



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

ALINE DO VALE FIGUEIREDO

**INFLUÊNCIA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS NA QUALIDADE
DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS NA REGIÃO TROPICAL SEMIÁRIDA**

Natal - RN

2015

ALINE DO VALE FIGUEIREDO

**INFLUÊNCIA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS NA QUALIDADE
DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS NA REGIÃO TROPICAL 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-orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos

**Natal – RN
2015**

Catálogo da Publicação na Fonte.
Biblioteca Central Zila Mamede. Setor de Informação e Referência

Figueiredo, Aline do Vale.

Influência de eventos hidrológicos extremos na qualidade da água de reservatórios na região tropical semiárida / Aline do Vale Figueiredo. – Natal, RN, 2015.

36 f.

Orientadora: Vanessa Becker.

Co-orientador: Arthur Mattos.

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

1. Mananciais - Dissertação. 2. Chuva intensa - Dissertação. 3. Seca severa - Dissertação. 3. Variáveis limnológicas - Dissertação. 4. Regime hidrológico – Dissertação. I. Becker, Vanessa. II. Mattos, Arthur. III. Título.

RN/UF/BCZM

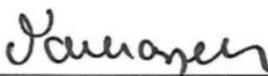
CDU 628.113

ALINE DO VALE FIGUEIREDO

**INFLUÊNCIA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS NA QUALIDADE
DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS NA REGIÃO TROPICAL 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



Profa. Dra. Vanessa Becker – Orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN



Prof. Dr. Arthur Mattos – Co-orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN



Prof. Dr. Eduardo von Sperling – Examinador Externo
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG



Profa. Dra. Odete Rocha – Examinador Externo
Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

**Natal – RN
2015**

Aos meus pais, Aldemir e Iraildes, que me ensinaram a batalhar pelos meus sonhos e a nunca perder as esperanças diante das dificuldades e desafios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor Deus em primeiro lugar, por todo carinho, cuidado, providência e amor ao longo desta jornada. Inúmeros foram os desafios, mas em nenhum deles me encontrei sozinha. *Dai graças ao Senhor, porque Ele é bom, eterna é a sua misericórdia (Sl 117:1).*

Aos meus pais, Aldemir e Iraildes, que sempre lutaram para que eu e meu irmão tivéssemos boas oportunidades de estudo e nos ensinaram a sermos pessoas honestas e perseverantes diante das dificuldades e desafios. As nossas conquistas sempre serão primeiramente de vocês.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 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 no Rio Grande do Norte) e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado.

À minha orientadora querida, Professora Dra. Vanessa Becker, que me acompanha desde a graduação e sabe orientar, dar conselhos, apoio, incentivo e atenção na medida certa. Obrigada por me acolher e me mostrar o universo acadêmico e científico com tanto amor e profissionalismo. Todos os seus ensinamentos me ajudaram a crescer pessoalmente e profissionalmente. Muito obrigada por tudo.

Ao meu Co-orientador, Professor Dr. Arthur Mattos, que me acolheu tão bem no início desta jornada, soube ser compreensivo em diversas situações e me apresentou o mundo dos grandes projetos. Agradeço também aos professores, Dr. André Luis Calado Araújo e Dra. Vera Lúcia de Moraes Huszar, pelos conselhos e contribuições na minha banca de qualificação.

Ao LARHISA (Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) pelo espaço concedido para os estudos e elaboração da minha pesquisa. Aos amigos “mevemucanos” e agregados, com os quais tive a oportunidade de conhecer, conviver e contar com o apoio na pesquisa: Jurandir, Conceição, Ângela, Laíssa, Maricota, Fabiana, Rudah, Gustavo, Radmila e as minhas queridíssimas e “pupilas adotadas” Silvana, Carol e Gabizinha. Obrigada pelo carinho, por cada palavra, gesto, atitude.

Vocês foram demais. Só desejo bênçãos na vida de cada um. Ao nosso motorista querido seu Assis, mais conhecido como “coleguinha”, que foi fundamental para as nossas atividades de campo se tornarem descontraídas e com boas gargalhadas.

Aos secretários do PPgES Pedro, Dacifran e Leonor (*in memorian*), aos técnicos Aline, Sandro e Nilton e o cuidado e limpeza da nossa querida Célia. Obrigada pelo suporte e atenção.

Aos meus amigos da graduação, mestrado e recentemente de profissão: David, Alana, Larynne e Marquinhos. O “dalma” foi fundamental no êxito das disciplinas, provas e trabalhos do mestrado. Espero tê-los sempre comigo, vocês são muitos especiais para mim.

Ao meu querido e especial namorado, Sidney. Muito obrigada pela dedicação, paciência, carinho, compreensão e incentivo durante toda esta jornada. Obrigada também por acompanhar cada passo da escrita e conclusão desse sonho que é ser mestre. Deus foi muito generoso comigo, pois me deu uma pessoa mais completa do que eu pedi. Essa realização também é sua. Eu te amo muito.

Por fim, a todos os familiares e amigos que de alguma forma me ajudaram, torceram e oraram para que este caminho fosse trilhado com sucesso. Muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.	viii
LISTA DE TABELAS.	ix
APRESENTAÇÃO.....	x
RESUMO.	xi
ABSTRACT.	xii
1. INTRODUÇÃO.	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.	4
2.1. Área de Estudo.	4
2.2. Amostragem.	4
2.3. Análise das Amostras.	5
2.4. Análise dos Dados.	6
3. RESULTADOS.....	7
4. DISCUSSÃO.	15
5. CONCLUSÕES.	17
REFERÊNCIAS.	18

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização dos mananciais estudados no semiárido do Rio Grande do Norte na bacia do Rio Piranhas-Assú (Fonte: Costa *et al.*, 2009).
- Figura 2.** Localização dos pontos de amostragem próximos às barragens (P1) nos reservatórios Gargalheiras e Cruzeta.....5
- Figura 3.** Precipitações mensais acumuladas no período de junho/2010 a maio/2014, precipitações médias mensais no período compreendido entre 1963 e 2013 (Fonte: EMPARN). SPI12: azul – moderadamente úmido; verde – normal; amarelo - moderadamente seco; vermelho - severamente seco e roxo - extremamente seco (Fonte: INMET). A - Gargalheiras; B - Cruzeta.....8
- Figura 4.** Variação do volume armazenado nos reservatórios durante o período de junho de 2010 a maio de 2014 em relação à capacidade máxima de acumulação. A - Gargalheiras; B – Cruzeta.....9
- Figura 5.** Perfis verticais do reservatório Gargalheiras no ponto 1 (próximo à barragem) - A: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); B: Oxigênio (mg L^{-1}) - no período de junho de 2010 a maio de 2014.....10
- Figura 6.** Perfis verticais do reservatório Cruzeta no ponto 1 (próximo à barragem) - A: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); B: Oxigênio (mg L^{-1}) - no período de junho de 2010 a maio de 2014.....10
- Figura 7.** Regressão linear entre as variáveis PT, Chl a , CE e Secchi com o Volume no reservatório Gargalheiras. Variáveis: PT = fósforo total; Chl a = Clorofila a ; CE = condutividade elétrica; Secchi = transparência da água.....12
- Figura 8.** Regressão linear entre as variáveis PT, FSR, CE e NO $_3^-$ com o volume no reservatório Cruzeta. Variáveis: PT = fósforo total; FSR = fósforo solúvel reativo; CE = condutividade elétrica; NO $_3^-$ = nitrato.....13
- Figura 9.** Análise de Componentes Principais (ACP) de variáveis limnológicas no reservatório Gargalheiras, durante o período compreendido entre junho de 2010 a maio de 2014. Variáveis: Secchi = transparência da água; CE = condutividade elétrica; SO = sólidos suspensos orgânicos; PT = fósforo total; NO $_3^-$ = nitrato; Chl a = Clorofila a14
- Figura 10.** Análise de Componentes Principais (ACP) de variáveis limnológicas no reservatório Cruzeta, durante o período compreendido entre junho de 2010 a maio de

2014. Variáveis: Secchi = transparência da água; CE = condutividade elétrica; SI = sólidos suspensos inorgânicos; SO = sólidos suspensos orgânicos; PT = fósforo total; NO_3^- = nitrato; FSR = fósforo solúvel reativo; Chl a = Clorofila a15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos Reservatórios Gargalheiras e Cruzeta (Fonte: SEMARH, 2014).....4

Tabela 2. Dados dos valores SPI12, valores médios e categoria da seca (Fonte: INMET).....6

Tabela 3. Estatísticas descritivas (mínima, máxima e média) das variáveis limnológicas monitoradas nos reservatórios Gargalheiras e Cruzeta no ponto amostral próximo da barragem, durante os períodos I e II.....11

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, sob a orientação da professora Dra. Vanessa Becker e co-orientação do professor Dr. Arthur Mattos. A pesquisa foi parte integrante do projeto “Monitoramento da Evaporação e Mudanças Climáticas no Rio Grande do Norte”, financiado pela FINEP/CNPq (processo nº 52009). O título deste trabalho é “Influência de eventos hidrológicos extremos na qualidade da água de reservatórios na região tropical semiárida” e está na forma de artigo científico contendo os seguintes itens: resumo, abstract, introdução, material e métodos, resultados, discussão, conclusões e referências.

O estudo de eventos hidrológicos extremos (chuva intensa e seca severa) em reservatórios da região semiárida do Nordeste gerou resultados importantes, pois elucidou seus impactos na qualidade da água de mananciais utilizados para abastecimento público, deixando clara a necessidade e importância de se cuidar deste bem para que nos períodos de seca severa, principalmente, os baixos volumes disponíveis para a população possuam qualidade suficiente para suprir as suas necessidades básicas.

