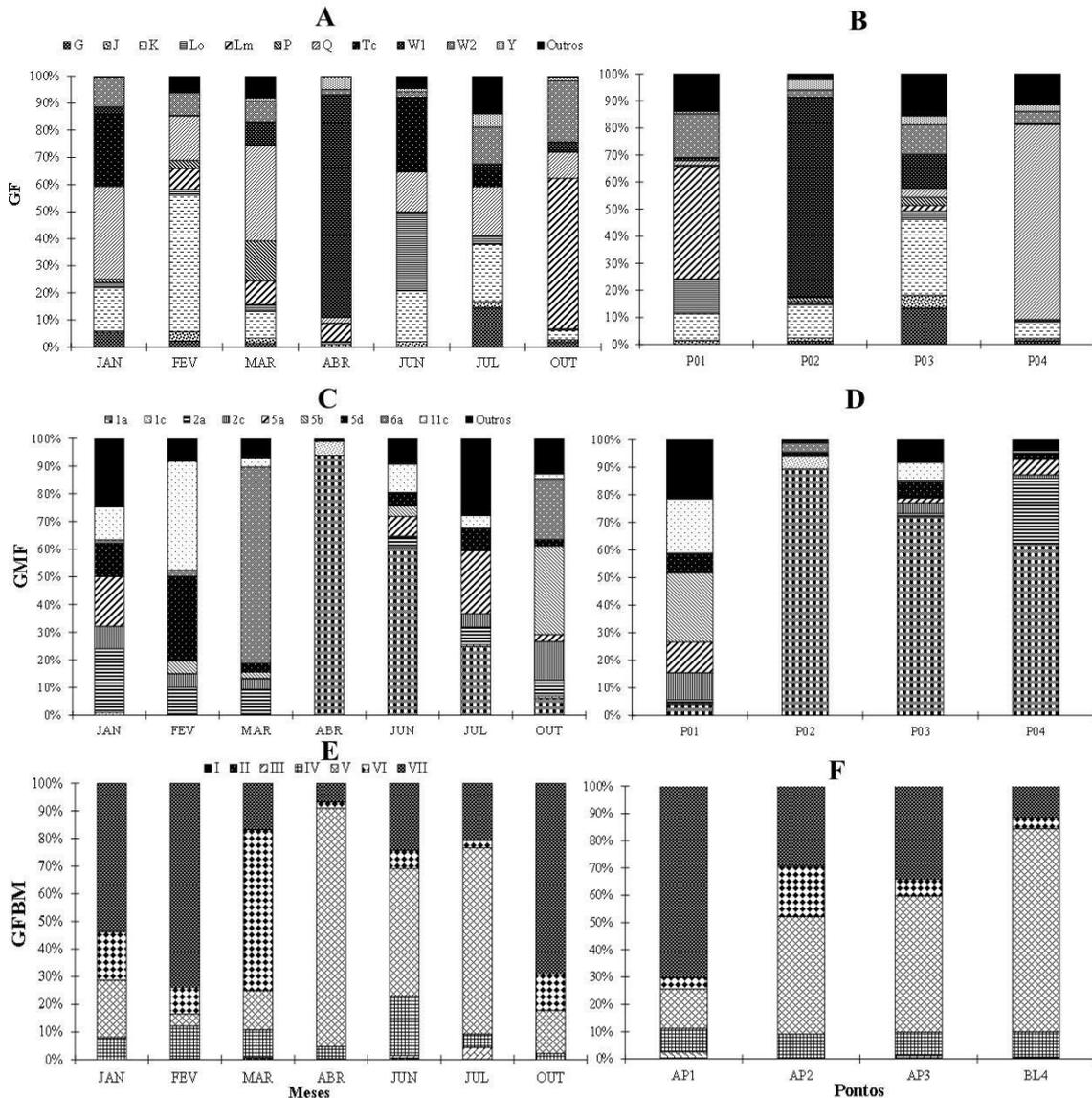
As limitações do GFBM são: (i) a necessidade do conhecimento acurado em traços funcionais e ecologia dos organismos fitoplanctônicos, como sugerido por Izaguirre et al. (2012); (ii) as medições das espécies e valores de biomassa demanda maior tempo nas análises e; (iii) a generalidade de alguns grupos, como por exemplo, as diatomáceas, que compõe um único grupo (GFBM VI), neste caso a junção de diatomáceas cêntricas e penadas

no mesmo agrupamento não permite fazer análises mais específicas sobre o estado trófico do ambiente, pois as diatomáceas cêntricas estão relacionadas a ambientes com menor carga de nutrientes, enquanto que as penadas representam o oposto (Petar et al., 2014). Portanto, para os reservatórios Bolonha e Água Preta que são supridos por águas estuarinas do rio Guamá, cuja composição é essencialmente por diatomáceas (> 80%), essa abordagem pode, em alguns momentos, ser frágil.



**Figura 3.** Triplot da Análise de Redundância do fitoplâncton dos reservatórios Água Preta e Bolonha: A- RDA Biomassa; B- RDA Grupo Funcional, GF; C- RDA Grupo Morfofuncional, GMF e D- RDA Grupo Funcional Baseado na Morfologia- GFBM. Legenda: Período chuvoso; ■ Período menos chuvoso; *Apec*: *Aphanocapsa elachista*; *Apic*: *Aphanocapsa incerta*; *Apdc*: *Aphanocapsa delicatissima*; *Apht*: *Aphanocapsa holsatica*; *Audt*: *Aulacoseira distans*; *Auvr*: *Aulacoseira veralucia*; *Assp1*: *Astasia* sp.; *Cosoc*: *Coscinodiscus oculus-iridis*; *Ctat*: *Coelastrum astroideum*; *Ctmc*: *Coelastrum microporum*; *Ctsp*: *Coelastrum* sp.; *Cysp*: *Cyanogranis* sp.; *Dtsp*: *Dictyosphaerium*

*sphagnale*; *Edsp1*: *Eudorina* sp.; *Egac*: *Euglena acus*; *Egox*: *Euglena oxyuris*; *Gkrd*: *Golenkinia radiata*; *Glsp1*: *Glochidinium* sp.; *Gnsp*: *Gonyostomum* sp.; *Gcvc*: *Gloeocystis vesiculosa*; *Mcae*: *Microcystis aeruginosa*; *Npag*: *Nephrocytium agardhianum*; *Ocms*: *Oocystis marsonii*; *Odsp1*: *Odontella* sp.; *Pkit*: *Planktothrix isothrix*; *Prsp1*: *Peridinium* sp.; *Phcv*: *Phacus curvicauda*; *Phlg*: *Phacus longicauda*; *Phoc*: *Phacus oscillans*; *Rhsp2*: *Rhizosolenia* sp.; *Stlp*: *Staurastrum leptocladum*; *Sbsp4*: *Strombomonas* sp.; *Swlc*: *Snowella lacustris*; *Tram*: *Trachelomonas armata*; *Trhip*: *Trachelomonas hispida*; *Trsim*: *Trachelomonas similis*; *Trsp*: *Trachelomonas* sp.; *Trvl*: *Trachelomonas volvocina*; *Ursp1*: *Urosolenia* sp.; *Vcsp1*: *Vacuolaria* sp.; Pontos: AP1, AP2, AP3, BL4; Meses: J- janeiro, F- fevereiro, M- março, A- abril, JU- junho, JL- julho, O- outubro.



**Figura 4.** Variação espaço-temporal dos grupos funcionais do fitoplâncton dos reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil): A e B- variação do Grupo Funcional, GF; C e D- variação Grupo Morfofuncional, GMF; E e F- variação do Grupo Funcional Baseado na Morfologia, GFBM.

**Tabela 2.** Valor de explicação da RDA para cada abordagem utilizada nos reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil).

	<b>Biomassa</b>				<b>GF</b>				<b>GMF</b>				<b>GFBM</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Autovalores	0.095	0.087	0.043	0.101	0.137	0.078	0.062	0.048	0.127	0.087	0.062	0.034	0.164	0.110	0.029	0.281
Correlação espécie/ambiente	0.883	0.937	0.847	0.000	0.895	0.801	0.887	0.684	0.915	0.827	0.851	0.695	0.164	0.110	0.029	0.281
% variância cumulativa- espécies	9.5	18.2	22.4	32.5	13.7	21.5	27.7	32.5	12.7	21.4	27.6	31.1	16.4	27.4	30.3	58.4
% variância cumulativa- espécie-ambiente	42.	81	100	0.0	42	66	85	100	41	69	89	100	54	91	100	0.0
Soma de todos os autovalores canônicos			22.4				32.5				31.1				30.3	

Legenda: GF- Grupos Funcionais; GMF- Grupos Morfofuncionais; GFBM- Grupos Funcionais Baseados na Morfologia.

### 3.4 CONCLUSÃO

As variações espaço-temporais dos reservatórios foram bem evidenciadas usando os grupos funcionais. Sugerimos o uso dos grupos funcionais - GFs como ferramenta de bioindicação por ser prático, representativo do ambiente e apresentar maior valor da soma dos autovalores canônicos na análise multivariada. Novos estudos devem abordar esse tema compreendendo maior tempo de observação e variáveis importantes, tais como os nutrientes. O ponto AP2 de março apresentou uma forte associação com a turbidez e representou a maior influência do rio Guamá sobre os reservatórios. A qualidade da água foi mais crítica nos pontos AP1, pelo domínio de cianobactérias que controlam a flutuabilidade através de aerótopos e formação de colônias mucilaginosas, e BL4 pelo alto biovolume de *Vacuolaria* spp. e *Gonyostomum* sp., devido ao excesso de macrófitas aquáticas.

## REFERENCIAS

- Abonyi, A., Leitão, M., Lançon, A.M., Padisák, J., 2012. Phytoplankton functional groups as indicators of human impacts along the River Loire (France). *Hydrobiologia* 698, 233–249. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1130-0>
- Allende, L., Fontanarrosa, M.S., Murno, A., Sinistro, R., 2019. Phytoplankton functional group classifications as a tool for biomonitoring shallow lakes: a case study. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 420, 14.
- Ana (Agência Nacional De Águas), 2010. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água. Região Metropolitana de Belém.
- Amorim, C.A., Valença, C.R., de Moura-Falcão, R.H., do Nascimento Moura, A., 2019. Seasonal variations of morpho-functional phytoplankton groups influence the top-down control of a cladoceran in a tropical hypereutrophic lake. *Aquat. Ecol.* 53, 453–464. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09701-8>
- Apha (American Public Health Association), 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. Washington.
- Barrow, J.L., Beisner, B.E., Giles, R., Giani, A., Domaizon, I., Gregory-Eaves, I., 2019. Macrophytes moderate the taxonomic and functional composition of phytoplankton assemblages during a nutrient loading experiment. *Freshw. Biol.* 64, 1369–1381. <https://doi.org/10.1111/fwb.13311>
- Bauer, W., Abreu, P.C., Poersch, L.H., 2017. Plankton and water quality variability in an estuary before and after the shrimp farming effluents: Possible impacts and regeneration. *Brazilian J. Oceanogr.* 65, 495–508. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592017143406503>
- Bicudo, C., Menezes, M., 2017. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil, 3rd ed. Bohnenberger, J.E., Schneck, F., Crossetti, L.O., Lima, M.S., Motta-Marques, D. Da, 2018. Taxonomic and functional nestedness patterns of phytoplankton communities among coastal shallow lakes in southern Brazil. *J. Plankton Res.* 40, 555–567. <https://doi.org/10.1093/plankt/fby032>
- Bortolini, J.C., Rodrigues, L.C., Jati, S., Train, S., 2014. Phytoplankton functional and morphological groups as indicators of environmental variability in a lateral channel of the Upper Paraná River floodplain ambiental em um canal lateral da planície de inundação do Alto Rio Paraná. *Acta Limnol. Bras.* 26, 98–108.
- Brasil, J., Huszar, V.L. de M., 2011. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. *Oecologia Aust.* 15, 799–834. <https://doi.org/10.4257/oeco.2011.1504.04>
- Costa, V., Souza, L., Sena, B., 2010. Microfitoplâncton Do Lago Água Preta , Parque Ambiental De Belém ( Pará , Brasil ), Durante O Período Chuvoso. Uakari.
- Cruz, P.S., Barbosa, L.G., Rodrigues, M.L., Lima, S.M.S., Ceballos, B.S.O., 2013. Grupos funcionais em mesoambientes com piscicultura: efeitos da eutrofização artificial na dinâmica e estrutura funcional do fitoplâncton. *Rev. Verde Agroecol. e Desenvol. Sustentável* 8, 27. <https://doi.org/10.18378/rvads.v8i2.1786>
- Cunha, D.G.F., Calijuri, M. do C., 2011. Seasonal variation of phytoplankton functional groups in the arms of a tropical reservoir with multiple uses (SP, Brazil). *Acta Bot. Brasilica* 25, 822–831. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062011000400009>
- Doornik, J., Hansen, H., 1994. IA practical test for univariate and multivariate normality. *mDiscussion Paper. Nuffield Coll.* 1–16.
- Fonseca, B.M., Ferragut, C., Tucci, A., Crossetti, L.O., Ferrari, F., Bicudo, D. de C., Sant’Anna, C.L., Bicudo, C.E. de M., 2014. Biovolume de cianobactérias e algas de reservatórios tropicais do Brasil com diferentes estados tróficos. *Hoehnea* 41, 9–30. <https://doi.org/10.1590/s2236-89062014000100002>

- Gonçalves, E.D., Santos, M.L.S., Soares, J.A.C., Souza, P.H.N., Mourão, F.V., Castro, K.F., Sousa, A.C.S.R., 2015. Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 15, 43–50. <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v15n1p43-50>
- Gutierrez, C.B.B., Ribeiro, H.M.C., Morales, G.P., Gutierrez, D.M.G., Sousa, S.D.L., Paula, M.T. De, 2017. Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais. *Rev. Bras. Geogr. Física* 10, 521–534.
- Hillebrand, H., Dürselen, C.D., Kirschtel, D., Pollinger, U., Zohary, T., 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35, 403–424. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x>
- IBGE, 2020. Cidades e Estados [WWW Document]. URL <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>
- IBGE, 1973. Lei n. 5.878, de 11 de maio de 1973. Dispõe sobre a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.
- INMET, 2019. Dados da Rede INMET. Dados Históricos [WWW Document]. URL <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>
- Izaguirre, I., Allende, L., Escaray, R., Bustingorry, J., Pérez, G., Tell, G., 2012. Comparison of morpho-functional phytoplankton classifications in human-impacted shallow lakes with different stable states. *Hydrobiologia* 698, 203–216. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1069-1>
- Komárek, J.; Anagnostidis, K., 2008. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales, In: Moestrup, Ø.; Calado, A. Süßwasserflora von Mitteleuropa Freshwater Flora of Central Europa. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, p. 548 p.
- Komárek, J.; Anagnostidis, K., 2007. Cyanoprocaryota 2. Teil/Part 2: Oscillatoriales, In: Moestrup, Ø.; Calado, A. Süßwasserflora von Mitteleuropa Freshwater Flora of Central Europa. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, p. 759.
- Komárek, J., 2013. Cyanoprocaryota 3. Teil: Heterocytous genera, In Süßwasserflora von Mitteleuropa Freshwater Flora of Central Europe. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, p. 1748.
- Kozak, A., Budzyńska, A., Dondajewska-Pielka, R., Kowalczywska-Madura, K., Gołdyn, R., 2020. Functional groups of phytoplankton and their relationship with environmental factors in the restored uzarzewskie lake. *Water (Switzerland)* 12, 1–14. <https://doi.org/10.3390/w12020313>
- Kruk, C., Huszar, V.L.M., Peeters, E.T.H.M., Bonilla, S., Costa, L., LüRling, M., Reynolds, C.S., Scheffer, M., 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshw. Biol.* 55, 614–627. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>
- Kruk, C., Segura, A.M., 2012. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia* 698, 191–202. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1072-6>
- Kruk, C., Segura, A.M., Peeters, E.T.H.M., Huszar, V.L.M., Costa, L.S., Kosten, S., Lacerot, G., Scheffer, M., 2012. Phytoplankton species predictability increases towards warmer regions. *Limnol. Oceanogr.* 57, 1126–1135. <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.4.1126>
- Legendre, P., Gallagher, E.D., 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129, 271–280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Lima, N.S., Blanco, C.J.C., da Silva Holanda, P., Lopes, D.F., Barp, A.R.B., Secretan, Y., 2013. Modelagem hidrodinâmica e análise morfológica do lago bolonha: Um dos mananciais de Belém, Estado do Pará, Brasil. *Acta Sci. - Technol.* 35, 59–67.

- <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i1.13670>
- Lima, R.C., Mesquita, A.L.A., Blanco, C.J.C., Santos, M. de L.S., Secretan, Y., 2015. An analysis of total phosphorus dispersion in lake used as a municipal water supply. *An. Acad. Bras. Cienc.* 87, 1505–1518. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520130317>
- Lobo, M.T.M.P.S., Nogueirab, I. de S., Sgarbi, Fabris, L., Kraus, Nunes, C., Bomfim, E. de O., Garnierf, J., Marques, D. da M., Bonneth, M.-P., 2018. Morphology-based functional groups as the best tool to characterize shallow lake-dwelling phytoplankton on an Amazonian floodplain. *Ecol. Indic.* 95, 579–588. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.038>
- Mardia, K. V., 1970. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika* 57, 519–530. <https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.519>
- Menezes, M., de Mattos Bicudo, C.E., 2010. Freshwater Raphidophyceae from the State of Rio de Janeiro, Southeast Brazil. *Biota Neotrop.* 10, 323–331. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032010000300030>
- Monteiro, M.D.R., Melo, N.F.A.C. de, Alves, M.A.M. da S., Paiva, R.S., 2009. Composição e distribuição do microfitoplâncton do rio Guamá no trecho entre Belém e São Miguel do Guamá, Pará, Brasil Composition and distribution of the microphytoplankton from Guamá River between Belém and São Miguel do Guamá, Pará, Brazil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.* 4, 341–351.
- Nishimura, P.Y., Moschini-Carlos, V., Popêo, M., 2015. O estudo fitoplâncton com base nos grupos funcionais: Origens e um vislumbre sobre seu futuro, in: Pompêo, M.L.M., Moschini-Carlos, V., Nishimura, P.Y., Silva, S.C. da, Doval, J.C.L. (Eds.), *Ecologia de Reservatórios e Interfaces*. Instituto de Biociências- IB/USP, São Paulo, pp. 120–131.
- Oliver, S., Corburn, J., Ribeiro, H., 2019. Challenges regarding water quality of eutrophic reservoirs in urban landscapes: A mapping literature review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010040>
- Oliver, S.L., Ikefuti, P. V., Ribeiro, H., 2020. Cyanobacteria bloom variations and atmospheric variables, an environmental health contribution. *Ambient. Água* 15, 11. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2523>
- Oliveira, I.F. de, Teixeira, L.C.G.M., Mendonça, N.M., 2021. Investigation of the tropical condition of the Bolonha water supply reservoir. *Rev. Aidis* 14, 32–45. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.67093>
- Pacheco, J.P., Iglesias, C., Meerhoff, M., Fosalba, C., Goyenola, G., Teixeira-de Mello, F., García, S., Gelós, M., García-Rodríguez, F., 2010. Phytoplankton community structure in five subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): A morphology-based approach. *Hydrobiologia* 646, 187–197. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0180-4>
- Padisák, J., 2003. Phytoplankton, in: O’Sullivan, P., Reynolds, C.S. (Eds.), *The Lakes Handbook: Limnology and Limnetic Ecology*. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK, pp. 251–308.
- Padisák, J., Crossetti, L.O., Naselli-Flores, L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: A critical review with updates. *Hydrobiologia* 621, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9645-0>
- Paiva, R.S., Eskinazi-Leça, E., Passavante, J.Z.D.O., Silva-Cunha, M.D.G.G. Da, Melo, N.F.A.C. De, 2006. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton (Pará, da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará, Brasil). *Bol. do Mus. Para. Emílio Goeldi* 1, 133–146.
- PARÁ, 2013. Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga / Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Secretaria de Estado de Meio Ambiente.
- Petar, Ž., Marija, G.U., Koraljka, K.B., Anđelka, P.M., Judit, P., 2014. Morpho-functional classifications of phytoplankton assemblages of two deep karstic lakes. *Hydrobiologia*

- 740, 147–166. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1950-1>
- Pinheiro, S., Lima, M., Carneiro, B., Costa Tavares, V., Câmara, V., 2019. Effects of a shipwreck on the zooplankton community in a port region of the Amazon. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 5738–5750. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3999-2>
- Rangel, L.M., Silva, L.H.S., Rosa, P., Roland, F., Huszar, V.L.M., 2012. Phytoplankton biomass is mainly controlled by hydrology and phosphorus concentrations in tropical hydroelectric reservoirs. *Hydrobiologia* 693, 13–28. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1083-3>
- Rangel, L.M., Soares, M.C.S., Paiva, R., Silva, L.H.S., 2016. Morphology-based functional groups as effective indicators of phytoplankton dynamics in a tropical cyanobacteria-dominated transitional river-reservoir system. *Ecol. Indic.* 64, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.041>
- Reynolds, C.S. 1984. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshw. Biol.* 14, 111–142.
- Reynolds S, C., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S., 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24, 417–428.
- Rocha Neto, O.D., Da Silva, B.M., Paiva, R.S., 2017. Variação Dos Parâmetros Físico-Químicos, Composição E Biomassa Fitoplanctônica Em Uma Estação Fixa Na Foz Do Rio Guamá, Belém, Pará-Brasil. *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 16, 19. <https://doi.org/10.32519/tjfas.v16i1.2132>
- Round, F.E., Crawford, R.M., G, M.D., 2007. *Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*, 5th ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Salmaso, N., Naselli-Flores, L., Padisák, J., 2014. Functional classifications and their application in phytoplankton ecology. *Freshw. Biol.* 60, 603–619. <https://doi.org/10.1111/fwb.12520>
- Salmaso, N., Padisák, J., 2007. Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia* 578, 97–112. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0437-0>
- Santos, M.L.S., Bordalo, A.O., Pereira, J.A.R., Chira, P.A., Alves, I.C.C., Sodr e, S.S.V., 2013. Influência da Expansão Urbana na Qualidade da água em Reservatório da Região Amazônica (Belém, Pará). *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 13, 15–22. <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v13n1p15-22>
- Santos, M.L.S., Holanda, P., Pereira, I., Rodrigues, S., Pereira, J.A.R., Mesquita, K., 2014. Influência das Condi es da Maré na Qualidade de água do Rio Guamá e Baia do Guajará. *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 14, 17–25. <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v14n1p17-25>
- Shen, H., Li, B., Cai, Q., Han, Q., Gu, Y., Qu, Y., 2014. Phytoplankton functional groups in a high spatial heterogeneity subtropical reservoir in China. *J. Great Lakes Res.* 40, 859–869. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.09.007>
- Sodr e, S. do S.V., Rocha, D.E.J.P. da, 2007. Hidroquímica dos lagos bolonha e água preta, mananciais de Belém – Pará. *Inst. Geociências, Mestrado*, 115.
- Sousa, E.B. de, 2017. Fatores ambientais reguladores da dinâmica do fitoplâncton e das cianobactérias dos mananciais de abastecimento da Região Metropolitana De Belém, Pará, Brasil. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Sun, J., Liu, D., 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *J. Plankton Res.* 25, 1331–1346. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096>
- Ter Braak, C., Smilauer, P., 2002. *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user’s guide: software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*.
- Tolotti, M., Boscaini, A., Salmaso, N., 2010. Comparative analysis of phytoplankton patterns in two modified lakes with contrasting hydrological features. *Aquat. Sci.* 72, 213–226.

- <https://doi.org/10.1007/s00027-009-0124-0>
- Trata Brasil, 2018. Painel de Saneamento Brasil [WWW Document]. URL <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5BI%5D=151> (accessed 2.19.21).
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, 9th ed. Stuttgart Schweizerbart.
- Vasconcelos, V. de M.M., Souza, F.C., 2011. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. *Ambient. Água* 6, 305–324. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.202>
- Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E., 2007. Let the concept of trait be functional! *OIKOS* 116, 882–892. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
- Weithoff, G., 2003. The concepts of “plant functional types” and “functional diversity” in lake phytoplankton - A new understanding of phytoplankton ecology? *Freshw. Biol.* 48, 1669–1675. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01116.x>
- Yusuf, Z.H., 2020. Phytoplankton as bioindicators of water quality in nasarawa reservoir, Katsina State Nigeria. *Acta Limnol. Bras.* 32. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x3319>
- Zanco, B.F., Pineda, A., Bortolini, J.C., Jati, S., Rodrigues, L.C., 2017. Phytoplankton functional groups indicators of environmental conditions in floodplain rivers and lakes of the Paraná Basin. *Acta Limnol. Bras.* 29. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x8117>

## SUPLEMENTOS

**Tabela 3.** Grupos funcionais do fitoplâncton segundo Reynolds et al. (2002) e Padisák et al. (2009).

CÓDONS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
A	<i>Rhizosolenia</i> spp., <i>Urosolenia</i> spp.	12.139	Lagos claros, geralmente bem misturados e com substrato pobre Lagos eutróficos,	Deficiência de nutrientes	Aumento do pH
C	<i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>C. striata</i>	26.663	misturados, de porte pequeno/médio Geralmente lagos pequenos,	Deficiência de luz e C	Estratificação e exaustão de Si
E	<i>Dinobryon baravicum</i> , <i>D. sertularia</i> , <i>Mallomonas</i> sp.	2.461	oligotróficos com substrato pobre ou heterotróficos	Baixa concentração de nutrientes (mixotrofia)	Deficiência de CO <sub>2</sub>

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
F	<i>Ankistrodesmus densus</i> , <i>A. hantzschii</i> , <i>Crucigenia apiculata</i> , <i>C. fenestrata</i> , <i>C. quadrata</i> , <i>Crucigenia</i> spp., <i>Crucigeniella crucifera</i> , <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> , <i>D.</i> <i>pulchellum</i> , <i>D. sphagnale</i> , <i>Eutetramorus fottii</i> , <i>Eutetramorus</i> sp., <i>Gloeocystis vesiculosa</i> , <i>Kirchneriella contorta</i> , <i>K. diana</i> , <i>Micractinium</i> <i>pusillum</i> , <i>Muscidosphaerium tetrachotomum</i> , <i>Nephrocytium agardhianum</i> , <i>Oocystis borgeii</i> , <i>O. lacustris</i> , <i>O. solitaria</i> , <i>O. marsonii</i> , <i>Westella</i> <i>botryoides</i>	5.942	Epilfminio claro	Baixa concentração de nutrientes e alta turbidez	Deficiência de CO <sub>2</sub> (provavelmente)
G	<i>Eudorina elegans</i> , <i>Eudorina</i> sp., <i>Pandorina</i> sp.	36.428	Colunas d'água curtas e ricas em nutrientes	Alta luz	Deficiência de nutrientes

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
<b>J</b>	<i>Coelastrum astroideum</i> , <i>C. indicum</i> , <i>C. microporum</i> , <i>Coelastrum</i> sp., <i>Desmodesmus brasiliensis</i> , <i>D. communis</i> , <i>D. denticulatus</i> , <i>D. armatus</i> , <i>D. granulatus</i> , <i>D. heteracanthus</i> , <i>D. intermedius</i> , <i>Golenkinia radiata</i> , <i>Scenedesmus acunae</i> , <i>S. arcuatus</i> , <i>S. armatus</i> , <i>S. disciformis</i> , <i>S. ecornis</i> , <i>S. incrassatulus</i> , <i>S. obtusus</i> , <i>S. securiformis</i> , <i>Scenedesmus</i> spp., <i>Tetraedron minutum</i> , <i>T. glabrum</i>	10.484	Lagos, lagoas e rios rasos e enriquecidos	-	Estabelecer-se em pouca luz
<b>K</b>	<i>Aphanocapsa delicatissima</i> , <i>A. elachista</i> , <i>A. holsatica</i> , <i>A. incerta</i> , <i>A. parasitica</i>	81.668	Colunas curtas e ricas em nutrientes	-	Misturas profundas
<b>Lm</b>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	37.289	Epilimnio de lagos eutróficos (principalmente no verão)	C muito baixo	Pouca mistura, luz e estratificação

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
Lo	<i>Merismopedia danubiana</i> , <i>M. glauca</i> , <i>M. tenuissima</i> , <i>Peridinium inconspicuum</i> , <i>Peridinium</i> sp.	354.300	Epilimnio de lagos mesotróficos (principalmente no verão)	Perda de nutrientes	Misturas longas ou profundas
M	<i>Radiocystis geminata</i>	1.221	Camadas misturadas de pequenos lagos eutróficos de baixa latitude	Alta insolação	Perda de nutrientes e baixa luz total
Mp	<i>Navicula erifuga</i> , <i>Pleurosira</i> sp., <i>Surirella</i> sp.	3.596	Lagos agitados, rasos, inorganicamente turvos	-	-
N	<i>Cosmarium abbreviatum</i> , <i>C. sphagnicolum</i> , <i>Cosmarium</i> sp.	157	Epilimnio mesotrófico	Deficiência de nutrientes	Estratificação e aumento do pH
Na	<i>Staurastrum cuspidatum</i> , <i>S. leptocladum</i> , <i>S. pseudotetracerum</i>	2.038	Ambientes atelomíticos, oligo-mesotróficos em baixas latitudes	-	Desestratificação

