



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Silvana Santana Gomes

**ALTERAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DURANTE UM EVENTO DE SECA
PROLONGADA E SEUS IMPACTOS NA BIOMASSA ALGAL DE UM
MANANCIAL TROPICAL DA REGIÃO SEMIÁRIDA**

Natal/RN

2016

Silvana Santana Gomes

**ALTERAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DURANTE UM EVENTO DE SECA
PROLONGADA E SEUS IMPACTOS NA BIOMASSA ALGAL DE UM
MANANCIAL TROPICAL DA REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Vanessa Becker

Co-orientadora: Dra. Fabiana Araújo

Natal/RN

2016

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede
Catalogação da Publicação na Fonte

Gomes, Silvana Santana.

Alteração do estado trófico durante um evento de seca prolongada e seus impactos na biomassa algal de um manancial tropical da região semiárida / Silvana Santana Gomes. - Natal, RN, 2016.

35 f.: il.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vanessa Becker.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Fabiana Araújo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Eutrofização - Dissertação. 2. Fitoplâncton - Dissertação. 3. Seca severa - Dissertação. 4. Nutrientes - Dissertação. 5. Controle ascendente - Dissertação. I. Becker, Vanessa. II. Araújo, Fabiana. III. Título.

RN/UF/BCZM

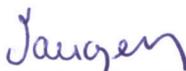
CDU 627.12

Silvana Santana Gomes

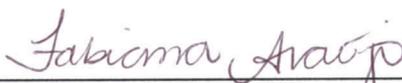
**ALTERAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DURANTE UM EVENTO DE SECA
PROLONGADA E SEUS IMPACTOS NA BIOMASSA ALGAL DE UM
MANANCIAL TROPICAL DA REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA



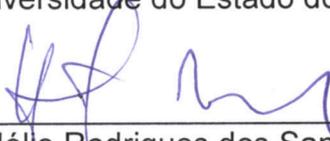
Dra. Vanessa Becker – Orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)



Dra. Fabiana Araújo – Co-orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)



Dra. Natália Pessoa Noyma – Examinadora Externa
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)



Dr. Hélio Rodrigues dos Santos – Examinador Interno
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Natal/RN, 28 de março de 2016.

*Aos meu pais, Alzinete da Silva Santana Gomes e José Weliton Gomes,
por serem meus pilares e exemplos de vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos concedidas, por nunca ter me desamparado e sempre ter me dado força para enfrentar com fé e esperança os desafios que surgiram ao longo dessa jornada.

À FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento da pesquisa através do projeto MEVEMUC (Monitoramento da Evaporação e Mudanças Climáticas do Rio Grande do Norte) e ao professor Arthur Mattos, idealizador e coordenador desse projeto.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Larhisa/UFRN (Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte) pelo espaço concedido para a realização da pesquisa.

À minha orientadora, Professora Dra. Vanessa Becker, que me aceitou como orientanda mesmo sem eu nunca ter sido sua aluna; por exercer sua profissão com tanto esmero, sendo assim exemplo de profissional e nos contagiando com o universo da limnologia. Obrigada pelos conselhos dados, pela compreensão, pela disponibilidade, pelos momentos de confraternização. Agradeço também por ter alterado minha pesquisa quando comecei a trabalhar. O que na época foi para mim uma frustração, hoje vem em forma de agradecimento. Através da sua experiência, você conseguiu visualizar que esse seria o melhor caminho. Obrigada mesmo.

À minha co-orientadora, Dra. Fabiana Araújo. São inúmeros os motivos para te agradecer. Primeiramente, obrigada pela sua amizade, que começou antes de qualquer vínculo acadêmico. Obrigada por ter aceitado o convite para ser minha co-orientadora, convite esse que foi uma das melhores decisões que já tomei. Admiro a profissional que você é. Agradeço por ter me aguentado esse tempo, diante das minhas brincadeiras, manias, chatices. Sei que isso não é fácil. Obrigada pelas suas orientações, conselhos, paciência, pela disponibilidade que sempre teve, por ter acreditado em mim apesar de algumas decepções no meio desse caminho de co-orientação. A liberdade que tenho para conversar com você foi um facilitador nesse processo de desenvolvimento da minha dissertação. A você os meus sinceros agradecimentos.

Aos professores do PPgES/UFRN (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN), pelas contribuições dadas para a minha formação no curso. À professora Dra. Karina Cunha, cuja amizade excedeu os limites da sala de aula, pelas conversas e conselhos dados.

À Dra. Fabiana Araújo e ao Prof. Dr. Hélio Rodrigues dos Santos pelas contribuições na minha banca de qualificação.

A todas as gerações que fizeram parte do MEVEMUC e agregados, em especial àqueles com os quais convivi: Aline, Jurandir, Gustavo, Radmila, Maricota, Fabiana, Carol, Camila, Carlos, Gabi, Herika, Isaac e Jéssica. Mais do que amigos, vocês são uma família. Obrigada pela amizade, momentos de descontração, pelos dias e noites no laboratório fazendo análise, pelas pizzas em dobro nas terças-feiras. Vocês são ótimos. Não posso esquecer de “coleguinha” (Seu Assis), motorista que nos acompanhou em várias coletas do projeto com sua presteza e bom humor.

Aos meus pais, Alzinete e Weliton, por toda a compreensão que sempre tiveram comigo; pelos conselhos dados; por não medirem esforços para fazer com que eu chegasse até aqui, me proporcionando oportunidades que não puderam ter. A educação e os bons exemplos são as melhores heranças que os pais podem deixar para seus filhos. E vocês são exemplos de integridade, amor, companheirismo, dedicação... Amo vocês incondicionalmente.

A todos os meus amigos que se disponibilizaram a ficar comigo no Larhisa à noite e nos finais de semana para que eu pudesse dar andamento a minha dissertação: Jurandir, Fabiana, Giovana Alves, Aline Juliana, Pedro, Jéssica, Larissa e Danielle.

Aos meus amigos mais próximos da minha turma de mestrado: Giovana Alves, Giovana Medeiros, Larissa e Carlos. Obrigada pelas inúmeras conversas, pela amizade e pelo apoio.

Ao secretário do PPgES, Pedro, pelos favores prestados ao longo do mestrado. Sua presteza foi fundamental para a realização da pesquisa. Aproveito para agradecer também à sua amizade, companheirismo, às conversas descontraídas e por escutar meus desabafos.

À Célia por toda atenção e carinho, por cuidar dos mínimos detalhes. Obrigada por todo cuidado e limpeza com as instalações do Larhisa.

Aos meus colegas de trabalho da CAERN: Jéssica, Rodrigo, Raquel, Josiane, Alessandro, Analuiza, Ivan, Juliana, Calazans, Josildo, Wesley e Higor. Obrigada pelo companheirismo do dia-a-dia e por tornarem agradável o ambiente de trabalho.

Agradeço ao meu chefe, Josildo Lourenço, pela compreensão e flexibilidade para a realização da minha pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), em especial a Douglasnilson, por sanar dúvidas que surgiram em algumas análises laboratoriais, e a Luciana Medeiros, por me ajudar no desenvolvimento das práticas de laboratório realizadas durante o estágio à docência.

A Gilmar Bistrot da EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte), que disponibilizou os dados meteorológicos para a minha pesquisa.

À Giovana Medeiros pela confecção do mapa de localização da área de estudo da minha pesquisa.

À minha tia, Jordana Kaline, que me deu suporte na procura aos artigos para minha pesquisa e a quem recorri algumas vezes quando surgiam dúvidas.

Por fim, agradeço a todos os meus familiares e amigos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho. Sozinhos não somos ninguém. Sempre precisamos de pilares que nos sustentem.

A todos o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 ÁREA DE ESTUDO	3
2.2 LEVANTAMENTO DE DADOS	4
2.3 AMOSTRAGEM	5
2.4 ANÁLISE DAS AMOSTRAS	6
2.5 ANÁLISE DOS DADOS	6
3 RESULTADOS	7
3.1 CENÁRIO METEOROLÓGICO E HIDROLÓGICO	7
3.2 CENÁRIO LIMNOLÓGICO	9
4 DISCUSSÃO	13
5 CONCLUSÕES	16
REFERÊNCIAS	17
ANEXO	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do reservatório Boqueirão de Parelhas com a indicação do ponto de coleta.....	4
Figura 2: Precipitações mensais no período de janeiro/2012 a dezembro/2014, precipitação histórica mensal no reservatório Boqueirão e índice SPI12.....	8
Figura 3: Variação do volume armazenado (%) em relação à capacidade máxima do reservatório Boqueirão no período compreendido entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014.....	8
Figura 4: Variação da (a) transparência Secchi e (b) Z_{eu}/Z_{max} de 2012 a 2014.....	9
Figura 5: Variação mensal da profundidade no ponto de coleta (Z_{max}), zona eufótica (Z_{eu}) e razão Z_{eu}/Z_{max} no reservatório Boqueirão de 2012 a 2014.....	9
Figura 6: Variação de sólidos suspensos inorgânicos (SSI) e sólidos suspensos orgânicos (SSO) de 2012 a 2014.....	10
Figura 7: Variação anual de (a) fósforo solúvel reativo (FSR) e (b) nitrogênio inorgânico dissolvido (NID). As linhas pontilhadas indicam os valores de limitação do fitoplâncton por FSR ($3 \mu\text{g.L}^{-1}$) e NID ($100 \mu\text{g.L}^{-1}$).....	10
Figura 8: Variação anual de (a) fósforo total (PT) e (b) clorofila-a. As linhas pontilhadas indicam o limite para o reservatório ser considerado eutrófico em regiões tropicais semiáridas ($\text{PT} = 50 \mu\text{g.L}^{-1}$; $\text{Chl-a} = 15 \mu\text{g.L}^{-1}$).....	11
Figura 9: Regressões lineares entre o logaritmo das concentrações de clorofila e das variáveis volume (a) e fósforo total (PT) (b).....	12
Figura 10: Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas e hidrológica (volume) no reservatório Boqueirão durante o período compreendido entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014.....	13