RESUMO: Reservatórios são ecossistemas artificiais, intermediários entre rios e lagos, apresentando características morfométricas e hidrológicas distintas que podem render muitos benefícios importantes para a sociedade. Entretanto, a utilização dessa água para abastecimento humano, dessedentação de animais, lazer, produção agrícola irrigada e desenvolvimento da piscicultura, influenciam diretamente no aumento do aporte de nutrientes para os ambientes aquáticos e, conseqüentemente, contribuem para a aceleração da eutrofização. Além disso, modelos de mudanças climáticas globais estão prevendo a maior ocorrência de eventos extremos como chuvas intensas e seca severa, que criará estresses hidrológicos em lagos. No semiárido nordestino já se percebe a ocorrência desses eventos, a seca dos anos de 2012, 2013 e 2014 foi a pior seca dos últimos 60 anos, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA). Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água de mananciais do semiárido tropical, identificando padrões temporais em períodos com eventos hidrológicos extremos (chuva intensa e seca prolongada). Os resultados do estudo mostraram que os reservatórios Gargalheiras e Cruzeta apresentaram mudanças significativas nas variáveis limnológicas entre os períodos de chuva e de seca severa, com melhora no aspecto visual e na maioria das variáveis da qualidade da água no período chuvoso e maiores concentrações de nutrientes e elevados valores de condutividade elétrica no período de seca severa, indicando decaimento da sua qualidade. Entretanto, constataram-se comportamentos distintos entre os reservatórios no período de seca severa. Enquanto Gargalheiras apresentou um comportamento típico de reservatórios da região, com elevadas concentrações de biomassa algal, indicando o agravamento da eutrofização, cruzeta demonstrou um colapso na biomassa total fitoplanctônica evidenciado pela diminuição das concentrações de *chl a*. Este fato se deu principalmente pela baixa profundidade e proximidade com o sedimento ter facilitado a ressuspensão de sólidos inorgânicos e, conseqüentemente, ocasionar a característica turbida e limitação por luz na coluna d'água. Além disso, os comportamentos distintos entre os reservatórios estudados indicam que as respostas destes ambientes frente à problemática dos eventos extremos devem levar em consideração fatores como o clima da região, tamanho e profundidade do reservatório, além das características das suas bacias.

Palavras-chave: Mananciais; Chuva Intensa; Seca Severa; Variáveis Limnológicas; Regime Hidrológico.

ABSTRACT: Reservoirs are artificial ecosystems, intermediate between rivers and lakes, with different morphological and hydrological characteristics that can provide many important benefits to society. However, the use of this water for human consumption, watering livestock, leisure, irrigated agricultural production and pisciculture development, directly influence the increase loading of nutrients to aquatic environments and contribute to acceleration of eutrophication. Furthermore, global climate models are predicting a higher occurrence of extreme events such as floods and severe droughts, which will create hydrological stresses in lakes. In the semiarid northeast we can see the occurrence of these events, the drought of the years 2012, 2013 and 2014 was the worst drought in 60 years, according to the National Water Agency (ANA). Thus, this study aimed to evaluate the quality of the semiarid tropical water sources, identifying temporal patterns in periods with extreme hydrological events (floods and severe droughts). The study results showed that Gargalheiras and Cruzeta reservoirs presented significative changes in the limnological variables between rain and severe drought periods, with better appearance and in the most of the water quality variables in the rainy season and higher nutrientes concentrations and high electrical conductivity values in severe season, indicating decay of its quality. However, we found different behaviors between the reservoirs in severe drought. While Gargalheiras showed a typical behavior of the region, with high concentrations of algal biomass, indicating the worsening eutrophication, Cruzeta demonstrated a collapse in the total phytoplankton biomass, evidenced by the decrease in *chl a* concentrations. This fact occurred because the low depth and proximity with the sediment facilitated the inorganic solids resuspension and, consequently, resulted in turbid water column and light by limitation. In addition, the different behaviors between the reservoirs indicate that the responses of these environments problems such as extreme events must take into account factors such the region climate, size, depth of the reservoir and the basin characteristics.

Key-words: Fountains; Flood; Severe Drought; Limnological Variables; Hydrological Regime.

1. INTRODUÇÃO

Reservatórios são ecossistemas artificiais, intermediários entre rios e lagos, apresentando características morfométricas e hidrológicas distintas, com organizações verticais e horizontais diferentes variando de represamentos de grande escala a pequenos rios represados com um padrão sazonal e as flutuações do nível da água estreitamente relacionadas com a vazão do rio (Margalef, 1975; Meybeck *et al.*, 1996). Esses sistemas promovem uma contínua e dinâmica ligação entre ecossistemas terrestres e aquáticos e por isso são sensíveis às alterações humanas na bacia de drenagem (Oliveira, 2012).

No Nordeste brasileiro, em especial na região semiárida, as secas de 1825, 1827 e 1830 marcaram o início da construção de reservatórios, comumente chamados de “açudes”, para garantir uma maior segurança hídrica na região (Rebouças, 1997). Sendo assim, foi vital para a ocupação e desenvolvimento de atividades econômicas, capaz de aumentar a resistência do homem à seca, através do suprimento de água para abastecimento humano, dessedentação de animais, lazer, produção agrícola irrigada e desenvolvimento da piscicultura (Bouvy *et al.*, 1999; Freitas *et al.*, 2011; Ortiz-Jimenez *et al.*, 2006; Cunha *et al.*, 2011). Estes usos múltiplos, tão presentes no semiárido nordestino, influenciam diretamente no aumento do carreamento de nutrientes para os ambientes aquáticos e, conseqüentemente, contribuem para a aceleração da eutrofização com conseqüente formação de florações de cianobactérias (Huszar *et al.*, 2000; Bouvy *et al.*, 2000; Becker *et al.*, 2009; Soares *et al.*, 2008).

A eutrofização pode ser definida como o enriquecimento de um corpo d’água por nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, resultando no aumento da produtividade primária e biomassa algal, com conseqüente alteração da estrutura e função desses ecossistemas (Smith & Schindler, 2009; Silva, *et al.*, 2011).

Quando este enriquecimento é originado de atividades antrópicas, é descrito como eutrofização artificial e se deve, principalmente, às descargas de esgoto humano, excrementos de animais e fertilizantes sintéticos aplicados em áreas agrícolas (Schindler, 2012). Sendo assim, é resultado da má gestão dos recursos hídricos, na qual deve atender à demanda crescente exigida pelo aumento global da população humana e, ainda, suportar as contribuições de efluentes doméstico, industrial e das atividades de agropecuária (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1992).

O aumento da disponibilidade de nutrientes acarreta crescimento da comunidade fitoplanctônica e incidência de cianobactérias potencialmente tóxicas, causando processos de decomposição da matéria orgânica e depleção significativa do oxigênio dissolvido, podendo ocasionar a morte das comunidades aquáticas aeróbias e gerar a perda da qualidade cênica do ambiente (Carpenter *et al.*, 1998; Paerl & Otten, 2013).

Algumas características das regiões semiáridas como a intermitência dos rios, a seca prolongada e as altas taxas de evaporação tendem a aumentar os níveis de nutrientes e o tempo de residência da água dos mananciais, favorecendo a condição eutrófica e a inviabilização do uso destes para as atividades humanas (Costa *et al.*, 2009; Barbosa *et al.*, 2012).

Os fatores climáticos e hidrológicos também desempenham papéis importantes nas alterações na entrada, saída, nível de água e tempo de residência dos reservatórios, afetando diretamente as características limnológicas (Naselli-Flores & Barone, 2005; Soares *et al.*, 2012). Além disso, mudanças climáticas, globais ou locais, podem afetar a qualidade da água dos mananciais, principalmente no que diz respeito à dinâmica de nutrientes. Chuvas intensas de curta duração acarretam maior erosão do solo e distribuição dos nutrientes e, por isso, o esperado é um aumento na entrada de fósforo nos lagos via tributários, ainda mais em casos de bacias de drenagem com uso para agricultura e histórico de fertilizantes (Mooji *et al.*, 2009; Moss *et al.*, 2011). Já os eventos de seca prolongada causam queda nos níveis de água, concentrando os nutrientes ali existentes, condição favorável para o crescimento excessivo de cianobactérias (Moss *et al.*, 2011).

Em anos recentes, eventos extremos (inundações, secas prolongadas) vêm sendo vivenciados com maior gravidade e o período entre eles parece ter se tornado mais curto em certas regiões (Mishra *et al.*, 2010). Além disso, modelos de mudanças climáticas globais estão prevendo a sua maior frequência, o que criará estresses hidrológicos em lagos (IPCC, 2014). No semiárido nordestino já se percebe a ocorrência desses eventos, a seca dos anos de 2012, 2013 e 2014 foi a pior seca dos últimos 60 anos, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA).

As regiões semiáridas são caracterizadas por ter uma precipitação anual entre 400 e 800 milímetros com uma estação chuvosa que ocorre normalmente entre janeiro e julho, mas apresentando variação espacial e temporal de amplitude (Barbosa *et al.*, 2012). O prolongado período seco anual, caracterizado tanto pela ausência e escassez quanto pela alta variabilidade espacial e temporal das chuvas, eleva a temperatura local,

caracterizando a aridez sazonal (Vieira, 2002). Ainda para esta região, as altas temperaturas e baixa precipitação podem resultar em um aumento na eutrofização e salinização das águas superficiais e, como consequência, o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias, que já é usualmente reportada (Huszar *et al.*, 2000; Bouvy *et al.*, 2000; Brasil, 2011; Medeiros, 2013), tornando as águas impróprias para o consumo e irrigação. Além disso, em alguns reservatórios, cianobactérias podem chegar a compor cerca de 90-100% da densidade fitoplanctônica total (Costa *et al.*, 2006; Panosso *et al.*, 2007; Costa *et al.*, 2009), fato considerado consequência desta eutrofização artificial (Panosso *et al.*, 2007).