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
P	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Closterium acutum</i> , <i>C. diana</i> , <i>C. incurvum</i> , <i>C. pronum</i> , <i>C. setaceum</i> , <i>Closterium</i> sp.	9.750	Epilimínio eutrófico	Luz suave e deficiência de C	Estratificação e depleção de Si
Q	<i>Gonyostomum</i> sp.	83.028	Pequenos lagos húmicos	Alta cor	-
S1	<i>Planktothrix agardhii</i> , <i>P. isothrix</i> , <i>Pseudanabaena limnetica</i>	11.207	Camadas turvas e misturadas	Alta deficiência de luz	Perda de nutrientes
Tb	<i>Fragilaria</i> sp., <i>Gomphonema gracile</i> , <i>G. parvulum</i> , <i>Gomphonema</i> sp.	177,1	Ambientes altamente lóticos (córregos e riachos)	-	-
Tc	<i>Oscillatoria curviceps</i> , <i>O. simplicissima</i> , <i>Phormidium lividum</i> , <i>Phormidium</i> spp.	85.814	Águas paradas, eutróficas, ou rios de baixo fluxo com macrófitas superficiais	-	-

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
W1	<i>Astasia</i> sp., <i>Euglena acus</i> , <i>E. caudata</i> , <i>E. oxyuris</i> , <i>E. pusilla</i> , <i>E. spirogyra</i> , <i>E. tripteris</i> , <i>E. variabilis</i> , <i>Euglena</i> spp., <i>Phacus contortus</i> , <i>P. curvicauda</i> , <i>P.</i> <i>longicauda</i> , <i>P. oscillans</i> , <i>P. platalea</i> , <i>P.</i> <i>pleuronectes</i> , <i>Phacus</i> spp., <i>Strombomonas</i> <i>urceolata</i> , <i>Strombomonas</i> spp.	269,9	Pequenas lagoas orgânicas	Alto DBO	Herbivoria
W2	<i>Trachelomonas armata</i> , <i>T. australica</i> , <i>T. hispida</i> , <i>T. similis</i> , <i>T. volvocina</i> , <i>Trachelomonas</i> sp.	14.940	Lagos rasos e mesotróficos	-	-
X1	<i>Monoraphidium arcuatum</i> , <i>M. contortum</i> , <i>M.</i> <i>irregulare</i> , <i>M. tortile</i>	10.347	Camadas rasas e misturadas, em condições enriquecidas	Estratificação	Deficiência de nutriente e predação por filtradores
X2	<i>Rhodomonas minuta</i>	280.687	Camadas claras e misturadas em lagos mesotróficos	Estratificação	Mistura e predação por filtradores
X3	<i>Chrysochromulina parva</i>	62.810	Camadas claras, rasas e misturadas	Substrato pobre (?)	Mistura e herbivoria
Y	<i>Cryptomonas brasiliensis</i>	28.119	Geralmente pequenos lagos enriquecidos	Baixa luz	Fagótrofos

**Tabela 4.** Biomassa dos Grupos morfofuncionais do fitoplâncton, segundo Salmaso e Padisák (2007).

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
<b>FLAGELADOS</b>			
<b>Potencial mixotrófico</b>			
<b>Coloniais ou Unicelulares</b>			
<b>1a</b>	<i>Dinobryon baravicum</i> , <i>D. sertularia</i> , <i>Merotrichia spp.</i> , <i>Vacuolaria spp.</i>	5.481.137	Grandes Crysophytas/Haptophytas
<b>1b</b>	<i>Glochidinium spp.</i>	20.983,8	Grandes Dinophytas
<b>1c</b>	<i>Euglena acus</i> , <i>E. caudata</i> , <i>E. oxyuris</i> , <i>E. pusilla</i> , <i>E. spirogyra</i> , <i>E. tripteris</i> , <i>P. longicauda</i> , <i>P. platalea</i> , <i>P. pleuronectes</i> , <i>P. triqueter</i>	378.023	Grandes Euglenophytas
<b>Pequenos Unicelulares</b>			
<b>2a</b>	<i>Mallomonas sp.</i> , <i>Chrysochromulina parva</i> , <i>Gonyostomum sp.</i>	83.800	Pequenas Crysophytas/Haptophytas
<b>2b</b>	<i>Peridinium inconspicuum</i> , <i>Peridinium sp.</i>	60.854	Pequenas Dinophytas
<b>2c</b>	<i>Astasia sp.</i> , <i>Euglena variabilis</i> , <i>Euglena spp.</i> , <i>Phacus acuminatus</i> , <i>P. contortus</i> , <i>P. curvicauda</i> , <i>P. oscillans</i> , <i>Phacus spp.</i> , <i>Strombomonas urceolata</i> , <i>Strombomonas spp.</i> , <i>Trachelomonas armata</i> , <i>T. australica</i> , <i>T. hispida</i> , <i>T. similis</i> , <i>T. volvocina</i> , <i>Trachelomonas spp.</i>	71.108	Pequenas Euglenophytas
<b>2d</b>	<i>Cryptomonas brasiliensis</i> , <i>Rhodomonas minuta</i>	34.858	Cryptophytas

Tabela 4. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
<b>FLAGELADOS</b>			
<b>Principalmente autotróficos</b>			
<b>Phytomonadina</b>			
3a	<i>Chlamydomonas angulosa</i> , <i>C. ehrenbergii</i> , <i>Chlamydomonas</i> spp.	9.353	Unicelulares
3b	<i>Eudorina elegans</i> , <i>Eudorina</i> spp., <i>Pandorina</i> sp.	32.321	Coloniais
<b>SEM FLAGELO</b>			
<b>Cyanobacteria</b>			
<b>Coloniais</b>			
5a	<i>Geitlerinema amphibium</i> , <i>G. splendidum</i> , <i>Oscillatoria curviceps</i> , <i>O. simplicissima</i> , <i>Phormidium lividum</i> , <i>Phormidium</i> spp., <i>Planktothrix agardhii</i> , <i>P. isothrix</i> , <i>Planktolyngbya limnetica</i> , <i>Pseudanabaena limnetica</i> , <i>P. mucicola</i>	87.891	Oscillatoriales
5b	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Radiocystis geminata</i>	354.435	Grandes Chroococcales com aerótopos
5c	<i>Cyanogranis</i> sp., <i>Microcrocis pulchella</i>	174.208	Grandes Chroococcales sem aerótopos
5d	<i>Aphanocapsa delicatissima</i> , <i>A. elachista</i> , <i>A. holsatica</i> , <i>A. incerta</i> , <i>A. parasitica</i> , <i>Eucapsis densa</i> , <i>Merismopedia danubiana</i> , <i>M. glauca</i> , <i>M. tenuissima</i> , <i>Snowella lacustris</i> , <i>Snowella</i> sp.	87.414	Pequenas Chroococcales

Tabela 4. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
		<b>SEM FLAGELO</b>	
		<b>Diatomáceas</b>	
		<b>Grandes</b>	
<b>6a</b>	<i>Aulacoseira distans</i> , <i>A. granulata</i> , <i>Actinocyclus</i> spp., <i>Actinophycus senarius</i> , <i>A. splendens</i> , <i>Coscinodiscus centralis</i> , <i>C. divisus</i> , <i>C. excentricus</i> , <i>C. jonensianus</i> , <i>C. oculus-iridis</i> , <i>Coscinodiscus</i> sp., <i>Triceratium favus</i>	189.399	Centricas
<b>6b</b>	<i>Encyonema neomesianum</i> , <i>Eunotia camelus</i> , <i>E. didyma</i> , <i>E. flexuosa</i> , <i>Frustulia saxonica</i> , <i>Gomphonema gracile</i> , <i>G. parvulum</i> , <i>Gomphonema</i> sp., <i>Navicula erifuga</i> , <i>Odontella mobiliensis</i> , <i>O. regia</i> , <i>Odontella</i> spp., <i>Pinnularia microstauron</i> , <i>Sellaphora</i> sp., <i>Surirella</i> spp.	3.540	Pennates
		<b>Pequenas</b>	
<b>7a</b>	<i>Aulacoseira veraluciae</i> , <i>Aulacoseira</i> spp., <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>C. striata</i> , <i>Cyclotella</i> sp., <i>Thalassiosira oestrupii</i> , <i>T. symmetrica</i> , <i>T. excêntrica</i> , <i>Thalassiosira</i> spp., <i>Pleurosira</i> sp.	19.640	Centricas
<b>7b</b>	<i>Caloneis</i> sp., <i>Diploneis gruendleri</i> , <i>Encyonema</i> spp., <i>Fragilaria</i> sp., <i>Frustulia</i> spp., <i>Gomphosphaenia</i> sp., <i>Placoneis clementis</i> , <i>Planothidium salvadorianum</i> , <i>Urosolenia</i> spp., <i>Rhizosolenia</i> spp.	18.751	Pennates

Tabela 4. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
<b>SEM FLAGELO</b>			
<b>Outras unicelulares</b>			
<b>Grandes</b>			
<b>8a</b>	<i>Closterium pronum</i> , <i>C. setaceum</i> , <i>Golenkinia radiata</i> , <i>Staurastrum leptocladum</i>	4.941	Grandes Conjugatophyta/Clorophytas Unicelulares
<b>8b</b>	<i>Centrtractus belenophorus</i> , <i>Centrtractus</i> sp., <i>Tetraedriella</i> sp., <i>Tetraplektron torsun</i>	768,84	Grandes Unicelulares de outros grupos
<b>Pequenas</b>			
<b>9a</b>	<i>Closterium acutum</i> , <i>C. diana</i> , <i>C. incurvum</i> , <i>Closterium</i> sp., <i>Cosmarium abbreviatum</i> , <i>C. sphagnicolum</i> , <i>Staurastrum</i> <i>cuspidatum</i> , <i>S. pseudotetracerum</i> , <i>Xanthidium</i> sp.	2.650	Conjugatophyceas unicelulares
<b>9b</b>	<i>Acanthosphaera</i> sp., <i>Chodatella quadriseta</i> , <i>C. subsalsa</i> , <i>Monoraphidium arcuatum</i> , <i>M. contortum</i> , <i>M. irregulare</i> , <i>M.</i> <i>mirabile</i> , <i>M. tortile</i> , <i>Pteromonas angulosa</i> , <i>Tetraedron</i> <i>minutum</i>	305,2	Pequenas Clorophytas unicelulares

Tabela 4. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
		SEM FLAGELO Outras Coloniais Não filamentosas	
11a	<i>Ankistrodesmus densus</i> , <i>A. hantzschii</i> , <i>Crucigenia apiculata</i> , <i>C. fenestrata</i> , <i>C. quadrata</i> , <i>Crucigenia</i> spp., <i>Crucigeniella</i> <i>crucifera</i> , <i>Desmodesmus brasiliensis</i> , <i>D. communis</i> , <i>D.</i> <i>denticulatus</i> , <i>D. dispar</i> , <i>D. granulatus</i> , <i>D. heteracanthus</i> , <i>D.</i> <i>intermedius</i> , <i>Eutetramorus fottii</i> , <i>Eutetramorus</i> sp., <i>Quadrigula</i> sp., <i>Scenedesmus acunae</i> , <i>S. arcuatus</i> , <i>S.</i> <i>armatus</i> , <i>S. disciformis</i> , <i>S. ecornis</i> , <i>S. incrassatulus</i> , <i>S.</i> <i>securiformis</i> , <i>Scenedesmus</i> spp., <i>Tetrastrum glabrum</i> , <i>Westella botryoides</i>	1.918	Chlorococcales Colonias sem envelope

Tabela 4. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
		<b>SEM FLAGELO</b> <b>Outras Coloniais</b> <b>Não filamentosas</b>	
<b>11b</b>	<i>Gloeocystis vesiculosa</i> , <i>Kirchneriella contorta</i> , <i>K. diana</i> , <i>Nephrocytium agardhianum</i>	2.485	Chlorococcales Colonias gelatinosas
<b>11c</b>	<i>Actinastrum hantzschii</i> , <i>Botryococcus</i> sp., <i>Coelastrum</i> <i>astroideum</i> , <i>C. indicum</i> , <i>C. microporum</i> , <i>C. sp.</i> , <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> , <i>D. pulchellum</i> , <i>D.</i> <i>sphagnale</i> , <i>D. tetrachotomum</i> , <i>Micractinium pusillum</i> , <i>Muscidosphaerium tetrachotomum</i> , <i>Oocystis borgeii</i> , <i>O.</i> <i>lacustris</i> , <i>O. marsonii</i> , <i>O. solitaria</i>	136.349	Outras coloniais

**Tabela 5.** Biomassa dos Grupos funcionais baseados na morfologia segundo Kruk et al. (2010).

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
I	<i>Kirchneriella contorta</i> , <i>K. diana</i> , <i>Merismopedia tenuissima</i> , <i>Monoraphidium contortum</i> , <i>Pseudanabaena mucicola</i>	211,4	Pequenos organismos com alta razão S/V
	<i>Dinobryon baravicum</i> , <i>D. sertularia</i> , <i>Mallomonas</i> sp.	1.909	Pequenos organismos flagelados com exoesqueleto silicoso
III	<i>Planktothrix agardhii</i> , <i>P. isothrix</i>	147.127	Grandes filamentosas com aerótopos

Tabela 5. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
IV	<p><i>Acanthosphaera</i> sp., <i>Ankistrodesmus hantzschii</i>, <i>Centrित्रactus belenophorus</i>, <i>Centrित्रactus</i> sp., <i>Chodatella quadriseta</i>, <i>C. subsalsa</i>, <i>Closterium acutum</i>, <i>C. diana</i>e, <i>C. incurvum</i>, <i>Closterium</i> sp., <i>Coelastrum astroideum</i>, <i>C. indicum</i>, <i>C. microporum</i>, <i>Coelastrum</i> sp., <i>Cosmarium sphagnicolum</i>, <i>Crucigenia apiculata</i>, <i>C. fenestrata</i>, <i>C. quadrata</i>, <i>Crucigenia</i> spp., <i>Crucigeniella crucifera</i>, <i>Desmodesmus brasiliensis</i>, <i>D. communis</i>, <i>D. denticulatus</i>, <i>D. dispar</i>, <i>D. granulatus</i>, <i>D. heteracanthus</i>, <i>D. intermedius</i>, <i>Golenkinia radiata</i>, <i>Kirchneriella contorta</i>, <i>Micractinium pusillum</i>, <i>Monoraphidium arcuatum</i>, <i>M. contortum</i>, <i>M. irregulare</i>, <i>M. tortile</i>, <i>Oocystis borgeii</i>, <i>O. lacustris</i>, <i>O. marsonii</i>, <i>O. solitaria</i>, <i>Oscillatoria curviceps</i>, <i>O. simplicissima</i>, <i>Phormidium lividum</i>, <i>Phormidium</i> spp., <i>Planktolyngbya limnetica</i>, <i>Pseudanabaena limnetica</i>, <i>Quadrigula</i> sp., <i>Scenedesmus acunae</i>, <i>S. arcuatus</i>, <i>S. armatus</i>, <i>S. disciformis</i>, <i>S. ecornis</i>, <i>S. incrassatulus</i>, <i>S. securiformis</i>, <i>Scenedesmus</i> spp., <i>Staurastrum cuspidatum</i>, <i>S. leptocladum</i>, <i>S. pseudotetracerum</i>, <i>Tetradriella</i> sp., <i>Tetraedron minutum</i>, <i>Tetraplektron torsun</i>, <i>Tetrastrum glabrum</i>, <i>Xanthidium</i> sp.</p>	64.087	Organismos de tamanho médio sem traços especializados

Tabela 5. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
V	<i>Astasia</i> sp., <i>Chlamydomonas angulosa</i> , <i>Chlamydomonas ehrenbergii</i> , <i>C.</i> <i>hlamydomonas</i> spp., <i>Chrysochromulina parva</i> , <i>Cryptomonas brasiliensis</i> , <i>Euglena acus</i> , <i>E.</i> <i>caudata</i> , <i>E. oxyuris</i> , <i>E. pusilla</i> , <i>E. spirogyra</i> , <i>E.</i> <i>tripteris</i> , <i>E. variabilis</i> , <i>Euglena</i> spp., <i>Glochidinium</i> spp., <i>Gonyostomum</i> sp., <i>Merotrichia</i> spp., <i>Peridinium inconspicuum</i> , <i>Peridinium</i> sp., <i>Phacus contortus</i> , <i>P.</i> <i>curvicauda</i> , <i>P. longicauda</i> , <i>P. oscillans</i> , <i>P.</i> <i>platalea</i> , <i>P. pleuronectes</i> , <i>P. triqueter</i> , <i>Phacus</i> spp., <i>Pteromonas angulosa</i> , <i>Rhodomonas</i> <i>minuta</i> , <i>Strombomonas urceolata</i> , <i>Strombomonas</i> spp., <i>Trachelomonas armata</i> , <i>T.</i> <i>australiana</i> , <i>T. hispida</i> , <i>T. similis</i> , <i>T. volvocina</i> , <i>Trachelomonas</i> sp., <i>Vacuolaria</i> spp.	4.545.335	Flagelados unicelulares de tamanho médio a grande

Tabela 5. Continuação

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
VI	<i>Actinocyclus</i> spp., <i>A. senarius</i> , <i>A. splendens</i> , <i>Aulacoseira distans</i> , <i>A. granulata</i> , <i>A.</i> <i>veralucia</i> , <i>Caloneis</i> sp., <i>Coscinodiscus</i> <i>centralis</i> , <i>C. divisus</i> , , <i>C. jonensianus</i> , <i>C.</i> <i>oculus-iridis</i> , <i>Coscinodiscus</i> sp., <i>Cyclotella</i> <i>meneghiniana</i> , <i>C. striata</i> , <i>Diploneis</i> <i>gruendleri</i> , <i>Encyonema neomesianum</i> , <i>Encyonema</i> spp., <i>Eunotia camelus</i> , <i>E. didyma</i> , <i>E. flexuosa</i> , <i>Fragilaria</i> sp., <i>Frustulia saxonica</i> , <i>Frustulia</i> spp., <i>Gomphonema gracile</i> , <i>G.</i> <i>parvulum</i> , <i>Gomphonema</i> sp., <i>Gomphosphaenia</i> sp., <i>Navicula erifuga</i> , <i>Odontella mobiliensis</i> , <i>O. regia</i> , <i>Odontella</i> spp., <i>Pinnularia</i> <i>microstauron</i> , <i>Placoneis clementis</i> , <i>Planothidium salvadorianum</i> , <i>Pleurosira</i> sp., <i>Rhizosolenia</i> spp., <i>Sellaphora</i> sp., <i>Surirella</i> sp., <i>Thalassiosira oestrupii</i> , <i>T. symmetrica</i> , <i>T.</i> <i>eccentrica</i> <i>Thalassiosira</i> spp., <i>Triceratium</i> <i>favus</i> , <i>Urosolenia</i> spp.	180.256	Organismos não flagelados com exoesqueleto silicoso

Tabela 5. Continuação.

GRUPOS	ESPÉCIES	BIOMASSA MÉDIA ( $\mu\text{m}^3.\text{mL}$ )	CARACTERÍSTICAS
VII	<p><i>Aphanocapsa delicatissima</i>, <i>A. elachista</i>, <i>A. holsatica</i>, <i>A. incerta</i>, <i>A. parasitica</i>, <i>Cyanogranis</i> sp., <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>, <i>D. pulchellum</i>, <i>D. sphagnale</i>, <i>Eucapsis densa</i>, <i>Eudorina elegans</i>, <i>Eudorina</i> sp., <i>Eutetramorus fottii</i>, <i>Eutetramorus</i> sp., <i>Gloeocystis vesiculosa</i>, <i>Merismopedia danubiana</i>, <i>M. glauca</i>, <i>M. tenuissima</i>, <i>Microcrocis pulchella</i>, <i>Microcystis aeruginosa</i>, <i>Muscidosphaerium tetrachotomum</i>, <i>Nephrocytium agardhianum</i>, <i>Radiocystis geminata</i>, <i>Snowella lacustris</i>, <i>Snowella</i> sp., <i>Westella botryoides</i></p>	372.507	Grandes colônias muscilaginosas

#### **4 CAPÍTULO 2: Índices ecológicos do fitoplâncton em dois reservatórios urbanos abastecidos por rio de águas brancas (Belém, Pará, Brasil)**

**Segundo as normas da revista para submissão: Brazilian Journal of Environmental Sciences**

##### **RESUMO**

Os índices de diversidade são métricas comumente usadas no estudo do fitoplâncton, pois apresentam uma relação unimodal com a produtividade destas algas. Além disso, podem distinguir a extensão e os níveis de estresse causados pelos impactos antrópicos no ambiente aquático. O objetivo deste estudo é avaliar o uso dos índices ecológicos na comunidade fitoplanctônica como ferramenta de monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios de abastecimento público de Belém (Pará). Foram realizadas coletas mensais de água em quatro pontos para determinar os fatores físico-químicos e a densidade do fitoplâncton, foram calculados os índices: Riqueza de Margalef, Diversidade de Shannon, Dominância de Simpson e Equitabilidade de Pielou. Os fatores ambientais mais importantes foram a turbidez, transparência da água e precipitação pluviométrica, os quais evidenciaram variação sazonal e espacial das variáveis limnológicas e fitoplanctônicas. Foram identificadas 187 espécies do fitoplâncton distribuídas em 15 classes. As classes mais representativas foram Chlorophyceae (42 spp.), Cyanophyceae (26 spp.), Euglenophyceae (25 spp.), Bacillariophyceae (23 spp.) e Coscinodiscophyceae (20 spp.). A riqueza variou significativamente entre os meses, sendo menor em janeiro e maior em junho. De maneira geral o mês de janeiro apresentou menor diversidade, maior dominância e menor equitabilidade, contrário ao mês de junho que apresentou maior diversidade, menor dominância e maior equitabilidade. O reservatório Bolonha apresentou menor riqueza ( $8.3 \pm 1.9$ ), menor diversidade ( $1.2 \pm 0.5$  bits.log<sub>2</sub>), maior dominância ( $0.55 \pm 0.19$ ) e menor equitabilidade ( $0.32 \pm 0.12$ ), em relação ao reservatório Água Preta. Neste sentido, o reservatório Água Preta foi considerado diverso e as espécies estão bem distribuídas no ambiente. Por outro lado, o reservatório Bolonha apresentou baixa diversidade e equitabilidade, havendo dominância de espécies sobre outras. Os índices ecológicos foram ferramentas eficazes na análise do estado ecológico dos reservatórios Água Preta e Bolonha e se configuram como uma boa abordagem no monitoramento da qualidade ambiental.

Palavras-chave: diversidade alfa, bioindicadores, reservatórios tropicais.

## **ECOLOGICAL INDICES OF THE PHYTOPLANKTON IN TWO URBAN RESERVOIRS SUPPLIED BY WHITE WATERS RIVER (BELÉM, PARÁ, BRAZIL)**

### **ABSTRACT**

Diversity indexes are metrics commonly used in the study of phytoplankton, as they have a unimodal relationship with the productivity of these algae. In addition, they can distinguish the extent and levels of stress caused by human impacts on the aquatic environment. The aim of this study is to evaluate the use of ecological indexes in the phytoplankton community as a tool for monitoring the quality of water in public supply reservoirs of Belém (Pará). Monthly water collections were carried out at four points to determine the physico-chemical factors and the phytoplankton density, the indices were calculated: Margalef's richness, Shannon's diversity, Simpson's dominance and Pielou's equitability. The most important environmental factors were turbidity, water transparency and rainfall, which showed seasonal and spatial variation in limnological and phytoplanktonic variables. 187 phytoplankton species were identified, distributed in 15 classes. The most representative classes were Chlorophyceae (42 spp.), Cyanophyceae (26 spp.), Euglenophyceae (25 spp.), Bacillariophyceae (23 spp.) And Coscinodiscophyceae (20 spp.). Richness varied significantly between months, being lower in January and higher in June. In general, the month of January presented less diversity, greater dominance and less equitability, in contrast to the month of June, which presented greater diversity, less dominance and greater equitability. The Bolonha reservoir showed less richness ( $8.3 \pm 1.9$ ), less diversity ( $1.2 \pm 0.5$ ) bits.log2, greater dominance ( $0.55 \pm 0.19$ ) and less evenness ( $0.32 \pm 0.12$ ), in relation to the Água Preta reservoir. In this sense, the Água Preta reservoir was considered diverse and the species are well distributed in the environment. On the other hand, the Bolonha reservoir showed low diversity and equitability, with species dominance. The ecological indexes were effective tools in the analysis of the ecological status of the Água Preta and Bolonha reservoirs and are configured as a good approach in monitoring environmental quality.

Keywords: alfa diversity, bioindicators, tropical reservoirs.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O rio Guamá é um dos principais tributários do estuário do Rio Pará (Gregório e Mendes, 2009) e junto com os reservatórios Água Preta e Bolonha supre o sistema de abastecimento público da Região Metropolitana de Belém, uma das maiores metrópoles da Amazônia, abastecendo cerca de 70% da população desta região (ANA, 2010). Este sistema está inserido na parte urbanizada da região metropolitana e, portanto, encontra-se vulnerável aos diversos impactos causados pelo crescimento populacional desordenado e a deficiência de saneamento básico (Santos et al., 2013) que são condições críticas das cidades brasileiras, sobretudo na Amazônia.

Os esgotos são despejados sem tratamento prévio nos rios e a água contaminada é a causa principal de vários processos de desequilíbrio ecológico pela perda de sua qualidade e da biodiversidade (Vasconcelos e Souza, 2011). Os reservatórios de Belém são dominados por macrófitas aquáticas e suas águas são eutrofizadas, com registro de florações e cianobactérias, o que os tornam inseguros ao consumo humano (Vieira et al., 2005; Silva et al., 2019; Souza et al., 2020).

Devido à escassez crescente de água devem-se monitorar os ambientes aquáticos existentes para garantir águas seguras para o abastecimento e prever processos que impactam estes ambientes e possam colocar em risco suas integridades ecológicas. O fitoplâncton tem sido requerido como uma boa ferramenta de monitoramento, visto que a comunidade tem capacidade de responder as mudanças no gradiente ambiental, pelo curto ciclo de vida e diversas estratégias adaptativas (Reynolds et al., 2002; Torok et al., 2017; Tian et al., 2018).

Em muitos países o fitoplâncton é utilizado para o biomonitoramento, onde sua aplicação inclui o estudo da biomassa fitoplancônica através das concentrações de clorofila-a e biovolume algal ou a utilização de índices ecológicos, através da abundância e diversidade de espécies (France et al., 2021), como na Diretiva-Quadro da Água (2000, 60, EC), que dispõe sobre a avaliação da qualidade e proteção das águas europeias (France et al., 2021; Varkitzi et al., 2018).

Já no Brasil a legislação referente ao uso das comunidades biológicas na avaliação da qualidade da água se remete a resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). Contudo, esta resolução apenas diz respeito a quantidade de células de cianobactérias, não levando em consideração os demais componentes do fitoplâncton, nem o tipo de abordagem a ser aplicada.

Os índices ecológicos são métricas comumente usadas no estudo do fitoplâncton, pois apresentam uma relação unimodal com a produtividade destas algas (Spatharis et al., 2010). Além disso, podem distinguir a extensão e os níveis de estresse causadas pelos impactos

antrópicos no ambiente aquático (France et al., 2020; Varkitzi et al., 2018), uma vez que ao expressar a complexidade local permitem identificar os elementos e os fatores ambientais que proporcionam a manutenção destas espécies em determinado hábitat e inferir sobre o funcionamento do ecossistema (Nabout et al. 2007; Duarte et al., 2006), e ainda, possuem boa aplicação quando realizados em ambientes conectados hidrológicamente, permitindo comparação entre os ambientes (Meng et al., 2020).

O objetivo deste estudo foi avaliar o uso dos índices ecológicos na comunidade fitoplanctônica como ferramenta de monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios de abastecimento público de Belém (Pará).

## 4.2 MATERIAL E METODOS

### 4.2.1 Área de Estudo e Amostragem

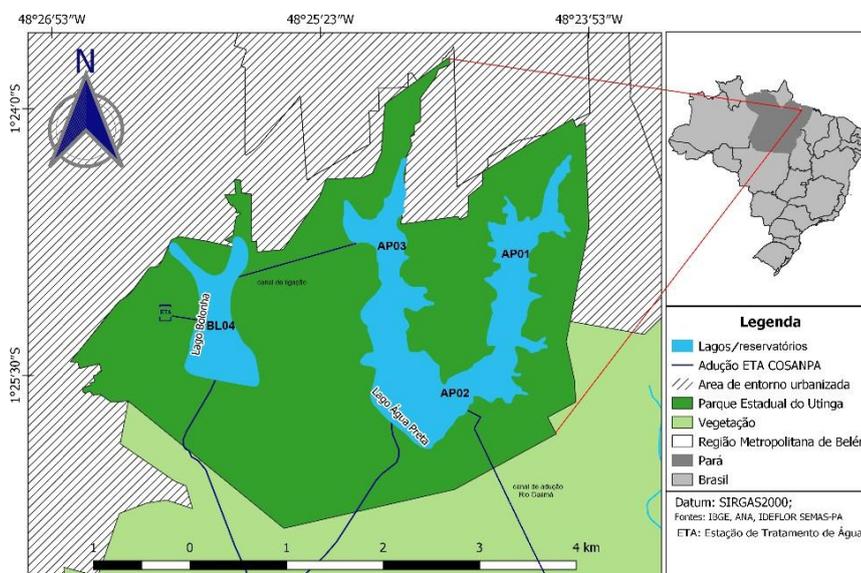
A Região Metropolitana de Belém- RMB (Pará, Brasil) localiza-se ao Norte do Brasil (IBGE, 1973) e compreende uma área de aproximadamente 2.506,737 km<sup>2</sup>, e população estimada de 2.262.159 (IBGE, 2020). O clima da região é quente e úmido, com baixas amplitudes térmicas (31° a 33°), elevada umidade relativa do ar (79,6 % a 89,8 %), precipitação pluviométrica mensal (125,1 mm a 503,6 mm) e velocidade média dos ventos (3,9 km/h a 6,7 km/h). O período chuvoso compreende de janeiro a maio e o menos chuvoso de julho a novembro (INMET, 2019).

O sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém abastece cerca de 70% da população da RMB, sendo formado pelo rio Guamá e os reservatórios Água Preta e Bolonha (ANA, 2010). O rio Guamá é responsável por cerca de 90% da capacidade hídrica destes reservatórios (Vasconcelos e Souza, 2011), possui águas turvas e levemente ácidas, também recebe despejos de esgotos domésticos e industriais não tratados o que faz com que suas águas oscilem de mesotrófico, na preamar, a hipereutrófico na baixamar (Varela et al., 2020; Santos et al., 2014).

Os reservatórios Água Preta e Bolonha estão inseridos em uma Unidade de Conservação (01°27'21"S e 48°30'15" W), sendo rodeados por uma faixa de floresta primária e secundária de vegetação ombrófila (Pará, 2013), entretanto, a área urbana somada à área desmatada equivale a 43% da área total da microbacia hidrográfica.

O reservatório Água Preta tem área total de 7.199.500 m<sup>2</sup> e aproximadamente 8,5 m de profundidade máxima, já o reservatório Bolonha possui 1.790.000 m<sup>2</sup> de área total e profundidade máxima de 7,64 m (Sodré, 2007). Os reservatórios são interligados por um canal de 5 km de extensão, onde as águas do Água Preta drenam em direção ao Bolonha.

Nestes reservatórios foram realizadas coletas em quatro pontos, sendo AP1, AP2 e AP3, no reservatório Água Preta, e somente BL4 no reservatório Bolonha devido ao difícil acesso ao espelho d'água por excesso de macrófitas (Figura 1). Foram coletadas águas para determinar os fatores físico-químicos e o fitoplâncton. As coletas foram realizadas nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, junho, julho e outubro de 2019.



**Figura 1.** Mapa da localização do sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil) com os pontos de coleta: Água Preta (AP1, AP2, AP3) e Bolonha (BL4).

#### 4.2.2 Coleta e análise das variáveis bióticas e abióticas

A transparência (m) da água foi estimada com o disco de Secchi e as variáveis limnológicas temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica ( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), oxigênio dissolvido ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e salinidade determinados através de sonda multiparamétrica (HANNA HI9828, HANNA INSTRUMENTS, USA). A turbidez (UTN) foi estimada com o uso de um turbidímetro (2100Q EPA 0-1000NTU FONTE/USB, HACH, PORTUGAL).

Os dados de precipitação (mm) e vento (km/h) foram obtidos na estação meteorológica de Belém ( $1^{\circ} 25' 48.0''\text{S}$  -  $48^{\circ} 25' 12.0''\text{W}$ ) e fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET, 2019).

As amostras fitoplanctônicas foram coletadas diretamente na subsuperfície da água com frascos de polipropileno (300 mL) e fixadas com formol neutro (4%) conforme a metodologia 10200 B do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), que consiste na sedimentação das amostras por 24h e análise de toda a área da cubeta. O método de sedimentação de Utermöhl (1958) foi empregado para a quantificação (densidade) do fitoplâncton ( $\text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$ ) utilizando a metodologia 10200 F (Apha, 2017), onde são contados

os organismos até atingir no mínimo 100 indivíduos da espécie mais abundante, em invertoscópio óptico (AXIOVERT.A1, ZEISS, GERMANY) acoplado a câmera fotográfica (AXIOCAM ICC5, ZEISS, GERMANY) com software de medição, sob um aumento de 400x. A identificação, nomenclatura e enquadramento taxonômico do fitoplâncton foram realizados de acordo com literaturas especializadas: Bicudo e Menezes (2017); Komárek e Anagnostidis (2007; 2008), Komárek (2013) e Round et al. (2007).

#### 4.2.3 Análises estatísticas

Os dados físico-químicos e climáticos foram padronizados por *ranging* e transformados em raiz quarta ou raiz quadrada e submetidos ao teste de Mardia (1970) e Doornik-Hansen (1994) para verificar a normalidade multivariada. A distribuição dos dados não foi normalizada, então se aplicou análise de variância multivariada One-way PERMANOVA usando a distância Euclidiana para verificar a diferença espaço-temporal (meses e pontos) dos fatores físico-químicos e climáticos dos reservatórios.

Foi realizado o teste F ANOVA para dados paramétricos e H de Kruskal-Wallis para dados não paramétricos e a comparação Post-hoc de Tukey e Mann-Whitney, respectivamente, para verificar a diferença espaço-temporal (meses e pontos) da densidade e dos índices ecológicos.

Foram calculados os índices ecológicos a partir da densidade ( $\text{ind.L}^{-1}$ ) de espécies: Riqueza (Margalef, 1958), Diversidade (Shannon e Weaver, 1963), Dominância (Simpson, 1949) e Equitabilidade (Pielou, 1975).

A análise de correlação não paramétrica de Spearman foi aplicada para verificar a existência de relações entre os fatores abióticos-fitoplâncton e fatores abióticos-índices ecológicos. Para todos os testes foi considerada uma significância inferior a 5% ( $p < 0,05$ ) e os cálculos foram feitos utilizando o software PAST 4.02.

Para avaliar a relação do fitoplâncton com os fatores abióticos foi realizada Análise de Redundância- RDA: considerando a matriz dos dados abióticos e a matriz com a densidade das espécies mais abundantes com a eliminação das espécies com menos de 5% de abundância relativa, pois espécies pouco abundantes são consideradas insuficientemente contadas (Chorus e Bartram, 1999). A matriz biológica foi transformada por Hellinger (Legendre e Gallagher, 2001). Os testes foram realizados no programa CANOCO 4.5 for Windows (Ter-Braak e Smilauer, 2002).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Fatores abióticos

Houve uma diferença temporal (PERMANOVA  $F= 11,37$ ;  $p= 0,0001$ ) e espacial (PERMANOVA  $F= 1,95$ ;  $p= 0,0321$ ) dos fatores físico-químicos. O mês de março foi diferente dos meses mais chuvosos (janeiro, fevereiro e abril), apresentando concentrações de oxigênio dissolvido ( $4,0 \pm 2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ), condutividade elétrica ( $54,0 \pm 11,3 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e turbidez ( $29,5 \pm 35,0 \text{ UTN}$ ) mais elevadas, sendo mais semelhante aos meses menos chuvosos (junho a outubro). O mês de junho foi diferente do mês de outubro e apresentou menor turbidez ( $12,8 \pm 8,1 \text{ UTN}$ ) em relação a outubro ( $23,3 \pm 14,5 \text{ UTN}$ ) que apresentou a maior turbidez (Tabela 1).

Já os pontos AP1, AP2 e BL4 foram diferentes entre si, onde AP2 apresentou maior turbidez ( $38,0 \pm 21,0 \text{ UTN}$ ), visto que é o ponto de captação das águas do rio Guamá para os reservatórios e, portanto, com maior influência da elevada turbidez deste rio.

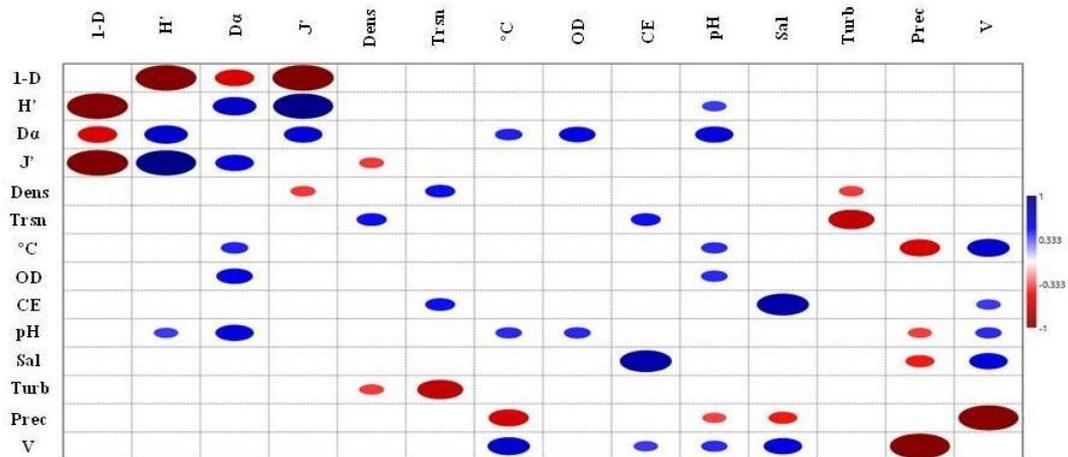
O AP1 apresentou maiores valores de transparência ( $1,7 \pm 0,3 \text{ m}$ ) e condutividade elétrica ( $56,4 \pm 10 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) e menor turbidez ( $7,0 \pm 2,3 \text{ UTN}$ ), localizado no sentido leste a montante de AP2 e, logo, sem influência do rio Guamá. Neste sentido é essencialmente lacustre, visto que a velocidade das águas nesta porção é praticamente nula, como observado por Lima et al. (2015).

Já BL4 por conta das próprias características do reservatório, que possui extensos tapetes de macrófitas aquáticas, possui baixas concentrações de oxigênio ( $2,0 \pm 2,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Estas características espaciais também são evidenciadas em outros estudos nos reservatórios, principalmente para a turbidez e o OD (Gonçalves et al., 2015; Santos et al., 2013). Apesar dos reservatórios serem pequenos, interconectados e sofrerem as mesmas interferências são heterogêneos, como observado anteriormente por Vasconcelos e Souza (2011) e Lima et al. (2013).

A correlação de Spearman (Figura 2) evidenciou a sazonalidade atuando na dinâmica dos reservatórios, onde a precipitação se relacionou negativamente com a temperatura ( $r_s = -0,64$ ) e velocidade média dos ventos ( $r_s = -0,96$ ), além das chuvas os ventos se relacionam positivamente com a temperatura ( $r_s = 0,67$ ) e a salinidade ( $r_s = 0,61$ ), visto que as maiores temperaturas e ventos mais fortes ocorrem no período menos chuvoso (Tabela 4).

A turbidez e transparência são inversamente proporcionais ( $r_s = -0,73$ ), e relacionam-se diretamente com a sazonalidade, uma vez que as chuvas exercem influência na suspensão de sólidos na água (Sousa et al., 2020). Enquanto que a salinidade se relaciona positivamente

com a condutividade elétrica ( $r_s = 0.83$ ), pela maior disponibilidade de íons na água (Tabela 4).



**Figura 2.** Correlação de Spearman das variáveis bióticas, abióticas e índices ecológicos aplicados ao fitoplâncton dos reservatórios de Belém (Pará). Legenda: 1-D: índice de dominância; H': índice de diversidade; Dα: índice de riqueza; J': índice de Equitabilidade; Dens: densidade; Trsn: transparência; °C: temperatura; OD: oxigênio dissolvido; CE: condutividade elétrica; Sal: salinidade; Turb: turbidez; Prec: precipitação; V: ventos.

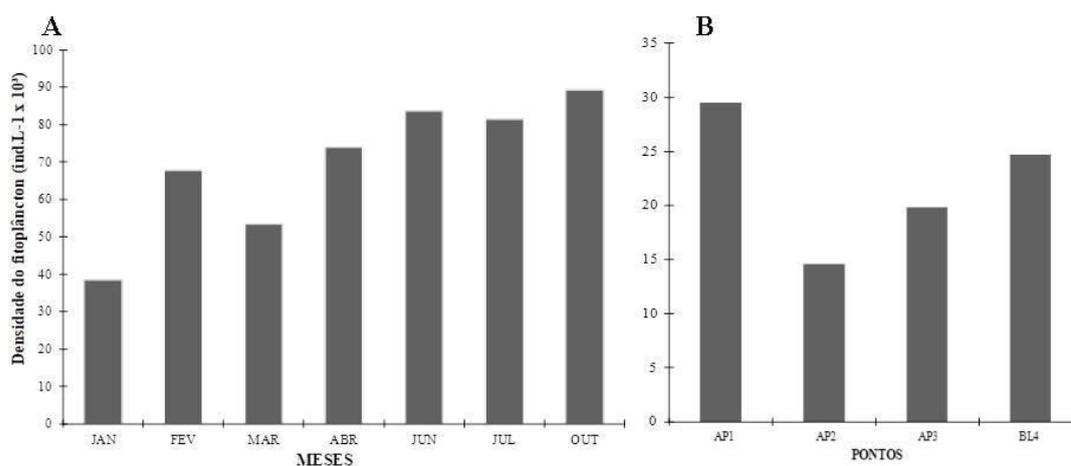
**Tabela 1.** Variáveis abióticas registradas para o sistema de abastecimento público de Belém (Pará, Brasil).

	JAN	FEV	MAR	ABR	JUN	JUL	OUT
	Min.-Máx.	Min.-Máx.	Min.-Máx.	Min.-Máx.	Min.-Máx.	Min.-Máx.	Min.-Máx.
	(Méd.±DP); Med.	(Méd.±DP); Med.	(Méd.±DP); Med.	(Méd.±DP); Med.	(Méd.±DP); Med.	(Méd.±DP); Med.	(Méd.±DP); Med.
<b>Transparência (m)</b>	0.4-1.4 (0.6 ± 0.6); 0.4	0.5-1.5 (1.0 ± 0.4); 0.9	0.3-1.7 (1.1 ± 0.7); 1.2	0.7-2.4 (1.7 ± 0.7); 1.8	1.5-2.2 (1.7 ± 0.5); 1.7	1.0-2.0 (1.5 ± 0.5); 1.5	0.7-1.8 (1.3 ± 0.5); 1.2
<b>T (C°)</b>	28.6-29.7 (29.2 ± 0.6); 29.1	27.9-30.08 (29.2 ± 1.0); 27.3	27.6-28.1 (27.9 ± 0.2); 29.8	28.9-29.8 (29.3 ± 0.4); 29.1	29.7-30.8 (30.1 ± 0.5); 29.9	28.06-30.07 (29.5 ± 1.0); 29.9	28.9-30.4 (30.4 ± 1.1); 30.4
<b>OD (mg.L-1)</b>	0.1-0.5 (0.3 ± 0.2); 0.19	0.0-0.9 (0.2 ± 0.5); 0.0	1.3-5.9 (4.0 ± 2.0); 4.3	0.8-9.4 (6.0 ± 3.6); 6.8	1.3-7.4 (4.0 ± 2.6); 5.4	6.1-9.09 (7.4 ± 1.4); 7.08	3.9-8.6 (6.4 ± 2.0); 6.4
<b>CE (µs.cm)</b>	36.0-52.0 (44.0 ± 7.7); 44.0	0.0-46.0 (20.0 ± 23.6); 17.0	37.9-63.5 (54.1 ± 11.3); 57.4	42.0-49.0 (44.3 ± 3.3); 43.0	56.4-74.4 (65.6 ± 7.5); 65.7	26.0-51.0 (37.5 ± 10.3); 36.5	56.0-70.0 (63.0 ± 5.7); 62.9
<b>Salinidade</b>	0.02-0.02 (0.02 ± 0.0); 0.02	0.0-0.02 (0.0075 ± 0.009); 0.005	0.01-0.02 (0.017 ± 0.005); 0.02	0.02-0.02 (0.02 ± 0.0); 0.02	0.03-0.04 (0.03 ± 0.005); 0.04	0.01-0.02 (0.015 ± 0.005); 0.015	0.03-0.04 (0.03 ± 0.005); 0.03
<b>Ph</b>	5.6-6.4 (5.9 ± 0.3); 5.8	6.4-6.8 (6.6 ± 0.16); 6.6	6.1-6.5 (6.3 ± 0.14); 6.3	6.1-6.5 (6.3 ± 0.2); 6.4	6.5-7.03 (6.8 ± 0.2); 6.8	6.4-6.8 (6.6 ± 0.2); 6.6	6.4-6.8 (6.5 ± 0.19); 6.5
<b>Turbidez</b>	7.0-31.0 (17.2 ± 10.9); 15.5	7.0-34.0 (16.0 ± 12.3); 11.5	9.0-82.0 (29.5 ± 35.1); 13.5	2.0-23.0 (9.2 ± 9.3); 6.0	6.0-24.0 (12.7 ± 8.05); 10.5	7.0-27.0 (14.0 ± 9.2); 11.0	8.3-42.0 (23.3 ± 14.5); 21.5
<b>Precipitação (mm)</b>	- (393.7 ± 92.4); 392.3	- (432.2 ± 107.08); 417.4	- (503.6 ± 129.5); 476.7	- (456.02 ± 86.2); 455.05	- (205.3 ± 71.2); 207.8	- (163.2 ± 69.2); 162.05	- (133.9 ± 59.8); 136.9
<b>Vel. Vento (Km/h)</b>	- (4.3 ± 1.2); 4.4	- (4.08 ± 1.2); 4.3	- (3.9 ± 1.06); 4.07	- (3.9 ± 1.1); 4.2	- (6.6 ± 7.5); 5.6	- (5.5 ± 1.1); 5.6	- (6.7 ± 1.6); 7.1

**Legendas:** T(°C): Temperatura; OD: oxigênio dissolvido; CE: condutividade elétrica; Vel. Vento: velocidade dos ventos.

### 3.3.2 Fatores bióticos

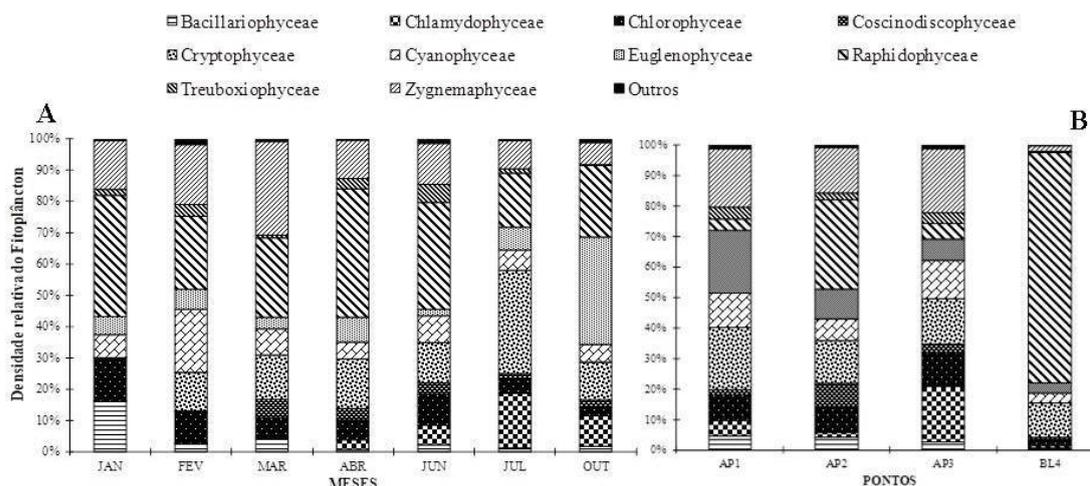
Foram identificadas 187 espécies do fitoplâncton distribuídas em 15 classes. As classes mais representativas foram Chlorophyceae (42 spp.), Cyanophyceae (26 spp.), Euglenophyceae (25 spp.), Bacillariophyceae (23 spp.) e Coscinodiscophyceae (20 spp.). A densidade não apresentou diferenças significativas entre os meses ( $F= 0,52$ ,  $p > 0,05$ ) e pontos ( $F= 2,7$ ,  $p > 0,05$ ). A densidade média variou de  $38.400 \text{ ind.L}^{-1}$ , em janeiro, a  $89.300 \text{ ind.L}^{-1}$  em outubro (Figura 3A), já entre os pontos variou de  $12.300 \text{ ind.L}^{-1}$  no ponto AP2 a  $23.100 \text{ ind.L}^{-1}$  no ponto AP1 (Figura 3B).



**Figura 3.** Variação espaço-temporal da densidade ( $\text{ind.L}^{-1} \times 10^3$ ) do fitoplâncton registrada para o sistema de abastecimento público de Belém (Pará, Brasil). A: Variação temporal do fitoplâncton; B: Variação espacial do fitoplâncton.

As classes Raphidophyceae e Zygnemaphyceae foram as mais representativas de janeiro a junho. As classes Cryptophyceae (33 %), principalmente com a espécie *Rhodomonas minuta* e Euglenophyceae (34 %), com a espécie *Trachelomonas volvocina*, dominaram em julho e outubro, respectivamente (Figura 4A).

Também entre os pontos ocorreu maior densidade relativa das classes Raphidophyceae, Treuboxiophyceae e Euglenophyceae. Neste aspecto, o ponto BL4 foi diferente dos demais pontos devido à dominância de Raphidophyceae com mais de 80 % de representatividade, principalmente com a espécie *Gonyostomum* sp. (Figura 4B).



**Figura 4.** Densidade relativa do fitoplâncton registrada para os reservatórios de abastecimento público de Belém (Pará, Brasil). A: Variação temporal da densidade relativa do fitoplâncton; B: Variação espacial da densidade relativa do fitoplâncton.

Estudos realizados em reservatórios evidenciam que a composição do fitoplâncton em grande parte é constituída de clorófitas, cianobactérias e diatomáceas (Cunha, 2013; Nascimento, 2010; Znachor et al., 2020; Lima et al., 2020), portanto, semelhantes à registrada para os reservatórios de Belém, principalmente as espécies de diatomáceas e clorófitas devido sua ampla distribuição, visto que são cosmopolitas (Bortolini et al., 2014).

O grande número de diatomáceas (Bacillariophyceae e Coscinodiscophyceae) nos reservatórios se deve a influência do Rio Guamá, pois são muito abundantes neste rio (Paiva et al., 2006). Aliado a isso, as baixas profundidades destes reservatórios e a presença de macrófitas, criam mosaicos ambientais que fornecem ao plâncton espécies epifíticas e bentônicas.

Embora este estudo não tenha observado uma variação temporal significativa do fitoplâncton, outros estudos (Paiva et al., 2006; Costa et al., 2010; Sousa et al., 2013; Rocha-Neto et al., 2016; Souza, 2017) verificam a existência de uma variação na densidade fitoplanctônica, onde os maiores valores ocorrem no período menos chuvoso, devido a interação de fatores que interferem no desenvolvimento do fitoplâncton, como a entrada de luz, que é maior nos meses de estiagem (Sousa et al., 2020).

Observamos que a densidade foi maior em AP1, ponto de maior transparência, contrário ao ponto AP2 que apresentou a menor densidade, devido a maior turbidez e menor transparência, confirmando que a disponibilidade de luz no ambiente é uma das principais condições limitantes ao desenvolvimento fitoplanctônico (Oliver et al., 2020).



Os fatores climáticos são importantes ao desenvolvimento do fitoplâncton (Oliver et al., 2020), onde períodos de alto índices pluviométricos podem proporcionar *inputs* de nutrientes para os ecossistemas aquáticos (Oliver e Ribeiro, 2015), como foi observado por Silva et al. (2019) no período chuvoso ocorrem os maiores valores de nitrogênio e fósforo nos reservatórios, proporcionando o desenvolvimento do fitoplâncton, como *Gonyostomum* sp., que se beneficia desta condição (Menezes e Bicudo, 2010).

Já a transparência é fator limitante ao fitoplâncton, pois está associada à entrada de luz no ambiente, agrupando principalmente espécies de clorófitas dulciaquícolas, geralmente associadas a ambientes naturalmente claros (Reynolds et al., 2002), desta forma, a alta produtividade destes organismos pode atuar no aumento da concentração de oxigênio dissolvido, pois esta variável depende diretamente do processo fotossintético (Santos et al., 2013).

#### **4.3.3 Análise de índices ecológicos**

A riqueza ( $D\alpha$ ) variou significativamente entre os meses ( $F= 3,8$ ;  $p < 0,05$ ), sendo menor em janeiro ( $7.6 \pm 2.2$ ) e maior em junho ( $13.2 \pm 2.2$ ) (Tabela 2). Embora os demais índices não tenham apresentado variações temporais significativas, observaram-se oscilações nos meses de janeiro e junho. O mês de janeiro apresentou menor diversidade ( $H'$ ) ( $1.7 \pm 0.96$  bits.log<sub>2</sub>), maior dominância ( $1-D$ ) ( $0.4 \pm 0.33$ ) e menor equitabilidade ( $J'$ ) ( $0.46 \pm 0.24$ ). Contrário ao mês de junho que apresentou maior diversidade ( $H'$ ) ( $2.6 \pm 0.8$  bit.log<sub>2</sub>), menor dominância ( $0.2 \pm 0.22$ ) e maior equitabilidade ( $0.61 \pm 0.18$ ).

Os índices ecológicos têm sido muito utilizados através do estudo da diversidade alfa para evidenciar as variações espaço-temporais da comunidade fitoplanctônica (Miao et al., 2019; Meng et al., 2020). Semelhante a este estudo Badsí et al. (2012); encontraram variação sazonal na diversidade fitoplanctônica, com os menores valores ocorrendo no período chuvoso. Isto se deve a relação dos índices com a densidade dos organismos, visto que janeiro está no trimestre mais chuvoso da região e junho é o mês de transição, onde chove 48 % a menos que janeiro.

Já para os pontos, todos os índices apresentam diferenças espaciais, onde BL4 apresentou significativamente ( $p < 0.05$ ) menor riqueza ( $8.3 \pm 1.9$ ), menor diversidade ( $1.2 \pm 0.5$  bits.log<sub>2</sub>), maior dominância ( $0.55 \pm 0.19$ ) e menor equitabilidade ( $0.32 \pm 0.12$ ), em relação aos demais pontos (Tabela 3).

Segundo Flores-Lopes et al. (2010) a integridade ambiental está relacionada diretamente a valores altos a regulares de riqueza, diversidade e equitabilidade das espécies em relação aos

valores de dominância, ou seja, considera-se um ambiente equilibrado quando a composição das espécies é alta e bem distribuída entre os grupos. Neste sentido, a utilização dos índices ecológicos apresenta melhores respostas da dinâmica do fitoplâncton nos reservatórios de Belém quando comparada à análise apenas da densidade, a qual não evidenciou variações significativas do fitoplâncton, uma vez que a análise através dos dados brutos não foi capaz de demonstrar variações mais complexas da comunidade.

A equitabilidade ( $J'$ ) se relacionou negativamente com a densidade ( $r_s = -0,39$ ), uma vez que este índice indica o grau de organização da comunidade (Chellapa et al., 2007) e, portanto, maiores valores de densidade de espécies únicas implicam na distribuição homogênea dos organismos no ambiente. Já a riqueza ( $D\alpha$ ) correlaciona-se positivamente com as variáveis pH ( $r_s = 0,6$ ) e OD ( $r_s = 0,57$ ) (Tabela 4).

O índice de riqueza ( $D\alpha$ ) foi o que melhor demonstrou a variação do fitoplâncton nos reservatórios. Segundo Corte et al. (2013) o índice de Riqueza de Margalef ( $D\alpha$ ), mede a diversidade alfa, ou seja, leva em consideração o número total de indivíduos e a riqueza específica, através da estimativa da biodiversidade, baseada na distribuição numérica dos indivíduos de cada espécie, onde quanto maior for o seu valor, maior é a biodiversidade da área, além disso, sua aplicação é simples e procura compensar os efeitos de amostragem, dividindo a riqueza e o número de espécies encontradas pelo número total de indivíduos da amostra.

Outros estudos também evidenciam o índice de riqueza de Margalef como mais sensível na expressão da diversidade (Corte et al., 2013; van Loon et al., 2018), contudo, seu ponto frágil é considerar que todas as espécies estão uniformemente distribuídas (Lima et al., 2016), o que não é real para muitos ambientes, sendo importante que outros índices acompanhem os estudos das comunidades, como os índices de diversidade ( $H'$ ), dominância (1-D) e equitabilidade ( $J'$ ), os quais permitem inferir o nível de organização das populações, através da análise dos padrões de distribuição dos indivíduos no ambiente.

Ainda sobre o índice de riqueza ( $D\alpha$ ), o mesmo não fornece peso às espécies, onde as espécies frequentes e raras possuem o mesmo valor, enquanto os índices de diversidade e dominância empregam peso a ocorrência das espécies, por exemplo, o índice de diversidade ( $H'$ ) emprega peso intermediário às espécies raras, já o índice de dominância (1-D) emprega peso mínimo (Melo, 2008).

Atualmente este conjunto de índices vem sendo aplicado em estudos sobre monitoramento ambiental (Miao et al., 2019; Meng et al., 2020), desta forma, esta

combinação foi eficiente na descrição da dinâmica da comunidade fitoplânctonica nos reservatórios de Belém, onde o reservatório Água Preta foi considerado diverso e as espécies estão bem distribuídas no ambiente. Por outro lado, fica evidente a vulnerabilidade deste sistema, uma vez que o reservatório Bolonha apresentou baixa diversidade e equitabilidade, havendo dominância de espécies sobre outras.

Segundo Zaghoul et al. (2020), uma baixa quantidade de espécies presentes no ambiente demonstra alto grau de estresse em que o sistema está submetido. O processo de eutrofização em que os reservatórios de abastecimento de Belém estão condicionados (Santos et al., 2014, Pereira et al., 2017; Silva et al., 2019; Brito et al., 2020) tem contribuído para a diminuição gradativa da diversidade do ambiente aquático (Tundisi, 1999), principalmente no reservatório Bolonha, o qual é dominado por macrófitas aquáticas, e sua proliferação está associada principalmente ao aumento de nutrientes na água (Sousa, 2017).

Por outro lado, a presença das macrófitas é o fator que contribui diretamente para a diminuição da diversidade da comunidade fitoplanctônica deste reservatório, pois são capazes de competir com o fitoplâncton por recursos, além de proporcionarem microhabitats para espécies zooplânctônicas (Barrow et al., 2019), desempenhando papel na seleção de organismos, como a espécie fitoplanctônica *Gonyostomum* sp., tolerante a acidez ambiental (Pkczuła et al. 2013) causada pela decomposição das macrófitas (Toscano, 1999), e desta forma, sendo responsável pelos altos valores de dominância (1-D) no reservatório Bolonha.