LISTA DE TABELAS

Tabela1: Faixas de valores SPI12, valor atribuído e sua respectiva categoria associada.....	5
--	---

RESUMO

O processo de eutrofização tem como principal consequência o aumento da biomassa algal, principalmente florações de cianobactérias. As elevadas taxas de evaporação associadas às reduzidas taxas de precipitação, características das regiões semiáridas, contribuem para o aumento da disponibilidade de nutrientes em períodos de seca e consequente agravamento da condição eutrófica nos mananciais. As mudanças climáticas tendem a intensificar os sintomas de eutrofização, principalmente na região semiárida. Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar o impacto da seca prolongada na biomassa algal no Boqueirão de Parelhas, manancial mesotrófico da região semiárida tropical. O decréscimo do volume foi associado à degradação da qualidade da água, com aumento nas concentrações de nutrientes e redução da transparência da água. A maior disponibilidade de nutrientes na coluna d'água, consequência da redução da precipitação e do volume do reservatório, forneceu os recursos necessários para o crescimento algal e permitiu a mudança no estado trófico do reservatório Boqueirão. O presente estudo demonstrou que o prolongamento da seca degrada a qualidade da água. O efeito da seca em Boqueirão foi tardio devido à baixa disponibilidade inicial de nutrientes nesse reservatório. A redução do volume, proporcionada pelo balanço hídrico negativo característico do semiárido e intensificada pelo evento de seca prolongada, foi capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes e provocar o aumento da biomassa algal e consequente alteração do estado trófico do manancial de mesotrófico para eutrófico.

Palavras-chave: Eutrofização; Fitoplâncton; Seca Severa; Nutrientes; Controle Ascendente.

ABSTRACT

The main consequence of eutrophication is an increase in algal biomass, mainly cyanobacterial blooms. The high evaporation and low precipitation, characteristics of semiarid regions, contribute to the nutrients availability increase in drought periods and consequent aggravation of eutrophic condition in reservoirs. Climate changes tend to intensify eutrophication symptoms, mostly in a semiarid region. Therefore, the aim of this study was to evaluate the impact of an extended drought in algal biomass in Parelhas's Boqueirão, a mesotrophic reservoir located in a semiarid tropical region. The low volume was associated to water quality degradation and to the high nutrients concentrations and low water transparency. The increase in nutrients availability in the water column, consequence of reduced precipitation and low reservoir's volume, provided the necessary resources for algal growth and allowed a change in trophic state in Boqueirão reservoir. This study showed how an extended drought decreases water quality. The effect of drought in Boqueirão was late detected due to the reservoir's low initial nutrients concentration. The reservoir's volume reduction increased the nutrient availability along with the algal biomass increase and the reservoir's trophic state change of mesotrophic to eutrophic.

Key-words: Eutrophication; Phytoplankton; Severe Drought; Nutrients; Bottom-up Control.

1 INTRODUÇÃO

A eutrofização cultural é um dos problemas mais graves e difundidos no mundo quanto à degradação da qualidade das águas superficiais (Smith & Schindler, 2009; Schindler, 2012). De ocorrência a princípio natural, a eutrofização é um problema de poluição hídrica que consiste no aumento da concentração de nutrientes no corpo hídrico, principalmente de fósforo e nitrogênio (Smith *et al.*, 1999). Entretanto, esse enriquecimento de nutrientes pode ocorrer de maneira excessiva e decorrente da atividade humana e, assim, caracterizar o processo denominado de eutrofização cultural (Smith & Schindler, 2009; Schindler, 2012).

O aumento das concentrações de nutrientes no corpo hídrico tem origem principalmente nas fontes externas, as quais podem ser pontuais ou difusas (Carpenter *et al.*, 1998). As fontes pontuais, como descargas de efluentes nos corpos d'água, são mais fáceis de serem determinadas e controladas, diferentemente das fontes de poluição difusa, a exemplo dos excrementos de animais e fertilizantes aplicados na agricultura (Carpenter *et al.*, 1998; Smith *et al.*, 1999; Schindler, 2012). O carreamento de nutrientes das fontes difusas para o corpo hídrico tem seu efeito potencializado com o escoamento superficial advindo da precipitação (Mosley, 2015). Além dos processos externos, processos internos como decomposição, ciclagem de nutrientes na coluna d'água e no sedimento e aumento da concentração de nutrientes a partir da evaporação (Fisher *et al.*, 1995), também podem estar associados ao aporte de nutrientes ao corpo hídrico.

O aumento da biomassa algal, principalmente florações de cianobactérias, é o sintoma mais comum da eutrofização (Smith, 1998; Smith *et al.*, 1999; Moss *et al.*, 2011; Moss, 2012). As demais consequências, como problemas estéticos, redução da transparência da água, diminuição do oxigênio em águas profundas e prejuízo à qualidade da água, estão relacionadas diretamente à proliferação das algas (Smith, 2003). Algas em excesso também implicam no aumento de custos para o tratamento de água e, quando potencialmente tóxicas, podem ser prejudiciais aos consumidores da água, principalmente se as florações ocorrerem em mananciais de abastecimento.

Estudos apontam o fósforo (Rangel *et al.*, 2012; Carneiro *et al.*, 2014), o nitrogênio (Brasil *et al.*, 2015) ou ambos (Elser *et al.*, 1990; Müller & Mitrovic, 2015) como os principais controladores da biomassa algal. Além dos nutrientes, a luz também é responsável pelo controle ascendente das algas (Reynolds, 2006) e, portanto, esses

recursos podem limitar o crescimento fitoplanctônico quando estão presentes em quantidades escassas.

Os sintomas da eutrofização tendem a se intensificar com as mudanças climáticas devido ao conseqüente aumento da temperatura associado à redução da precipitação nos meses secos (Paerl & Huisman, 2008; Moss *et al.*, 2011; Brasil *et al.*, 2015). As alterações climáticas terão papel relevante no ciclo hidrológico e na disponibilidade de água e, por isso, eventos hidrológicos extremos (secas e precipitações intensas) decorrentes delas precisam ser investigados (Tundisi, 2008). O agravamento da seca e o comprometimento da qualidade e quantidade de água são previstos em latitudes médias e baixas latitudes semiáridas, impactando negativamente em setores como agricultura e abastecimento de água (IPCC, 2007, 2014). É importante destacar que as previsões climáticas podem variar entre os ambientes tropicais e, portanto, seus ecossistemas aquáticos podem responder de maneira distinta diante das perturbações. Enquanto que em algumas zonas da região tropical é previsto aumento nas precipitações, em outras, como o Nordeste brasileiro, que está inserido na região semiárida tropical, a previsão é de redução na precipitação (Roland *et al.*, 2012).

A região semiárida é uma zona de transição entre as regiões áridas e sub-úmidas, caracterizada por taxas de precipitação menores que as taxas de evaporação, temperaturas altas durante os meses mais quentes, regime de chuva marcado pela escassez e acentuada irregularidade espaço-temporal, além de longos períodos de estiagem (Barbosa *et al.*, 2012; Moura *et al.*, 2014). Essa região já é afetada naturalmente pela reduzida disponibilidade de água e, por isso, os impactos ecológicos decorrentes da seca em seus ecossistemas aquáticos terão maior magnitude (Roland *et al.*, 2012). Através da redução do nível da água, eventos de seca afetam as características limnológicas dos reservatórios, promovendo variações no oxigênio dissolvido e pH, aumento da condutividade e alcalinidade, aumento da concentração de nutrientes, diminuição da zona eufótica e aumento da biomassa algal (Bouvy *et al.*, 1999; Bouvy *et al.*, 2003; Dejenie *et al.*, 2008; García-Jurado, 2012; Carneiro *et al.*, 2014; Torres, 2014; Brasil *et al.*, 2015). A inter-relação entre esse conjunto de fatores reflete na biomassa e composição da comunidade fitoplanctônica (Bouvy *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2015).

O resultado das flutuações do nível da água nos reservatórios de uma determinada região estará fortemente condicionado por fatores locais, incluindo a

profundidade e morfometria do reservatório, o tempo de detenção hidráulica, a zona climática, dentre outros fatores (Bakker & Hilt, 2015). Os elevados níveis de nutrientes, atrelados à falta de renovação da água e ao balanço hídrico negativo, favorecem a condição eutrófica nos mananciais (Bouvy *et al.*, 2003; Brasil *et al.*, 2015). O balanço hídrico negativo, que resulta na redução do volume de água nos corpos hídricos, implica no aumento da área da bacia em relação à área do reservatório, característica distintiva de lagos da zona semiárida (Thornton & Rast, 1993) que acarreta maior impacto das fontes de nutrientes externas.

Estudos em reservatórios da região semiárida são escassos e, por isso, padrões comportamentais dos reservatórios nessa região durante eventos hidrológicos extremos ainda não estão estabelecidos. O conhecimento do comportamento das características limnológicas nos reservatórios pode contribuir para a tomada de decisões que impliquem em menor dispêndio e mais segurança no tratamento da água. Diante disso e das evidências expostas em relação às previsões de mudanças climáticas para o semiárido e das características dessa região que contribuem para a degradação da qualidade da água dos seus mananciais, o objetivo do estudo foi avaliar o impacto da seca prolongada na biomassa algal em um manancial mesotrófico da região semiárida tropical.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O reservatório Boqueirão de Parelhas (reservatório Boqueirão), localizado no município de Parelhas/RN, está inserido na bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu (Figura 1). Essa bacia está totalmente inserida no clima semiárido e, da sua extensão total, 40,6% situa-se no território do Estado do Rio Grande do Norte e 59,4% no Estado da Paraíba (ANA, 2014),

O reservatório Boqueirão foi construído em 1988 a partir do barramento do Rio Seridó (SEMARH, 2016) e é utilizado para abastecimento público da cidade de Parelhas/RN. Com uma área superficial máxima de 12,67 km² e altura máxima da lâmina d'água de 19,40 m (próximo à barragem), o reservatório possui capacidade máxima de aproximadamente 85 milhões de m³ e recebe contribuição de uma bacia hidrográfica com área equivalente a 1.519 km² (SEMARH, 2016).