Por se tratar de uma região voltada para atividades de agricultura e criação de gado onde grande parte da população sobrevive dessas atividades, a preocupação com a quantidade e a qualidade da água, principalmente no período de estiagem, afeta os moradores e gestores de uma forma geral. Esse tipo de poluição é caracterizado como poluição difusa, uma das principais causas de comprometimento da qualidade da água de ambientes aquáticos em diversos países, devido a sua difícil quantificação e constante variação ao longo do tempo (Carpenter *et al.*, 1998).

As flutuações sazonais no nível d'água dos reservatórios estão associadas a mudanças nas características físicas, químicas e biológicas desses sistemas, podendo resultar em uma diminuição na qualidade da água em ecossistemas aquáticos durante períodos caracterizados por baixa precipitação e redução dos volumes armazenados (Arfi, 2003; Nõgoes *et al.*, 2003). Embora diminua a carga externa de nutrientes devido a menores precipitações, a carga interna aumenta, há maior concentração de nutrientes em menos água, além da contribuição da ressuspensão mais frequente do sedimento (Jeppesen *et al.*, 2015). Logo, o cuidado com os usos da água em toda a bacia, principalmente as atividades que fazem uso de nutrientes, também deve ser alvo de discussão, planejamento e tomada de decisões por parte dos gestores e moradores da região, principalmente com a presença cada vez mais frequente de eventos extremos como chuvas intensas e secas prolongadas.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água de mananciais do semiárido tropical, identificando padrões temporais em períodos com eventos hidrológicos extremos (chuva intensa e seca prolongada).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, localizada nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, é de grande importância econômica para o estado do Rio Grande do Norte, ocupando uma superfície de 17.498,5 km², que corresponde a cerca de 32,8% do território estadual, contribuindo com 79,6% do total de água acumulada no estado. Dentre os reservatórios situados nessa bacia, estão Gargalheiras e Cruzeta (Figura 1), dois mananciais de abastecimento público e que serão objetos deste estudo (Tabela 1).

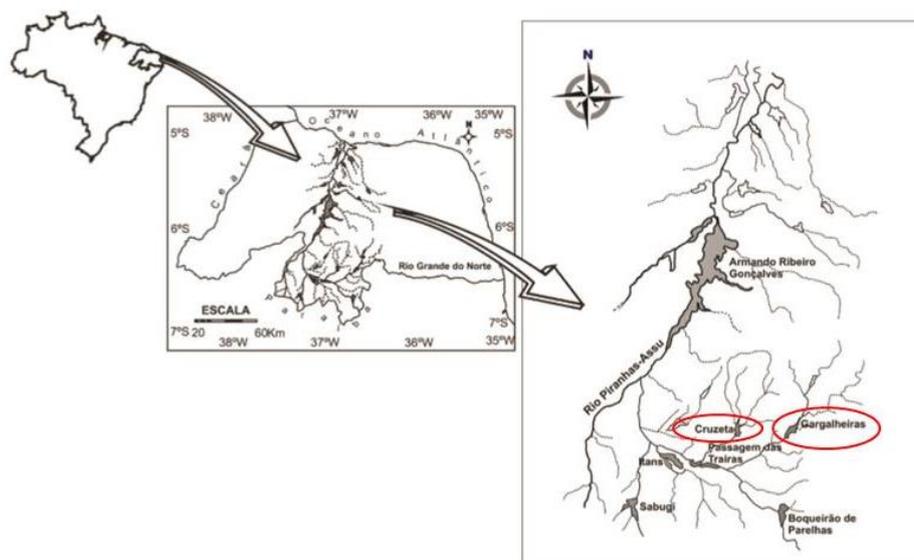


Figura 1. Localização dos mananciais estudados no semiárido do Rio Grande do Norte na bacia do Rio Piranhas-Assú (Fonte: Costa *et al.*, 2009).

Tabela 1. Características dos Reservatórios Gargalheiras e Cruzeta (Fonte: SEMARH, 2014).

Reservatório	Gargalheiras	Cruzeta
Coordenadas geográficas	06°25'30"S / 36°36'09"W	06°24'42"S / 36°47'23"W
Ano de construção	1959	1929
Rio barrado	Acauã	São José
Cidades abastecidas (RN)	Acari e Currais Novos	Cruzeta
Área (ha)	805,67	748,79
Capacidade máxima de acumulação (m ³)	44,4 milhões	35 milhões
Profundidade máxima (m)	26,5	14,5
Profundidade média (m)	5,5	4,7

2.2. Amostragem

As amostras foram coletadas mensalmente nos reservatórios Gargalheiras e Cruzeta no período de julho de 2010 a maio de 2014. As coletas foram realizadas sempre no ponto próximo à barragem (Figura 2). Este ponto é onde se encontra a captação de água para consumo humano e é o local mais profundo do reservatório, sendo possível a coleta de amostras no epilímnio e no hipolímnio.



Figura 2. Localização dos pontos de amostragem próximos às barragens (P1) nos reservatórios Gargalheiras e Cruzeta.

Os perfis verticais de pH, temperatura e oxigênio dissolvido foram medidos através da sonda multiparamétrica HIDROLAB DS5, a intervalos de 1 metro, da superfície ao fundo do reservatório. A transparência da água foi medida com o auxílio do disco de Secchi.

Também foram coletadas amostras integradas do epilímnio com o auxílio da garrafa de Van Dorn, de acordo com o perfil de oxigênio fornecido pela sonda multiparamétrica. As subamostras foram acondicionadas em garrafas de polietileno, previamente lavadas com HCl 10% e água deionizada, e acondicionadas em caixas térmicas com gelo durante o transporte para o laboratório.

2.3. Análise das amostras

Em laboratório foram feitas as análises de sólidos suspensos orgânicos e inorgânicos, nutrientes dissolvidos (fósforo solúvel reativo e nitrato), nutrientes totais (fósforo total) e clorofila *a*. Com a técnica de ignição em forno mufla a 550°C (APHA, 2012) foi possível determinar as concentrações de sólidos orgânicos e inorgânicos. Através do método colorimétrico determinaram-se as concentrações de fósforo total (Valderrama, 1981) com as amostras não filtradas; fósforo solúvel reativo (Murphy & Riley, 1962) e nitrato (Valderrama, 1981), com parte do volume das amostras filtrado em filtros de fibra de vidro (\varnothing 47 mm e 1,5 μ m de porosidade) e clorofila *a* (Jepersen e Christoffersen, 1988).

2.4. Análise dos Dados

Os dados relativos às precipitações pluviiais mensais e à série temporal da região foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do estado do Rio Grande do Norte (EMPARN). Com base nessas informações e no Índice de Precipitação Padronizada (SPI) (Mckee *et al.*, 1993), fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os meses foram divididos em dois períodos: período I como sendo de chuva intensa e período II como sendo de seca severa. Este índice é baseado na probabilidade de precipitação para diferentes escalas de tempo e avalia a severidade da seca. Para fluxos de rios e reservatórios, são utilizados os de maiores escala, pois se tornam úteis para o gerenciamento da seca e do uso da água (Anunciação *et al.*, 2010). Sendo assim, foi utilizado o SPI12, escala de tempo de 12 meses, onde os valores SPI de severidade da seca indicados e os utilizados neste trabalho estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Dados dos valores SPI12, valores médios e categoria da seca (Fonte: INMET).

Correspondência entre SPI12 e Categorias de Clima

Valores SPI12	Valor médio utilizado	Categoria
> +2	2,25	Extremamente Úmido
+1,50 a +1,99	1,75	Severamente Úmido
+1,00 a +1,49	1,25	Moderadamente Úmido
-0,99 a +0,99	0	Normal
-1,00 a -1,49	-1,25	Moderadamente Seco

-1,50 a -1,99	-1,75	Severamente Seco
< -2,00	-2,25	Extremamente Seco

Os volumes armazenados e as suas variações nos reservatórios ao longo do período de estudo, foram fornecidos pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH).

Foram realizadas análises estatísticas descritivas e de regressão linear com o auxílio do programa Statistica® (Statsoft Inc. 1996) para avaliar quais variáveis limnológicas variaram significativamente com o volume. Foi realizada ainda a Análise de Componentes Principais (ACP), para cada reservatório, com os dados de volume, transparência da água, condutividade elétrica, sólidos orgânicos e inorgânicos, fósforo solúvel reativo, nitrato, fósforo total e clorofila *a*, utilizando o programa PC-ORD® v.6 (McCune e Mefford, 2011) a fim de verificar os gradientes temporais das variáveis limnológicas durante os períodos estudados.

3. RESULTADOS

Cenário Meteorológico e Hidrológico

O período de estudo foi subdividido de acordo com o SPI12 pelo INMET, onde os meses foram classificados como: extremamente úmido, severamente úmido, moderadamente úmido, normal, moderadamente seco, severamente seco e extremamente seco. De acordo com este índice dois períodos foram identificados (Figura 3): (I) *período chuvoso* – meses classificados pelo INMET como moderadamente úmido e normal – caracterizado por chuvas acima da média nos meses chuvosos e meses secos normais, mas sob a influência das altas precipitações dos meses de chuva anteriores; (II) *período de seca severa* – meses classificados pelo INMET como moderadamente seco, severamente seco, extremamente seco e normal - com chuvas bem abaixo da média histórica nos meses chuvosos e meses secos normais, podendo ser considerado um período de seca severa (Figura 3).