Além disso, segundo Menezes e Bicudo (2010) as espécies do gênero *Gonyostomum* tem sido cada vez mais frequentes e não só associadas a ambientes ácidos, mas também a ambientes eutrofizados, entretanto não apresentam maiores riscos ao tratamento de água. Contudo, é importante ressaltar que a presença das macrófitas tem contribuído para que haja menor ocorrência de organismos indesejados, como as cianobactérias.

**Tabela 2.** Variação temporal dos índices ecológicos registrada para os reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil). Legenda:  $D\alpha$ : Riqueza de Margalef;  $H'$ : Diversidade de Shannon-Weaver; 1-D: Dominância de Simpson;  $J'$ : Equitabilidade de Pielou; Mín.: mínimo; Máx.: máximo; Méd.: média; DP: desvio padrão; Med.: mediana.

	JAN		FEV		MAR		ABR		JUN		JUL		OUT	
	Mín	Máx												
	(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.	
<b><math>D\alpha</math></b>	1.92	3.46	3.14	4.1	2.11	4.54	2.87	4.13	4.15	4.87	3.27	4.81	1.96	4.3
	(7.6±2.2)	8.2	(9.4±0.78)	9.4	(9.9±2.06)	9.9	(10.4±1.5)	9.6	(13.19±2.2)	13.2	(11.7±1.2)	12.2	(10.3±1.8)	10.5
<b><math>H'</math></b>	1.63	2.83	2.15	2.84	2.42	3.11	1	2.55	2.26	2.42	1.43	2.65	1.65	2.01
<b>(bits.log2)</b>	(1.7±0.96)	1.9	(2.2±0.5)	2.3	(1.9±0.8)	2.1	(2.3±0.6)	2.2	(2.6±0.8)	3.02	(2.1±0.3)	2.2	(2 ±0.6)	2.1
<b>1-D</b>	0.12	0.37	0.08	0.2	0.06	0.12	0.13	0.6	0.17	0.18	0.12	0.35	0.24	0.41
	(0.4±0.33)	0.31	(0.21±0.14)	0.15	(0.33±0.3)	0.21	(0.24±0.15)	0.25	(0.19±0.22)	0.08	(0.28±0.07)	0.27	(0.3±0.19)	0.27
<b><math>J'</math></b>	0.46	0.75	0.56	0.72	0.71	0.79	0.26	0.66	0.53	0.58	0.37	0.63	0.39	0.54
	(0.46±0.24)	0.52	(0.53±0.13)	0.59	(0.48±0.21)	0.56	(0.57±0.14)	0.56	(0.61±0.18)	0.69	(0.51±0.07)	0.52	(0.5±0.17)	0.51

**Tabela 3.** Variação espacial dos índices ecológicos registrada para os reservatórios Água Preta e Bolonha (Pará, Brasil). Legenda:  $D\alpha$ : Riqueza de Margalef;  $H'$ : Diversidade de Shannon-Weaver;  $1-D$ : Dominância de Simpson;  $J'$ : Equitabilidade de Pielou; Mín.: mínimo; Máx.: máximo; Méd.: média; DP: desvio padrão; Med.: mediana.

	AP1		AP2		AP3		BL4	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
	(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.		(Méd.±DP) Med.	
<b><math>D\alpha</math></b>	7.5	13.1	8.9	15.8	9.6	13.3	4.5	10.3
	(10.2±2.2)	9.5	(11.2±2.3)	10.3	(11.5±1.4)	12.05	(8.3±1.9)	8.9
<b><math>H'</math></b>	1.4	3.1	1.7	3.1	2.2	3.09	0.4	1.8
<b>(bits.log2)</b>	(2.1±0.5)	2.1	(2.5±0.4)	2.4	(2.6±0.2)	2.6	(1.2±0.5)	1.4
<b><math>1-D</math></b>	0.07	0.48	0.07	0.39	0.07	0.27	0.35	0.83
	(0.26±0.14)	0.27	(0.17±0.10)	0.14	(0.14±0.06)	0.14	(0.55±0.19)	0.54
<b><math>J'</math></b>	0.4	0.71	0.41	0.72	0.61	0.74	0.14	0.48
	(0.53±0.11)	0.52	(0.63±0.10)	0.66	(0.64±0.06)	0.64	(0.32±0.12)	0.34

**Tabela 4.** Valores da correlação de Spearman das variáveis abióticas, bióticas e índices ecológicos registrados para o sistema de abastecimento público de Belém (Para, Brasil).

VARIÁVEIS	CORRELAÇÃO	
	(rs')	p
CE x Salinidade	0,83	4,4E-08
Precipitação x Temperatura	-0,64	0,00022
Precipitação x VMV	-0,96	1,6E-16
Salinidade x VMV	0,61	0,00053
Temperatura x VMV	0,67	7,8E-05
Transparência x Turbidez	-0,73	8,1E-06
Diversidade ( $H'$ ) x Riqueza ( $D\alpha$ )	0,69	3,8E-05
Diversidade ( $H'$ ) x Equitabilidade ( $J'$ )	0,96	1,8E-16
Dominancia (D) x Diversidade ( $H'$ )	-0,97	7,6E-19
Dominancia (D) x Riqueza ( $D\alpha$ )	-0,62	0,00035
Dominancia (D) x Equitabilidade ( $J'$ )	-0,98	4,7E-21
Riqueza ( $D\alpha$ ) x Equitabilidade ( $J'$ )	0,61	1,8E-16
Riqueza ( $D\alpha$ ) x OD	0,57	0,00122
Riqueza ( $D\alpha$ ) x pH	0,6	0,00058

#### 4.4 CONCLUSÕES

Os índices ecológicos foram ferramentas eficazes na análise do estado ecológico dos reservatórios Água Preta e Bolonha e se configuram como uma boa abordagem no monitoramento da qualidade ambiental, com destaque ao índice de riqueza de Margalef, que demonstrou ser mais sensível na expressão da diversidade dos reservatórios, pois foi o único que apresentou variação espaço-temporal e relação com os fatores abióticos. Os reservatórios estão vulneráveis aos diversos impactos sofridos pela ação antrópica no seu entorno, uma vez que estão inseridos em uma região urbana e recebem despejos de esgotos não tratados. O reservatório Bolonha é o que se apresenta mais impactado, visto que durante todo o período estudado foi dominado por uma única espécie (*Gonyostomum* sp.), a qual reflete as características atuais do ambiente: raso e dominado por macrófitas aquáticas, as quais contribuem com a diminuição do pH e oxigênio dissolvido das águas. Desta forma, estudos de monitoramento são necessários neste sistema, visto que as condições em que está submetido podem trazer futuros riscos para o fornecimento de água e à saúde pública, além disso, este trabalho fornece subsídios para estudos futuros sobre monitoramento da qualidade das águas da região Amazônica.

## REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional De Águas), 2010. Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água. Região Metropolitana de Belém.
- APHA (American Public Health Association), 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. Washington.
- Barrow, J. L., Beisner, B. E., Giles, R., Giani, A., Domaizon, I., Gregory-Eaves, I., 2019. Macrophytes moderate the taxonomic and functional composition of phytoplankton assemblages during a nutrient loading experiment. *Freshw. Biol.* 64, 1369–1381. <https://doi.org/10.1111/fwb.13311>
- Bicudo, C., Menezes, M., 2017. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil, 3rd ed, RIMA.
- Bortolini, J.C., Bovo-Scomparin, V.M., Paula, A.C.M. de, Moresco, G.A., Reis, L.M., Jati, S., Rodrigues, L.C., 2014. Composition and species richness phytoplankton in a subtropical floodplain lake: a long-term study. *Acta Limnol. Bras.* 26, 296–305. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x2014000300009>
- Brito, F.S.L., Pimentel, B.A., Vilhena, J.C., Rosário, K.K.L., Morais, M.S., Cruz, R.H.R., Corrêa, V.L.S., 2020. Comportamento das variáveis físico-químicas da água do lago Bolonha-Belém-PA. *Brazilian J. Dev.* 6, 1738–1757. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-120>
- Chellappa, N.T., Leite, J., Borba, D.M., 2007. Diversidade , co-existência e dominância na comunidade fitoplanctônica da Barragem Cruzeta , Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Biociências.* Porto Alegre, 5, 2, 126–128.
- Chorus, I., Bartram, J., 2000. Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring, and management, *Limnology and Oceanography.* <https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.5.1212>
- Corte, A.P.D., Sanquetta, C.R., Filho, A.F., Pereira, T.K., Behling, A., 2013. Desempenho de métodos e processos de amostragem para avaliação de diversidade em Floresta Ombrófila Mista. *Floresta* 43, 579–582.
- Costa, V., Souza, L., Sena, B., 2010. Microfitoplâncton Do Lago Água Preta , Parque Ambiental De Belém ( Pará , Brasil ), Durante O Período Chuvoso. *Uakari.*
- Cunha, C.J.D.S., 2013. Variação Espacial E Temporal Do Fitoplâncton Do Reservatório Da Usina Hidrelétrica De Tucuruí - Pará. Universidade Federal do Pará. Dissertação de Mestrado, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém. 122 pp.
- Dokulil, M.T., 2003. Chapter 9 Algae as ecological bio-indicators. *Trace Met. other Contam. Environ.* 6, 285–327. [https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80139-X](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80139-X)
- Doornik, J., Hansen, H., 1994. 1A practical test for univariate and multivariate normality. *mDiscussion Paper.* Nuffield Coll. 1–16.
- Flores-Lopes, F., Cetra, M., Malabarba, L.R., 2010. Utilização de índices ecológicos em assembléias de peixes como instrumento de avaliação da degradação ambiental em programas de monitoramento. *Biota Neotrop.* 10, 183–193.
- Francé, J., Varkitzi, I., Stanca, E., Cozzoli, F., Skejić, S., Ungaro, N., Vascotto, I., Mozetič, P., Ninčević Gladan, Ž., Assimakopoulou, G., Pavlidou, A., Zervoudaki, S., Pagou, K., Basset, A., 2021. Large-scale testing of phytoplankton diversity indices for environmental assessment in Mediterranean sub-regions (Adriatic, Ionian and Aegean Seas). *Ecol. Indic.* 126, 107630. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107630>
- Gonçalves, E.D., Santos, M.L.S., Soares, J.A.C., Souza, P.H.N., Mourão, F.V., Castro, K.F., Sousa, A.C.S.R., 2015. Aplicação do Sistema de Informação Geográfica na Microbacia dos Lagos Bolonha e Água Preta (PA). *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 15, 43–50. <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v15n1p43-50>

- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2020. Cidades e Estados. URL <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1973. Lei n. 5.878, de 11 de maio de 1973. Dispõe sobre a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), 2019. Dados da Rede INMET. Dados Históricos. URL <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>
- Komárek, J.; Anagnostidis, K., 2008. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales, in: In: MOESTRUP, Ø.; CALADO, A. Süßwasserflora von Mitteleuropa Freshwater Flora of Central Europa. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, p. 548 p.
- Komárek, J.; Anagnostidis, K., 2007. Cyanoprocaryota 2. Teil/Part 2: Oscillatoriales, in: In: MOESTRUP, Ø.; CALADO, A. Süßwasserflora von Mitteleuropa Freshwater Flora of Central Europa. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, p. 759.
- Komárek, J., 2013. Cyanoprocaryota 3. Teil: Heterocytous genera, in: In Süßwasserflora von Mitteleuropa Freshwater Flora of Central Europe. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, p. 1748.
- Kruk, C., Segura, A.M., 2012. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia* 698, 191–202. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1072-6>
- Legendre, P., Gallagher, E.D., 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129, 271–280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Lima, N.S., Blanco, C.J.C., da Silva Holanda, P., Lopes, D.F., Barp, A.R.B., Secretan, Y., 2013. Modelagem hidrodinâmica e análise morfológica do lago bolonha: Um dos mananciais de Belém, Estado do Pará, Brasil. *Acta Sci. - Technol.* 35, 59–67. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i1.13670>
- Lima, M.S.C.S., Souza, C.A.S., Pederassi, J., 2016. Qual Índice de Diversidade Usar? *Cad. UniFOA* 30, 129–138.
- Lima, R.C., Mesquita, A.L.A., Blanco, C.J.C., Santos, M. de L.S., Secretan, Y., 2015. An analysis of total phosphorus dispersion in lake used as a municipal water supply. *An. Acad. Bras. Cienc.* 87, 1505–1518. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520130317>
- van Loon, W.M.G.M., Walvoort, D.J.J., van Hoey, G., Vina-Herbon, C., Blandon, A., Pesch, R., Schmitt, P., Scholle, J., Heyer, K., Lavaleye, M., Phillips, G., Duineveld, G.C.A., Blomqvist, M., 2018. A regional benthic fauna assessment method for the Southern North Sea using Margalef diversity and reference value modelling. *Ecol. Indic.* 89, 667–679. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.029>
- Mardia, K. V., 1970. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika* 57, 519–530. <https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.519>
- Margalef, R., 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton, in: BUZZATITRAVERSO, A.A. (Ed.), *Perspectives in Marine Biology*. University of California Press, Berkeley, pp. 323–349.
- Melo, A.S., 2008. What do we win “confounding” species richness and evenness in a diversity index? *Biota Neotrop.* 8, 21–27. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032008000300001>
- Menezes, M., de Mattos Bicudo, C.E., 2010. Freshwater Raphidophyceae from the State of Rio de Janeiro, Southeast Brazil. *Biota Neotrop.* 10, 323–331. <https://doi.org/10.1590/s1676-060320100003000030>
- Meng, F., Li, Z., Li, L., Lu, F., Liu, Y., Lu, X., Fan, Y., 2020. Phytoplankton alpha diversity indices response the trophic state variation in hydrologically connected aquatic habitats in the Harbin Section of the Songhua River. *Sci. Rep.* 10, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78300-7>

- Miao, X., Wang, S., Liu, M., Ma, J., Hu, J., Li, T., Chen, L., 2019. Changes in the phytoplankton community structure of the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai from 2009 to 2010. *Aquac. Fish.* 4, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.02.004>
- Nabout, J.C., De Nogueira, I.S., De Oliveira, L.G., Morais, R.R., 2007. Phytoplankton diversity (alpha, beta, and gamma) from the Araguaia River tropical floodplain lakes (central Brazil). *Hydrobiologia* 575, 455–461. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0393-8>
- Nascimento, E., 2010. Variação espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica em um reservatório eutrófico do Semi-Árido do Nordeste. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Dissertação (Mestrado). 91p.
- Oliver, S.L., Ribeiro, H., 2016. Water Supply, Climate Change and Health Risk Factors: Example Case of São Paulo—Brazil, in: Filho Leal, W., Azeiteiro, U., Alves, F. (Eds.), *Climate Change and Health, Climate Change Management Management*. Springer International Publishing Switzerland, pp. 433–447. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24660-4\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24660-4_25)
- Oliver, S.L., Ikefuti, P., V., Ribeiro, H. 2020. Cyanobacteria bloom variations and atmospheric variables, an environmental health contribution. *Ambient. Água* 15, 11. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2523>
- Oliveira, G.M.T.S., de Oliveira, E.S., Santos, M. de L.S., de Melo, N.F.A.C., Krag, M.N., 2018. Concentration of heavy metals in Água Preta Lake sediments (Pará, Brazil). *Eng. Sanit. e Ambient.* 23, 599–605. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018152875>
- Paiva, R.S., Eskinazi-Leça, E., Passavante, J.Z.D.O., Silva-Cunha, M.D.G.G. Da, Melo, N.F.A.C. De, 2006. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton (Pará, da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará, Brasil). *Bol. do Mus. Para. Emílio Goeldi* 1, 133–146.
- Pará, 2013. Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga / Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Secretaria de Estado de Meio Ambiente.
- Pereira, J.L.C., Gomes, M. de V.N., Silva, N.M. da, Lopes, B.P., Rosário, D. do C. do, 2017. Estudo de impacto ambiental na qualidade do efluente da ETA-Bolonha.
- Pielou, E.C., 1975. *Ecological diversity*. John Wiley & Sons, New York.
- Płkczuła, W., Poniewozik, M., Szczyrowska, A., 2013. Gonyostomum semen (ehr.) diesing bloom formation in nine lakes of plesie region (Central–Eastern Poland). *Ann. Limnol.* 49, 301–308. <https://doi.org/10.1051/limn/2013059>
- Reynolds S, C., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S., 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24, 417–428.
- Rocha Neto, O.D., Da Silva, B.M., Paiva, R.S., 2017. Variação Dos Parâmetros Físico-Químicos, Composição E Biomassa Fitoplanctônica Em Uma Estação Fixa Na Foz Do Rio Guamá, Belém, Pará-Brasil. *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 16, 19. <https://doi.org/10.32519/tjfas.v16i1.2132>
- Round, F.E., Crawford, R.M., G, M.D., 2007. *Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*, 5th ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Santos, M.L.S., Bordalo, A.O., Pereira, J.A.R., Chira, P.A., Alves, I.C.C., Sodr e, S.S.V., 2013. Influência da Expansão Urbana na Qualidade da água em Reservatório da Região Amazônica (Belém, Pará). *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 13, 15–22. <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v13n1p15-22>
- Santos, M.L.S., Holanda, P., Pereira, I., Rodrigues, S., Pereira, J.A.R., Mesquita, K., 2014. Influência das Condi es da Maré na Qualidade de água do Rio Guamá e Baia do Guajará. *Bol. Técnico Científico do CEPNOR* 14, 17–25. <https://doi.org/10.17080/1676-5664/btcc.v14n1p17-25>
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1964. *The Mathematical Theory of Communication*. University

- of Illinois Press, Urbana. <https://doi.org/10.1109/TMAG.1987.1065451>
- Silva, D.F., 2006. Avaliação Da Qualidade Da Água Da Baía Do Guajará E Do Rio Guamá ( Belém-Pará ). Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo de Estudo em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará. 72pp.
- Silva, L.M., Morales, G.P., Lima, A.M.M. de, 2014. Avaliação da qualidade das águas superficiais dos mananciais do Utinga e dos Rios Guamá e Aurá, Belém, Pará. *Enciclopédia Biosf.* 10, 3161–3179.
- Silva, E.A.C., 2019. Influência da pluma do Rio Amazonas na distribuição da abundancia dos organismos zooplancônicos na plataforma continental amazônica (Pará, Brasil). Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Sócioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia. 36pp.
- Silva, J.P., Mesquita, K.F.C., Pereira, J.A.R., Sousa, R.R. de, Varela, A.W.P., Sousa, P.H.C., Santos, R.M., Santos, M. de L.S., 2019. Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). *Sci. Plena* 15, 1–10. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.124301>
- Simpson, E.H., 1949. Measurment of Diversity. *Nature* 688, 688.
- Sodré, S. do S.V., 2007. Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta, mananciais de Belém- Pará. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará.
- Sousa, E.B., Gomes, A.L., Cunha, C.J.S., Faial, K.C.F., Costa, V.B., 2013. Dinâmica Sazonal do Fitoplâncton do Parque Estadual do Charapucu (Afuá, Arquipélago do Marajó, Pará, Brasil). *Biota Amaz.* 5, 34–41. <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n4p34-41>
- Sousa, E.B. de, 2017. Fatores ambientais reguladores da dinâmica do fitoplâncton e das cianobactérias dos mananciais de abastecimento da Região Metropolitana De Belém, Pará, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 236pp.
- Sousa, E.B. de, Pinto, S.L. dos S., Gomes, A.L., Cunha, C.J. da S., Tavares, V.B. da C., Pinheiro, S.C.C., 2020. Composição, riqueza e índices ecológicos do fitoplâncton do lago Bolonha (Belém, Pará) / Composition, richness and ecological index of phytoplankton of lake Bolonha (Belém, Pará). *Brazilian J. Anim. Environ. Res.* 3, 3263–3275. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-041>
- Spatharis, S., Roelke, D. L., Dimitrakopoulos, P.G., Kokkoris, G.D., 2010. Analyzing the (mis)behavior of Shannon index in eutrophication studies using field and simulated phytoplankton assemblages. *Ecological Indicators.* 11, 697-703. doi:10.1016/j.ecolind.2010.09.009.
- Ter Braak, C., Smilauer, P., 2002. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for Canonical Community Ordination (version 4.5).
- Tian, C., Hao, D., Pei, H., Doblin, M.A., Ren, Y., Wei, J., Feng, Y., 2018. Phytoplankton Functional Groups Variation and Influencing Factors in a Shallow Temperate Lake. *Water Environ. Res.* 90, 510–519. <https://doi.org/10.2175/106143017x15131012153059>
- Török, L., Török, Z., Carstea, E.M., Savastru, D., 2017. Seasonal Variation of Eutrophication in Some Lakes of Danube Delta Biosphere Reserve. *Water Environ. Res.* 89, 86–94. <https://doi.org/10.2175/106143016x14733681696248>
- Toscano, I.A.S., 1999. Influência das substâncias húmicas aquáticas na determinação de atrazina por imunoensaio (ELISA). Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista. 107pp.
- Tundisi, J.G., 1999. Reservatórios como ecossistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos, in: Henry, R. (Ed.), *Ecologia de Reservatório: Estrutura, Função e Aspectos Sociais*. FAPESP-FUNDIBIO, São Paulo, pp. 19–38.
- Utermöhl, H., 1958. *Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik*, 9th ed. Stuttgart Schweizerbart.

- Varela, A.W.P., Souza, A.J.N. de, Aviz, M.D. de, Pinfieldi, G.V., Santos, R.M., Sousa, P.H.C., Santos, M. de L.S., 2020. Qualidade da água e índice de estado Trófico no Rio Guamá, Município de Belém (Pará, Brasil). *Rev. Gestão Sustentabilidade* 9, 695–715.
- Varkitzi, I., Francé, J., Basset, A., Cozzoli, F., Stanca, E., Zervoudaki, S., Giannakourou, A., Assimakopoulou, G., Venetsanopoulou, A., Mozetič, P., Tinta, T., Skejic, S., Vidjak, O., Cadiou, J.F., Pagou, K., 2018. Pelagic habitats in the Mediterranean Sea: A review of Good Environmental Status (GES) determination for plankton components and identification of gaps and priority needs to improve coherence for the MSFD implementation. *Ecol. Indic.* 95, 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.036>
- Vasconcelos, V. de M.M., Souza, F.C., 2011. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. *Ambient. Água* 6, 305–324. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.202>
- Zaghloul, F.A.E.R., Khairy, H.M., Hussein, N.R., 2020. Assessment of phytoplankton community structure and water quality in the Eastern Harbor of Alexandria, Egypt. *Egypt. J. Aquat. Res.* 46, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.11.008>

## 5 CAPÍTULO 3: Efeito da sazonalidade e das águas estuarinas sobre o fitoplâncton do Rio Guamá (Amazônia, Belém, Brasil)

Segundo as normas da UFRA: ABNT NBR 2360/2018

### RESUMO

O fitoplâncton é sensível a mudanças ambientais aquáticas, sendo utilizado no monitoramento da água. O objetivo deste estudo foi analisar a aplicação do Índice de Comunidade Fitoplanctônica e de Grupo Funcional como ferramentas na determinação das condições ambientais e avaliar a dinâmica do fitoplâncton do Rio Guamá (Pará, Brasil), o qual margeia cidades amazônicas densamente urbanizadas com baixa cobertura de saneamento básico. As amostragens ocorreram mensalmente de maio/2019 a abril/2021 em dois ciclos sazonais completos, no ponto de captação de água para o sistema de abastecimento público. Foram coletadas águas para análise do fitoplâncton e variáveis abióticas, as quais foram relacionadas através de estatísticas multivariadas. Os fatores mais influenciados pela sazonalidade foram condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, transparência e ventos, mais elevados no período seco, e a cor real e nitrogênio amoniacal, mais elevados no período chuvoso. O efeito das marés foi observado na turbidez, sendo mais elevadas durante as vazantes. Março apresentou significativamente a menor densidade ( $3,0 \pm 0,8 \times 10^3$  ind. L<sup>-1</sup>), setembro e dezembro as maiores densidades com  $61,1 \times 10^3$  ind. L<sup>-1</sup> e  $60,2 \times 10^3$  ind. L<sup>-1</sup>, respectivamente. A clorofila- *a* acompanhou as variações das densidades, mas foi significativamente maior em dezembro ( $21,0 \pm 4,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) e a clorofila- *c* foi mais elevada que a clorofila- *b*, indicando a dominância das diatomáceas com mais de 80 % durante todo o período. O Grupo Funcional P prevaleceu nos meses de estudo, porém não evidenciou a sazonalidade no fitoplâncton. O ICF considerou as águas variando de boa a ótima. O IET classificou o Rio Guamá de oligo- mesotrófico. Sugere-se que trabalhos futuros incluam a análise de sílica e metais na água para entender a dinâmica das diatomáceas nos rios amazônicos.

Palavras-chaves: diatomáceas, grupos funcionais, bioindicadores.

## EFFECT OF SEASONALITY AND ESTUARIAN WATERS ON THE PHYTOPLANKTON OF THE GUAMÁ RIVER (AMAZONIA, BELÉM, BRAZIL)

### ABSTRACT

Phytoplankton is sensitive to aquatic environmental changes and is used to monitor water. The objective of this study was to analyze the application of the Phytoplankton Community Index and the Functional Group as tools in determining environmental conditions and to evaluate the dynamics of the phytoplankton of the Guamá River (Pará, Brazil), which borders on densely urbanized Amazon cities with low coverage of sanitation. Sampling took place monthly from May/2019 to April/2021 in two complete seasonal cycles, at the point of water abstraction for the public supply system. Waters were collected for analysis of phytoplankton and abiotic variables, which were related through multivariate statistics. The factors most influenced by seasonality were electrical conductivity, total dissolved solids, dissolved oxygen, transparency and winds, which were higher in the dry period, and the real color, ammonia nitrogen, which were higher in the rainy season. The effect of the tides was observed in the turbidity, being higher during the low tides. March presentation with the lowest density ( $3.0 \pm 0.8 \times 10^3$  ind. L<sup>-1</sup>), September and December as the highest densities with  $61.1 \times 10^3$  ind. L<sup>-1</sup> and  $60.2 \times 10^3$  ind. L<sup>-1</sup>, respectively. Chlorophyll-*a* followed variations in densities, but was higher in December ( $21.0 \pm 4.7$  µg.L<sup>-1</sup>) and chlorophyll-*c* was higher than chlorophyll-*b*, indicating the dominance of diatoms with more than 80% over the entire period. Functional Group P prevailed in the months of the study but did not show the seasonality in phytoplankton. The ICF is considered as waters ranging from good to great. The Trophic state index classified the Guamá River as oligo to mesotrophic. It is suggested that future work includes an analysis of silica and metals in the water to understand the dynamics of diatoms in Amazonian rivers.

Keywords: diatoms, functional groups, bioindicators.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O fitoplâncton é utilizado com indicador da qualidade da água e/ou das mudanças do ambiente aquático por muitos países no mundo e são incluídos nos instrumentos legais de monitoramento (VADRUCCI et al., 2007; KELLY et al., 2008; LOBO et al., 2015; KOZAK et al., 2020), embora recebam abordagens diferenciadas, tais como de índices, lista de espécies, grupos taxonômicos, grupos funcionais (GHARIB et al., 2011; MIAO et al., 2019), entre outros.

Entre as diferentes abordagens é possível identificar, com maior ou menor eficácia, os atributos ou as estruturas do fitoplâncton alteradas em função das mudanças ambientais, as quais levam às interpretações sobre o ambiente, principalmente do estado trófico de rios, lagos e reservatórios (ROTT; CANTONATI, 2006; RODRIGUES et al., 2019; MENG et al., 2020).

As agências e os conselhos de saúde e meio ambiente brasileiros não utilizam o fitoplâncton como uma ferramenta direta de bioindicação, sugerindo o uso de organismos e/ou comunidades biológicas para este fim no parágrafo § 3º, artigo 8º, da Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA (CONAMA, 2005).

Por outro lado, devido ao aumento de florações, o monitoramento de cianobactérias planctônicas recebe constantes atualizações como a atual portaria do Ministério da Saúde n. 888/2021 destinada à vigilância da qualidade da água para consumo humano. Entretanto, há avanços nas metodologias e normas sobre o uso fitoplâncton como bioindicador (VADRUCCI et al., 2007; VARKITZI et al., 2018; FRANCE et al., 2021) baseados em realidades locais e experiências internacionais para interpretar com maior clareza as condições dos ambientes aquáticos e auxiliar os gestores públicos brasileiros nas tomadas de decisão.

A eutrofização é uma das maiores ameaças aos ambientes aquáticos no mundo e compreende o aumento dos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, nos ambientes com o consequente aumento dos produtores primários, tais como euglenófitas, diatomáceas, dinoflagelados e cianobactérias, sendo este grupo importante em estudos de saúde pública devido a produção de toxinas nocivas ao homem (LEWIS et al., 2011; WURTSBAUGH et al., 2019).

A eutrofização está associada a fontes pontuais e difusas de nutrientes sendo o esgoto urbano o maior contribuinte à eutrofização entre os países pobres (SUWARNO et al., 2014). Na Região Metropolitana de Belém (Pará) somente 15,7 % da população recebe

atendimento de coleta de esgoto e somente 2,8% destes são tratados. Ao todo, são 1,2 milhão de pessoas sem os serviços de esgotamento sanitário (TRATA BRASIL, 2020) e todo o esgoto vai para os igarapés e rios da região, incluindo a foz do Rio Guamá, o qual tem suas águas captadas para o abastecimento humano.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é avaliar a dinâmica do fitoplâncton e analisar a aplicação do Índice de Comunidade Fitoplanctônica- ICF, o qual classifica a qualidade da água a partir dos grupos do fitoplâncton, como exemplo de abordagem local, utilizados em reservatórios e rios do estado de São Paulo (CETESB, 2012), e o Grupo Funcional- GF do fitoplâncton, o qual descreve as condições tróficas do ambiente, utilizado em muitos países (REYNOLDS et al., 2002; PADISÁK et al., 2009) como ferramentas na determinação das condições ambientais do Rio Guamá.