A vegetação da bacia é constituída pela caatinga hiperxerófila e caatinga sub-desértica do Seridó. A primeira possui abundância de cactáceas e plantas de menor porte e espalhadas. A segunda se caracteriza pela presença de arbustos e árvores baixas, ralas e de xerofitismo mais acentuado (IDEMA, 2008).

Os solos são predominantemente litólicos eutróficos, possuindo assim fertilidade naturalmente alta, textura arenosa e/ou média, fase pedregosa e rochosa. A vegetação natural é utilizada com pecuária extensiva de maneira precária e o solo da região é pouco utilizado para fins agrícolas (IDEMA, 2008).

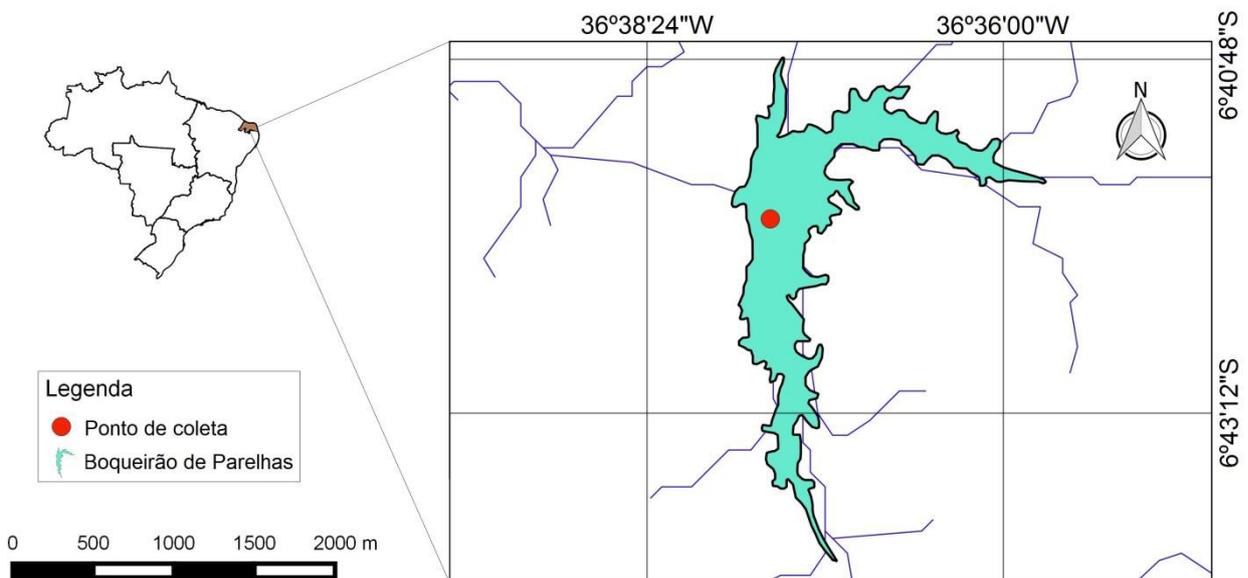


Figura 1: Localização do reservatório Boqueirão de Parelhas com a indicação do ponto de coleta.

2.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Dados da série histórica (1963-2014) de precipitação na região foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte (EMPARN). As precipitações pluviométricas mensais foram obtidas através da EMPARN (2012 e 2014) e da estação meteorológica pertencente ao projeto de Monitoramento da Evaporação e Mudanças Climáticas do Rio Grande do Norte (MEVEMUC) (2013), instalada próxima ao reservatório Boqueirão.

Para caracterizar o regime pluviométrico local, foi utilizado o *Standardized Precipitation Index* (SPI) (McKee *et al.*, 1993), calculado a partir série histórica (1962-2015) de dados de precipitação provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A escala de tempo considerada no cálculo do SPI foi de 12 meses (SPI12).

O SPI12 permite inserir a área de estudo em uma das seguintes categorias, de acordo com a precipitação apresentada em determinado período: extremamente úmido, severamente úmido, moderadamente úmido, normal, moderadamente seco, severamente seco, extremamente seco. Visto que um intervalo de valores numéricos adimensionais está associado às categorias, atribuiu-se um valor absoluto a cada uma delas a fim de facilitar a visualização gráfica do resultado (Tabela 1).

Tabela1: Faixas de valores SPI12, valor atribuído e sua respectiva categoria associada.

Faixa de valor SPI12	Valor atribuído	Categoria
> 2,0	2,25	Extremamente úmido
1,5 a 2,0	1,75	Severamente úmido
1,0 a 1,5	1,25	Moderadamente úmido
-1,0 a 1,0	0	Normal
-1,5 a -1,0	-1,25	Moderadamente seco
-2,0 a -1,5	-1,75	Severamente seco
< -2,0	-2,25	Extremamente seco

Fonte: Adaptado de INMET

Histórico de dados do volume armazenado no reservatório Boqueirão de Parelhas foram cedidos pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH). Com eles, calculou-se o percentual de volume armazenado em relação à capacidade máxima do reservatório ao longo do período de estudo.

2.3 AMOSTRAGEM

Amostras de água foram coletadas mensalmente de janeiro de 2012 a dezembro de 2014 em um ponto próximo à barragem do reservatório (6°41'42.38"S e 36°37'44.41"O), onde ocorre a captação de água para abastecimento humano e é o ponto mais profundo do reservatório (Figura 1).

Em cada coleta, os perfis verticais de temperatura e oxigênio dissolvido foram medidos *in situ* através uma sonda multiparamétrica (HIDROLAB DS5) a intervalos de um metro da superfície ao fundo do reservatório. A transparência da água foi estimada com o auxílio do disco de Secchi. Amostras de água para análise de nutrientes, sólidos suspensos e clorofila-*a* (*chl-a*) foram coletadas com uma garrafa de Van Dorn (5 L) e

integradas para se obter uma amostra representativa da camada do epilímnio (determinado a partir dos perfis verticais de oxigênio dissolvido). As amostras para análise de amônia foram armazenadas em frasco âmbar e as demais em garrafas de polietileno. Todos os recipientes foram previamente lavados com HCl 10% e água deionizada. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo respeitando os procedimentos e prazo máximo para a realização das análises.

2.4 ANÁLISE DAS AMOSTRAS

A partir das amostras de água bruta, o fósforo total (PT) foi analisado pelo método do ácido ascórbico após oxidação com persulfato de potássio (Valderrama, 1981) e o íon amônio (NH_4^+) foi determinado pelo método colorimétrico através da nesslerização (APHA, 2005).

Amostras de água foram filtradas em filtros de fibra de vidro ($\varnothing = 47\text{mm}$ e porosidade de $1,2\ \mu\text{m}$). Os filtros foram utilizados para análise de clorofila-*a* e sólidos suspensos e as amostras filtradas foram usadas para análise de fósforo solúvel reativo (FSR) e nitrato (NO_3^-). A clorofila-*a* foi extraída com etanol 95% e medida por espectrofotometria (Jespersen & Christoffersen, 1987). Sólidos suspensos totais (SST) e inorgânicos (SSI) foram determinados por gravimetria após secagem dos filtros a $100\ ^\circ\text{C}$ durante a noite e a ignição dos filtros a $500\ ^\circ\text{C}$ por três horas (APHA, 2005). Os sólidos suspensos orgânicos (SSO) foram obtidos através da diferença entre os sólidos suspensos totais e os sólidos suspensos inorgânicos (APHA, 2005). Fósforo solúvel reativo (Murphy & Rilley, 1962) e nitrato (Müller & Wiedemann, 1955) foram determinados através do método colorimétrico e medidos por espectrofotometria.

2.5 ANÁLISE DOS DADOS

As concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) foram determinadas a partir da soma das concentrações dos íons NH_4^+ e NO_3^- . A profundidade da zona eufótica (Z_{eu}) foi obtida através da multiplicação do valor do Secchi por 2,7 (Cole, 1994) e, para verificar a disponibilidade de luz na coluna d'água, foi utilizada a relação zona eufótica/profundidade máxima ($Z_{\text{eu}}/Z_{\text{max}}$).

Para verificar a limitação do fitoplâncton por fósforo e/ou nitrogênio, adotaram-se como referências os valores estabelecidos por Reynolds (2006): concentrações de FSR e NID abaixo de 3 e $100\ \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente, são limitantes ao crescimento fitoplanctônico. O estado trófico do reservatório foi determinado a partir das

concentrações médias anuais de fósforo total (PT) e clorofila-*a* (Chl-*a*) comparadas com os valores propostos por Thornton & Rast (1993) para reservatórios semiáridos tropicais serem considerados eutróficos (PT = 50 µg.L⁻¹; Chl-*a* = 15 µg.L⁻¹).

Na análise descritiva dos dados, as variáveis foram agrupadas por ano a fim de analisar seu comportamento ao longo do período de estudo. Para verificar a relação da clorofila-*a* e do volume entre si e com as demais variáveis (Secchi, Z_{eu}/Z_{max} , SSI, SSO, nutrientes) foi utilizada a análise de regressão linear simples. Ambas as análises foram realizadas no software Statistica® (Statsoft Inc. 1996).