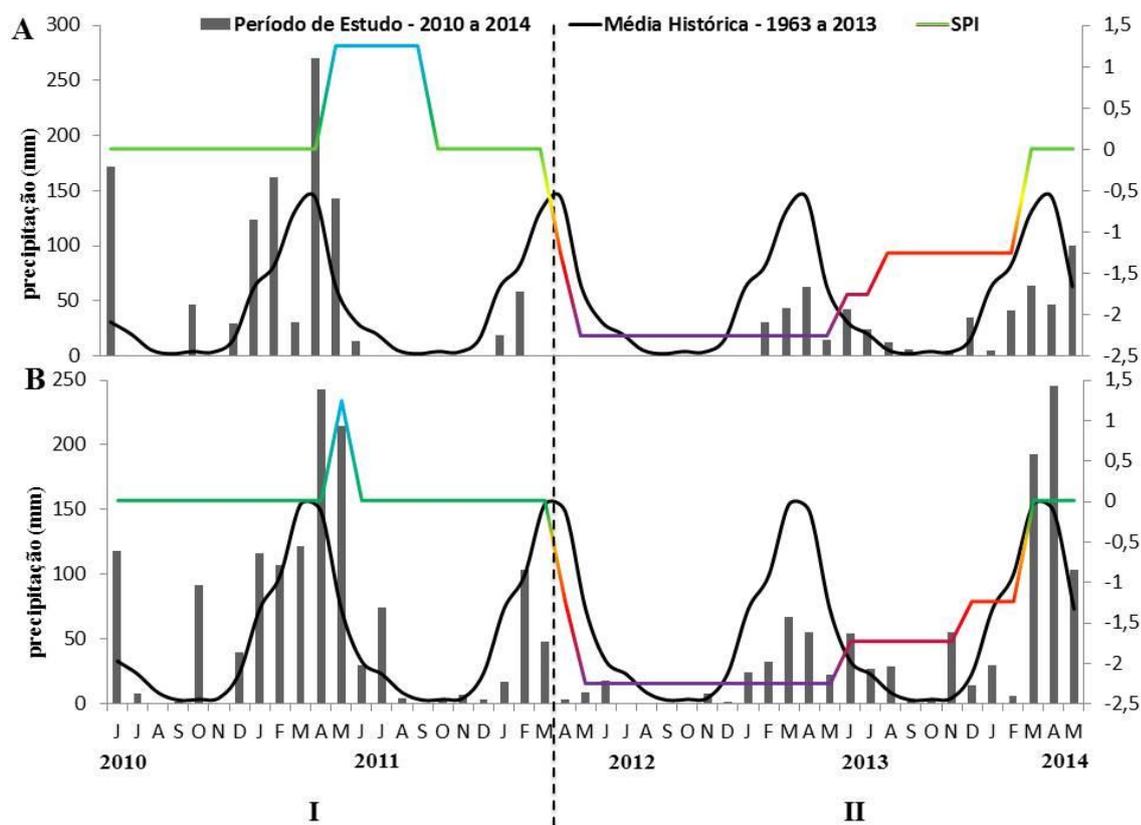


Figura 3. Precipitações mensais acumuladas no período de junho/2010 a maio/2014, precipitações médias mensais no período compreendido entre 1963 e 2013 (Fonte: EMPARN). SPI12: azul – moderadamente úmido; verde – normal; amarelo - moderadamente seco; vermelho - severamente seco e roxo - extremamente seco (Fonte: INMET). A - Gargalheiras; B - Cruzeta.

Os volumes armazenados dos reservatórios Gargalheiras e Cruzeta apresentaram variação durante o período analisado, com os volumes em torno de 60% de sua capacidade de acumulação no início do estudo. Com as chuvas acima da média histórica nos primeiros meses do ano de 2011, os mananciais atingiram 100% da capacidade e extravasaram. A partir deste período, com a seca prolongada, houve uma diminuição progressiva do armazenamento. Entretanto, a ocorrência de precipitações nos últimos meses do período estudado propiciou um aumento em torno de 20% do volume armazenado de Cruzeta (Figura 4).

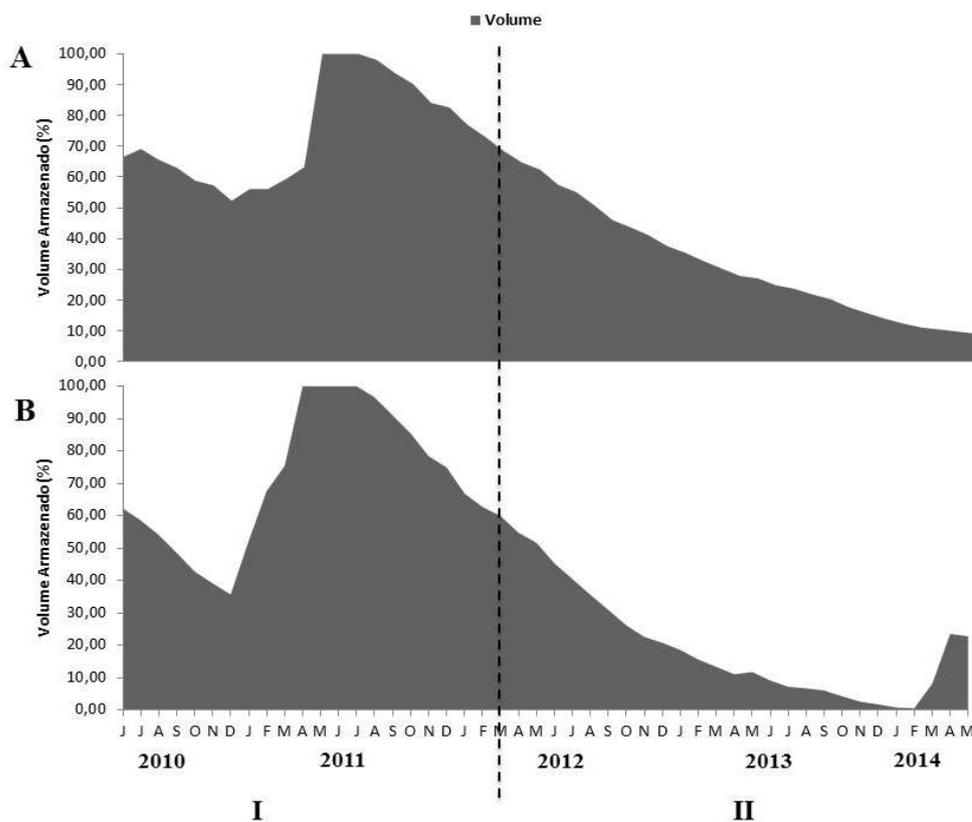


Figura 4. Variação do volume armazenado nos reservatórios durante o período de junho de 2010 a maio de 2014 em relação à capacidade máxima de acumulação. A - Gargalheiras; B – Cruzeta.

Cenário Limnológico

De acordo com os perfis de temperatura (Figura 5A e 6A) e oxigênio dissolvido (Figuras 5B e 6B), ambos os reservatórios apresentaram uma tendência à mistura no período chuvoso e à estratificação térmica e química no período de seca severa. Entretanto, Gargalheiras por ser um sistema mais profundo, durante o período de seca severa, a coluna d'água apresentou hipolímnia anóxica (Figura 5B).

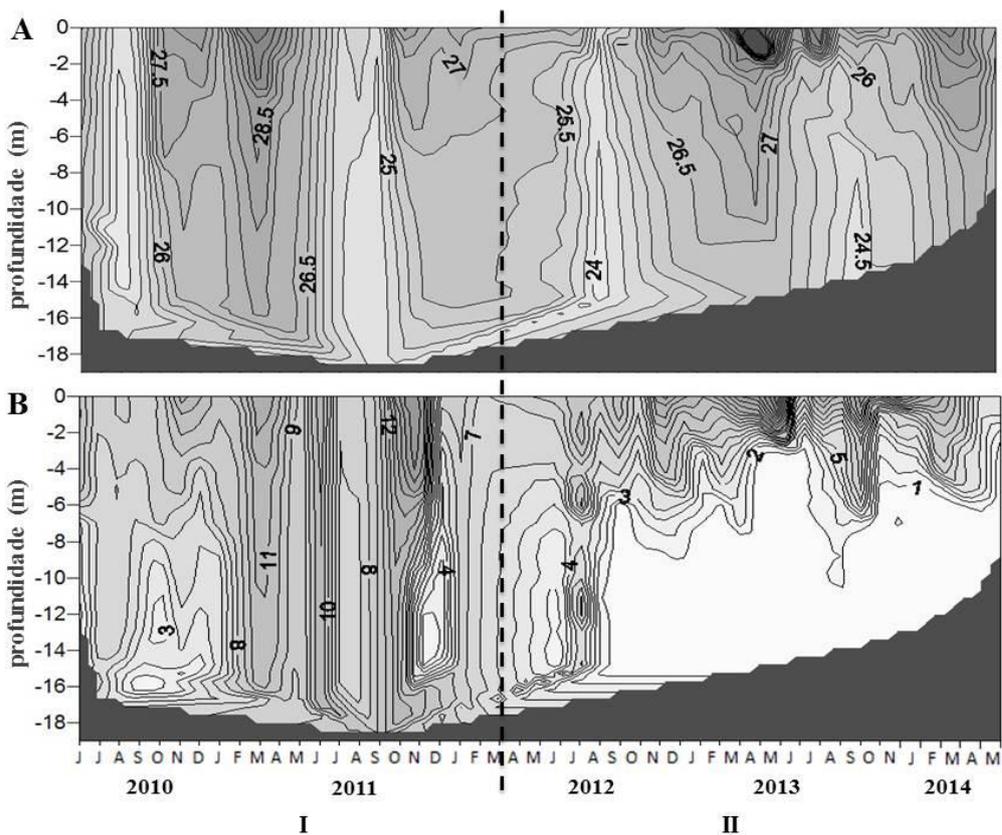


Figura 5. Perfis verticais do reservatório Gargalheiras no ponto 1 (próximo à barragem) - A: Temperatura (°C); B: Oxigênio (mg L⁻¹) - no período de junho de 2010 a maio de 2014.