A pesquisa é norteadada pelos seguintes questionamentos: (i) quais as variações temporais do fitoplâncton do Rio Guamá ao longo de dois ciclos sazonais amazônicos? (ii) quais os principais fatores abióticos que influenciam na dinâmica do fitoplâncton? e (iii) quais as condições tróficas e a qualidade das águas do Rio Guamá baseados no ICF e GF do fitoplâncton?

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

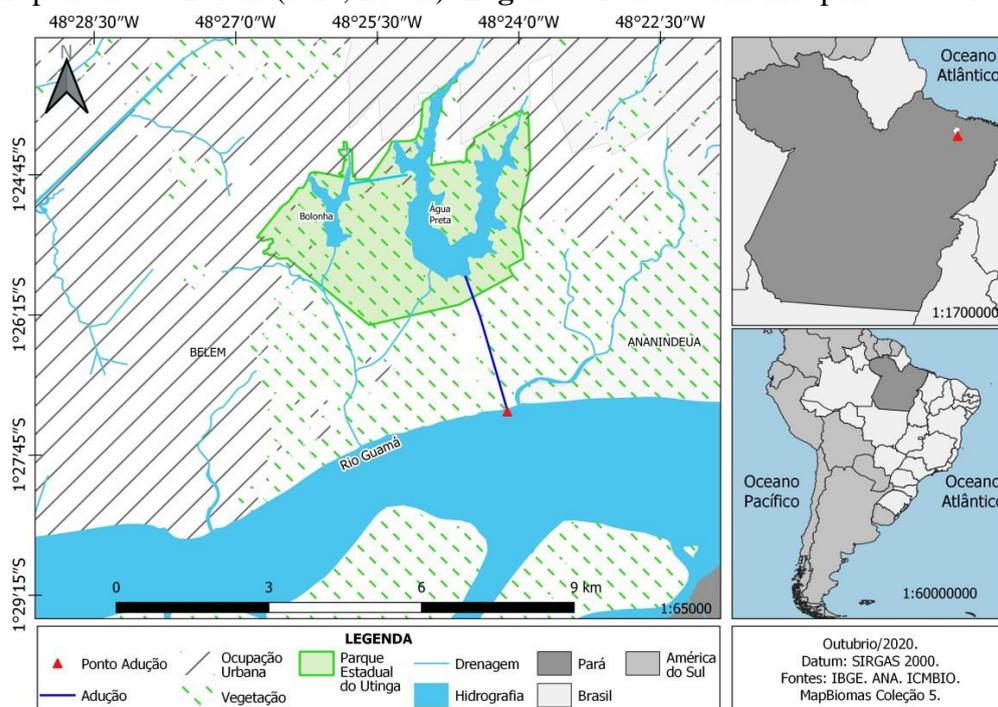
### **5.2.1 Área de estudo e amostragens**

O Rio Guamá localiza-se no estado do Pará (Amazônia Oriental, Brasil) e tem aproximadamente 700 km de extensão. Nasce na serra dos Coroados (Pará) e corre na direção Sul-Norte até a cidade de Ourém, situada em sua margem direita, e segue para Oeste, onde se encontra com o Rio Capim (MONTEIRO et al., 2009). A foz do Rio Guamá conflui para os rios Pará e Acará, sofrendo a influência das marés oceânicas e recebendo constantes aportes de sedimentos da Baía do Guajará, podendo chegar a tornar-se ligeiramente salobro no ápice do período menos chuvoso (PAIVA et al., 2006; MONTEIRO et al., 2009).

O Rio Guamá passa por 13 cidades até desaguar em Belém, Ananindeua e Marituba, os municípios mais densamente urbanizados da Região Metropolitana de Belém, dos quais recebem a descarga de muitos canais de drenagens urbanos e outros córregos da região, durante as subidas e descidas das marés, e pelo escoamento superficial das águas continentais através das chuvas (SANTOS et al., 2012). A temperatura média anual é 25 °C, umidade do ar acima de 80% e precipitação pluviométrica de 2.889 mm.ano<sup>-1</sup> (BEZERRA et al. 2011; INMET, 2021).

As amostragens foram realizadas no Rio Guamá no ponto de captação de água do rio para os reservatórios Bolonha e Água Preta ( $1^{\circ}27'15''\text{S}$ -  $4^{\circ}24'08''\text{W}$ ), onde foram coletadas águas e medidos os fatores físico-químicos e nutrientes mensalmente de maio/2019 a abril/2021 abrangendo dois ciclos sazonais completos da região em 24 meses de amostragens, durante as marés de enchente e vazante (Figura 1). Os meses chuvosos foram janeiro a maio e os menos chuvosos (ou secos) de julho a novembro, sendo junho considerado transição chuvoso-seco e dezembro transição seco-chuvoso, de acordo com os dados dos últimos 30 anos obtidos do INMET (2021).

**Figura 1.** Mapa da área de estudo, Rio Guamá evidenciando o ponto de coleta defronte a Estação de captação de água para os reservatórios de abastecimento público da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil). **Legenda:** Ponto vermelho: ponto de coleta.



Fonte: Autor

### 5.2.2 Coleta e análise das variáveis abióticas

A precipitação e os ventos foram coletados da estação meteorológicas de Belém (código 82191, latitude -1.43, longitude -48.42 e altitude 10 m) e fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET, 2021). A transparência da água foi estimada através de um disco de Secchi. As medidas de temperatura da água ( $T$  °C), potencial hidrogeniônico (pH), salinidade, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e oxigênio dissolvido (OD) foram medidos *in situ* pela sonda multiparamétrica (HI 9828 -

HANNA®, USA). Para as demais variáveis (turbidez, cor real e nutrientes) foram coletadas amostras de água com frascos de polipropileno de 1.000 mL seguindo a recomendação 1060 da Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater- SMEWW (APHA, 2017).

A turbidez e cor real foram determinadas pelo método nefelométrico 2130 B e 2120 D, respectivamente (APHA, 2017) e os sólidos totais em suspensão (STS) pelo método fotométrico (KRAWCZYK; GONGLEWSKI, 1969). O nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e fósforo total (FT) foram determinados pela cromatografia iônica com supressão química da condutividade do eluente utilizando o cromatógrafo de íons ICS Dual 2000 (DIONEX CORPORATION, SUNNYVALE, CA, USA) método APHA (2017).

### 5.2.3 Coleta e análise das variáveis bióticas

As amostras de clorofila foram coletadas diretamente na subsuperfície da água em frascos de polipropileno âmbar (1 L) e refrigeradas. As amostras fitoplanctônicas foram coletadas diretamente na subsuperfície da água com frascos de polipropileno (300 mL) e fixadas com formol neutro (4%) conforme a metodologia 10200 B do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

Em laboratório as amostras de clorofila- *a*, *b* e *c* foram analisadas em espectrofotometria (D2000 HANNA®) conforme o método 10200 H SMEWW (APHA, 2017), que consiste na filtração das amostras e extração do conteúdo dos filtros em acetona 90 %. Os métodos 10200 C e 10200 F foram utilizados para a sedimentação e quantificação do fitoplâncton (ind.L<sup>-1</sup>), respectivamente (APHA, 2017), onde os organismos foram contados até atingir no mínimo 100 indivíduos da espécie mais abundante através do invertoscópio óptico (AXIOVERT.A1, ZEISS, GERMANY) acoplado a câmera fotográfica (AXIOCAM ICC5, ZEISS, GERMANY) com software de medição, sob um aumento de 400x. A identificação, nomenclatura e enquadramento taxonômico do fitoplâncton foram realizados de acordo com literaturas especializadas: Bicudo e Menezes (2017); Komárek e Anagnostidis (2007; 2008), Komárek (2013) e Round et al. (2007).

O fitoplâncton foi classificado em Grupos funcionais- GFs (REYNOLDS et al., 2002; PADISAK et al., 2009) e no Índice de Comunidade Fitoplanctônica- ICF (CETESB, 2019), o qual se baseia em três critérios ponderados para classificar a qualidade das águas: densidade do fitoplâncton (ind.mL<sup>-1</sup>), IET (Índice de estado trófico) e a dominância dos grandes grupos fitoplânctônicos, separado nas seguintes classes: Ruim (dominância de

cianofíceas/cianobactérias ou densidade total > 10000 org./mL; clorofila a > 10µg/L), Regular (dominância de clorofíceas (Clorococcales) ou densidade total > 5000 e < 10000 org./mL; clorofila-a > 10µg/L), Boa (dominância de clorofíceas (Desmidiáceas) ou Diatomáceas ou Densidade total > 1000 e < 5000 org./mL; clorofila-a > 4 µg/L e < 10µg/L) e Ótima (não há dominância entre os grupos, densidade total < 1000 org./mL; clorofila a < 4µg/L).

O índice e a classificação de estado trófico- TSI, para ambientes lóticos foi calculado segundo Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004), utilizando os dados de clorofila e fósforo total, separado nas classes: Ultraoligotrófico (< 47), Oligotrófico (47 < IET ≤ 52), Mesotrófico (52 < IET ≤ 59), Eutrófico (59 < IET ≤ 63), Supereutrófico (63 < IET ≤ 67) e Hipereutrófico (> 67).

#### 5.2.4 Análise estatística

Foi realizada a Análise de variância multivariada permutacional PERMANOVA (Two- way), usando a matriz de distância Euclidiana para verificar a diferença temporal (meses e sazonalidade) e entre as marés (vazante e enchente) dos fatores abióticos do rio Guamá. Foi realizado o teste F ANOVA (Two- way) e post-hoc de Tukey para verificar as variações da densidade e das concentrações de clorofilas- *a*, *b* e *c* ao longo do período de estudo e entre as marés. Para todos os testes os dados foram transformados em raiz quarta e foi considerada uma significância inferior a 5% ( $p < 0,05$ ) e os cálculos foram feitos utilizando o software PAST 4.06 (HAMMER et al., 2001).

Foi realizada a Análise de Componentes Principais- PCA para verificar o padrão de distribuição dos fatores abióticos coletados em relação aos meses de estudo. Para avaliar a relação do fitoplâncton com os fatores abióticos foi realizada a Análise de Redundância-RDA, considerando a matriz dos dados abióticos e a matriz com a densidade das espécies mais abundantes com a eliminação das espécies com menos de 5% abundância (CHORUS; BARTRAM 1999), sendo a matriz biológica transformada por Hellinger (LEGENDRE; GALLAGHER, 2001), para ordenação da distancia euclidiana da matriz biológica. Para as análises as matrizes abióticas foram padronizadas por *ranging* e as análises de PCA e RDA foram realizadas no programa CANOCO 4.5 for Windows (TER-BRAAK; SMILAUER, 2002).

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Variáveis abióticas

Durante todo o período as águas foram consideradas levemente ácidas ( $6,3 \pm 1,0$ ), com temperatura média de  $29,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , concentração média de fósforo  $0,03 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ , águas turvas ( $48,4 \pm 41,3 \text{ UNT}$ ), com baixa salinidade ( $0,02 \pm 0,003$ ) e moderados valores de CE ( $31,4 \pm 14,7 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e TDS ( $17,0 \pm 9,4 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Tabela 1, suplemento).

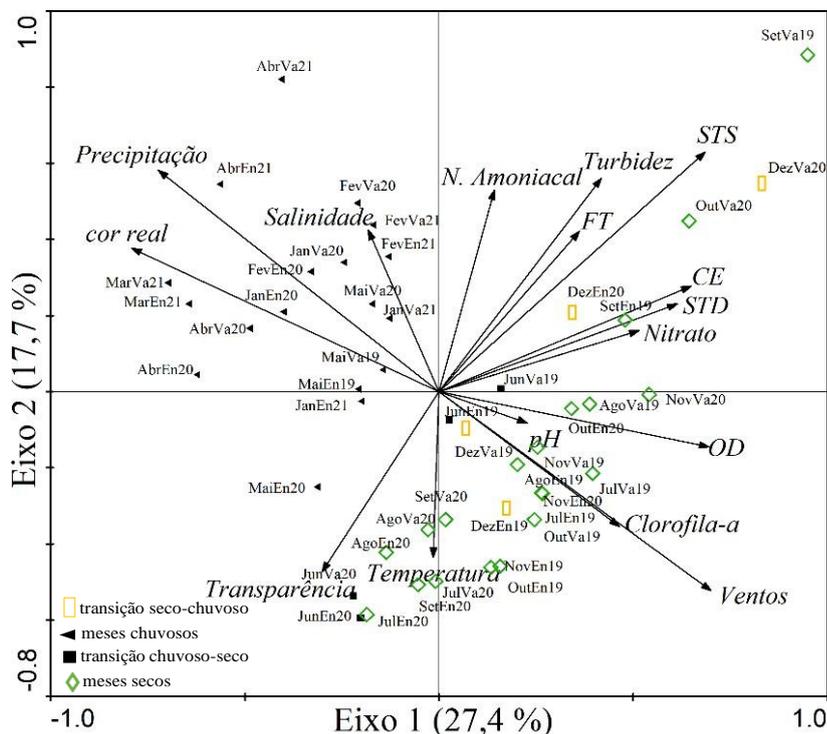
Houve o efeito sazonal (PERMANOVA  $F= 4,3$ ;  $gl=3$ ;  $p=0,0001$ ) e mensal (PERMANOVA  $F= 2,3$ ;  $gl= 11$ ;  $p=0,0001$ ) sobre os fatores abióticos do Rio Guamá, sendo o padrão de distribuição dos fatores em relação aos meses de estudo evidenciado na PCA.

O eixo 1 (27,4 %) da PCA agrupou no quadrante positivo todas as estações dos meses secos (julho a novembro) e de transição seco-chuvoso (dezembro), enquanto no quadrante negativo foram agrupadas as amostras dos meses chuvosos (janeiro a maio) e transição chuvoso- seco (junho). Os fatores mais influenciados pela sazonalidade foram CE (0,40), STD (0,50), OD (0,40), ventos (0,34) sendo mais elevados no período seco, e a cor real (-0,33) e as chuvas (-0,31), no período chuvoso. Essas variáveis possuem esse comportamento sazonal no Rio Guamá (PAIVA et al., 2006) e Rio Pará (GOMES, 2013), conectados a área de estudo.

Rocha Neto *et al.* (2017) estudando os fatores hidrológicos do Rio Guamá não identificaram efeito significativo da sazonalidade sobre os fatores físico-químicos, porém citaram o aumento da salinidade, da condutividade elétrica, nitrato e silicato durante os meses menos chuvosos coincidindo com o presente estudo. Varela *et al.* (2020) também não identificaram o efeito significativo da sazonalidade sobre a hidrologia do Rio Guamá, mas evidenciaram flutuações de pH, sólidos totais em suspensão, turbidez e fósforo total mais elevados nos meses menos chuvosos.

No eixo 2 (17,7 %) o efeito sazonalidade foi representado pela precipitação pluviométrica (0,50), nitrogênio amoniacal (0,53) e transparência (-0,42) (Figura 2).

**Figura 2.** Análise de Componentes Principais das variáveis abióticas do Rio Guamá (Belém, Pará).



Fonte: Autor

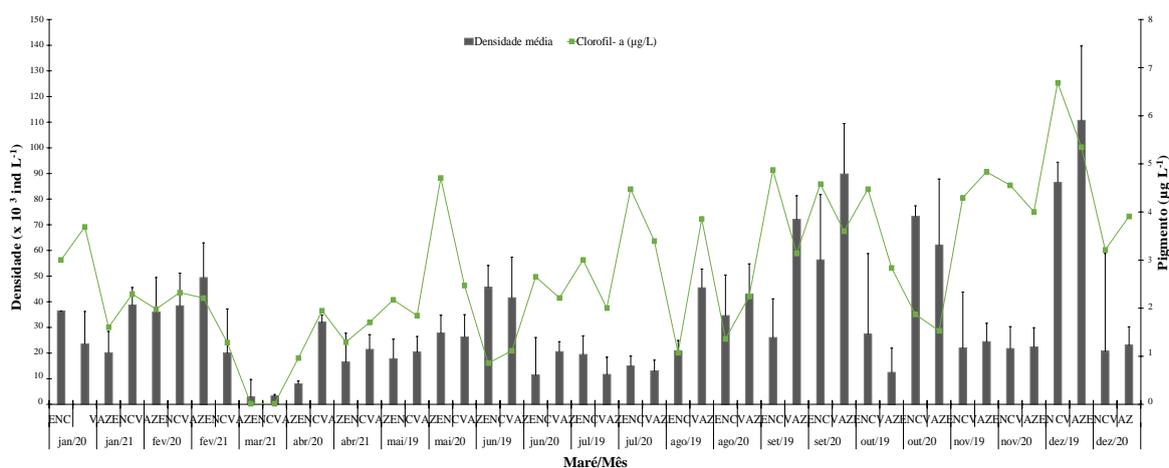
A presença de N-amoniaco sinaliza a ocorrência da influência antrópica no rio, uma vez que está associada com matéria orgânica recém-despejada, geralmente proveniente de excretas nitrogenadas e efluentes industriais (SOUZA FILHO et al., 2020), contudo, sua relação com a intensidade das chuvas está associada com o carreamento proporcionado pelo período chuvoso, o qual contribui para o aumento deste composto nos corpos hídricos. Entretanto, as concentrações de nitrogênio amoniacal não excederam os limites toleráveis pela legislação (CONAMA, 2005).

O efeito das marés foi observado na turbidez ( $F=5,7$ ;  $p=0,02$ ) e sólidos totais em suspensão ( $F=8,8$ ;  $p=0,004$ ), que foram mais elevados durante as vazantes ( $48 \pm 40$  UNT e  $29,5 \pm 19,0$  mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente). Isto se deve, possivelmente, ao fato de a região não possuir cobertura de saneamento adequada, onde os canais de drenagem urbana, considerados esgotos a céu aberto, cortam toda a cidade de Belém e que durante a vazante são despejados na Baía do Guajará e Rio Guamá. Os canais possuem consideráveis concentrações de poluentes (CAVALCANTE et al., 2007), que contribuem para a maior turbidez e sólidos suspensos. A turbidez esteve acima do limite permitido pela legislação de meio ambiente em setembro ( $> 100$  UNT).

### 5.3.2 Variáveis bióticas

Foram registradas 113 espécies distribuídas em 62 gêneros e oito divisões. As divisões mais representativas foram Bacillariophyta (77 spp.), Cyanophyta (10 spp.) e Chlorophyta (10 spp.). A densidade mínima foi  $2,83 \times 10^3$  ind.  $L^{-1}$  (março/2021, enchente) e a máxima  $110,7 \times 10^3$  ind.  $L^{-1}$  (dezembro, 2019, vazante) (Figura 3).

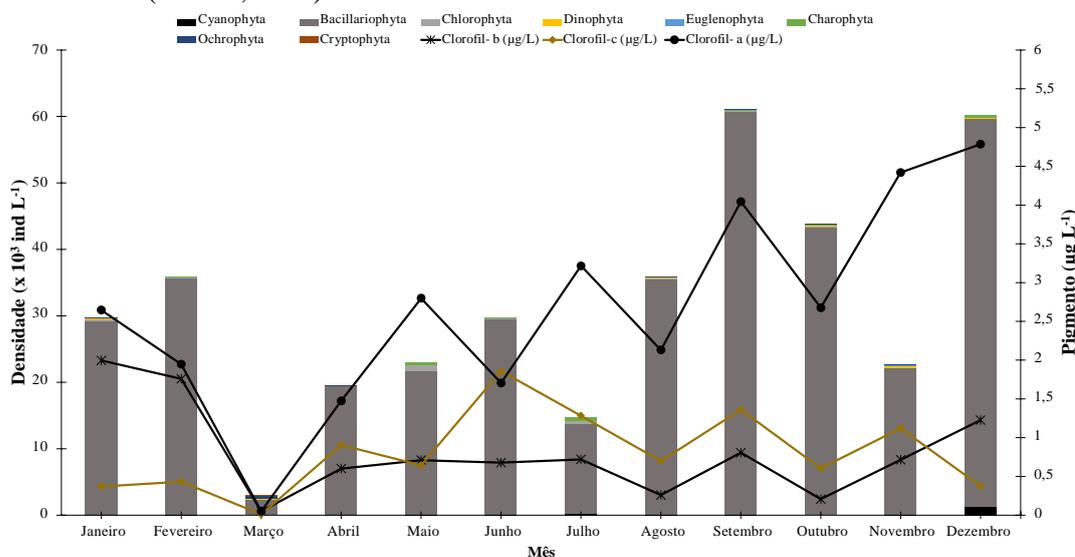
**Figura 3.** Variação temporal e das marés da densidade (ind. $L^{-1}$ ) e biomassa do fitoplâncton ( $\mu g.L^{-1}$ ) do Rio Guamá (Belém, Pará), durante maio/2019 a abril/2021.



Fonte: Autor

As variações significativas na densidade ocorreram entre os meses ( $g_l = 11$ ;  $F = 3,5$ ;  $p = 0,0006$ ), onde março apresentou significativamente a menor densidade ( $3,0 \pm 0,8 \times 10^3$  ind.  $L^{-1}$ ), setembro e dezembro as maiores densidades com  $61,1 \times 10^3$  ind.  $L^{-1}$  e  $60,2 \times 10^3$  ind.  $L^{-1}$ , respectivamente. A clorofila- *a* acompanhou as variações das densidades, mas foi significativamente ( $p < 0,05$ ) maior em dezembro ( $21,0 \pm 4,7 \mu g.L^{-1}$ ) e a clorofila- *c* foi mais elevada que a clorofila- *b*, indicando a dominância das diatomáceas com mais de 80 % durante todo o período (Figura 4).

**Figura 4.** Variação temporal Densidade ( $\text{ind.L}^{-1}$ ) e biomassa do fitoplâncton ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) do Rio Guamá (Belém, Pará).



Fonte: Autor

A forte influência estuarina sobre o Rio Guamá é advinda do estuário do Rio Pará, o qual recebe descargas salinas oceânicas que são mais fortes durante o período chuvoso, deixando as águas com salinidade variando de 0,5 g/kg a 1,6 g/kg (Bezerra et al., 2011) tais descargas são capazes de adentrar os tributários deste estuário podendo chegar a 120 km da foz deste rio até a cidade de Belém (ROSÁRIO, 2016), esta influencia também atua sobre os regimes de maré da foz do Rio Guamá, a qual é refletida na composição das espécies do fitoplâncton, visto que em grande parte é formada de diatomáceas marinhas (PAIVA et al., 2006), as quais predominam em ambientes estuarinos (MOSER et al., 2002; PAIVA et al., 2006; LEÃO et al., 2008; MONTEIRO et al., 2009; SOUSA et al., 2009; AQUINO, 2012). Os rios de águas brancas amazônicos (SIOLE, 1965) apresentam baixas densidade e as diatomáceas como principal grupo fitoplanctônico (SOUSA *et al.*, 2013).

No ambiente aquático as partículas em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, são capazes de atenuar a entrada da luz. As diatomáceas possuem composição de pigmentos diferentes dos outros grupos do fitoplâncton, pois além da clorofila- *a* possuem clorofila-*c* e carotenóides como  $\beta$ -caroteno e fucoxantinas (Ddx, Dtx e Fx), o que lhes confere maiores vantagens sob outras algas em ambientes com menor incidência luminosa, uma vez que a clorofila- *c* acessória trabalha principalmente na absorção de luz atenuada (luz azul). Além disso, este tipo de luz tem um impacto significativo nas diatomáceas, resultando na produção de mais células com maior atividade fotossintética em comparação à luz direta (branca) (KUCZYNSKA et al., 2015). Ambientes de água doce, ricos em nitrogênio

amoniacal, como é o caso do Rio Guamá, conferem vantagens às diatomáceas, visto que atuam diretamente na ciclagem deste composto que é essencial ao seu crescimento e desenvolvimento (ALLEN et al., 2011).

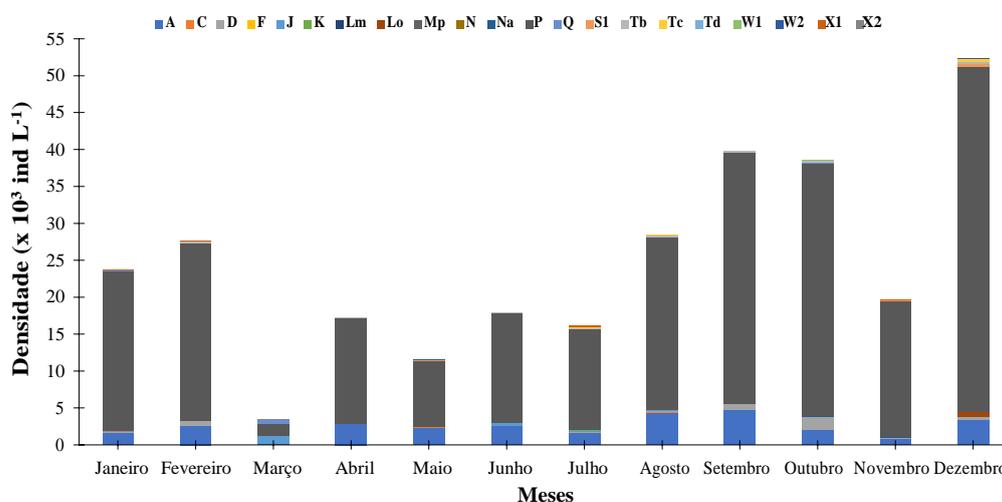
A variação sobre a densidade fitoplanctônica no Rio Guamá seguiu padrão sazonal, com a menor densidade ocorrendo significativamente nos meses mais chuvosos. Diversos estudos apontam menor concentração fitoplânctônica de rios (PAIVA et al., 2006; SOUSA et al., 2013; ROCHA-NETO et al., 2016;; RODRIGUES et al., 2018; WANG et al., 2021) e reservatórios (COSTA et al., 2010; SOUSA, 2017) nos períodos mais chuvosos, por conta da menor incidência de luz causada pela interação de fatores que provocam sua atenuação no ambiente aquático (SOUSA et al., 2020), e portanto, interferem no desenvolvimento dos organismos fitoplanctônicos, visto que são inteiramente dependentes da disponibilidade luminosa (STUMPNER et al., 2020).

### **Grupos Funcionais- GFs**

Somente 49 espécies foram classificadas em 21 GFs do fitoplâncton (Tabela 2, suplementos) que representa 43,4 % das espécies identificadas. Embora a fragilidade da abordagem em GF esteja em apresentar pouca inclusão das espécies encontradas em rios brasileiros, o GF teve sucesso relativo, pois abrangeu as espécies de maiores densidades, as quais estão enquadradas no grupo P, que agrupou o gênero *Aulacoseira* (Figura 5), se estabelecendo como uma abordagem promissora, visto que todas as espécies suficientemente contadas (CHORUS; BARTRAM, 2000) foram enquadradas nos GFs.

Além disso, o número de grupos funcionais encontrado é condizente com outros estudos realizados em rios (WANG et al., 2021). Porém chama-se atenção para uma espécie muito frequente nas águas do Rio Guamá, sendo abundante de setembro a dezembro, que foi *Polymyxus coronalis* L.W.Bailey, mas que ainda não possui uma classificação em grupos funcionais. Neste caso sugerem-se mais estudos na região para tentar enquadrar esta espécie em GFs.

**Figura 5.** Variação temporal densidade dos Grupos Funcionais- GFs do fitoplâncton (ind.L<sup>-1</sup>) do Rio Guamá (Belém, Pará).



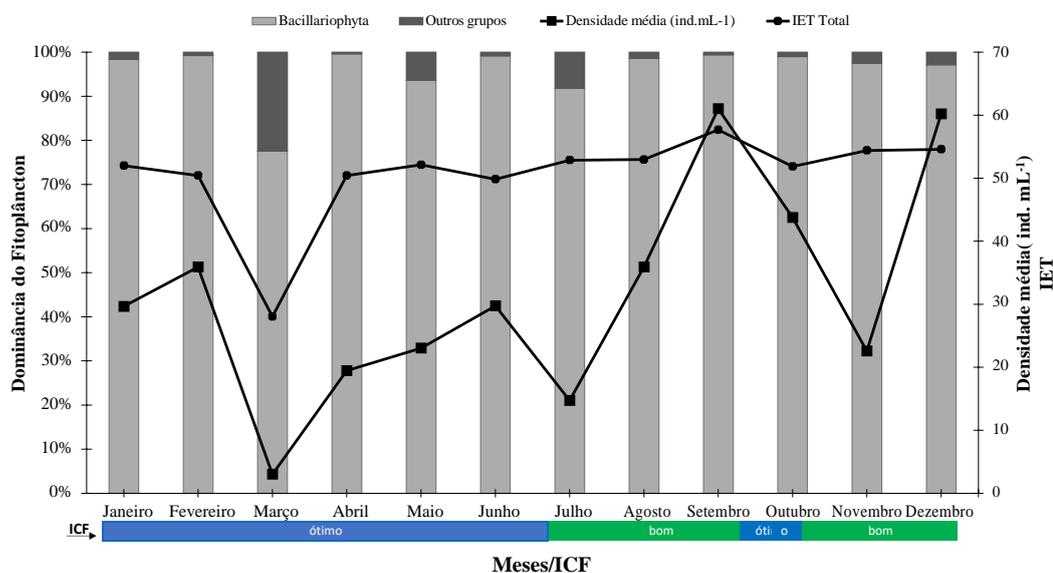
**Fonte:** Autor.

Neste critério, o grupo P inclui espécies que habitam o epilímnio eutrófico, que toleram luz suave e águas deficientes de carbono, porém são sensíveis a estratificação e depleção de sílica (REYNOLDS et al., 2002). Refletindo as características presentes no ambiente do Rio Guamá, o qual apresenta águas turvas e com presença de silicato elevado (SANTOS et al., 2014), importante ao desenvolvimento das diatomáceas, que necessitam deste componente para formação de suas frústulas. Podemos considerar que não houve a visualização da sazonalidade nos GFs, visto que P dominou em todos os meses.