A fim de verificar o comportamento das variáveis ambientais (volume, transparência Secchi, NID, fósforo solúvel reativo, fósforo total, sólidos suspensos inorgânicos, sólidos suspensos orgânicos e clorofila-*a*) ao longo do período de estudo foi realizada a Análise de Componentes Principais (ACP) através do programa PC-ORD® v.6 (McCune & Mefford, 2011). Todos os dados foram logaritimizados para as análises de regressão linear e ACP.

3 RESULTADOS

3.1 CENÁRIO METEOROLÓGICO E HIDROLÓGICO

De acordo com o índice SPI, de 2012 a 2014 o regime pluviométrico variou de normal a extremamente seco (Figura 2). De maneira geral, as precipitações mensais se mantiveram abaixo da média histórica, com maior criticidade em 2012 e 2013. Corroborando com esse resultado, as precipitações anuais (225 mm em 2012, 176 mm em 2013 e 466 mm em 2014) ficaram abaixo da precipitação histórica média anual (606 mm). O índice SPI e a comparação das precipitações mensais e anuais no reservatório com a precipitação histórica evidenciam a seca severa que ocorreu na região do reservatório Boqueirão de Parelhas durante o período de estudo.

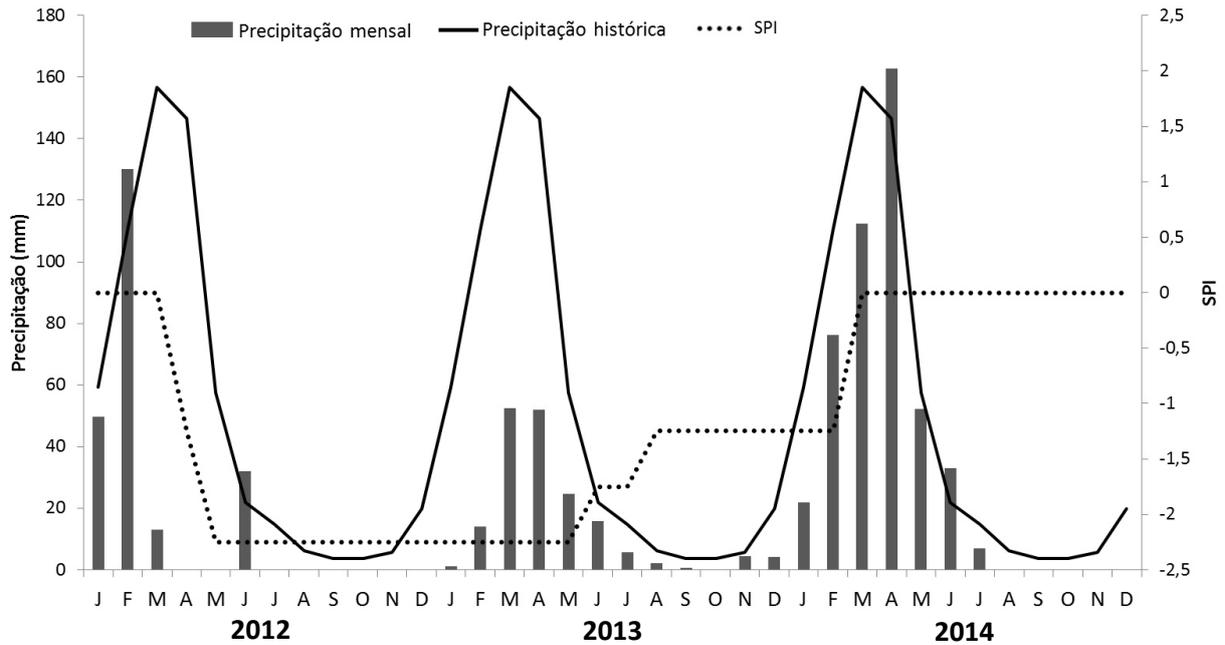


Figura 2: Precipitações mensais no período de janeiro/2012 a dezembro/2014, precipitação histórica mensal no reservatório Boqueirão e índice SPI12.

No início do estudo, o volume de água armazenada em Boqueirão correspondia a cerca de 60% da capacidade máxima do reservatório, atingindo um volume equivalente a 14% da sua capacidade total no final do período (Figura 3). A profundidade média do ponto de coleta ao longo do estudo foi 10,33 m. Em janeiro/2012, a profundidade no ponto de amostragem foi de 11,9 m e, no último mês de coleta, esse valor reduziu para 9,2 m.

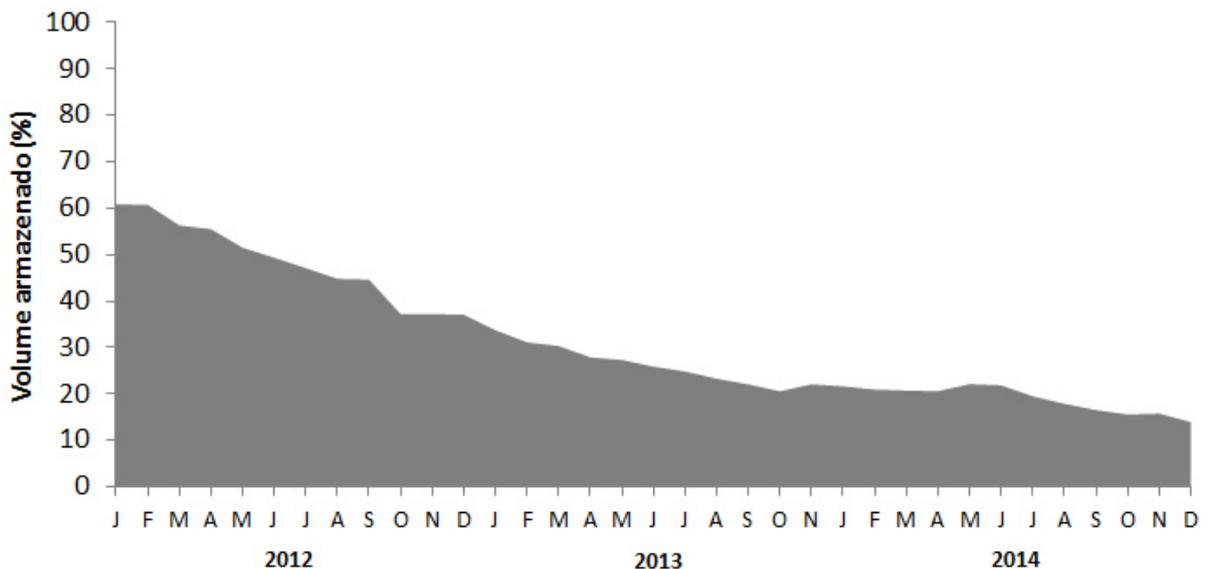


Figura 3: Variação do volume armazenado (%) em relação à capacidade máxima do reservatório Boqueirão no período compreendido entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014.

3.2 CENÁRIO LIMNOLÓGICO

A transparência Secchi e a disponibilidade de luz na coluna d'água do reservatório Boqueirão reduziram ao longo do período de estudo (Figura 4; Figura 5). Em 2012, a transparência foi equivalente a 2 m, com uma disponibilidade de luz de 50% na coluna de água, reduzindo para aproximadamente 0,5 m ao final do período, quando a disponibilidade de luz foi de 20% (Figura 4).

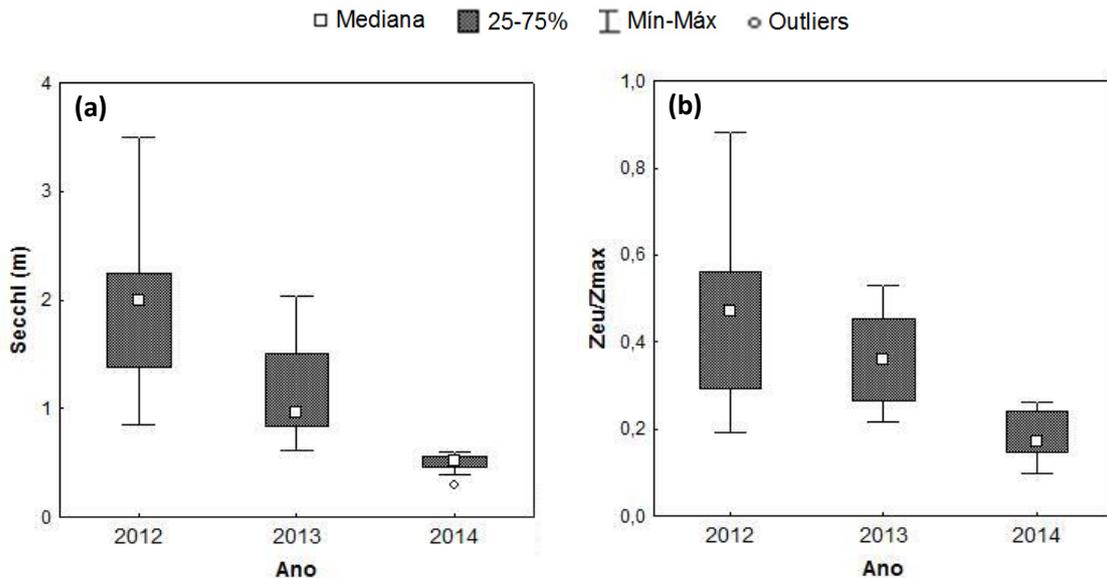


Figura 4: Variação da (a) transparência Secchi e (b) Z_{eu}/Z_{max} de 2012 a 2014.