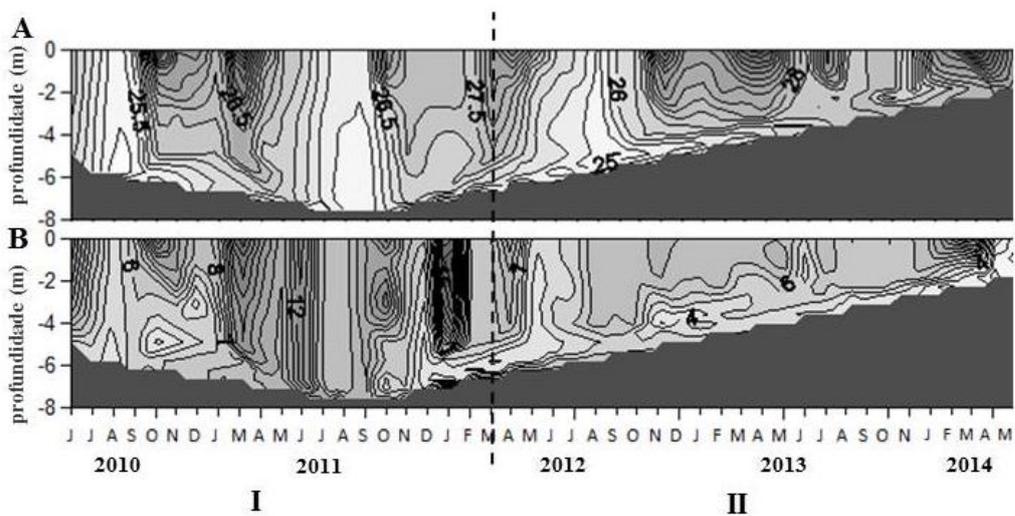


Figura 6. Perfis verticais do reservatório Cruzeta no ponto 1 (próximo à barragem) - A: Temperatura (°C); B: Oxigênio (mg L⁻¹) - no período de junho de 2010 a maio de 2014.

No reservatório Gargalheiras, as variáveis profundidade máxima e transparência da água obtiveram maiores valores médios no período chuvoso, enquanto que as variáveis condutividade elétrica, pH, sólidos inorgânicos, sólidos orgânicos, fósforo total, nitrato, fósforo solúvel reativo e clorofila *a* apresentaram maiores valores médios

no período de seca severa. O reservatório Cruzeta apresentou comportamento distinto, pois além da profundidade máxima e da transparência da água, as variáveis sólidos orgânicos e clorofila *a* também apresentaram maiores valores médios durante o período chuvoso. No período de seca severa, as variáveis condutividade elétrica, pH, sólidos inorgânicos, fósforo total, nitrato e fósforo solúvel reativo tiveram seus maiores valores médios (Tabela 3).

Tabela 3. Estatísticas descritivas (mínima, máxima e média) das variáveis limnológicas monitoradas nos reservatórios Gargalheiras e Cruzeta no ponto amostral próximo da barragem, durante os períodos I e II.

Parâmetro	GARGALHEIRAS		CRUZETA	
	Período I	Período II	Período I	Período II
Zmax (m)	14,3 – 20,2 (17,9 ± 1,9)	7,0 – 19,5 (14,0 ± 3,0)	4,5 – 8,7 (6,7 ± 1,2)	0,3 – 5,7 (3,4 ± 1,4)
Secchi (m)	0,35 – 2,10 (0,76 ± 0,41)	0,15 – 0,50 (0,28 ± 0,09)	0,20 – 1,00 (0,62 ± 0,21)	0,05 – 0,80 (0,47 ± 0,18)
T (°C)	23,8 – 31,0 (27,4 ± 1,9)	24,6 – 33,7 (28,6 ± 2,3)	24,5 – 33,9 (28,1 ± 2,5)	24,9 – 33,4 (29,0 ± 2,4)
OD (mg L ⁻¹)	6,79 – 16,87 (10,87 ± 2,97)	4,10 – 21,65 (11,17 ± 4,05)	4,17 – 17,52 (10,16 ± 3,64)	1,40 – 14,92 (7,33 ± 2,68)
CE (µS cm ⁻¹)	340,0 – 927,0 (697,7 ± 150,4)	867,0 – 2070,0 (1190,0 ± 301,2)	289,0 – 1225,0 (683,5 ± 280,9)	210,0 – 1713,0 (966,1 ± 429,5)
pH	7,7 – 10,6 (8,8 ± 0,6)	6,7 – 10,3 (9,2 ± 0,7)	6,7 – 10,0 (8,3 ± 0,8)	7,7 – 10,3 (8,4 ± 0,6)
SSI (mg L ⁻¹)	0,0 – 18,8 (3,2 ± 3,9)	0,0 – 13,5 (4,9 ± 4,0)	0,0 – 11,7 (4,6 ± 3,6)	0,4 – 29,5 (11,1 ± 8,1)
SSO (mg L ⁻¹)	0,9 – 36,5 (11,9 ± 9,6)	6,0 – 43,6 (24,0 ± 9,6)	4,4 – 37,4 (12,9 ± 9,8)	0,9 – 14,0 (6,9 ± 3,8)
PT (µg L ⁻¹)	21,67 – 147,83 (99,42 ± 30,16)	55,20 – 342,00 (212,17 ± 91,00)	37,23 – 194,15 (88,80 ± 52,29)	21,20 – 517,00 (160,14 ± 133,02)
NO ₃ ⁻ (µg L ⁻¹)	42,00 – 104,46 (78,12 ± 17,73)	46,50 – 309,50 (133,42 ± 58,37)	24,50 – 132,59 (87,31 ± 29,98)	42,50 – 287,50 (136,59 ± 62,38)
FSR (µg L ⁻¹)	0,00 – 104,33 (23,45 ± 28,40)	2,57 – 138,83 (27,63 ± 39,63)	0,00 – 67,42 (14,48 ± 17,49)	4,50 – 269,50 (94,28 ± 69,84)
Chla (µg L ⁻¹)	5,82 – 162,11 (72,17 ± 48,17)	41,25 – 348,68 (186,78 ± 70,54)	5,86 – 162,73 (49,59 ± 41,05)	2,40 – 167,87 (24,14 ± 34,35)

Variáveis: Zmax = profundidade máxima; Secchi = transparência da água; CE = condutividade elétrica; SSI = sólidos suspensos inorgânicos; SSO = sólidos suspensos orgânicos; PT = fósforo total; NO₃⁻ = nitrato; FSR = fósforo solúvel reativo; Chla = Clorofila *a*.

Os resultados das análises de regressão linear para o reservatório Gargalheiras mostraram que houve uma relação negativa do volume com o PT ($P < 0,001$), Chla ($P < 0,001$) e CE ($P < 0,001$) e positiva com a transparência da água ($P = 0,001$), destacando que o volume explicou 64% da variação do PT ($R^2 = 0,64$) e 70% da variação da CE ($R^2 = 0,70$) (Figura 7).

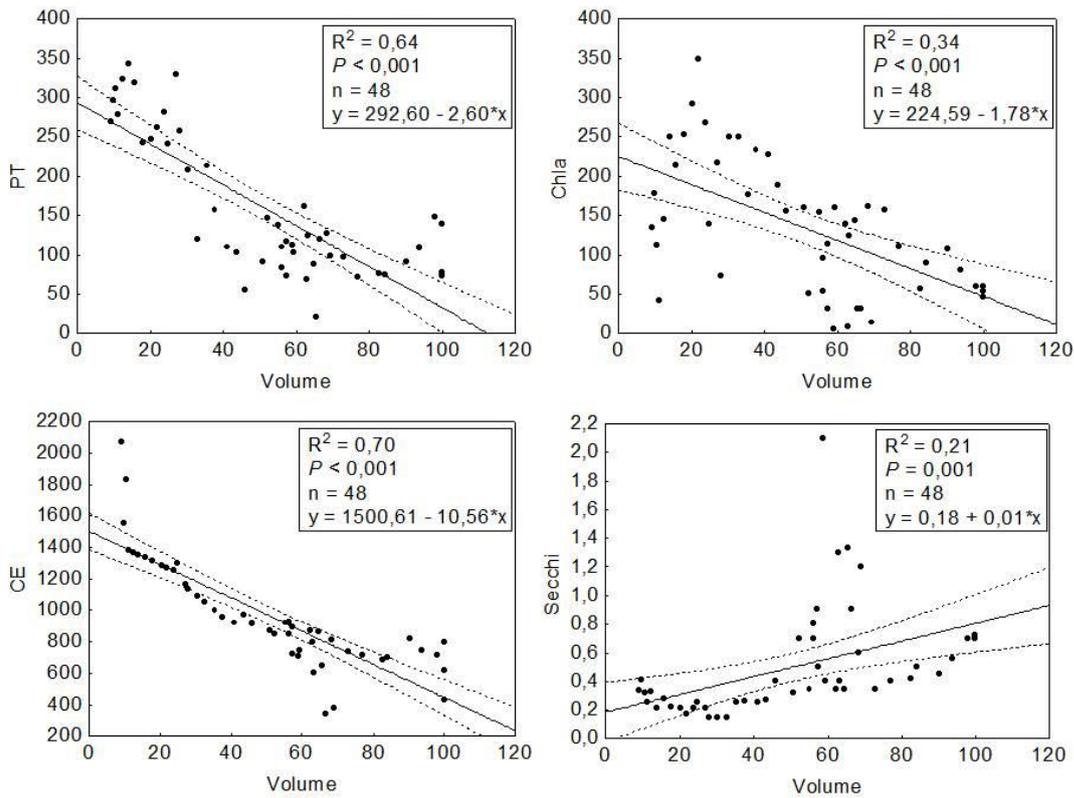


Figura 7. Regressão linear entre as variáveis PT, Chla, CE e Secchi com o Volume no reservatório Gargalheiras. Variáveis: PT = fósforo total; Chla = Clorofila *a*; CE = condutividade elétrica; Secchi = transparência da água.