### Índice de Comunidade Fitoplanctônica- ICF

O índice da comunidade fitoplanctônica permitiu avaliar a qualidade das águas do Rio Guamá variando de ótimas (meses chuvosos) a boas (menos chuvosos) em termos de qualidade ambiental, durante os dois anos de investigação. Avaliando os três critérios abordados se têm as seguintes considerações: a densidade é baixa, o ambiente é invariavelmente dominado por diatomáceas e o IET variou de ultraoligotrófico (março) a mesotrófico (setembro) (Figura 6).

**Figura 6.** Variação temporal das divisões do fitoplâncton (%), densidade (ind.mL<sup>-1</sup>) e índices de comunidade fitoplanctônica- ICF e estado trófico- IET do Rio Guamá (Belém, Pará).



Fonte: Autor

Em comparação a outros estudos em rios brasileiros, a densidade fitoplanctônica do Rio Guamá é muito baixa (PAIVA et al., 2006; SOARES et al., 2007; LEÃO et al., 2008; SOUSA et al., 2009; SOUSA et al., 2013; ROCHA NETO et al., 2016), as condições presentes no ambiente agem como seletoras aos organismos, onde o ambiente possui uma característica muito marcante, sua alta turbidez, onde este fator causa interferência na comunidade fitoplanctônica, visto que impede que espécies sensíveis à baixa luminosidade prevaleçam (STUMPNER et al., 2020), desta forma, as diatomáceas conseguem ser capazes de dominar este ambiente por tolerarem a menor incidência de luz (REYNOLDS et al., 2002; KRUK; SEGURA, 2012;). Além disso, a forte influência estuarina também atua na composição ambiental, uma vez que grande parte da composição é de organismos estuarinos (PAIVA et al., 2006).

Por outro lado, a dominância de diatomáceas nem sempre caracterizam o ambiente como bom, por exemplo, a espécie de maior frequência no Rio Guamá, como *Aulacoseira granulata*, tem preferência por ambientes eutrofizados (WANG et al., 2021), e desta forma, a utilização de divisões do fitoplâncton de forma generalizada pelo ICF supõe uma fragilidade do índice, visto que não leva em consideração as especificidades das espécies ou de assembléias fitoplanctônicas combinadas. Neste sentido, esta abordagem se torna melhor utilizável em termos de detecção de florações de algas que de maneira geral são conhecidas por estarem presentes em ambientes eutrofizados, como as cianobactérias

(OLIVER et al., 2020) e as euglenófitas (CASSIANO et al., 2011), já quando utilizado na generalização de grupos de diatomáceas e clorófitas se fazem necessárias análises acerca das espécies presentes no ambiente e sua relação com o estado trófico.

Com relação ao IET descrevem-se resultados contrários aos estudos realizados na região, visto que Santos *et al.* (2014) e Varela *et al.* (2020) evidenciam a variação do estado trófico do Rio Guamá oscilando de mesotrófico a supereutrófico. Isto se deve aos pontos de coleta dos estudos, que se dão mais próximos aos canais de drenagem da cidade, os quais são despejados adjacentes a Baía do Guajará. Já o presente trabalho coleta águas próximas à foz do Rio Guamá e, portanto, com menor influência da descarga dos esgotos que o corpo hídrico recebe.

Por outro lado, Cavalcante *et al.* (2007) realizaram análises químicas dos canais de drenagens mais impactados da RMB e concluíram que, apesar destes canais estarem poluídos, no estuário Guajarino e no Rio Guamá estes poluentes são dissipados devido à abundância das chuvas e a dinâmica das marés semidiurnas. Contudo, os autores alertam para a crescente urbanização e o aumento na produção dos resíduos despejados sobre as bacias, os quais podem gerar efeitos nocivos não atenuados pelos estuários amazônicos. Acredita-se que este efeito de dissipação foi sentido no ponto de coleta.

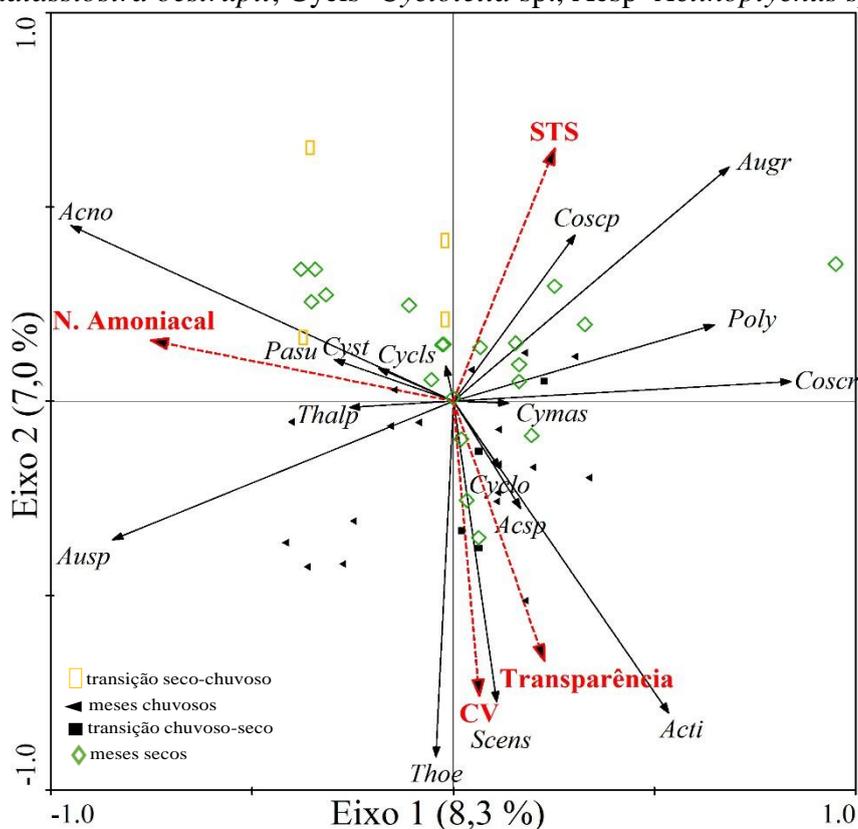
A RDA respondeu a 19,4 % da variação das espécies em relação aos fatores abióticos. O baixo percentual de explicação se deu, possivelmente, ao domínio de poucas espécies na região oriundas das águas estuarinas do Rio Amazonas e Rio Pará que chegam a influenciar o Rio Guamá, principalmente no período menos chuvoso, através do Estreito de Breves (GREGÓRIO; MENDES, 2009). Por outro lado, as espécies mais significativas são diatomáceas que exigem do ambiente concentrações de silicato para a formação de suas frústulas, mas este fator não foi analisado no presente estudo, ficando uma sugestão para investigações futuras, uma vez que durante os dois anos de estudo essas microalgas compuseram mais de 80% de toda composição em todos os meses.

O eixo 1 (7,0 %) mostrou o nitrogênio amoniacal como sendo o principal fator que influenciou parte dos meses mais chuvosos e secos, sobretudo março, outubro e dezembro. Este favoreceu o grupo não específico *Aulacoseira* spp., e *Actinocyclus normanii*. Neste cenário, compreendemos que o nitrogênio amoniacal marca a influência antrópica no Rio Guamá, pois sua presença sugere contaminação recente por matéria orgânica, provavelmente esgoto doméstico, o que reduziu drasticamente a densidade no mês de março quando o N- amoniacal ocorreu com maior concentração ( $0,5 \pm 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e valores baixos

de oxigênio dissolvido ( $2,7 \pm 1,4 \text{ mg.L}^{-1}$ ), abaixo do limite estabelecido pela legislação ambiental (CONAMA, 2005), sugerindo a presença de bactérias aeróbicas degradando a matéria orgânica. Neste aspecto, o oxigênio dissolvido foi baixo ( $< 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ) em todo o período chuvoso.

Contrário às espécies *Coscinodiscus rothii* e *Polymyxus coronalis* que estiveram influência oposta ao nitrogênio amoniacal sendo dominantes no período seco e sob influência direta de águas estuarinas. A influência estuarina também se fez presente no eixo 2 (8,3 %), onde as espécies estuarinas *Coscinodiscus* spp. Estiveram associadas a elevados STS, contrário das espécies dulciaquícolas *Thalassiosira oestrupii*, *Scenedesmus* sp., que estiveram associadas a águas mais transparentes e maior cor real dos meses de junho e maio (Figura 7).

**Figura 7.** Triplot da Análise de Redundância (RDA) mostrando a variação temporal das relações entre o fitoplâncton e as variáveis abióticas do Rio Guamá (Belém, Pará). Legenda: Ausp- *Aulacoseira* spp.; Augr- *Aulacoseira granulata*; Poly- *Polymyxus coronalis*, Cyst- *Cyclotella striata*, Coscp- *Coscinodiscus* spp., Cyclo- *Cyclotella stolorum*, Thalp- *Thalassiosira* spp., Cymas- *Cymatosira* sp., Acno- *Actinocyclus normanii*, Coscr- *Coscinodiscus rothii*, Acti- *Actinocyclus* sp., Pasu- *Paralia sulcata*, Scens- *Scenedesmus* sp., Thoe- *Thalassiosira oestrupii*, Cycls- *Cyclotella* sp., Acsp- *Actinopterychus splendens*.



Fonte: Autor

Vilhena et al. (2014) encontrou 85% da composição do fitoplâncton dos Rios Pará e Mocajuba (Pará), próximos ao Rio Guamá, constituída por diatomáceas e sugeriram que estas algas são eficientes em concentrar metais, principalmente *A. granulata*, *P. coronalis* e *A. normanii*, nas quais foram encontrados altos níveis de Al, Fe, K, Ca e P, logo sugere-se que estudos futuros incluam estes metais para verificar a correlação com a abundância destas espécies.

#### 5.4 CONCLUSÃO

O Rio Guamá apresentou o efeito sazonal sobre os fatores bióticos e abióticos, onde as menores densidades ocorreram no período chuvoso, principalmente em março. Os principais fatores abióticos que influenciaram a dinâmica do fitoplâncton foram N-amoniaco, STS e transparência. O oxigênio dissolvido e turbidez estiveram alterados nos meses chuvosos e em setembro, respectivamente. O fitoplâncton da foz do Rio Guamá sofreu também influência de águas estuarinas advindas, possivelmente, do estuário do Rio Pará, devido ao grande número de diatomáceas de origem estuarina e marinha. O Grupo Funcional P prevaleceu nos meses de estudo, porém não evidenciou a sazonalidade no fitoplâncton. O ICF considerou as águas variando de boa a ótima, mas não é adequado para caracterizar o ambiente devido generalizar as divisões como sendo indicadoras de uma determinada condição ambiental.

O IET classificou o Rio Guamá de oligo- mesotrófico contradizendo estudos anteriormente realizados na região, possivelmente por conta da localização do ponto de amostragem, o qual é mais próximo da foz do rio, e desta forma, recebe menor influência antrópica da metrópole de Belém devido ao processo de dissipação dos poluentes através das marés. Sugere-se que trabalhos futuros incluam a análise de sílica e metais na água para entender a dinâmica das diatomáceas nos rios amazônicos.

## REFERÊNCIAS

- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington, 2017.
- AQUINO, E. P. **Fitoplâncton do estuário do rio dos Passos (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil)**. 2012. 87 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, 2012.
- BEZERRA, M. O.; MEDEIROS, C.; KRELLING, A. P. M.; ROSÁRIO, R. P.; ROLLNIC, M. Physical oceanographic behavior at the Guama/Acara-Moju and the Paracauari river mouths, Amazon Coast (Brazil). **J Coast Res**, [S. l.], v. 64, p. 1448–1462, 2011.
- BICUDO, C.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil**. 3. ed. [s.l: s.n.], 2017.
- CASSIANO, D. C.; APARECIDO, F.; MIRANDA, G.; SIPAÚBA, L. H. Ficoflórula de alguns corpos de água lênticos do município de Alegre – Espírito Santo. **I Simpósio sobre a Biodiversidade da Mata Atlântica**, [S. l.], v. 1, p. 145–150, 2011.
- CAVALCANTE, L. M.; CRUZ, F. M.; LIMA, W. N. Avaliação De Impactos Ambientais Em Microbacias Da Região Metropolitana De Belém ( Pa ). **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, [S. l.], p. 1–7, 2007.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. 2018. MARTINS, M. H. R. B.; MENEGON Jr.; LAMPARELLI, M. C.; MORENO, F. N.; MIDAGLIA, C. L. V.; MEDEIROS, L. A. São Paulo: CETESB, 2019. 284 p.
- CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring, and management**. [s.l: s.n.]. v. 45, 2000. DOI: 10.4319/lo.2000.45.5.1212.
- CONAMA. Resolução n 357, 18 de março de 2005. **Diário Oficial**, [S. l.], n. 053, p. 58–63, 2005.
- FRANCÉ, J.; VARKITZI, I.; STANCA, E; COZZOLI, F.; SKEJI´, S.; UNGARO, N.; VASCOTTO, I.; MOZETI´, P.; GLADAN, ´Z. N.; ASSIMAKOPOULOU, G.; PAVLIDOU, A.; ZERVOUDAKI, S.; PAGOU K.; BASSET, A. Large-scale testing of phytoplankton diversity indices for environmental assessment in Mediterranean sub-regions (Adriatic, Ionian and Aegean Seas). **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 126, p. 107630, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107630.
- GHARIB, S. M.; EL-SHERIF, Z. M.; ABDEL-HALIM, A. M.; RADWAN, A. A. Phytoplankton and environmental variables as a water quality indicator for the beaches at Matrouh, south-eastern Mediterranean Sea, Egypt: an assessment. **Oceanologia**, [S. l.], v. 53, n. 3, p. 819–836, 2011. DOI: 10.5697/oc.53-3.819.
- GOMES, A. L. **Biodiversidade e densidade de cianobactérias em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico, Pará, Brasil**. 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) Universidade Federal do Pará, 2013.
- GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. BATIMETRIA E SEDIMENTOLOGIA DA BAÍA DE GUAJARÁ, BELÉM, ESTADO DO PARÁ, BRASIL. **Amazônia: Ci. & Desenv**, [S. l.], v. 5, n. 9, 2009.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis** Paleontologia Electronica, , 2001.
- INMET. **Dados da Rede INMET. Dados Históricos**. 2021. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.
- KELLY, M.; JUGGINS, S.; GUTHRIE, R.; PRITCHARD, S.; JAMIESON, J.; RIPPEY, B.; HIRST, H.; YALLOP, M. Assessment of ecological status in U.K. rivers using diatoms. **Freshwater Biology**, [S. l.], v. 53, n. 2, p. 403–422, 2007.

- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprocaryota 2. Teil/Part 2: Oscillatoriales. *In: In: MOESTRUP, Ø.; CALADO, A. Süßwasserflora von Mitteleuropa freshwater flora of central Europa*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag. p. 759. 2005.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales. *In: In: MOESTRUP, Ø.; CALADO, A. Süßwasserflora von Mitteleuropa freshwater flora of central Europa*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag. p. 548 p. 2008
- KOMÁREK, J. Cyanoprocaryota 3. Teil: Heterocytous genera. *In: In Süßwasserflora von Mitteleuropa freshwater flora of central Europe*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag. p. 1748. 2013.
- KOZAK, A.; BUDZYŃSKA, A.; DONDAJEWSKA-PIELKA, R.; KOWALCZEWSKA-MADURA, K.; GOŁDYN, R. Functional groups of phytoplankton and their relationship with environmental factors in the restored uzarzewskie lake. **Water (Switzerland)**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 1–14, 2020. DOI: 10.3390/w12020313.
- KRAWCZYK, D.; GONGLEWSKI, N. Determining suspended solids using a spectrophotometer. **Sewage and Waste**, [S. l.], v. 31, p. 1159–1164, 1969.
- KUCZYŃSKA, P.; JEMIOŁA-RZEMINSKA, M.; STRZALKA, K. Photosynthetic Pigments in Diatoms. **Mar. Drugs**, 13, 5847–5881, 2015. DOI:10.3390/md13095847.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2004.
- LEÃO, B. M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; SANTIAGO, M. F. Ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Igarassu, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 711–722, 2008. DOI: 10.1590/s0102-33062008000300009.
- LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, [S. l.], v. 129, n. 2, p. 271–280, 2001. DOI: 10.1007/s004420100716.
- LEWIS, W. M.; WURTSBAUGH, W. A.; PAERL, H. W. Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus to reduce eutrophication of inland waters. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 45, n. 24, p. 10300–10305, 2011. DOI: 10.1021/es202401p.
- LOBO, E. A.; SCHUCH, M.; HEINRICH, C. G.; COSTA, A. B.; DÜPONT, A.; WETZEL, C. E.; ECTOR, L. Development of the Trophic Water Quality Index (TWQI) for subtropical temperate Brazilian lotic systems. **Environ Monit Assess**, [S. l.], v. 187, n. 5, 2015. DOI: 10.1007/s10661-015-4586-3.
- MENG, F.; LI, Z.; LI, L.; LU, F.; LIU, Y.; LU, X.; FAN, Y. Phytoplankton alpha diversity indices response the trophic state variation in hydrologically connected aquatic habitats in the Harbin Section of the Songhua River. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 1–13, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-78300-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78300-7>.
- MIAO, X.; WANG, S.; LIU, M.; MA, J.; HU, J.; LI, T.; CHEN, L. Changes in the phytoplankton community structure of the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai from 2009 to 2010. **Aquaculture and Fisheries**, [S. l.], v. 4, n. 5, p. 198–204, 2019. DOI: 10.1016/j.aaf.2019.02.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.02.004>.
- MONTEIRO, M. D. R.; MELO, N. F. A. C.; ALVES, M. A. M. S.; PAIVA, R. S. Composição e distribuição do microfitoplâncton do rio Guamá no trecho entre Belém e São Miguel do Guamá, Pará, Brasil Composition and distribution of the microphytoplankton from Guamá River between Belém and São Miguel do Guamá, Pará, Brazil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 341–351, 2009.

- MOSER, G. A. O.; GIANESELLA, S. M. F.; CATTENA, C. O.; DAVID, C. J.; BARRERA-ALBA, J. J.; SALDANHA-CORRÊA, F. M. P.; BRAGA, E. S. Influência das Marés sobre o Fitoplâncton no Sistema Estuarino de São Vicente e Santos. **Instituto Oceanográfico- USP**, 2002.
- OLIVER, S. L.; IKEFUTI, P. V.; RIBEIRO, H. Cyanobacteria bloom variations and atmospheric variables, an environmental health contribution. **Ambiente & Água**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 11, 2020. DOI: 10.4136/ambi-agua.2523.
- PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: A critical review with updates. **Hydrobiologia**, [S. l.], v. 621, n. 1, p. 1–19, 2009. DOI: 10.1007/s10750-008-9645-0.
- PAIVA, R. S.; ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; MELO, N. F. A. C. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton (Pará, da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará, Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 133–146, 2006.
- PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; DA SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. The human action effects on the hydrogeochemistry of Negro river at the Manaus shoreline. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 39, n. 3, p. 627–638, 2009. DOI: 10.1590/s0044-59672009000300018.
- REYNOLDS S, C.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, [S. l.], v. 24, p. 417–428, 2002.
- ROCHA NETO, O. D.; DA SILVA, B. M.; PAIVA, R. S. Variação Dos Parâmetros Físico-Químicos, Composição E Biomassa Fitoplanctônica Em Uma Estação Fixa Na Foz Do Rio Guamá, Belém, Pará-Brasil. **Boletim Técnico Científico do CEPNOR**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 19, 2017. DOI: 10.32519/tjfas.v16i1.2132.
- RODRIGUES, E. H. C.; VICENTIN, A. M.; MACHADO, L. S.; POMPÊO, M. L. M.; CARLOS, V. M. Phytoplankton Trophic State and Ecological Potential in reservoirs in the State of São Paulo, Brazil. **Ambiente & Água**, [S. l.], v. 14, n.5, 2019.
- RODRIGUES, L. C.; PIVATO, B. M.; VIEIRA, L. C. G.; BOVO- SCOMPARIN, V. M.; BORTOLINI, J. C.; PINEDA, A.; TRAIN, S. Use of phytoplankton functional groups as a model of spatial and temporal patterns in reservoirs: a case study in a reservoir of central Brazil. **Hydrobiologia**, [S. l.], v. 805, n. 1, p. 147–161, 2018. DOI: 10.1007/s10750-017-3289-x.
- ROSÁRIO, R. P. **Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará**. 2016. 139 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pará, 2016.
- ROTT, E.; CANTONATI, M.; FÜREDER, L.; PFISTER, P. Benthic algae in high altitude streams of the Alps - A neglected component of the aquatic biota. **Hydrobiologia**, [S. l.], v. 562, n. 1, p. 195–216, 2006. DOI: 10.1007/s10750-005-1811-z.
- ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; G, MANN D. **Diatoms: Biology and Morphology of the Genera**. 5. ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- SANTOS, M. L. S.; HOLANDA, P.; PEREIRA, I.; RODRIGUES, S.; PEREIRA, J. A. R.; MESQUITA, K. Influência das Condições da Maré na Qualidade de Água do Rio Guamá e Baía do Guajará. **Boletim Técnico Científico do CEPNOR**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 17–25, 2014. DOI: 10.17080/1676-5664/btcc.v14n1p17-25.
- SANTOS, S. N.; LAFONI, J. M.; CORRÊA, J. A. M.; BABINSK, M.; DIAS, F. F.; TADDEI, M. H. T. Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da Foz do Rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém - Pará). **Química Nova**, [S. l.], v. 35, n. 2, 2012.

SIDIK, M. J.; NABIM, R. U.; HOQUE, M. A. Distribuição da comunidade fitoplâncton em relação aos parâmetros ambientais na área de cultura de gaiolas da Baía de Sepanggar, Sabah, Malásia. **Estuarin, Coastal and Shelf Science**, [S. l.], v. 80, n. 2, p. 251–260, 2008.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, região metropolitana de Belém-PA. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 43, n. 1, p. 51–62, 2013. DOI: 10.1590/S0044-59672013000100007.

SOARES, M. C. S.; HUSZAR, V. L. M.; ROLAND, F. Phytoplankton dynamics in two tropical rivers with different degrees of human impact (Southeast Brazil). **River Research and Applications**, [S. l.], v. 23, p. 698–714, 2007. DOI: 10.1002/rra.

SOUSA, E. B.; BANDEIRA, V.; CARNEIRO, L.; PEREIRA, C. Variação temporal do fitoplâncton e dos parâmetros hidrológicos da zona de arrebentação da Ilha Canela (Bragança, Pará, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 1084–1095, 2009.

SOUSA, E. B. **Fatores ambientais reguladores da dinâmica do fitoplâncton e das cianobactérias dos mananciais de abastecimento da região metropolitana de Belém, Pará, Brasil**. 2017. 236 p. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA FILHO, E. A.; ALVES, S. B. S. M.; NEVES, R. K. R.; BATISTA, I. H.; ALBUQUERQUE, C. C.; DAMASCENO, S. B.; NASCIMENTO, D. A. Estudo comparativo de aspectos físico-químicos entre águas da microbacia do mindu e igarapés sob influência antrópica na cidade de Manaus-AM. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 2419–2433, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-178.

SUWARNO, D.; LÖHR, A.; KROEZE, C.; WIDIANARKO, B. Fast increases in urban sewage inputs to rivers of Indonesia. **Environment, Development and Sustainability**, [S. l.], v. 16, n. 5, p. 1077–1096, 2014. DOI: 10.1007/s10668-014-9514-0.

TER BRAAK, C.; SMILAUER, P. **CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for Canonical Community Ordination (version 4.5)** Wageningen: Biometris, 2002.

TRATA BRASIL. **Painel de Saneamento Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5B%5D=151>. Acesso em: 19 fev. 2021.

VADRUCCI, M. R.; CABRINI, M.; BASSET, A. Biovolume determination of phytoplankton guilds in transitional water ecosystems of mediterranean ecoregion. **Transitional Waters Bulletin**, [S. l.], v. 2, p. 83–102, 2007. DOI: 10.32519/tjfas.v16i1.2132.

VARELA, A. W. P.; SOUZA, A. J. N.; AVIZ, M. D.; PINFILDI, G. V.; SANTOS, R. M.; SOUSA, P. H. C.; SANTOS, M. L. S. Qualidade da água e Índice de Estado Trófico no Rio Guamá, município de Belém (Pará, Brasil). **Revista Gestão & Sustentabilidade**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 695–715, 2020.

VARKITZI, I.; FRANCÉ, J.; BASSET, A.; COZZOLI, F.; STANCA, E.; ZERVOUDAKI, S.; GIANNAKOUROU, A.; ASSIMAKOPOULOU, G.; VENETSANOPOULOU, A.; MOZETIČ, P.; TINTA, T.; SKEJIC, S.; VIDJAK, O.; CADIOU, J-F.; PAGOU, K. Pelagic habitats in the Mediterranean Sea: A review of Good Environmental Status (GES) determination for plankton components and identification of gaps and priority needs to improve coherence for the MSFD implementation. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 95, n. April, p. 203–218, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.07.036.

VILHENA, M. P. S. P.; COSTA, M. L.; BERRÊDO, J. F.; PAIVA, R. S.; ALMEIDA, P. D. Chemical composition of phytoplankton from the estuaries of Eastern Amazonia. **Acta Amazonica**, [S. l.], v. 44, n. 4, p. 513–526, 2014. DOI: 10.1590/1809-4392201305244.

WANG, C.; JIA, H.; WEI, J.; YANG, W.; GAO, Y.; LIU, Q.; GE, D.; WU, Naicheng. Phytoplankton functional groups as ecological indicators in a subtropical estuarine river delta system. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 126, p. 107651, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107651. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107651>.

WURTSBAUGH, W. A.; PAERL, H. W.; DODDS, W. K. Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 1–27, 2019. DOI: 10.1002/wat2.1373.

## SUPLEMENTOS

**Tabela 1.** Varáveis Físico-químicas registradas para o Rio Guamá (Belém, Pará, Brasil).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP	Méd. ± DP
<b>pH</b>	5,4 ± 0,9	5,6 ± 0,5	5,8 ± 0,09	6,3 ± 1,1	7,2 ± 0,9	6,1 ± 0,9	7,1 ± 1,3	6,6 ± 0,6	5,8 ± 0,5	6,1 ± 0,5	6,9 ± 1,3	6,9 ± 0,5
<b>Transp. (cm)</b>	36,5 ± 15,4	37 ± 15,5	56 ± 8,5	53,3 ± 10,2	71,3 ± 1,9	67,8 ± 28,7	66,3 ± 25	55 ± 18,6	51,5 ± 13,8	40 ± 10,8	50 ± 8,2	31 ± 6,8
<b>Temp. °C</b>	29,1 ± 0,3	28,9 ± 0,3	30,02±2,24	29,1 ± 0,3	27,5 ± 2,4	29,5 ± 0,5	29,8 ± 0,6	30,1 ± 0,3	27,8 ± 2,9	30,6 ± 0,4	29,8 ± 1,62	30,5 ± 0,5
<b>CE (µS.cm<sup>-1</sup>)</b>	24,7 ± 1,7	27,2 ± 2,06	12,5 ± 0,7	21,07 ± 7,3	38,8 ± 14,2	31,6 ± 17,6	39 ± 14,6	34,5 ± 23,9	26,7 ± 15,5	39,5 ± 23,5	31,7 ± 12,8	36,7 ± 12,2
<b>TDS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	12,5 ± 1	13,25 ± 0,9	65 ± 0,7	10,79 ± 3,9	22,5 ± 10,3	19,2 ± 12,4	23 ± 11,3	21,25± 16,5	16,25 ± 11,3	19,75± 11,9	15,7 ± 6,4	18,5 ± 6,1
<b>OD (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	4,7 ± 2,3	4,3 ± 1,4	2,7 ± 1,4	4,4 ± 0,7	3,7 ± 0,4	5,4 ± 0,4	5,6 ± 0,6	5,9 ± 0,7	5,2 ± 2,6	7,1 ± 0,7	6,4 ± 1,3	6,1 ± 1,6
<b>Turb. (UNT)</b>	50,3 ± 34,7	80,1 ± 39,9	28,9 ± 2,3	43,6 ± 20	27,8 ± 5,7	22,2 ± 8,5	27,2 ± 16,3	28,9 ± 10,2	104,3±107,2	43,3 ± 7,2	58 ± 11,5	56,8 ± 23,8
<b>STS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	25,5 ± 10,3	35,4 ± 12,3	13,8 ± 0,4	22,8 ± 11,2	23,8 ± 9,3	16,8 ± 14,7	15,8 ± 9	23,5 ± 9,7	44,8 ± 41,8	40,5 ± 22,9	37,9 ± 9,9	42 ± 21,9
<b>CV (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	46,8 ± 10,8	46,3 ± 5,1	61 ± 1,40	64,3 ± 6,5	43,5 ± 1,7	42 ± 7,5	32,3 ± 5,9	35,8 ± 4,1	23 ± 5,0	27 ± 7,1	22 ± 6,6	20,9 ± 13,3
<b>FT (µg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,03	0,06 ± 0,0	0,03 ± 0,03	0,01 ± 0,0	0,01 ± 0,0	0,01 ± 0	0,03 ± 0,03	0,12 ± 0,07	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,03
<b>Sal (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,01 ± 0,0	0,01 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,1	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
<b>Nitrato (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,18 ± 0,06	0,24 ± 0,08	0,03 ± 0,0	0,06 ± 0,07	0,08 ± 0,08	0,16 ± 0,06	0,15 ± 0,04	0,17 ± 0,05	0,19 ± 0,05	0,2 ± 0,06	0,13 ± 0,06	0,48 ± 0,32
<b>N. Amo. (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,4 ± 0,3	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0	0,4 ± 0,4	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,4
<b>Precp. (mm)</b>	357,1 ± 33	601,7 ± 14,4	423,1 ± 0,0	535,2 ± 39,3	329,8 ± 22,1	254,8 ± 22,1	147,0 ± 14,7	103,5 ± 56,8	165 ± 21,2	244,8 ± 22,2	179,4 ± 44,1	282,7 ± 79,8
<b>Ventos (km/h)</b>	2,5 ± 0,7	2,3 ± 0,0	2,1 ± 0,0	2,6 ± 0,8	4,1 ± 0,4	3,7 ± 1,1	3,9 ± 0,5	4,6 ± 0,3	4,3 ± 0,3	3,3 ± 0,1	5,2 ± 1,7	2,9 ± 0,1
<b>CL-a (µg.L<sup>-1</sup>)</b>	2,6 ± 0,9	1,9 ± 0,5	0,01 ± 0,0	1,5 ± 0,4	2,8 ± 1,3	1,7 ± 0,9	5,9 ± 2,8	2,1 ± 1,3	4 ± 0,8	2,7 ± 1,3	4,4 ± 0,4	4,8 ± 1,5
<b>CL-b (µg.L<sup>-1</sup>)</b>	2 ± 2,3	1,8 ± 0,7	0,01 ± 0,0	0,6 ± 0,6	0,7 ± 0,5	0,7 ± 0,9	1 ± 0,8	0,3 ± 0,3	0,8 ± 0,5	0,3 ± 0,2	0,7 ± 0,5	1,2 ± 0,4
<b>CL-c (µg.L<sup>-1</sup>)</b>	0,3 ± 0,4	0,4 ± 0,6	0,01 ± 0,0	0,9 ± 0,7	0,6 ± 0,6	1,9 ± 1,3	1,9 ± 1,8	0,7 ± 0,6	1,4 ± 0,6	0,6 ± 0,5	1,1 ± 0,9	0,7 ± 0,9
<b>IET Total</b>	52 ± 1,6	50,4 ± 1,1	28,1 ± 0,0	50,4 ± 2	52,2 ± 1,8	49,9 ± 2,3	52,9 ± 1,4	53 ± 3,3	57,7 ± 4,3	51,9 ± 2,1	54,4 ± 0,3	54,6 ± 1,4

**Legenda:** Méd.: média; DP: Desvio padrão; Transp.: Transparência; Temp. °C: Temperatura; CE: Condutividade elétrica; TDS: Sólidos totais dissolvidos; OD: Oxigênio dissolvido; Turb.: Turbidez; STS: Sólidos totais em suspensão; CV: Cor verdadeira; FT: Fósforo total; Sal: Salinidade; N.-Amo.: Nitrogênio amoniacal; Precp.: Precipitação; CL: Clorofila-a; CL-b: Clorofila-b; CL-c: Clorofila-c; IET: Índice de estado trófico.