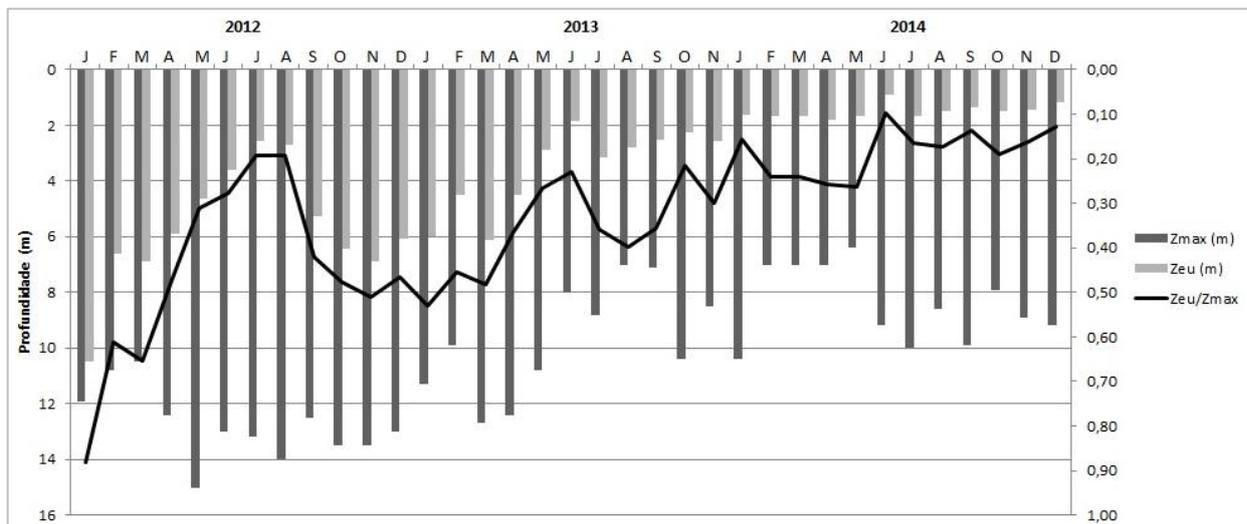


Figura 5 Variação mensal da profundidade no ponto de coleta (Z_{max}), zona eufótica (Z_{eu}) e razão Z_{eu}/Z_{max} no reservatório Boqueirão de 2012 a 2014.

As concentrações de sólidos suspensos orgânicos (SSO) e inorgânicos (SSI) aumentaram ao longo do período estudado (Figura 6), sendo que os SSO geralmente representaram a maior fração dos sólidos suspensos totais.

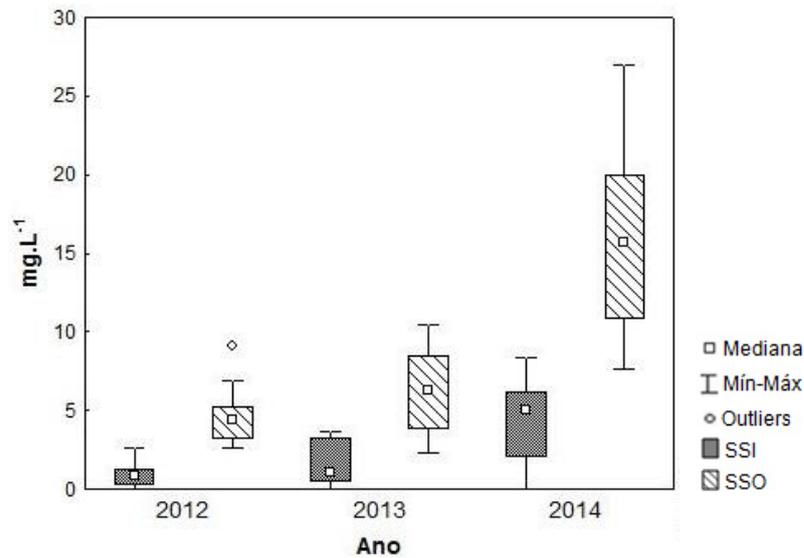


Figura 6: Variação de sólidos suspensos inorgânicos (SSI) e sólidos suspensos orgânicos (SSO) de 2012 a 2014.

Ao longo do período de estudo, Boqueirão apresentou baixas concentrações de FSR, com valores variando de 0 a 13,9 $\mu\text{g L}^{-1}$. De 2012 para 2014, as concentrações de FRS e NID apresentaram tendência à redução (Figura 7). Entretanto, os valores de NID se mantiveram sempre acima do limite estabelecido para detecção de limitação para o fitoplâncton e, por vezes, as concentrações de FRS ficaram abaixo desse limite. Ambos os nutrientes dissolvidos aumentaram em 2013, seguidos de redução em 2014.

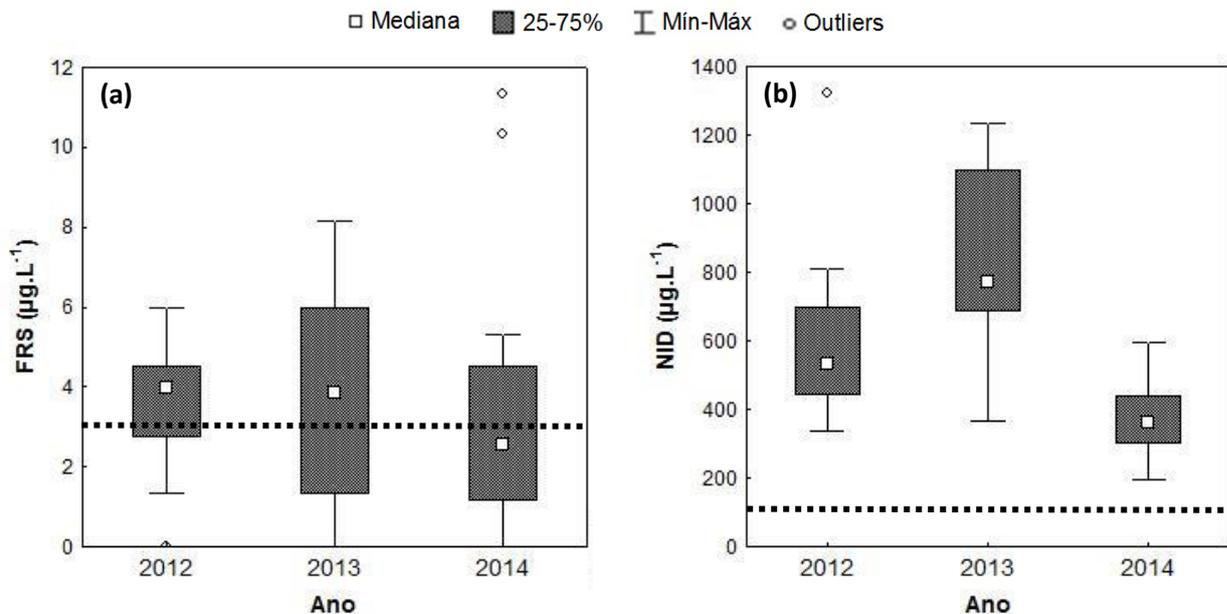


Figura 7: Variação anual de (a) fósforo solúvel reativo (FRS) e (b) nitrogênio inorgânico dissolvido (NID). As linhas pontilhadas indicam os valores de limitação do fitoplâncton por FRS ($3 \mu\text{g.L}^{-1}$) e NID ($100 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Os valores de PT e Chl-*a* aumentaram ao longo do período de estudo (Figura 8). De acordo com as concentrações de PT, o reservatório foi considerado mesotrófico nos anos de 2012 e 2013, sendo considerado eutrofizado no final do estudo (Figura 8a). Conforme as concentrações de clorofila-*a*, o reservatório foi considerado eutrofizado a partir de 2013 (Figura 8b).

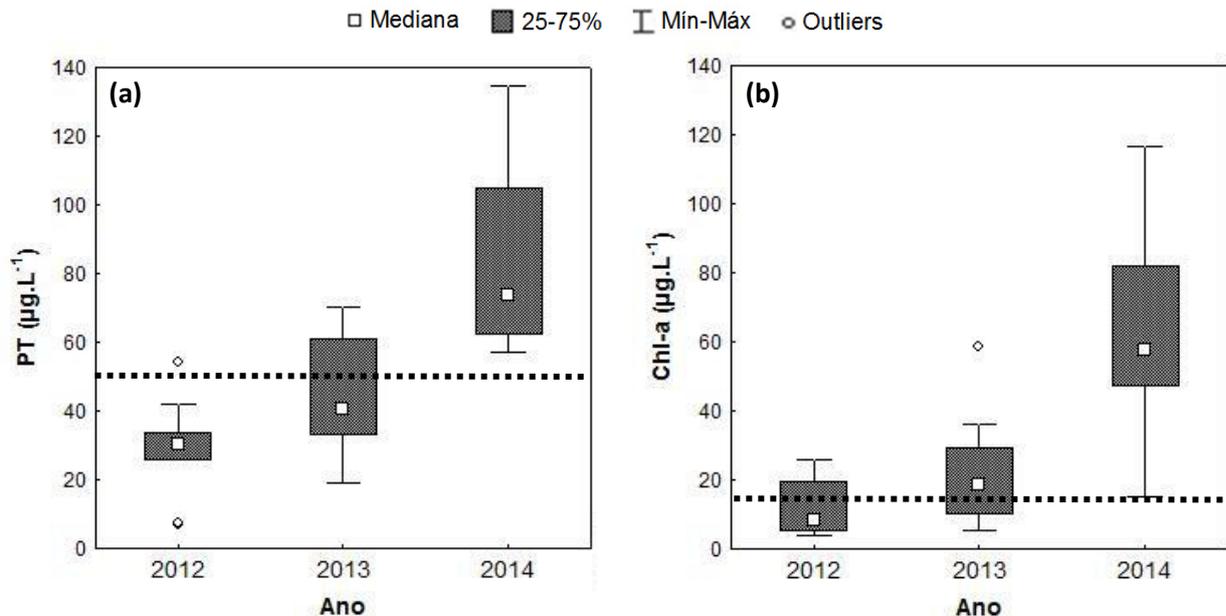


Figura 8: Variação anual de (a) fósforo total (PT) e (b) clorofila-*a*. As linhas pontilhadas indicam o limite para o reservatório ser considerado eutrófico em regiões tropicais semiáridas (PT = 50 µg.L⁻¹; Chl-*a* = 15 µg.L⁻¹).