Para o reservatório Cruzeta, as análises de regressão linear mostraram uma relação negativa com o PT ($P < 0,001$), FSR ($P < 0,001$), CE ($P < 0,001$) e NO_3^- ($P < 0,001$). Destacando-se o fato do volume explicar 41% da variação do FSR no reservatório (Figura 8).

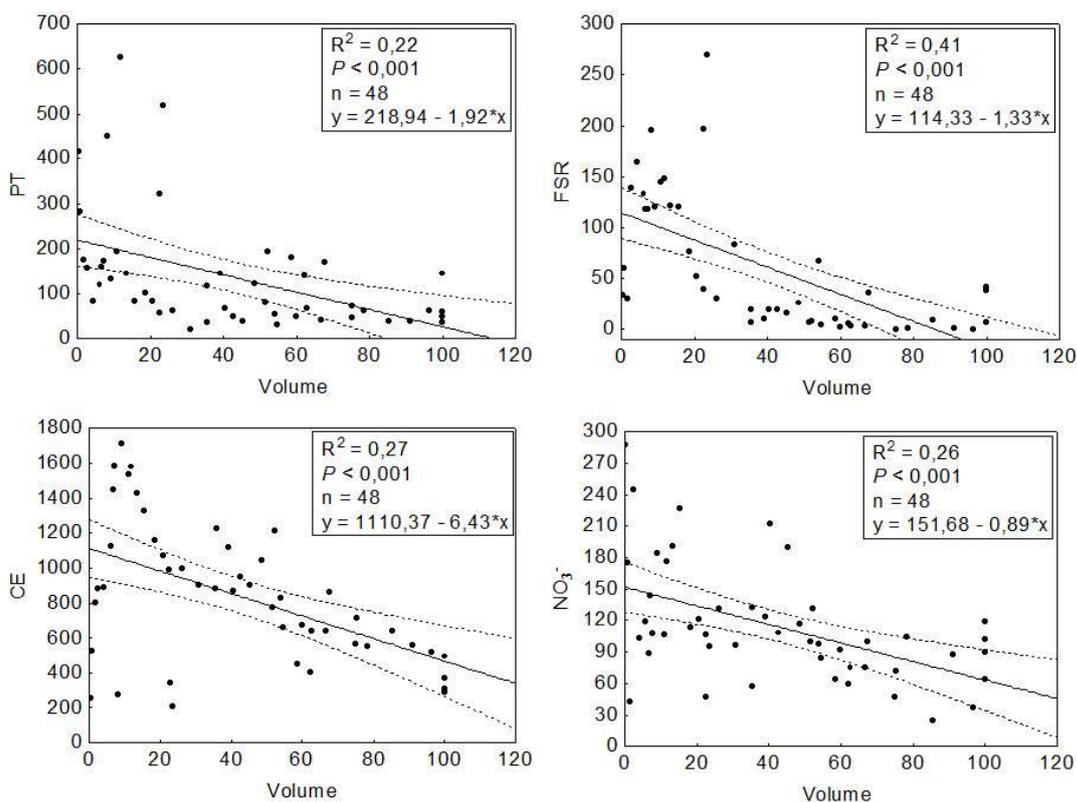


Figura 8. Regressão linear entre as variáveis PT, FSR, CE e NO₃⁻ com o volume no reservatório Cruzeta. Variáveis: PT = fósforo total; FSR = fósforo solúvel reativo; CE = condutividade elétrica; NO₃⁻ = nitrato.

Análise de Ordenação

A análise de componentes principais (ACP) também mostrou comportamentos distintos, com as unidades amostrais segregadas entre os períodos chuvoso e de seca severa.

A ACP de Gargalheiras, com oito variáveis limnológicas e o volume do reservatório, explicaram 73,8% dos dados (eixo 1: 38,3%; eixo 2: 35,5%). Em relação ao eixo 1 somente o fósforo solúvel reativo foi correlacionado (0,99). Para o eixo 2 as variáveis mais importantes na ordenação foram: volume (-0,76), Secchi (-0,88), condutividade elétrica (0,81), sólidos orgânicos (0,89), fósforo total (0,72), nitrato (0,44) e clorofila *a* (0,87). O eixo 2 ($P=0,001$) apresentou uma tendência temporal de acordo com os eventos hidrológicos extremos, onde no lado positivo do eixo estavam as unidades amostrais do período de seca severa e no lado negativo do eixo as unidades amostrais do período chuvoso (Figura 9).

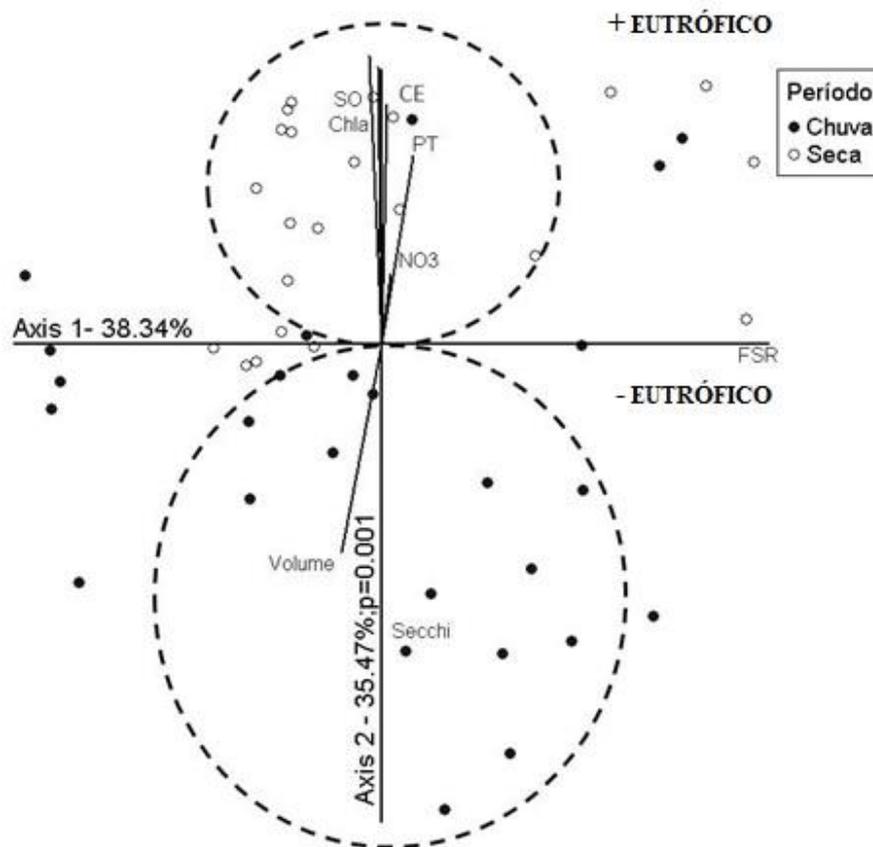


Figura 9. Análise de Componentes Principais (ACP) de variáveis limnológicas no reservatório Gargalheiras, durante o período compreendido entre junho de 2010 a maio de 2014. Variáveis: Secchi = transparência da água; CE = condutividade elétrica; SO = sólidos suspensos orgânicos; PT = fósforo total; NO_3^- = nitrato; Chla = Clorofila *a*.

Em Cruzeta, a análise de componentes principais (ACP), usando oito variáveis limnológicas e o volume do reservatório explicaram 72,9% dos dados (eixo 1: 54,4%; eixo 2: 18,5%). As variáveis mais importantes na ordenação do eixo 1 foram: volume (0,82), sólidos inorgânicos (-0,56), fósforo total (-0,61), nitrato (-0,56) e fósforo solúvel reativo (-0,94). Em relação ao eixo 2, as variáveis mais importantes foram: Secchi (-0,43), condutividade elétrica (-0,52) e clorofila *a* (0,86). O eixo 1 ($P=0,001$) apresentou uma tendência temporal das unidades amostrais de acordo com os eventos hidrológicos, onde no lado positivo do eixo estavam relacionadas as unidades amostrais do período chuvoso, com maior volume e Secchi e no lado negativo do eixo estavam relacionadas as unidades amostrais do período de seca severa com maior condutividade elétrica e maiores concentrações de fósforo total, nitrato e sólidos inorgânicos (Figura 10).