**Tabela 2.** Grupos funcionais do fitoplâncton, segundo Reynolds *et al.* (2002) e Padišák *et al.* (2009) registrados para o Rio Guamá (Pará, Brasil).

<b>CÓDONS</b>	<b>ESPÉCIES</b>	<b>DENSIDADE MÉDIA (ind.L-1)</b>	<b>HABITAT</b>	<b>TOLERANCIA</b>	<b>SENSIBILIDADE</b>
<b>A</b>	<i>Cyclotella Striata, C. Stylorum, Cyclotella sp., Discotella steiliger, Thalassiosira excentrica, T. lineatum, T. oestrupii, Thalassiosira spp.</i>	256,7	Lagos claros, geralmente bem misturados e com substrato pobre	Deficiência de nutrientes	Aumento do pH
<b>C</b>	<i>Cyclotella meneghiniana, Aulacoseira distans</i>	125,0	Lagos eutróficos, misturados, de porte pequeno/médio	Deficiência de luz e C	Estratificação e exaustão de Si
<b>D</b>	<i>Actinocyclus normanii</i>	852,0	Águas rasas, turvas, enriquecidas, incluindo rios	Descargas	Depleção de nutrientes
<b>F</b>	<i>Oocystis sp.</i>	122,5	Epilíminio claro	Baixa concentração de nutrientes e alta turbidez	Deficiência de CO <sub>2</sub> (provavelmente)
<b>J</b>	<i>Desmodesmus sp., Scenedesmus sp.</i>	315,7	Lagos, lagoas e rios rasos e enriquecidos	-	Estabelecer-se em pouca luz
<b>K</b>	<i>Aphanocapsa elachista, Aphanocapsa sp.</i>	175,0	Colunas curtas e ricas em nutrientes	-	Misturas profundas

Tabela 2. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	DENSIDADE MÉDIA (ind.L-1)	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
Lm	<i>Microcystis aeruginosa</i>	100,0	Epilimnio de lagos eutróficos (principalmente no verão)	C muito baixo	Pouca mistura, luz e estratificação
Lo	<i>Merismopedia tenuissima</i> , <i>Merismopedia</i> sp., <i>Peridinium</i> sp.	382,3	Epilimnio de lagos mesotróficos (principalmente no verão)	Perda de nutrientes	Misturas longas ou profundas
Mp	<i>Navicula cryptocephala</i>	100,0	Lagos agitados, rasos, inorganicamente turvos	-	-
N	<i>Cosmarium abbreviatum</i> , <i>Cosmarium</i> sp.	63,0	Epilimnio mesotrófico	Deficiência de nutrientes	Estratificação e aumento do pH
Na	<i>Staurastrum leptocladum</i> , <i>Staurastrum</i> sp.	114,5	Ambientes atelomíticos, oligo-mesotróficos em baixas latitudes	-	Desestratificação
P	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>A. veraluciae</i> , <i>Aulacoseira</i> spp., <i>Closterium curvatum</i> , <i>C. setaceum</i> , <i>Closterium</i> sp.	22.150	Epilimnio eutrófico	Luz suave e deficiência de C	Estratificação e depleção de Si
Q	<i>Gonyostomum</i> sp.	245,1	Pequenos lagos húmicos	Alta cor	-

Tabela 2. Continuação.

<b>CÓDONS</b>	<b>ESPÉCIES</b>	<b>DENSIDADE MÉDIA (ind.L-1)</b>	<b>HABITAT</b>	<b>TOLERANCIA</b>	<b>SENSIBILIDADE</b>
<b>S1</b>	<i>Pseudanabaena limnetica</i> , <i>Pseudanabaena</i> sp.	241,8	Camadas turvas e misturadas	Alta deficiência de luz	Perda de nutrientes
<b>Tb</b>	<i>Fragilaria</i> sp., <i>Gomphonema</i> sp., <i>Nitzschia</i> sp., <i>Surirella alata</i> , <i>S. linearis</i> , <i>S. ovalis</i> , <i>Surirella</i> sp.	258,2	Ambientes altamente lóticos (córregos e riachos)	-	-
<b>Tc</b>	<i>Phormidium</i> spp.	298,5	Águas paradas, eutróficas, ou rios de baixo fluxo com macrófitas emergentes	-	-
<b>Td</b>	<i>Oedogonium</i> sp.	50,0	Águas paradas, mesotróficas, ou rios de baixo fluxo com macrófitas emergentes e submersas	-	-
<b>W1</b>	<i>Euglena</i> sp.	108,3	Pequenas lagoas orgânicas	Alto DBO	Herbivoria
<b>W2</b>	<i>Trachelomonas</i> spp.	79,1	Lagos rasos e mesotróficos	-	-
<b>X1</b>	<i>Monoraphidium contortum</i> , <i>M. komarkovae</i> , <i>Monoraphidium</i> sp.	254,5	Camadas rasas e misturadas, em condições enriquecidas	Estratificação	Deficiência de nutriente e predação por filtradores
<b>X2</b>	<i>Rhodomonas</i> sp.	100,0	Camadas claras e misturadas em lagos mesotróficos	Estratificação	Mistura e predação por filtradores

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fitoplâncton foi bom indicador da dinâmica limnológica e da qualidade das águas do sistema de abastecimento de Belém (Pará), sobretudo dos reservatórios quando empregada à análise das comunidades através de índices ecológicos e grupos funcionais, fornecendo uma boa descrição das características ambientais e das variações espaço-temporais do fitoplâncton, além disso, permitiram inferir sobre o estado trófico do ambiente, configurando-se como boas ferramentas de monitoramento ambiental.

O reservatório Bolonha é o que se apresenta mais impactado, visto que é dominado por macrófitas aquáticas, as quais caracterizam poluição por matéria orgânica, e este fator contribui para diversas alterações na comunidade fitoplânctonica.

As águas do Rio Guamá apresentaram variação do fitoplâncton e das características físico-químicas em função da sazonalidade e da influência estuarina que favorecem a ocorrência e dominância de diatomáceas no ambiente. Os grupos funcionais- GFs foram bons descritores do estado trófico do ambiente e de suas características, por outro lado, o Índice de Comunidade Fitoplanctônica- ICF não se adequa às águas do rio, pois o Rio Guamá apresenta muitas diatomáceas, caracterizando a água como boa, contudo estes organismos podem também habitar ambientes com diversos espectros de eutrofização.

Desta forma, indica-se o uso dos índices ecológicos, grupos funcionais (GF, GFBM e GMF) nos reservatórios e o GF no Rio Guamá como boa ferramenta de acesso e monitoramento da qualidade da água.

## APÊNDICES

**Quadro 1.** Composição de espécies do sistema de abastecimento público de água da Região Metropolitana de Belém (Pará, Brasil).

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Actinella brasiliensis</i> Grunow	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Actinella</i> sp. F.W.Lewis	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Caloneis hyalina</i> Hustedt	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Caloneis</i> sp. Cleve	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Cosmioneis</i> sp. D.G.Mann & Stickle	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Delfineis surirela</i> (Ehrenberg) G.W.Andrews	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Diploneis gruendleri</i> (A.W.F.Schmidt) Cleve	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>D. ovalis</i> (Hilse) Cleve	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>D. subovalis</i> Cleve	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Diploneis</i> sp. Ehrenberg ex Cleve	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Encyonema neomesianum</i> Krammer	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Encyonema</i> spp. Kützing	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Eunotia camelus</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>E. didyma</i> Grunow ex Zimmermann	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>E. flexuosa</i> (Brébisson ex Kützing) Kützing	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>E. pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>E. trigibba</i> var. <i>trigibba</i> Hustedt	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Eunotia</i> sp. Ehrenberg	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Frustulia</i> spp. Rabenhorst	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Gomphonema</i> sp. Ehrenberg	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Gomphosphaenia</i> sp.	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Hantzschia</i> sp. Grunow	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	Bacillariophyta	Bacillariophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Nitzschia</i> sp. Hassall	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Pinnularia gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>P. gigas</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>P. microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Pinnularia</i> sp. Ehrenberg	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Placoneis clementis</i> (Grunow) E.J.Cox	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Planothidium salvadorianum</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Pleurosira</i> sp. (Meneghini) Trevisan	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Sellaphora rectangularis</i> (W.Gregory) Lange-Bertalot & Metzeltin	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Sellaphora</i> sp. Mereschowsky	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Staurosirella</i> sp. D.M.Wiliams & Round	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Surirella alata</i> Hustedt	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>S. linearis</i> W.Smith	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>S. ovata</i> Kützing	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Surirella</i> sp. Turpin	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Tryblionella granulata</i> (Grunow) D.G.Mann	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>T. levidesis</i>	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>T. punctata</i> W.Smith	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Tryblionella</i> sp. W.Smith	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Actinocyclus normanii</i> (W.Gregory ex Greville) Hustedt	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Actinocyclus</i> spp. Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Actinophycus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>A. splendens</i> (Shadbolt) Ralfs	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Actinophycus</i> sp. Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>A. veraluciae</i> Tremarin, Torgan & T. Ludwig	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Aulacoseira</i> spp.	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. divisus</i> Grunow	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. fatiatus</i>	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. gigas</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. jonensianus</i> (Greville) Ostenfeld	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. marginatus</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. rothii</i> (Ehrenberg) Grunow	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. perforatus</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Coscinodiscus</i> sp. Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. striata</i> (Kützing) Grunow	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>C. stylorum</i> Brightwell	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Cyclotella</i> sp. (Kützing) Brébisson	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Cymatodiscus planetophorus</i> (F.Meister) Hendey	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Cymatodiscus</i> sp. N.I.Hendey	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Hemidiscus</i> sp. Wallich	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Melosira nummuloides</i> C.Agardh	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C.Agardh	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>O. mobiliensis</i> (Bailey) Grunow	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>O. regia</i> (Schultze) Simonsen	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Odontella</i> spp. C. Agardh	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Polymyxus coronalis</i> L.W.Bailey	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Polymyxus</i> sp. Bailey ex L.W.Bailey	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Rhizosolenia</i> spp. Brightwell	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>T. lineata</i> Jousé	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>T. oestrupii</i> (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko ex Hasle	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>T. symmetrica</i> G. A. Fryxell & Hasle	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Thalassiosira</i> spp. Cleve	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Triceratium favus</i> Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>T. quadrata</i>	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Triceratium</i> sp. Ehrenberg	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Urosolenia</i> spp. Round & R. M. Crawford	Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae
<i>Fragilaria</i> spp. Lyngbye	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Thalassionema</i> sp. Grunow ex Mereschkowsky	Bacillariophyta	Bacillariophyceae
<i>Cymatosira</i> sp. Grunow	Bacillariophyta	Mediophyceae
<i>Cymatotheca weissflogii</i> (Grunow) Hendey	Bacillariophyta	Mediophyceae
<i>Discotella steielligera</i> (Cleve & Grunow) Houk & Klee	Bacillariophyta	Mediophyceae
<i>Chlamydomonas angulosa</i> O. Dill	Chlorophyta	Chlamydomphyceae
<i>C. ehrenbergii</i> Gorozhankin [Goroschankin]	Chlorophyta	Chlamydomphyceae
<i>Chlamydomonas</i> spp. Ehrenberg	Chlorophyta	Chlamydomphyceae
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	Chlorophyta	Chlamydomphyceae
<i>Eudorina</i> sp. Ehrenberg	Chlorophyta	Chlamydomphyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Pandorina</i> sp. Bory	Chlorophyta	Chlamydoephyceae
<i>Ankistrodesmus densus</i> Korshikov	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>A. hantzschii</i> Lagerheim	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Ankistrodesmus</i> sp. Corda	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>C. indicum</i> W. B. Turner	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>C. microporum</i> Nägeli	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Coelastrum</i> sp. Nägeli	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Crucigenia apiculata</i> (Lemmermann) Schmidle	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>C. fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>C. quadrata</i> Morren	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Crucigenia</i> spp. Morren	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Crucigeniella crucifera</i> (Wolle) Komárek	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) E. Hegewald	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>D. brasiliensis</i> (Bohlin) E. Hegewald	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>D. communis</i> (E. Hegewald) E. Hegewald	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>D. denticulatus</i> (Lagerheim) S. S. An, T. Friedl & E. Hegewald	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>D. granulatus</i> (West & G. S. West) Tsarenko	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>D. heteracanthus</i> (Guerrero) Hentschke & Torgan	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>D. intermedius</i> (Chodat) E. Hegewald	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Desmodesmus</i> sp. (Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Eutetramorus fottii</i> (Hindák) Komárek	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Eutetramorus</i> sp. Walton	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli	Chlorophyta	Chlorophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohlin	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>K. diana</i> (Bohlin) Comas 1980	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>M. contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>M. irregulare</i> (G. M. Smith) Komárková-Legnerová	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>M. komarkovae</i> Nygaard	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>M. tortile</i> (West & G. S. West) Komárková-Legnerová	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Monoraphidium</i> sp. Komárková-Legnerová	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Oedogonium</i> sp. Link ex Hirn	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Pteromonas angulosa</i> (H. J. Carter) Lemmermann	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Quadrigula</i> sp. Printz	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Scenedesmus acunae</i> Comas Gonzáles	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>S. arcuatus</i> (Lemmermann) Lemmermann	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>S. armatus</i> (Chodat) Chodat	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>S. disciformis</i> (Chodat) Fott & Komárek	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>S. ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>S. incrassatulus</i> Bohlin	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>S. obtusus</i> Meyen	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>S. securiformis</i> Playfair, G. I.	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Scenedesmus</i> spp. Meyen, F. J. F.	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Tetraedron minutum</i> (A. Braun) Hansgirg	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Tetrastrum glabrum</i> (Y. V. Roll) Ahlstrom & Tiffany	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Westella (Tetracoccus) botryoides</i> (West) De Wildeman	Chlorophyta	Chlorophyceae
<i>Acanthosphaera</i> sp. Lemmermann	Chlorophyta	Trebuxiophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Actinastrum</i> sp. Lagerheim	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Botryococcus</i> sp. Kützing	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Chodatella quadriseta</i> Lemmermann	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>C. subsalsa</i> (Lemmermann) Lemmermann	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>D. pulchellum</i> H. C. Wood	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>D. sphagnale</i> Hindák	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Dictyosphaerium</i> sp. Nägeli	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Muscidosphaerium tetrachotomum</i>	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Oocystis borgeii</i> J. W. Snow	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>O. lacustris</i> Chodat	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>O. marsonii</i> Lemmermann	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>O. solitaria</i> Wittrock	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Oocystis</i> sp. Nägeli ex A. Braun	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Centrtractus belenophorus</i> (Schmidle) Lemmermann	Chlorophyta	Treuboxiophyceae
<i>Centrtractus</i> sp. Lemmermann	Chlorophyta	Xanthophyceae
<i>Tetraedriella</i> sp. Pascher	Chlorophyta	Xanthophyceae
<i>Tetraplektron torsun</i> (W. B. Turner) Dedusenko-Shchegoleva	Chlorophyta	Xanthophyceae
<i>Closterium acutum</i> Brébisson	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>C. curvatum</i>	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>C. diana</i> Ehrenberg ex Ralfs	Chlorophyta	Zygnemaphyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>C. incurvum</i> Brébisson	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>C. lunula</i> Ehrenberg & Hemprich ex Ralfs	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>C. pronum</i> Brébisson	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>C. setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>Closterium</i> sp. Nitzsch ex Ralfs	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>Cosmarium abbreviatum</i> Raciborski	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>C. sphagnicolum</i> West & G. S. West	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>Cosmarium</i> sp. Corda ex Ralfs	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>Staurastrum cuspidatum</i> Brébisson	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>S. leptocladum</i> Nordstedt	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>S. pseudotetracerum</i> (Nordstedt) West & G. S. West	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>Staurastrum</i> sp. Meyen ex Ralfs,	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>Xanthidium</i> sp. Ehrenberg ex Ralfs	Chlorophyta	Zygnemaphyceae
<i>Cryptomonas brasiliensis</i> A. Castro, C. Bicudo & D. Bicudo	Cryptophyta	Cryptophyceae
<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja	Cryptophyta	Cryptophyceae
<i>Rhodomonas</i> sp. G. Karsten	Cryptophyta	Cryptophyceae
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G. S. West	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>A. elachista</i> West & G. S. West	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>A. holsatica</i> (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>A. incerta</i> (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>A. parasitica</i> (Kützing) Komárek & Anagnostidis	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Aphanocapsa</i> sp. C. Nägeli	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Cyanogranis</i> sp. F. Hindák	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Dolichospermum</i> sp. (Ralfs ex Bornet & Flahault) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Eucapsis densa</i> M. T. P. Azevedo, Sant'Anna, Senna, Komárek & Komárková	Cyanophyta	Cyanophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Geitlerinema amphibium</i> (C. Agardh ex Gomont) Anagnostidis	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>G. splendidum</i> (Greville ex Gomont) Anagnostidis	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Geitlerinema</i> sp. (Anagnostidis & Komárek) Anagnostidis	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Merismopedia danubiana</i> Hortobágyi	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>M. glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>M. tenuissima</i> Lemmermann	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Merismopedia</i> sp. Meyen	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Microcrocis pulchella</i> (Buell) Geitler	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Nostoc</i> sp. Vaucher ex Bornet & Flahault	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Oscillatoria curviceps</i> C. Agardh ex Gomont	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>O. simplicissima</i> Gomont	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Phormidium lividum</i> (Hansgirg) Forti	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Phormidium</i> spp. Kützing ex Gomont	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>P. isothrix</i> (Skuja) Komárek & Komárková	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>P. mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Pseudanabaena</i> sp. Lauterborn	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Radiocystis geminata</i> Skuja	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Snowella</i> sp. A. A. Elenkin	Cyanophyta	Cyanophyceae
<i>Dinoflagelado</i>	Dinophyta	-
<i>Glochidinium penardiforme</i> (Er.Lemmermann) Boltovskoy	Dinophyta	Dinophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>Glochidinium</i> spp. Boltovskoy	Dinophyta	Dinophyceae
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann	Dinophyta	Dinophyceae
<i>Peridinium</i> sp. Ehrenberg	Dinophyta	Dinophyceae
<i>Protoperidinium</i> sp. Bergh	Dinophyta	Dinophyceae
<i>Astasia</i> sp. Dujardin	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Euglena acus</i> (O. F. Müller) Ehrenberg	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>E. caudata</i> E. F. W. Hübner	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>E. oxyuris</i> Schmarida	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>E. pusilla</i> Playfair	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>E. spirogyra</i> Ehrenberg	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>E. tripteris</i> (Dujardin) G. A. Klebs	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>E. variabilis</i> G. A. Klebs	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Euglena</i> spp. Ehrenberg	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Phacus contortus</i> Bourrelly	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>P. curvicauda</i> Svirenko	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>P. longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>P. oscillans</i> G. A. Klebs	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>P. platalea</i> Drezepolski	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>P. pleuronectes</i> (O. F. Müller) Nitzsch ex Dujardin	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>P. triqueter</i> (Ehrenberg) Perty	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Phacus</i> spp. Dujardin	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Strombomonas urceolata</i> (A. Strokes) Deflandre	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Strombomonas</i> spp. Deflandre	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) F. Stein	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>T. australica</i> (Playfair) Deflandre	Euglenophyta	Euglenophyceae

Quadro 1. Continuação.

TÁXONS	DIVISÃO	CLASSE
<i>T. hispida</i> (Perty) F. Stein	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>T. similis</i> A. C. Stokes	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>T. volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Trachelomonas</i> sp. Ehrenberg	Euglenophyta	Euglenophyceae
<i>Chrysochromulina parva</i> Lackey	Haptophyta	Primnesiophyceae
<i>Dinobryon baravicum</i> Imhof	Ochrophyta	Chrysophyceae
<i>D. sertularia</i> Ehrenberg	Ochrophyta	Chrysophyceae
<i>Mallomonas</i> sp. Perty	Ochrophyta	Chrysophyceae
<i>Gonyostomum</i> sp. K.Diesing	Ochrophyta	Raphidophyceae
<i>Merotrichia</i> spp. Mereschkowsky	Ochrophyta	Raphidophyceae
<i>Vacuolaria</i> spp. Cienkowski	Ochrophyta	Raphidophyceae

**Tabela 1.** Espécies fitoplanctônicas e suas principais formas geométricas aplicadas ao cálculo do biovolume dos reservatórios abastecimento de Belém (Pará, Brasil), segundo Sun e Liu, 2003.

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
1	Esfera	<i>Acanthosphaera</i> sp. Lemmermann
1	Esfera	<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G. S. West
1	Esfera	<i>A. elachista</i> West & G. S. West
1	Esfera	<i>A. holsatica</i> (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek
1	Esfera	<i>A. incerta</i> (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek
1	Esfera	<i>A. parasitica</i> (Kützing) Komárek & Anagnostidis
1	Esfera	<i>Botryococcus</i> sp. Kützing
1	Esfera	<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris
1	Esfera	<i>C. indicum</i> W. B. Turner
1	Esfera	<i>C. microporum</i> Nägeli
1	Esfera	<i>Coelastrum</i> sp. Nägeli
1	Esfera	<i>Cyanogranis</i> sp. F. Hindák
1	Esfera	<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli
1	Esfera	<i>D. pulchellum</i> H. C. Wood
1	Esfera	<i>D. sphagnale</i> Hindák
1	Esfera	<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg
1	Esfera	<i>Eudorina</i> sp. Ehrenberg
1	Esfera	<i>Eutetramorus fottii</i> (Hindák) Komárek
1	Esfera	<i>Eutetramorus</i> sp. Walton
1	Esfera	<i>Gloeocystis vesiculosa</i> Nägeli
1	Esfera	<i>Golenkinia radiata</i> Chodat
1	Esfera	<i>Gonyostomum</i> sp. K.Diesing

Tabela 1. Continuação.

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
1	Esfera	<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius
1	Esfera	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing
1	Esfera	<i>Muscidosphaerium tetrachotomum</i>
1	Esfera	<i>Pandorina</i> sp. Bory
1	Esfera	<i>Radiocystis geminata</i> Skuja
1	Esfera	<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák
1	Esfera	<i>Snowella</i> sp. A. A. Elenkin
1	Esfera	<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
1	Esfera	<i>Westella (Tetracoccus) botryoides</i> (West) De Wildeman
2	Esferóide prolato	<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim
2	Esferóide prolato	<i>Chlamydomonas angulosa</i> O. Dill
2	Esferóide prolato	<i>C. ehrenbergii</i> Gorozhankin [Goroschankin]
2	Esferóide prolato	<i>Chlamydomonas</i> spp. Ehrenberg
2	Esferóide prolato	<i>Chodatella quadriseta</i> Lemmermann
2	Esferóide prolato	<i>C. subsalsa</i> (Lemmermann) Lemmermann
2	Esferóide prolato	<i>Chrysochromulina parva</i> Lackey
2	Esferóide prolato	<i>Cosmarium abbreviatum</i> Raciborski
2	Esferóide prolato	<i>C. sphagnicolum</i> West & G. S. West
2	Esferóide prolato	<i>Cosmarium</i> sp. Corda ex Ralfs
2	Esferóide prolato	<i>Cryptomonas brasiliensis</i> A. Castro, C. Bicudo & D. Bicudo

Tabela 1. Continuação.

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
2	Esferóide prolato	<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) E. Hegewald
2	Esferóide prolato	<i>D. brasiliensis</i> (Bohlin) E. Hegewald
2	Esferóide prolato	<i>D. communis</i> (E. Hegewald) E. Hegewald
2	Esferóide prolato	<i>D. denticulatus</i> (Lagerheim) S. S. An, T. Friedl & E. Hegewald
2	Esferóide prolato	<i>D. granulatus</i> (West & G. S. West) Tsarenko
2	Esferóide prolato	<i>D. heteracanthus</i> (Guerrero) Hentschke & Torgan
2	Esferóide prolato	<i>D. intermedius</i> (Chodat) E. Hegewald
2	Esferóide prolato	<i>Dinobryon baravicum</i> Imhof
2	Esferóide prolato	<i>D. sertularia</i> Ehrenberg
2	Esferóide prolato	<i>Glochidinium</i> spp. Boltovskoy
2	Esferóide prolato	<i>Mallomonas</i> sp. Perty
2	Esferóide prolato	<i>Merotrichia</i> spp. Mereschkowsky
2	Esferóide prolato	<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli
2	Esferóide prolato	<i>Oocystis borgeii</i> J. W. Snow
2	Esferóide prolato	<i>O. lacustris</i> Chodat
2	Esferóide prolato	<i>O. marsonii</i> Lemmermann
2	Esferóide prolato	<i>O. solitaria</i> Wittrock
2	Esferóide prolato	<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemmermann
2	Esferóide prolato	<i>Peridinium</i> sp. Ehrenberg
2	Esferóide prolato	<i>Pteromonas angulosa</i> (H. J. Carter) Lemmermann
2	Esferóide prolato	<i>Rhodomonas minuta</i> Skuja

Tabela 1. Continuação.

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
2	Esferóide prolato	<i>Scenedesmus acunae</i> Comas Gonzáles
2	Esferóide prolato	<i>S. arcuatus</i> (Lemmermann) Lemmermann
2	Esferóide prolato	<i>S. armatus</i> (Chodat) Chodat
2	Esferóide prolato	<i>S. disciformis</i> (Chodat) Fott & Komárek
2	Esferóide prolato	<i>S. ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat
2	Esferóide prolato	<i>S. incrassatulus</i> Bohlin
2	Esferóide prolato	<i>S. obtusus</i> Meyen
2	Esferóide prolato	<i>S. securiformis</i> Playfair, G. I.
2	Esferóide prolato	<i>Scenedesmus</i> spp. Meyen, F. J. F.
2	Esferóide prolato	<i>Strombomonas urceolata</i> (A. Stokes) Deflandre
2	Esferóide prolato	<i>Strombomonas</i> spp. Deflandre
2	Esferóide prolato	<i>Tetraedron minutum</i> (A. Braun) Hansgirg
2	Esferóide prolato	<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) F. Stein
2	Esferóide prolato	<i>T. australica</i> (Playfair) Deflandre
2	Esferóide prolato	<i>T. hispida</i> (Perty) F. Stein
2	Esferóide prolato	<i>T. similis</i> A. C. Stokes
2	Esferóide prolato	<i>Trachelomonas</i> sp. Ehrenberg
2	Esferóide prolato	<i>Xanthidium</i> sp. Ehrenberg ex Ralfs
4	Cilindro	<i>Actinocyclus</i> spp. Ehrenberg
4	Cilindro	<i>Actinophycus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
4	Cilindro	<i>A. splendens</i> (Shadbolt) Ralfs

Tabela 1. Continuação.