A clorofila-*a* apresentou relação negativa com a transparência Secchi ($p < 0,001$; $r^2 = 0,78$), o volume (Figura 9a) e a razão Z_{eu}/Z_{max} ($p < 0,001$; $r^2 = 0,65$), e relação positiva com SSO ($p < 0,001$; $r^2 = 0,65$) e PT (Figura 9b). A transparência Secchi, o fósforo total e o volume explicaram, respectivamente, 78%, 64% e 50% da variação da chl-*a*. A relação entre clorofila-*a* e sólidos suspensos inorgânicos não foi significativa ($p = 0,295$).

O volume relacionou-se negativamente com o PT ($p < 0,001$; $r^2 = 0,51$) e SSO ($p < 0,001$; $r^2 = 0,48$), e positivamente com a transparência Secchi ($p < 0,001$; $r^2 = 0,68$).

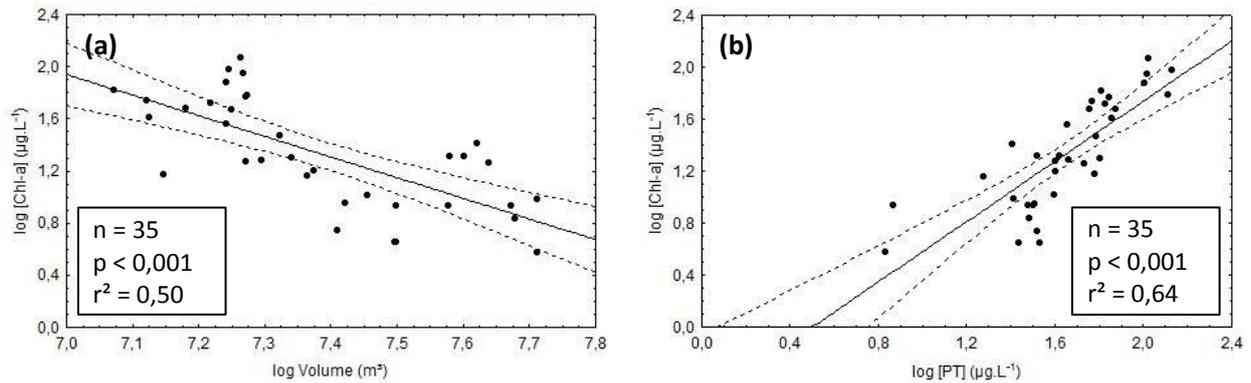


Figura 9: Regressões lineares entre o logaritmo das concentrações de clorofila e das variáveis (a) volume e (b) fósforo total (PT).

O volume do reservatório e as sete variáveis limnológicas (Secchi, SSI, SSO, NID, FSR, PT e Chl-*a*) explicaram 71,8% dos dados nos dois primeiros eixos na análise de componentes principais (ACP) (eixo 1 = 57,6%; eixo 2 = 14,2%) (Figura 10). As variáveis mais importantes para a explicação do eixo 1 foram: Secchi ($r = 0,93$), Chl-*a* ($r = -0,90$), volume ($r = 0,90$), SSO ($r = -0,88$) e PT ($r = -0,83$). Para o eixo 2 foram SSI ($r = 0,68$), NID ($r = -0,59$) e FSR ($r = -0,50$). A ACP representou bem a variabilidade temporal no reservatório Boqueirão durante o período de estudo sob o efeito de uma seca prolongada. Em 2012, o manancial apresentava maior volume, maior transparência da água, concentrações baixas de chl-*a* e PT. Já em 2014, altas concentrações de PT e chl-*a* foram associadas à redução do volume do reservatório. Portanto, o eixo 1 apresentou o gradiente de intensificação da eutrofização no reservatório Boqueirão ao longo do evento de seca prolongada estudado.

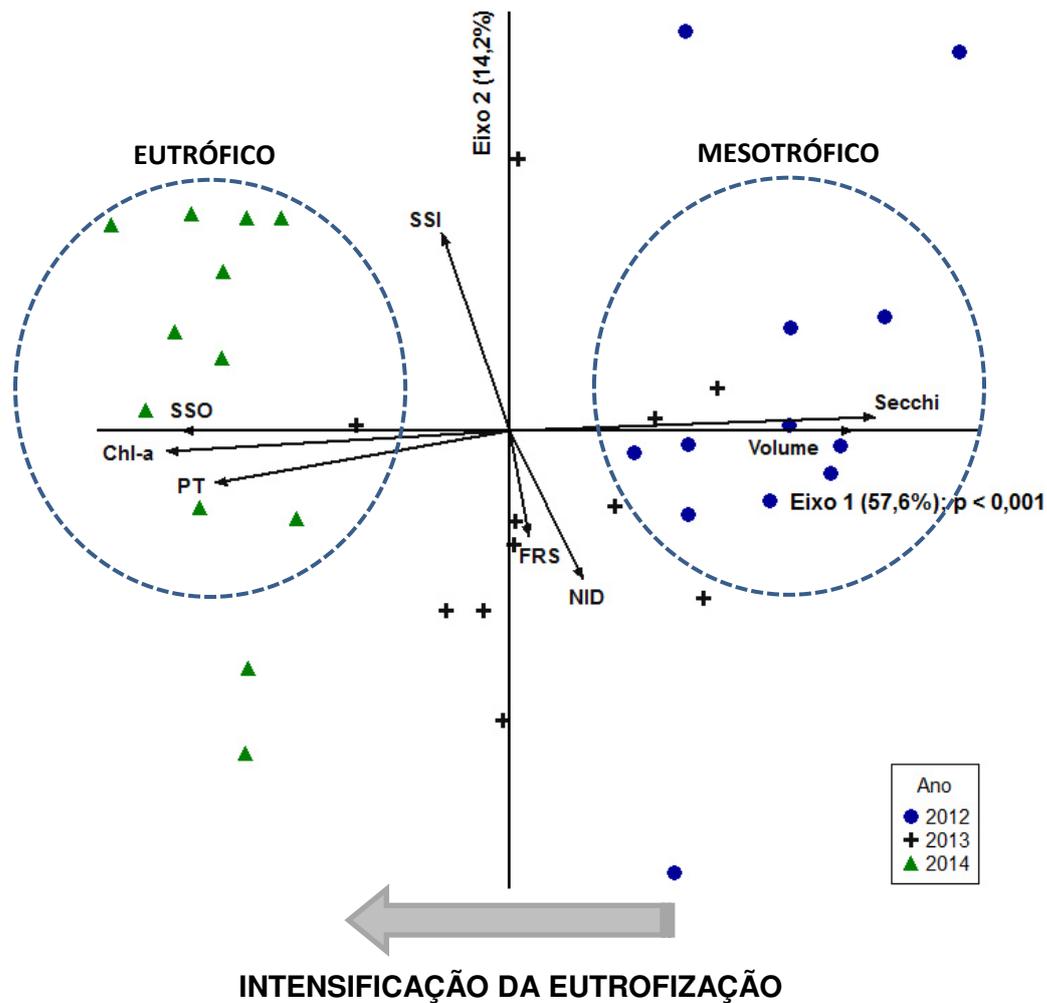


Figura 9: Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas e hidrológica (volume) no reservatório Boqueirão durante o período compreendido entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014.

Legenda: SSI = sólidos suspensos inorgânicos; SSO = sólidos suspensos orgânicos; NID = nitrogênio inorgânico dissolvido; FRS = fósforo solúvel reativo; PT = fósforo total; Chl-*a* = clorofila-*a*.

4 DISCUSSÃO

Os resultados apresentados demonstram que a redução do volume do reservatório, consequência da seca prolongada, aumenta a biomassa algal. Além disso, o decréscimo do volume foi associado à degradação da qualidade da água, com aumento nas concentrações de nutrientes e redução da transparência da água.

No início do estudo, o reservatório Boqueirão foi considerado mesotrófico e, com o evento de seca prolongada, teve seu estado trófico alterado para eutrófico. A alteração do grau de trofia decorrente da mudança no regime de precipitação ocorreu em um período maior do que o observado para outros reservatórios da região semiárida tropical (Braga *et al.*, 2015; Medeiros *et al.*, 2015). No decorrer do estudo, foi

possível verificar uma evolução bem demarcada da intensificação da eutrofização em Boqueirão por meio do aumento das concentrações de clorofila-*a*. Uma vez que o crescimento fitoplanctônico é principalmente controlado por recursos, tais como luz e nutrientes (Reynolds, 1997), e, por isso, necessita da disponibilidade desses recursos na coluna d'água (Reynolds, 2006), as baixas concentrações iniciais de nutrientes foram responsáveis pelo efeito tardio da seca na alteração do estado trófico do manancial.

Os valores de PT aumentaram gradativamente ao longo do estudo e de maneira geral as concentrações de FSR e NID tenderam ao aumento até a metade do período. O aumento das concentrações de nutrientes está relacionado às elevadas taxas de evaporação características das regiões semiáridas e à redução nos fluxos de entrada de água no manancial. Diante desses dois fatores, a quantidade de nutrientes, que permanece inalterada ou aumenta devido aos processos internos, se concentra em um menor volume de água. Assim, uma maior disponibilidade de nutrientes assimiláveis para o fitoplâncton possibilitou o seu desenvolvimento, o que levou ao posterior decréscimo das concentrações de FSR e NID. Essa redução provavelmente foi resultante do maior requerimento de nutrientes pelo fitoplâncton (Reynolds, 2006; Rangel *et al.*, 2012), cuja biomassa atingiu os valores mais altos no último ano do estudo. Comportamento semelhante foi reportado em outros reservatórios (Bouvy *et al.*, 2003; Braga *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2015).