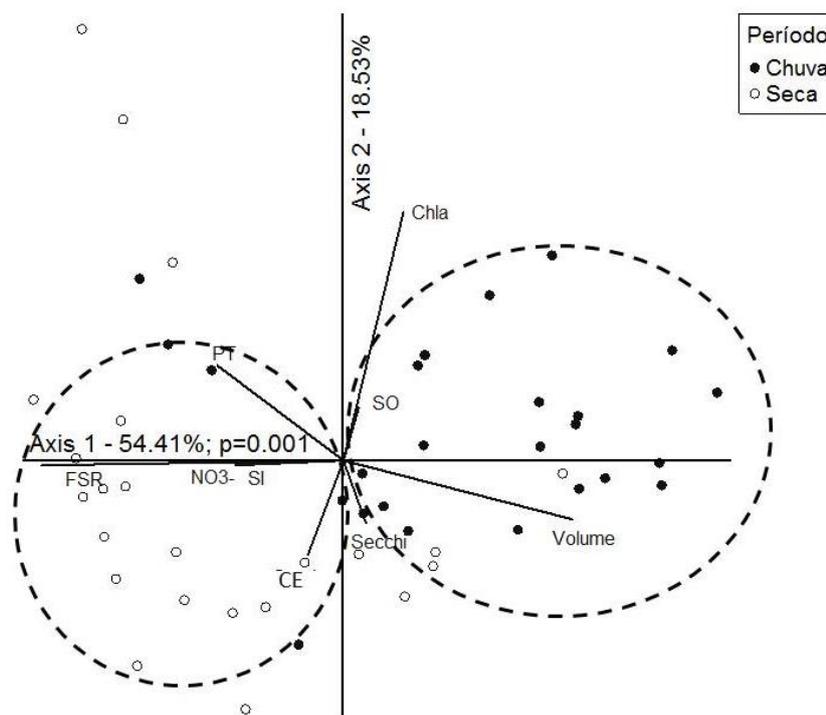


Figura 10. Análise de Componentes Principais (ACP) de variáveis limnológicas no reservatório Cruzeta, durante o período compreendido entre junho de 2010 a maio de 2014. Variáveis: Secchi = transparência da água; CE = condutividade elétrica; SI = sólidos suspensos inorgânicos; SO = sólidos suspensos orgânicos; PT = fósforo total; NO₃⁻ = nitrato; FSR = fósforo solúvel reativo; Chla = Clorofila *a*.

4. DISCUSSÃO

Ambientes de águas interiores como lagos naturais e artificiais estão cada vez mais vulneráveis as ações dos eventos extremos (chuvas intensas, seca severa), pois as grandes variações nos níveis d'água acarretam modificações nas características físicas, químicas e biológicas dos sistemas (Jeppesen *et al.*, 2015; Moss *et al.*, 2011). Os resultados do presente estudo confirmaram este comportamento, onde os reservatórios Gargalheiras e Cruzeta apresentaram mudanças significativas nas variáveis limnológicas entre os períodos de chuva e de seca severa.

De forma geral, os mananciais de abastecimento apresentaram melhores condições na qualidade da água no período chuvoso, pois com as chuvas acima da média histórica, ambos os reservatórios atingiram sua capacidade máxima e verteram, o que proporcionou renovação de suas águas e melhora no aspecto visual e na maiorias das variáveis da qualidade da água (Bezerra, 2011; Figueiredo *et al.*, 2014). Em contra partida, o período de seca severa devido a ausência de chuvas no período que deveria ser chuvoso, contribuiu para o decaimento da qualidade da água, com maiores

concentrações de nutrientes e elevados valores de condutividade elétrica. Esse período de escassez hídrica acarreta diminuição do nível d'água que, associado com altas temperaturas e alto tempo de residência da água, intensifica a acumulação e concentrações de nutrientes e aumenta os valores de condutividade e salinidade, levando a eutrofização e consequente degradação da qualidade da água (Barbosa *et al.*, 2012, Beklioglu *et al.*, 2007; Jeppesen *et al.*, 2015).

Este comportamento também foi confirmado através dos perfis de temperatura e oxigênio dissolvido, onde Gargalheiras e Cruzeta apresentaram perfis mais homogêneos no período chuvoso, chegando a ter a coluna d'água toda misturada pela ação das fortes chuvas e estratificações térmicas e químicas na maioria dos meses secos, com o hipolímnio anóxico em Gargalheiras, evidenciando que no período de seca severa não houve precipitações suficientes para movimentar a coluna d'água e renovar as águas, conforme já reportado em estudos anteriores (Bezerra, 2011; Figueiredo *et al.*, 2014).

Constata-se, entretanto, um comportamento de Cruzeta distinto do de Gargalheiras e atípico para a maioria dos reservatórios no semiárido, os quais, principalmente nos períodos de seca, apresentam elevadas concentrações de biomassa algal, indicativo de eutrofização acelerada com possíveis florações de cianobactérias (Eskinazi-Sant'Anna *et al.*, 2007; Attayde *et al.*, 2007; Panosso *et al.*, 2007; Chellapa *et al.*, 2009; Huszar *et al.*, 2000; Bouvy *et al.*, 2000). As elevadas concentrações de sólidos inorgânicos detectadas no reservatório no período de seca propiciou alta turbidez na coluna d'água, causadas pela ressuspensão do sedimento através da ação dos ventos e dos peixes, devido a pouca profundidade no período de seca severa, inibindo o crescimento do fitoplâncton e, consequentemente, as concentrações de chl_a (Jeppesen, *et al.*, 2015), além da mudança da composição de grupos funcionais (Medeiros *et al.*, 2015). Estudos recentes apontam que a diminuição drástica do volume dos reservatórios do semiárido pode favorecer a diminuição de cianobactérias e a sua substituição por diatomáceas e criptofíceas, espécies que se adaptam melhor em ambientes turvos e de pouca luz (Medeiros *et al.*, 2015; Costa, 2014).

A análise de componentes principais (ACP) reitera esta distinção de respostas em meio a seca severa. Em Gargalheiras constata-se as unidades amostrais do período chuvoso ordenadas com maior volume e transparência da água e as unidades amostrais do período de seca ordenadas com os altos valores de condutividade elétrica e altas concentrações de sólidos orgânicos, nitrato, fósforo total e clorofila *a*, indicando um processo progressivo de eutrofização como consequência, também, das condições do

semiárido (Eskinazi-Sant'Anna *et al.*, 2007). Para Cruzeta, as unidades amostrais do período chuvoso ficaram ordenadas com o maior volume e as unidades do período seco ficaram segregadas com maiores valores de sólidos inorgânicos, fósforo solúvel reativo, fósforo total e nitrato, não obtendo relação com a biomassa algal, evidenciando a inibição do crescimento do fitoplâncton com a diminuição das concentrações de chl *a* através da presença de sólidos inorgânicos na coluna d'água (Jeppesen, *et al.*, 2015) e consequente aumento na disponibilidade de FSR neste período.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), a seca que o semiárido nordestino enfrentou nos anos de 2012 e 2013 foi a pior seca dos últimos 60 anos e a sua extensão para o ano de 2014 deixou a situação ainda mais grave. A diminuição drástica dos volumes, chegando a 12,42% em Gargalheiras e 0,77% em Cruzeta no início de 2014, foi um dos principais motivos das mudanças das variáveis limnológicas indicativas da qualidade da água dos mananciais, bem como de respostas inesperadas nas águas interiores do semiárido.

Com a ocorrência de eventos extremos (chuvas intensas e seca severa) as variações rápidas e drásticas dos volumes armazenados modificaram a maioria das variáveis de qualidade da água dos mananciais. As chuvas intensas e rápidas estão associadas com uma grande entrada de nutrientes e poluentes para o ambiente, no entanto, ficam distribuídas e há uma melhora da qualidade da água (Reich & Lake, 2014; Mooji *et al.*, 2009). Já a seca severa está associada a perda e/ou diminuição da qualidade dos habitats aquáticos, principalmente pela concentração de nutrientes em menores volumes d'água (Reich & Lake, 2014; Moss *et al.*, 2011), inviabilizando seu uso prioritário que é o abastecimento público. Enfatiza-se ainda, a diferença de comportamentos entre os ambientes estudados com a ocorrência de seca severa, enquanto Gargalheiras apresentou um processo acelerado de eutrofização, Cruzeta evidenciou o colapso da biomassa total do fitoplâncton.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Problemas de estresse e escassez da água em razão de eventos extremos (chuvas intensas e período intenso de seca), bem como a falta de articulação e falta de ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental são apontados como causas importantes para a “crise da água” em regiões como o semiárido (Tundisi *et al.*, 2008). Esses extremos hidrológicos se relacionam diretamente com a quantidade e qualidade da água e a solução é se adaptar a essas alterações, com melhor

gerenciamento das bacias hidrográficas, desenvolvimento de tecnologias avançadas de monitoramento e gestão e maior participação de usuários e públicos em geral na gestão e no compartilhamento dos processos tecnológicos que irão melhorar e ampliar o banco de informações da região e dar maior sustentabilidade às ações (Tundisi, 2008).

6. CONCLUSÕES

- 1) Os eventos extremos, como chuvas intensas e seca severa, afetaram diretamente as variáveis limnológicas indicativas de qualidade da água dos reservatórios do semiárido estudados, com melhor transparência da água no período chuvoso e maior condutividade elétrica e concentração de nutrientes e sólidos no período seco.
- 2) Respostas inesperadas podem ocorrer em eventos de seca severa. Gargalheiras, manancial mais profundo, apresentou um agravamento na eutrofização com maior produtividade primária evidenciada pelas altas concentrações de *chl_a* neste período, enquanto Cruzeta, manancial mais raso, demonstrou um colapso na biomassa total fitoplanctônica evidenciado pela diminuição das concentrações de *chl_a*. Este fato se deu principalmente pela baixa profundidade e proximidade com o sedimento ter facilitado a ressuspensão de sólidos inorgânicos e, conseqüentemente, ocasionar a característica turbida e limitação por luz na coluna d'água.
- 3) Os comportamentos distintos entre os reservatórios estudados indicam que as respostas destes ambientes frente à problemática dos eventos extremos devem levar em consideração fatores como o clima da região, tamanho e profundidade do reservatório, além das características das suas bacias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/12/comeca-a-construcao-do-plano-de-seguranca-hidrica>. Acesso em 20 de Fevereiro de 2015.

ANUNCIACÃO, Y.M.T.; ANDRÉ, R.G.B. 2010. *Regionalização do Índice de Severidade de Seca de Palmer para o Estado do Rio de Janeiro*. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém 2010, Brasil.

APHA. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste-water*. 22 ed. Washington: APHA, AWWA and W.E.F. Washington, D. C.