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
4	Cilindro	<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen
4	Cilindro	<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen
4	Cilindro	<i>A. veraluciae</i> Tremarin, Torgan & T. Ludwig
4	Cilindro	<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg
4	Cilindro	<i>C. divisus</i> Grunow
4	Cilindro	<i>C. jonensianus</i> (Greville) Ostenfeld
4	Cilindro	<i>C. oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
4	Cilindro	<i>Coscinodiscus</i> sp. Ehrenberg
4	Cilindro	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing
4	Cilindro	<i>C. striata</i> (Kützing) Grunow
4	Cilindro	<i>Odontella mobiliensis</i> (Bailey) Grunow
4	Cilindro	<i>O. regia</i> (Schultze) Simonsen
4	Cilindro	<i>Odontella</i> spp. C. Agardh
4	Cilindro	<i>Rhizosolenia</i> spp. Brightwell
4	Cilindro	<i>Thalassiosira oestrupii</i> (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko ex Hasle
4	Cilindro	<i>T. eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve
4	Cilindro	<i>T. symmetrica</i> G. A. Fryxell & Hasle
4	Cilindro	<i>Thalassiosira</i> spp. Cleve
4	Cilindro	<i>Urosolenia</i> spp. Round & R. M. Crawford
7	Cone	<i>Tetraedriella</i> sp. Pascher
9	Cone + Meia esfera	<i>Vacuolaria</i> spp. Cienkowski

Tabela 1. Continuação

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
10	Caixa retangular	<i>Crucigenia apiculata</i> (Lemmermann) Schmidle
10	Caixa retangular	<i>C. fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle
10	Caixa retangular	<i>C. quadrata</i> Morren
10	Caixa retangular	<i>Crucigenia</i> spp. Morren
10	Caixa retangular	<i>Crucigeniella crucifera</i> (Wolle) Komárek
10	Caixa retangular	<i>Eucapsis densa</i> M. T. P. Azevedo, Sant'Anna, Senna, Komárek & Komárková
10	Caixa retangular	<i>Merismopedia danubiana</i> Hortobágyi
10	Caixa retangular	<i>M. glauca</i> (Ehrenberg) Kützing
10	Caixa retangular	<i>M. tenuissima</i> Lemmermann
10	Caixa retangular	<i>Microcrocis pulchella</i> (Buell) Geitler
10	Caixa retangular	<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve
10	Caixa retangular	<i>Sellaphora</i> sp. Mereschowsky
10	Caixa retangular	<i>Tetrastrum glabrum</i> (Y. V. Roll) Ahlstrom & Tiffany
11	Prisma em base elíptica	<i>Caloneis</i> sp. Cleve
11	Prisma em base elíptica	<i>Fragilaria</i> spp. Lyngbye
11	Prisma em base elíptica	<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst
11	Prisma em base elíptica	<i>Frustulia</i> spp. Rabenhorst
11	Prisma em base elíptica	<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot
11	Prisma em base elíptica	<i>Placoneis clementis</i> (Grunow) E.J.Cox
11	Prisma em base elíptica	<i>Planothidium salvadorianum</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
11	Prisma em base elíptica	<i>Surirella</i> sp. Turpin

Tabela 1. Continuação

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
12	Prisma elíptico com constrição transapical	<i>Diploneis gruendleri</i> (A.W.F.Schmidt) Cleve
14	Meio prisma elíptico	<i>Encyonema neomesianum</i> Krammer
14	Meio prisma elíptico	<i>Encyonema</i> spp. Kützing
15	Prisma em forma de foice	<i>Eunotia camelus</i> Ehrenberg
15	Prisma em forma de foice	<i>E. didyma</i> Grunow ex Zimmermann
15	Prisma em forma de foice	<i>E. flexuosa</i> (Brébisson ex Kützing) Kützing
16	Foice cilíndrica	<i>Ankistrodesmus densus</i> Korshikov
16	Foice cilíndrica	<i>A. hantzschii</i> Lagerheim
16	Foice cilíndrica	<i>Closterium acutum</i> Brébisson
16	Foice cilíndrica	<i>C. diana</i> Ehrenberg ex Ralfs
16	Foice cilíndrica	<i>C. incurvum</i> Brébisson
16	Foice cilíndrica	<i>C. pronum</i> Brébisson
16	Foice cilíndrica	<i>C. setaceum</i> Ehrenberg ex Ralfs
16	Foice cilíndrica	<i>Closterium</i> sp. Nitzsch ex Ralfs
16	Foice cilíndrica	<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohlin
16	Foice cilíndrica	<i>K. diana</i> (Bohlin) Comas 1980
16	Foice cilíndrica	<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák
16	Foice cilíndrica	<i>M. contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová
16	Foice cilíndrica	<i>M. irregulare</i> (G. M. Smith) Komárková-Legnerová
16	Foice cilíndrica	<i>M. tortile</i> (West & G. S. West) Komárková-Legnerová
16	Foice cilíndrica	<i>Quadrigula</i> sp. Printz

Tabela 1. Continuação.

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
18	Prisma em base triangular	<i>Triceratium favus</i> Ehrenberg
19	Pirâmide	<i>Tetraplektron torsun</i> (W. B. Turner) Dedusenko-Shchegoleva
21	Gomphonemoide	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
21	Gomphonemoide	<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing
21	Gomphonemoide	<i>Gomphonema</i> sp. Ehrenberg
21	Gomphonemoide	<i>Gomphosphaenia</i> sp.
22	Cone+ Meia esfera+Cilíndro	<i>Astasia</i> sp. Dujardin
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>Euglena acus</i> (O. F. Müller) Ehrenberg
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>E. caudata</i> E. F. W. Hübner
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>E. oxyuris</i> Schmarda
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>E. pusilla</i> Playfair
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>E. spirogyra</i> Ehrenberg
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>E. tripteris</i> (Dujardin) G. A. Klebs
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>E. variabilis</i> G. A. Klebs
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>Euglena</i> spp. Ehrenberg
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>Phacus contortus</i> Bourrelly
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>P. curvicauda</i> Svirenko
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>P. longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>P. oscillans</i> G. A. Klebs
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>P. platalea</i> Drezepolski
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>P. pleuronectes</i> (O. F. Müller) Nitzsch ex Dujardin
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>P. triqueter</i> (Ehrenberg) Perty
22	Cone+ Meia esfera+ Cilíndro	<i>Phacus</i> spp. Dujardin

Tabela 1. Continuação.

SHAPE CODE	FORMA	ESPÉCIES
27	Cone + 3 Cilíndros	<i>Staurastrum cuspidatum</i> Brébisson
27	Cone + 3 Cilíndros	<i>S. leptocladum</i> Nordstedt
27	Cone + 3 Cilíndros	<i>S. pseudotetracerum</i> (Nordstedt) West & G. S. West
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Geitlerinema amphibium</i> (C. Agardh ex Gomont) Anagnostidis
28	Cilindro (visão de corte)	<i>G. splendidum</i> (Greville ex Gomont) Anagnostidis
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Oscillatoria curviceps</i> C. Agardh ex Gomont
28	Cilindro (visão de corte)	<i>O. simplicissima</i> Gomont
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Phormidium lividum</i> (Hansgirg) Forti
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Phormidium</i> spp. Kützing ex Gomont
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Planktolyngbya limnetica</i> (Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek
28	Cilindro (visão de corte)	<i>P. isothrix</i> (Skuja) Komárek & Komárková
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Pleurosira</i> sp. (Meneghini) Trevisan
28	Cilindro (visão de corte)	<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek
28	Cilindro (visão de corte)	<i>P. mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe
31	Caixa + Prisma elíptico	<i>Centritractus belenophorus</i> (Schmidle) Lemmermann
31	Caixa + Prisma elíptico	<i>Centritractus</i> sp. Lemmermann

**Tabela 2.** Composição das espécies identificadas nos reservatórios (Água Preta e Bolonha) e Rio Guamá (Belém, Pará, Brasil).

TÁXONS	ÁGUA PRETA	BOLONHA	GUAMÁ
<i>Acanthosphaera</i> sp.	X	X	
<i>Actinastrum hantzschii</i>		X	X
<i>Actinastrum</i> sp.			X
<i>Actinella brasiliensis</i>			X
<i>Actinella</i> sp.			X
<i>Actinocyclus normanii</i>			X
<i>A. senarius</i>	X		X
<i>A. splendens</i>	X		X
<i>Actinocyclus</i> spp.	X		X
<i>Actinophycus</i> sp.			X
<i>Ankistrodesmus densus</i>	X		
<i>A. hantzschii</i>	X		
<i>Ankistrodesmus</i> sp.			X
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	X	X	
<i>A. elachista</i>	X	X	X
<i>A. holsatica</i>	X	X	
<i>A. incerta</i>	X	X	
<i>A. parasítica</i>	X	X	
<i>Aphanocapsa</i> sp.			X
<i>Astasia</i> sp.	X	X	
<i>Aulacoseira distans</i>	X		X
<i>A. granulata</i>	X	X	X
<i>A. veralucia</i>	X	X	X
<i>Aulacoseira</i> spp.			X
<i>Botryococcus</i> spp.	X		X
<i>Caloneis hyalina</i>			X
<i>Caloneis</i> sp.	X		X
<i>Centrtractus belenophorus</i>	X	X	
<i>Centrtractus</i> sp.	X		
<i>Chlamydomonas angulosa</i>	X	X	
<i>C. ehrenbergii</i>	X	X	
<i>Chlamydomonas</i> spp.	X	X	
<i>Chodatella quadriseta</i>	X		
<i>C. subsalsa</i>	X		
<i>Chrysochromulina parva</i>	X	X	
<i>Closterium acutum</i>	X	X	
<i>C. curvatum</i>			X
<i>C. diana</i>	X	X	
<i>C. incurvum</i>	X		

Tabela 2. Continuação.

TÁXONS	ÁGUA PRETA	BOLONHA	GUAMÁ
<i>C. lúnula</i>			X
<i>C. pronum</i>	X	X	
<i>C. setaceum</i>	X		X
<i>Closterium</i> spp.	X	X	X
<i>Coelastrum astroideum</i>	X		
<i>C. indicum</i>	X	X	
<i>C. microporum</i>	X	X	
<i>Coelastrum</i> sp. 1	X	X	
<i>Coscinodiscus centralis</i>	X	X	
<i>C. divisus</i>	X		
<i>C. fatiatus</i>			X
<i>C. gigas</i>			X
<i>C. jonensianus</i>	X		
<i>C. marginatus</i>			X
<i>C. oculus-iridis</i>	X		
<i>C. perforatus</i>			X
<i>C. rothii</i>			X
<i>Coscinodiscus</i> spp.	X		X
<i>Cosmarium abbreviatum</i>		X	X
<i>C. sphagnicolum</i>	X	X	
<i>Cosmarium</i> spp.		X	X
<i>Cosmioneis</i> sp.			X
<i>Crucigenia apiculata</i>	X		
<i>C. fenestrata</i>	X	X	
<i>C. quadrata</i>	X	X	
<i>Crucigenia</i> spp.	X	X	
<i>Crucigeniella crucífera</i>	X		
<i>Cryptomonas brasiliensis</i>	X	X	
<i>Cyanogranis</i> sp.	X	X	
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	X		X
<i>C. stylorum</i>			X
<i>C. striata</i>	X		X
<i>Cyclotella</i> sp.			X
<i>Cymatodiscus planetophorus</i>			X
<i>Cymatodiscus</i> sp.			X
<i>Cymatosira</i> sp.			X
<i>Cymatotheca weissflogii</i>			X
<i>Desmodesmus armatus</i>	X		
<i>D. brasiliensis</i>	X	X	

Tabela 2. Continuação.

TÁXONS	ÁGUA PRETA	BOLONHA	GUAMÁ
<i>D. communis</i>	X	X	
<i>D. denticulatus</i>	X	X	
<i>D. granulatus</i>		X	
<i>D. heteracanthus</i>	X		
<i>D. intermedius</i>	X		
<i>Desmodesmus</i> sp.			X
<i>Delfineis surirela</i>			X
<i>Dictyosphaeria</i> sp.			X
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	X	X	
<i>D. pulchellum</i>	X	X	
<i>D. sphagnale</i>	X		
<i>Dictyosphaerium</i> sp.			X
<i>Dinobryon baravicum</i>	X	X	
<i>D. sertularia</i>	X		
<i>Dinoflagelado</i>			X
<i>Diploneis gruendleri</i>	X		X
<i>D. ovalis</i>			X
<i>D. subovalis</i>			X
<i>Diploneis</i> sp.			X
<i>Discotella steielligera</i>			X
<i>Dolichospermum</i> sp.			X
<i>Encyonema neomesianum</i>	X	X	
<i>Encyonema</i> spp.	X	X	X
<i>Eucapsis densa</i>	X	X	
<i>Eudorina elegans</i>	X	X	
<i>Eudorina</i> sp.	X		
<i>Euglena acus</i>	X	X	
<i>E. caudata</i>	X	X	
<i>E. oxyuris</i>	X	X	
<i>E. pusilla</i>	X	X	
<i>E. spirogyra</i>	X		
<i>E. tripteris</i>	X		
<i>E. variabilis</i>	X		
<i>Euglena</i> spp.	X		X
<i>Eunotia camelus</i>	X		
<i>E. didyma</i>	X	X	
<i>E. flexuosa</i>	X		X
<i>E. pectinalis</i>			X
<i>E. trigibba</i> var. <i>trigibba</i>			X
<i>Eunotia</i> sp.			X

Tabela 2. Continuação.

TÁXONS	ÁGUA PRETA	BOLONHA	GUAMÁ
<i>Eutetramorus fottii</i>	X		
<i>Eutetramorus</i> sp.	X		
<i>Fragilaria</i> sp.		X	X
<i>Frustulia saxônica</i>	X		X
<i>Frustulia</i> spp.	X	X	
<i>Geitlerinema amphibium</i>		X	
<i>G. splendidum</i>	X		
<i>Geitlerinema</i> sp.			X
<i>Glochidinium penardiforme</i>			X
<i>Glochidinium</i> spp.	X		X
<i>Gloeocystis vesiculosa</i>	X		
<i>Golenkinia radiata</i>	X	X	
<i>Gomphonema gracile</i>	X	X	
<i>G. parvulum</i>		X	
<i>Gomphonema</i> spp.	X		X
<i>Gomphosphaenia</i> sp.	X	X	
<i>Gonyostomum</i> sp.	X	X	X
<i>Hantzschia</i> sp.			X
<i>Hemidiscus</i> sp.			X
<i>Kirchneriella diana</i>	X		
<i>K. contorta</i>	X	X	
<i>Mallomonas</i> sp.1	X	X	
<i>Melosira nummuloides</i>			X
<i>Merismopedia danubiana</i>	X	X	
<i>M. glauca</i>	X	X	
<i>M. tenuissima</i>	X	X	X
<i>Merismopedia</i> sp.			X
<i>Merotrichia</i> spp.	X	X	
<i>Micractinium pusillum</i>	X	X	
<i>Microcrocis pulchella</i>	X		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	X	X	
<i>M. contortum</i>	X	X	X
<i>M. irregulare</i>	X	X	
<i>M. komarkovae</i>			X
<i>M. tortile</i>	X	X	
<i>Monoraphidium</i> sp.			X
<i>Muscidosphaerium tetrachotomum</i>	X	X	
<i>Navicula cryptocephala</i>			X
<i>N. erifuga</i>	X		

Tabela 2. Continuação.

TÁXONS	ÁGUA PRETA	BOLONHA	GUAMÁ
<i>Nitschia</i> sp.			X
<i>Nostoc</i> sp.			X
<i>Nephrocytium agardhianum</i>	X	X	
<i>Odontella aurita</i>			X
<i>O. mobiliensis</i>	X		
<i>O. regia</i>	X		
<i>Odontella</i> spp.	X	X	X
<i>Oedogonium</i> sp.			X
<i>Oocystis borgeii</i>	X	X	
<i>O. lacustres</i>	X	X	
<i>O. marsonii</i>	X	X	
<i>O. solitária</i>	X	X	
<i>Oocystis</i> sp.			X
<i>Oscillatoria curviceps</i>	X	X	
<i>O. simplicíssima</i>		X	
<i>Pandorina</i> sp.	X		
<i>Paralia sulcata</i>			X
<i>Peridinium inconspicuum</i>	X	X	
<i>Peridinium</i> spp.	X		X
<i>Pinnularia gibba</i>			X
<i>P. gigas</i>			X
<i>P. microstauron</i>	X		
<i>Pinnularia</i> sp.			X
<i>Phacus contortus</i>	X	X	
<i>P. curvicauda</i>	X		
<i>P. longicauda</i>	X		
<i>P. oscillans</i>	X	X	
<i>P. platalea</i>	X		
<i>P. pleuronectes</i>	X		
<i>P. triqueter</i>	X		
<i>Phacus</i> spp.	X	X	
<i>Phormidium lividum</i>	X	X	
<i>Phormidium</i> spp.	X	X	X
<i>Placoneis clementes</i>	X	X	X
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	X	X	
<i>Planktothrix agardhii</i>	X	X	
<i>P. isothrix</i>	X	X	
<i>Planothidium salvadorianum</i>	X		
<i>Pleurosira</i> sp.	X		
<i>Polymyxus coronalis</i>			X

Tabela 2. Continuação.

TÁXONS	ÁGUA PRETA	BOLONHA	GUAMÁ
<i>Polymyxus</i> sp.			X
<i>Protoperidinium</i> sp.			X
<i>Pseudanabaena limnetica</i>	X	X	X
<i>P. mucicola</i>	X		
<i>Pseudanabaena</i> sp.			X
<i>Pteromonas angulosa</i>	X	X	
<i>Quadrigula</i> sp.	X	X	
<i>Radiocystis geminata</i>	X		
<i>Rhodomonas minuta</i>	X	X	
<i>Rhodomonas</i> sp.			X
<i>Rhizosolenia</i> spp.	X	X	
<i>Scenedesmus acunae</i>	X	X	
<i>S. arcuatus</i>	X		
<i>S. armatus</i>	X	X	
<i>S. disciformis</i>	X		
<i>S. ecornis</i>	X		
<i>S. incrassatulus</i>	X		
<i>S. securiformis</i>	X	X	
<i>Scenedesmus</i> spp.	X	X	X
<i>Sellaphora rectangularis</i>			X
<i>Sellaphora</i> sp.	X		
<i>Snowella lacustres</i>	X	X	
<i>Snowella</i> sp.	X		
<i>Staurastrum cuspidatum</i>	X	X	
<i>S. leptocladum</i>	X	X	X
<i>S. pseudotetracerum</i>	X	X	
<i>Staurastrum</i> sp.			X
<i>Staurosirella</i> sp.			X
<i>Strombomonas urceolata</i>	X		
<i>Strombomonas</i> spp.	X	X	
<i>Surirella alata</i>			X
<i>S. linearis</i>			X
<i>S. ovata</i>			X
<i>Surirella</i> spp.	X		X
<i>Tetradriella</i> sp.	X		
<i>Tetraedron minutum</i>	X	X	
<i>Tetraplektron torsun</i>	X	X	
<i>Tetrastrum glabrum</i>	X		
<i>Thalassionema nitzschioides</i>			X
<i>Thalassionema</i> sp.			X

Tabela 2. Continuação.

TÁXONS	ÁGUA PRETA	BOLONHA	GUAMÁ
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	X		X
<i>T. lineata</i>			X
<i>T. oestrupii</i>	X		X
<i>T. symmetrica</i>	X		
<i>Thalassiosira</i> spp.	X		X
<i>Trachelomonas armata</i>	X	X	
<i>T. australica</i>	X	X	
<i>T. hispida</i>	X	X	
<i>T. similis</i>	X	X	
<i>T. volvocina</i>	X	X	
<i>Trachelomonas</i> sp.	X	X	X
<i>Triceratium favus</i>	X		X
<i>T. quadrata</i>			X
<i>Triceratium</i> sp.			X
<i>Tryblionella levidesis</i>			X
<i>T. punctata</i>			X
<i>Tryblionella</i> sp.			X
<i>Trybliophycus</i> sp.			X
<i>Urosolenia</i> spp.	X	X	
<i>Vacuolaria</i> spp.	X	X	
<i>Xanthidium</i> sp.	X	X	
<i>Westella botryoides</i>	X	X	

**Tabela 3.** Espécies dos Grupos Funcionais (REYNOLDS et al., 2002; PADISÁK et al., 2009) dos reservatórios (Água Preta e Bolonha) e Rio Guamá.

CÓDONS	ESPÉCIES	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
A	<i>Cyclotella striata</i> , <i>C. stylorum</i> ** , <i>Cyclotella sp.</i> ** , <i>Discotella steilligera</i> ** , <i>Thalassiosira eccentrica</i> , <i>T. lineata</i> ** , <i>T. oestrupii</i> , <i>Thalassiosira spp.</i> , <i>Rhizosolenia spp.</i> , <i>Urosolenia spp.</i> *	Lagos claros, geralmente bem misturados e com substrato pobre	Deficiência de nutrientes	Aumento do pH
C	<i>Aulacoseira distans</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>C. striata</i>	Lagos eutróficos, misturados, de porte pequeno/médio	Deficiência de luz e C	Estratificação e exaustão de Si
D	<i>Actinocyclus normanii</i> **	Águas rasas, turvas, enriquecidas, incluindo rios	Descargas	Depleção de nutrientes
E	<i>Dinobryon baravicum</i> * , <i>Dinobryon sertularia</i> * , <i>Mallomonas sp.</i> *	Geralmente lagos pequenos, oligotróficos com substrato pobre ou heterotróficos	Baixa concentração de nutrientes (mixotrofia)	Deficiência de CO <sub>2</sub>

**Legenda:** \*Espécies presentes apenas nos reservatórios; \*\*Espécies presentes apenas no Rio Guamá.

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
<b>F</b>	<i>Ankistrodesmus densus*</i> , <i>A. hantzschii*</i> , <i>Crucigenia apiculata*</i> , <i>C. fenestrata*</i> , <i>C. quadrata*</i> , <i>Crucigenia spp.*</i> , <i>Crucigeniella crucifera*</i> , <i>Dictyosphaerium ehrenbergianum*</i> , <i>D. pulchellum*</i> , <i>D. sphagnale*</i> , <i>Dictyosphaerium sp.**</i> , <i>Eutetramorus fottii*</i> , <i>Eutetramorus sp.*</i> , <i>Gloeocystis vesiculosa*</i> , <i>Kirchneriella contorta*</i> , <i>K. diana*</i> , <i>Micractinium pusillum*</i> , <i>Muscidosphaerium tetrachotomum*</i> , <i>Nephrocytium agardhianum*</i> , <i>Oocystis borgeii*</i> , <i>O. lacustris*</i> , <i>O. solitaria*</i> , <i>O. marsonii*</i> , <i>Oocystis sp.**</i> , <i>Westella botryoides</i>	Epilíminio claro	Baixa concentração de nutrientes e alta turbidez	Deficiência de CO <sub>2</sub> (provavelmente)
<b>G</b>	<i>Eudorina elegans</i> , <i>Eudorina sp.</i> , <i>Pandorina sp.</i>	Colunas d'água curtas e ricas em nutrientes	Alta luz	Deficiência de nutrientes

**Legenda:** \*Espécies presentes apenas nos reservatórios; \*\*Espécies presentes apenas no Rio Guamá.

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
<b>J</b>	<i>Coelastrum astroideum*</i> , <i>C. indicum*</i> , <i>C. microporum*</i> , <i>Coelastrum</i> sp.*, <i>Desmodesmus brasiliensis*</i> , <i>D. communis*</i> , <i>D. denticulatus*</i> , <i>D. armatus*</i> , <i>D. granulatus*</i> , <i>D. heteracanthus*</i> , <i>D. intermedius*</i> , <i>Desmodesmus</i> sp.**, <i>Golenkinia radiata*</i> , <i>Scenedesmus acunae*</i> , <i>S. arcuatus*</i> , <i>S. armatus*</i> , <i>S. disciformis*</i> , <i>S. ecornis*</i> , <i>S. incrassatulus*</i> , <i>S. obtusus*</i> , <i>S. securiformis*</i> , <i>Scenedesmus</i> spp., <i>Tetraedron minutum*</i> , <i>Tetrastrum glabrum*</i>	Lagos, lagoas e rios rasos e enriquecidos	-	Estabelecer-se em pouca luz
<b>K</b>	<i>Aphanocapsa delicatissima*</i> , <i>A. elachista</i> , <i>A. holsatica*</i> , <i>A. incerta*</i> , <i>A. parasitica*</i> , <i>Aphanocapsa</i> sp.**	Colunas curtas e ricas em nutrientes	-	Misturas profundas
<b>Lm</b>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Epilimnio de lagos eutróficos (principalmente no verão)	C muito baixo	Pouca mistura, luz e estratificação

**Legenda:** \*Espécies presentes apenas nos reservatórios; \*\*Espécies presentes apenas no Rio Guamá.

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
Lo	<i>Merismopedia danubiana</i> *, <i>M. glauca</i> *, <i>M. tenuissima</i> , <i>Merismopedia</i> sp.**, <i>Peridinium inconspicuum</i> *, <i>Peridinium</i> sp.	Epilimnio de lagos mesotróficos (principalmente no verão)	Perda de nutrientes	Misturas longas ou profundas
M	<i>Radiocystis geminata</i>	Camadas misturadas de pequenos lagos eutróficos de baixa latitude	Alta insolação	Perda de nutrientes e baixa luz total
Mp	<i>Navicula cryptocephala</i> ** , <i>N. erifuga</i> *, <i>Pleurosira</i> sp.* , <i>Surirella</i> spp.	Lagos agitados, rasos, inorganicamente turvos	-	-
N	<i>Cosmarium abbreviatum</i> , <i>C. sphagnicolum</i> *, <i>Cosmarium</i> sp.	Epilimnio mesotrófico	Deficiência de nutrientes	Estratificação e aumento do pH
Na	<i>Staurastrum cuspidatum</i> , <i>Staurastrum leptocladum</i> , <i>Staurastrum pseudotetracerum</i>	Ambientes atelomíticos, oligo-mesotróficos em baixas latitudes	-	Desestratificação

**Legenda:** \*Espécies presentes apenas nos reservatórios; \*\*Espécies presentes apenas no Rio Guamá.

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
P	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>A. veraluciae</i> , <i>Aulacoseira</i> spp.***, <i>Closterium acutum</i> *, <i>C. curvatum</i> **, <i>C. diana</i> *, <i>C. incurvum</i> *, <i>C. pronum</i> *, <i>Closterium setaceum</i> , <i>Closterium</i> sp.	Epilimínio eutrófico	Luz suave e deficiência de C	Estratificação e depleção de Si
Q	<i>Gonyostomum</i> sp.	Pequenos lagos húmicos	Alta cor	-
S1	<i>Planktothrix agardhii</i> *, <i>P. isothrix</i> *, <i>Pseudanabaena limnetica</i> , <i>Pseudanabaena</i> sp.**	Camadas turvas e misturadas	Alta deficiência de luz	Perda de nutrientes
Tb	<i>Fragilaria</i> sp., <i>Gomphonema gracile</i> *, <i>G. parvulum</i> *, <i>Gomphonema</i> sp., <i>Nitzschia</i> sp.***, <i>Surirella alata</i> **, <i>S. linearis</i> **, <i>S. ovalis</i> **, <i>Surirella</i> sp.	Ambientes altamente lóxicos (córregos e riachos)	-	-
Tc	<i>Oscillatoria curviceps</i> *, <i>O. simplicissima</i> *, <i>Phormidium lividum</i> *, <i>Phormidium</i> spp.	Águas paradas, eutróficas, ou rios de baixo fluxo com macrófitas superficiais	-	-
Td	<i>Oedogonium</i> sp.**	Águas paradas, mesotróficas, ou rios de baixo fluxo com macrófitas emergentes e submersas	-	-

**Legenda:** \*Espécies presentes apenas nos reservatórios; \*\*Espécies presentes apenas no Rio Guamá.

Tabela 3. Continuação.

CÓDONS	ESPÉCIES	HABITAT	TOLERANCIA	SENSIBILIDADE
W1	<i>Astasia</i> sp.*, <i>Euglena acus</i> *, <i>E. caudata</i> *, <i>E. oxyuris</i> *, <i>E. pusilla</i> *, <i>E. spirogyra</i> *, <i>E. tripteris</i> *, <i>E. variabilis</i> *, <i>Euglena</i> spp., <i>Phacus contortus</i> *, <i>P. curvicauda</i> *, <i>P.</i> <i>longicauda</i> *, <i>P. oscillans</i> *, <i>P. platalea</i> *, <i>P.</i> <i>pleuronectes</i> *, <i>Phacus</i> spp., <i>Strombomonas urceolata</i> *, <i>Strombomonas</i> spp.*	Pequenas lagoas orgânicas	Alto DBO	Herbivoria
W2	<i>Trachelomonas armata</i> *, <i>T. australica</i> *, <i>T. hispida</i> *, <i>T.</i> <i>similis</i> *, <i>T. volvocina</i> *, <i>Trachelomonas</i> spp.	Lagos rasos e mesotróficos	-	-
X1	<i>Monoraphidium arcuatum</i> *, <i>M. contortum</i> , <i>M.</i> <i>komarkovae</i> ***, <i>M. irregulare</i> *, <i>M. tortile</i> *, <i>Monoraphidium</i> sp.**	Camadas rasas e misturadas, em condições enriquecidas	Estratificação	Deficiência de nutriente e predação por filtradores
X2	<i>Rhodomonas minuta</i> *, <i>Rhodomonas</i> sp.**	Camadas claras e misturadas em lagos mesotróficos	Estratificação	Mistura e predação por filtradores
X3	<i>Chrysochromulina parva</i> *	Camadas claras, rasas e misturadas	Substrato pobre (?)	Mistura e herbivoria
Y	<i>Cryptomonas brasiliensis</i> *	Geralmente pequenos lagos enriquecidos	Baixa luz	Fagótrofos

**Legenda:** \*Espécies presentes apenas nos reservatórios; \*\*Espécies presentes apenas no Rio Guamá