Com a redução dos valores de FSR ao final do estudo, tal nutriente atingiu concentrações inferiores ao valor estabelecido como limitante para o desenvolvimento fitoplanctônico. Porém, essas concentrações não inibiram o crescimento algal, pois os valores baixos provavelmente foram resultado da rápida captura pela elevada biomassa algal presente no reservatório (Reynolds, 2006).

O crescimento fitoplanctônico também não foi limitado por nitrogênio assim como em outros lagos tropicais (Bouvy *et al.*, 2003), divergindo do observado em outros reservatórios dessas regiões onde foi encontrada maior limitação por nitrogênio (Thornton & Rast, 1993; Lewis, 2000; Brasil *et al.*, 2015). Essa distinção entre os reservatórios reforça a ideia de que outros fatores (luz, carbono), além da localização geográfica (Lewis, 2000), estão relacionados à limitação do crescimento fitoplânctônico por nutrientes. Em Boqueirão, as altas concentrações de nitrogênio podem ser atribuídas à entrada desse nutriente no sistema a partir das fontes difusas ou ao

processo de nitrificação, com a captura do nitrogênio atmosférico associada às concentrações de oxigênio na coluna d'água do reservatório (Spokes & Jickells, 2005).

Assim como os nutrientes, a luz também é fundamental para o desenvolvimento fitoplanctônico. A relação negativa entre transparência e sólidos suspensos orgânicos e relação positiva entre sólidos suspensos orgânicos e biomassa algal apontaram as algas como as principais responsáveis pelas condições turvas do reservatório Boqueirão. Como evidenciado em outros reservatórios tropicais (Rangel *et al.*, 2012; Braga *et al.*, 2015), a redução da transparência simultânea ao aumento da biomassa algal indica que o fitoplâncton não foi limitado pela luz.

O aumento na biomassa algal aumenta a turbidez orgânica, provocando um auto-sombreamento, o que pode ser vantajoso para alguns grupos de algas (Scheffer *et al.*, 1997; Costa *et al.*, 2015). Isso poderia explicar o aumento da biomassa algal em condições de pouca luz encontrado nesse estudo. À medida que o gradiente trófico aumenta, a diversidade e a riqueza de espécies diminuem e o principal grupo que domina os ambientes eutrofizados é o das cianobactérias (Huszar *et al.*, 1998). Brasil *et al.* (2015), ao analisar lagos rasos tropicais perante a redução do nível da água induzida pela seca, reportou a presença de cianobactérias como principal grupo contribuinte para o biovolume total do fitoplâncton, e a espécie mais importante nos sistemas foi a *Cylindrospermopsis raciborskii*. Esses autores atribuíram a presença dessa espécie às condições turvas nos lagos estudados. Um fator que também pode contribuir para a presença da *C. raciborskii* nos reservatórios é o fato dessa cianobactéria apresentar fosfatase alcalina extracelular (enzima capaz de transformar fósforo orgânico dissolvido em fósforo inorgânico), representando uma vantagem em ambientes com limitação por P (Jansson *et al.*, 1988; Wu *et al.*, 2009).

De Senerpont Domis *et al.* (2013a) previram a redução da biomassa fitoplanctônica em sistemas tropicais devido ao *Wash Out* nos reservatórios ocasionado pelo aumento das precipitações nas regiões tropicais. Entretanto, os ambientes tropicais possuem características distintas e essa previsão foi baseada apenas em dados de sistemas tropicais úmidos como Amazônia. Uma vez que são previstas precipitações mais baixas (Marengo *et al.*, 2010) e temperaturas mais altas (Roland *et al.*, 2012) para o semiárido tropical brasileiro, é necessário incluir os dados dessa região nessas previsões (Sarmiento *et al.*, 2013; De Senerpont Domis *et al.*, 2013b). A exemplo, o reservatório Boqueirão de Parelhas apresentou resultados divergentes das conclusões obtidas por De Senerpont Domis *et al.* (2013a). Diante de um período com

precipitações abaixo da média histórica, houve aumento na biomassa algal do manancial devido às mudanças na disponibilidade de nutrientes.

Estudos recentes em reservatórios do semiárido brasileiro reportaram a degradação da qualidade da água diante de eventos de seca. Porém, o fitoplâncton apresentou comportamento distinto, com redução (Braga *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2015; Medeiros *et al.*, 2015) ou aumento da biomassa algal (Braga *et al.*, 2015; Brasil *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2015) concomitantemente à redução do volume dos reservatórios. No reservatório Cruzeta (Medeiros *et al.*, 2015; Braga *et al.*, 2015) e no Lago da ESEC (Costa *et al.*, 2015), a redução do volume armazenado levou à redução da profundidade da coluna d'água de tal modo que facilitou a ressuspensão da matéria inorgânica e acarretou no colapso da biomassa algal devido à limitação por luz. No reservatório Boqueirão, apesar do seu volume ter reduzido, a coluna d'água se manteve sempre superior a 6m. Tais comportamentos distintos demonstram a dependência da relação entre volume e profundidade com os efeitos da seca nos reservatórios. Processos que ocorrem internamente (ex.: ressuspensão do sedimento), quando influenciados pela menor profundidade do reservatório, podem modificar o cenário esperado com as mudanças climáticas, que é o aumento da biomassa algal, com predominância de florações cianobactérias (Moss *et al.*, 2011).

5 CONCLUSÕES

- 1) O prolongamento da seca degrada qualidade da água;
- 2) O efeito da seca em Boqueirão foi tardio devido à baixa disponibilidade inicial de nutrientes nesse reservatório;
- 3) A redução do volume, proporcionada pelo balanço hídrico negativo característico do semiárido e intensificada pelo evento de seca prolongada, foi capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes e provocar o aumento da biomassa algal e consequente alteração do estado trófico do manancial.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu. Brasília: ANA, 2014. Disponível em: <<http://piranhasacu.ana.gov.br/produtos/sinteseDiagnostico.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2015.
- APHA – American Public Health Association. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington: APHA, AWWA and W.E.F. Washington, D. C.
- BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. S.; CRISPIM, M. C. B.; SILVA, G. H. G. 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnol. Bras.** 24 (1): 103-118.
- BAKKER, E. S.; HILT, S. 2015. Impact of water-level fluctuations on cyanobacterial blooms: options for management. **Aquat. Ecol.** DOI 10.1007/s10452-015-9556-x.
- BOUVY, M.; MOLICA, R.; OLIVEIRA, S.; MARINHO, M.; BEKER, B. 1999. Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. **Aquatic Microbial Ecology**. 20: 285-297.
- BOUVY, M.; NASCIMENTO, S. M.; MOLICA, R. J. R.; FERREIRA, A.; HUSZAR, V.; AZEVEDO, S. M. F. O. 2003. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. **Hydrobiologia**. 493: 115-130.
- BRAGA, G. G.; BECKER, V.; OLIVEIRA, J. N. P.; MENDONÇA JUNIOR, J. R.; BEZERRA, A. F. M.; TORRES, L. M.; GALVÃO, A. M. F.; MATTOS, A. 2015. Influence of extended drought on water quality in tropical reservoirs in a semiarid region. **Acta Lim. Bras.** 27(1): 15-23.
- BRASIL, J.; ATTAYDE, J. L.; VASCONCELOS, F. R.; DANTAS, D. D. F.; HUSZAR, V. L. M. 2015. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. **Hydrobiologia**. Primary Research Paper.
- CARNEIRO, F. M.; NABOUT, J. C.; VIEIRA, L. C. G.; ROLAND, F.; BINI, L. M. 2014. Determinants of chlorophyll-a concentration in tropical reservoirs. **Hydrobiologia**. 740: 89-99.
- CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**. 8(3): 559-568.
- COLE, G. A. 1994. **Textbook of Limnology**. 4 ed. Waveland Press Inc., Prospect Heights, Illinois.
- COSTA, M. R. A.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. 2015. Effects of water level reduction on the dynamics of the phytoplankton functional groups in tropical semi-arid shallow lakes. **Hydrobiologia**. Online first. DOI: 10.1007/s10750-015-2593-6.

DEJENIE, T.; ASMELASH, T.; DE MEESTER, L.; MULUGETA, A. G.; RISCH, S.; PALS, A.; VAN DER GUCHT, K.; VYVERMAN, W.; NYSSSEN, J.; DECKERS, J.; DECLERCK, S. 2008. Limnological and ecological characteristics of tropical highland reservoirs in Tigray, Northern Ethiopia. **Hydrobiologia**. 610: 193-209.

DE SENERPONT DOMIS, L. N.; ELSER, J. J.; GSELL, A. S.; HUSZAR, V. L. M.; IBELINGS, B. W.; JEPPESEN, E.; KOSTEN, S.; MOOIJ, W. M.; ROLAND, F.; SOMMER, U.; VAN DONK, E.; WINDER, M.; LÜRLING, M. 2013a. Plankton dynamics under different climatic conditions in space and time. **Freshwater biology**. 58: 463-482.

DE SENERPONT DOMIS, L. N.; ELSER, J. J.; GSELL, A. S.; HUSZAR, V. L. M.; IBELINGS, B. W.; JEPPESEN, E.; KOSTEN, S.; MOOIJ, W. M.; ROLAND, F.; SOMMER, U.; VAN DONK, E.; WINDER, M.; LÜRLING, M. 2013b. Plankton dynamics under different climatic conditions in tropical freshwater systems (a reply to the comment by Sarmento, Amado & Descy, 2013). **Freshwater biology**. 58: 2211-2213.

ELSER, J. J.; MARZOLF, E. R.; GOLDMAN, C. R. 1990. Phosphorus and Nitrogen Limitation of Phytoplankton Growth in the Freshwaters of North America: A Review and Critique of Experimental Enrichments. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. 47(7): 1468-1477.