- ARFI, R. 2003. *The effects of climate and hydrology on the trophic status of Sélingué reservoir, Mali, West Africa*. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 8(3): 3-4.
- ATTAYDE, J.L.; OKUN, N.; BRASIL J.; MENEZES, R.; MESQUITA P. 2007. *Impactos da introdução da tilápia do Nilo, Oreochromis niloticus, sobre a estrutura trófica dos ecossistemas aquáticos do Bioma Caatinga*. Oecologia Brasiliense, 11 (3): 450-461.
- BARBOSA, J.E.L.; MEDEIROS, E.S.F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R.S.; CRISPIM, M.C.B.; SILA, G.H.G. 2012. *Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management*. Acta Limnologica Brasiliensia, 24(1): 103-118.
- BECKER, V.; HUSZAR, V.L.M.; CROSSETTI, L.O. 2009. *Responses of phytoplankton functional groups to the mixing regime in a deep subtropical reservoir*. Hydrobiologia, 628: 137-151.
- BEKLIÖGLU, M.; ROMO, S.; KAGALOU, I.; QUINTANA, X.; BÉCARES, E. 2007. *State of the art in the functioning of shallow Mediterranean lakes: workshop conclusions*. Hydrobiologia, 584(1): 317-326.
- BEZERRA, A.F.M. 2011. *Balço de massa de fósforo e a eutrofização em reservatórios do semiárido do Rio Grande do Norte – Brasil*. Natal, 2011. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 101 p.
- BOUVY, M.; FALCÃO, D.; MARINHO, M.; PAGANO, M.; MOURA, A. 2000. *Ocurrence of Cyndrospermopsis (Cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought*. Aquatic Microbial Ecology, 23(1): 13-27.
- BRASIL, J. 2011. *Ecologia do fitoplâncton em reservatórios do semi-árido brasileiro: da abordagem funcional da comunidade à variabilidade intra-específica*. Rio de Janeiro, 2011. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ecologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 140 p.
- CARPENTER, S.R.; CARACO, D.L.; CORRELL, R.W.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N.; SMITH, V. H. 1998. *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. Ecological Applications, 8: 559-568.
- CHELLAPPA, N. T.; CÂMARA, F. R. A.; ROCHA, O. 2009. *Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxó Channel, Rio Grande do Norte, Brazil*. Brazilian Journal of Biology, 69: 241-251.

- COSTA, I.A.S.; AZEVEDO, S.M.F.O.; SENNA, P.A.; BERNARDO, R.R.; COSTA, S.M.; CHELLAPPA, N.T. 2006. *Occurrence of toxin-producing cyanobacterial blooms in a Brazilian semiarid reservoir*. Brazilian Journal of Biology, 66 (1B): 211-219.
- COSTA, I.A.S.; CUNHA, S.R.S.; PANOSSO, R.; ARAÚJO, M.F.F.; MELO, J.L.S.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E.M. 2009. *Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte*. Oecologia Brasilienses, 13(2): 382-401.
- COSTA, M.R.A. 2014. *O impacto da remoção de peixes sobre a dinâmica e estrutura funcional da comunidade fitoplanctônica em um lago raso tropical durante uma seca severa*. Natal, 2014. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 80p.
- CUNHA, D.G.F.; GRULL, D.; DAMATO, M.; BLUM, J.R.C.; LUTTI, J.E.I.; EIGER, S.; MANCUSO, P.C.S.; 2011. *Trophic state evolution in a subtropical reservoir over 34 years in response to different management procedures*. Water Science and Technology, 64: 2338–2344.
- ESKINAZI SANT'ANNA, E.M.; PANOSSO, R.F.; ATTAYDE, J.L.; COSTA, I.A.S.; SANTOS, C.M.; ARAÚJO, M.F.F.; MELO, J. L. S. 2006. *Águas potiguares: oásis ameaçados*. Ciência Hoje, 39 (233): 68-71.
- ESKINAZI-SANT'ANNA, E.M.; MENEZES, R.; COSTA, I.S.; PANOSSO, R.F.; ARAÚJO, M.F.; ATTAYDE, J.L. 2007. *Composição da Comunidade Zooplânctônica em Reservatórios Eutróficos do Semi-Árido do Rio Grande do Norte*. Oecologia Brasilienses, 11(3): 410- 421.
- FIGUEIREDO, A.V.; BECKER, V.; MATTOS, A. 2014. *O efeito da seca prolongada na qualidade da água do reservatório gargalheiras na região tropical semiárida*. XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal 2014, Brasil.
- FREITAS, F.R.S.; RIGHETTO A.M.; ATTAYDE J.L. 2011. *Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semiárido brasileiro*. Oecologia Australis, 15(3): 655-665.
- HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L.H.S.; MARINHO, M.M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C.L. 2000. *Cyanoprokariota assemblages in eight productive tropical Brazilian waters*. Hydrobiologia, 424: 67-77.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/FK7M>. Acesso em 12 de Fevereiro de 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/indicePrecipitacaoPadronizada>.

Acesso em 15 de Dezembro de 2014.

IPCC, 2014. Summary for policymakers. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [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 (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, 1–32.

JEPPESEN, E.; BRUCET, S.; NASELLI-FLORES, L.; PAPASTERGIADOU, E.; STEFANIDIS, K.; NÖGES, T.; NÖGES, P.; ATTAYDE, J.L.; ZOHARY, T.; COPPENS, J.; BUCAK, T.; MENEZES, R.F.; FREITAS, F.R.S.; KERNAN, M.; SONDERGAARD, M.; BLEKLIÖGU, M. 2015. *Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity*. *Hydrobiologia*, 750 (1): 201-227.

JESPERSEN, A.M. & CHRISTOFFERSEN, K. 1988. *Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent*. *Hydrobiologia*, 109: 445-454.

MARGALEF, M.W. 1975. *Tipology of reservoir*. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 19: 1841-1848.

MEDEIROS, L.C. 2013. *O efeito hidrológico do seminário na composição de espécies durante dominância de cianobactérias em um reservatório tropical*. Natal, 2013. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 44p.

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*. *Aquatic Ecology*, no prelo.

MEYBECK, M.; FRIEDRICH, G.; THOMAS, R.; CHAPMAN, D. 1996. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2 ed.

MISHRA, A.K.; SINGH, V.P. 2010. *A review of drought concepts*. *Journal of Hydrology*. 391: 202-216.

- MOOJI, W.M.; DE SENERPONT-DOMIS, L.N.; JANSE, J.H. 2009. *Linking species- and ecosystem-level impacts of climate change in lakes with a complex and a minimal model*. Ecological Modelling, 220: 3011-3020.
- 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.
- MURPHY, J. & RILLEY, J.P. 1962. *A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters*. Analytica Chimica Acta, 27: 31-36.
- NASELLI-FLORES, L.; BARONE, R. 2005. *Water-level fluctuations in Mediterranean reservoirs: setting a dewatering threshold as a management tool to improve water quality*. Hydrobiologia, 548: 85 – 99.
- NÕGOES, T.; NÕGOES, P.; LAUGASTE, R. 2003. *Steady-state assemblages in a Mediterranean hypertrophic reservoir. The role of Microcystis ecomorphological variability in maintaining an apparent equilibrium*. Hydrobiologia, 502: 133 – 143.
- OLIVEIRA, J.N.P. 2012. *A influência da poluição difusa e do regime hidrológico do semiárido na qualidade da água de um reservatório tropical*. Natal, 2012. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 99p.
- ORTIZ-JIMENEZ, M.A.; ANDA, J.; MANIAK, U. 2006. *Estimation of trophic states in warm tropical lakes and reservoirs of Latin America by using GPSS simulation*. Interciência, 31 (5): 345–350.
- PAERL, H.W.; OTTEN, T.G. 2013. *Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls*. Microbial Ecology, 65: 995-1010.
- PANOSSO, R.; COSTA, I.A.S.; SOUZA, N.R.; ATTAYDE, J.L.; CUNHA, S.R.S.; GOMES, F.C.F. 2007. *Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela Tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus)*. Oecologia Brasilienses, 11(3): 433-449.
- REBOUÇAS, A.C. 1997. *Água na região Nordeste: desperdício e escassez*. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 11(29): 127-154.
- REICH, P. & LAKE, P.S. 2014. *Extreme hydrological events and the ecological restoration of flowing waters*. Freshwater Biology, doi:10.1111/fwb.12508.
- SCHINDLER, D.W. 2012. *The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.

SEMARH - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (2014). Disponível em: <http://www.semarh.rn.gov.br/>. Acesso em 10 de Dezembro de 2014.

SILVA, L.A.P.S.; ARAÚJO, F.; PANOSSO, R.; CAMACHO, F.; COSTA, I.A.S. 2011. *As águas verdes dos Reservatórios do Rio Grande do Norte: o problema das cianobactérias e cianotoxinas*.

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

SOARES, M.C.S.; MARINHO, M.M.; AZEVEDO, S.M.F.O.; BRANCO, C.W.C.; HUSZAR, V.L.M. 2012. *Eutrophication and retention time affecting spatial heterogeneity in a tropical reservoir*. Limnologica, 42: 197-203.

SOARES, M.C.S.; MARINHO, M.M.; HUSZAR, V.L.M.; BRANCO, C.W.C.; AZEVEDO, S.M.F.O. 2008. *The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil*. Lakes & Reservoirs: Research and Management, 13: 257– 269.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T., 1992. *Eutrophication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives*. In: Cordeiro-Marino (Ed.). Algae and Environment: A general Approach. Brazilian Phycological Society, 1-33.

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

TUNDISI, J. G. *et al.* 2008. *Conservação e uso sustentável de recursos hídricos*. In: BARBOSA, F. A. (Org.). Ângulos da água: desafios da integração. Belo Horizonte: Editora UFMG. 83-157.

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

VIEIRA, V.P.P.B. 2002. *Sustentabilidade do semiárido brasileiro: desafios e perspectivas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 7(4): 105-112.