FISHER, T. R.; MELACK, J. M.; GROBBELAAR, J. U.; HOWARTH, R. W. 1995. Nutrient limitation of phytoplankton and eutrophication of inland, estuarine, and marine waters. In: Tiessen, H. (ed.). **Phosphorus in the Global Environment: Transfers, Cycles and Management**. Wiley, New York: 301-322.

GARCÍA-JURADO, F.; VICENTE, I.; GALOTTI, A.; REUL, A.; JIMÉNEZ-GÓMEZ, F.; GUERRERO, F. 2012. Effect of Drought Conditions on Plankton Community and on Nutrient Availability in an Oligotrophic High Mountain Lake. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**. 44 (1): 50-61.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; DOMINGOS, P.; MARINHO, M. MELO, S. 1998. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. **Hydrobiologia**. 369;370: 59-71.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. **Climate Change 2007: Synthesis Report**.

_____. 2014. Summary for policymakers. In: FIELD, C. B.; V. R. BARROS, D. J.; DOKKEN, K. J.; MACH, M. D.; MASTRANDREA, T. E.; BILIR, M.; CHATTERJEE, K. L.; EBI, Y. O.; ESTRADA, R. C.; GENOVA, B.; GIRMA, E. S.; KISSEL, A. N.; LEVY, S.; MACCRACKEN, P. R.; MASTRANDREA, L. L.; WHITE, L. L. (ed.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, 1–32.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2008. **Perfil do seu município (Parelhas)**. 26p.

JANSSON, M.; OLSSON, H.; PETTERSSON, K. 1988. Phosphatases: origin, characteristics and function in lakes. **Hydrobiologia**. 170: 157-175.

JESPERSEN, A. M.; CHRISTOFFERSEN, K. 1987. Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. **Arch. Hydrobiol.** 109: 445-454.

LEWIS JR., W. M. 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**. 5: 35-48.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; ALVES, L. M.; CUADRA, S. V.; VALVERDE, M. C.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, S. E. T. 2010. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Clim. Dyn.** 35: 1073-1097.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. 1993. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. In: Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California. 17-22.

MEDEIROS, L. C.; MATTOS, A.; LÜRLING, M.; BECKER, V. 2015. Is the future blue-green or brown? The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi-arid man-made lake. **Aquat. Ecol.** 49: 293-307.

MOSLEY, L. M. 2015. Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. **Earth-Science Reviews**. 140: 203-214.

MOSS, B.; KOSTEN, S.; MEERHOFF, M.; BATTARBEE, R. W.; JEPPESEN, E.; MAZZEO, N.; HAVENS, K.; LACEROT, G.; LIU, Z.; DE MEESTER, L.; PAERL, H. SCHEFFER, M. 2011. Allied attack: climate change and eutrophication. **Inland Waters**. 1: 101-105.

MOSS, B. 2012. Cogs in the endless machine: Lakes, climate change and nutrient cycles: A review. **Science of the Total Environment**. 434: 130-142.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. 2014. **Clima e água de chuva no Semi-Árido**. EMBRAPA. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36534/1/OPB1515.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2014.

MÜLLER, R.; WIEDEMANN, O. 1955. Die Bestimmung des Nitrat-Ions in Wasser. **Von Wasser**. 22, 247p.

MÜLLER, S.; MITROVIC, S. M. 2015. Phytoplankton co-limitation by nitrogen and phosphorus in a shallow reservoir: progressing from the phosphorus limitation paradigm. **Hydrobiologia**. 744 (1): 255-269.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. 1962. A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**. 27: 31-36.

PAERL, H. W.; HUISMAN, J. 2008. Blooms Like It Hot. **Science**. 320: 57-58.

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.

REYNOLDS, C. S. 1997. Vegetation process in the pelagic: a model for ecosystem theory. *In*: KINNE, O. (ed.). **Excellence in Ecology**. Ecology Institute, Oldendorf Lake, Germany, 1–37.

REYNOLDS, C. S. 2006. **Ecology of Phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. 535 p.

ROLAND, F.; HUSZAR, V. L. M.; FARJALLA, V. F.; ENRICH-PRAST, A.; AMADO, A. M.; OMETTO, J. P. H. B. 2012. Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. **Braz. J. Biol.** 72: 709-722.

SARMENTO, H.; AMADO, A. M.; DESCY, J. 2013. Climate change in tropical fresh waters (comment on the paper 'Plankton dynamics under different climatic conditions in space and time' by de Senerpont Domis *et al.*, 2013). **Freshwater Biology**. 58: 2208-2210.

SCHEFFER, M.; RINALDI, S.; GRAGNANI, A.; MUR, L. R.; VAN NES, E. H. 1997. On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes. **Ecology**. 78(1): 272-282.

SCHINDLER, D. W. 2012. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. **Proc. R. Soc. B**. 279: 4322-4333.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. 2016. Disponível em: <<http://www.semarh.rn.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

SMITH, V.H. 1998. Cultural Eutrophication of Inland, Estuarine and Coastal Waters. p. 7-49. *In*: PACE, M. L.; GROFFMAN, P. M. (ed.). **Successes, Limitations, and Frontiers in Ecosystem Science**. Springer-Verlag.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. **Environmental Pollution**. 100: 179-196.

SMITH, V. H. 2003. Eutrophication of Freshwater and Coastal Marine Ecosystems: A Global Problem. **Environ. Sci. & Pollut. Res.** 10(2): 126-139.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. 2009. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution**. 24(4): 201-207.

SPOKES, L. J.; JICKELLS, T. D. 2005. Is the atmosphere really an important source of reactive nitrogen to coastal waters? **Continental Shelf Research**. 25: 2022-2035.

THORNTON, J. A. & RAST, W. 1993. A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes. *In*: M. L.

Straskraba, J. G. Tundisi & A. Duncan (eds), **Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management**. 77: 1-24.

TORRES, L. M. 2014. **Efeito da seca na dinâmica dos grupos funcionais fitoplanctônicos em reservatórios eutróficos do semiárido**. 34 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2014.

TUNDISI, J. G. 2008. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**. 22(63): 7-16.

VALDERRAMA, J. C. 1981. The simultaneous analysis of total and phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*. 10: 109-122.

WU, Z.; SHI, J.; LI, R. 2009. Comparative studies on photosynthesis and phosphate metabolism of *Cylindrospermopsis raciborskii* with *Microcystis aeruginosa* and *Aphanizomenon flos-aquae*. **Harmful Algae**. 8: 910-915.

ANEXO

Tabela 2 – Valores mínimo e máximo (média e desvio padrão) das variáveis limnológicas do reservatório Boqueirão de Parelhas nos anos de 2012, 2013 e 2014.

Variável	n	2012	n	2013	n	2014
Temperatura (°C)	12	24,54 – 28,03 (26,55 ± 1,05)	10	24,70 – 28,41 (26,55 ± 1,32)	11	25,80 – 28,83 (27,62 ± 0,96)
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	11	6,18 – 9,26 (7,89 ± 1,01)	10	6,30 – 8,70 (7,59 ± 0,80)	12	6,27 – 11,00 (8,35 ± 1,52)
Secchi (m)	12	0,85 – 3,50 (1,89 ± 0,72)	11	0,61 – 2,04 (1,18 ± 0,50)	12	0,30 – 0,60 (0,50 ± 0,09)
Z _{max} (m)	12	10,50 – 15,00 (12,78 ± 1,27)	11	7,00 – 12,70 (9,72 ± 1,99)	12	6,40 – 10,40 (8,46 ± 1,36)
Z _{eu} /Z _{max}	12	0,19 – 0,88 (0,46 ± 0,20)	11	0,22 – 0,53 (0,36 ± 0,10)	12	0,10 – 0,26 (0,18 ± 0,05)
SST (mg.L ⁻¹)	12	3,14 – 27,60 (7,23 ± 6,70)	11	3,51 – 48,00 (11,25 ± 12,63)	12	12,00 – 66,00 (23,25 ± 14,23)
SSO (mg.L ⁻¹)	12	2,57 – 9,14 (4,63 ± 1,88)	11	2,34 – 10,50 (6,48 ± 2,81)	12	7,60 – 61,00 (18,84 ± 14,42)
SSI (mg.L ⁻¹)	12	0,00 – 22,00 (2,60 ± 6,15)	11	0,00 – 39,56 (4,77 ± 11,60)	12	0,00 – 8,40 (4,41 ± 2,56)
FSR (µg.L ⁻¹)	12	0,00 – 13,29 (4,22 ± 3,26)	11	0,00 – 8,14 (3,78 ± 2,56)	12	0,00 – 11,33 (3,52 ± 3,74)
NO ₃ ⁻ (µg.L ⁻¹)	12	59,50 – 174,00 (118,04 ± 38,18)	11	100,50 – 271,50 (148,50 ± 55,58)	12	91,50 – 341,50 (181,17 ± 75,70)
NH ₄ ⁺ (µg.L ⁻¹)	12	239,93 – 1159,01 (487,95 ± 253,28)	11	250,00 – 1132,06 (677,80 ± 300,28)	12	66,19 – 262,97 (189,32 ± 69,57)
NID (µg.L ⁻¹)	12	336,93 – 1323,51 (605,99 ± 268,62)	11	368,00 – 1232,56 (826,30 ± 287,85)	12	193,19 – 595,71 (370,49 ± 113,93)
PT (µg.L ⁻¹)	12	6,83 – 54,00 (29,06 ± 12,91)	11	19,00 – 70,33 (44,64 ± 15,28)	12	57,00 – 134,83 (85,97 ± 28,01)
Clorofila-a (µg.L ⁻¹)	12	3,77 – 25,69 (11,64 ± 7,51)	11	5,48 – 58,75 (21,53 ± 15,17)	12	14,99 – 116,82 (63,32 ± 27,46)