



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIARIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS
CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DOS
RESERVATÓRIOS SANTA CRUZ E UMARI, SEMIÁRIDO DO
RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL**

RAFSON VARELA DOS SANTOS

(Bacharel em Aquicultura)

MOSSORÓ, RN, BRASIL
Março de 2014

RAFSON VARELA DOS SANTOS

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS
CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DOS
RESERVATÓRIOS SANTA CRUZ E UMARI, SEMIÁRIDO DO
RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Campus de Mossoró, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga Silva

MOSSORÓ, RN, BRASIL
Março de 2014

RAFSON VARELA DOS SANTOS

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS
CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DOS
RESERVATÓRIOS SANTA CRUZ E UMARI, SEMIÁRIDO DO
RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA, Campus de Mossoró, como parte
das exigências para a obtenção do título de Mestre em
Ciência Animal.

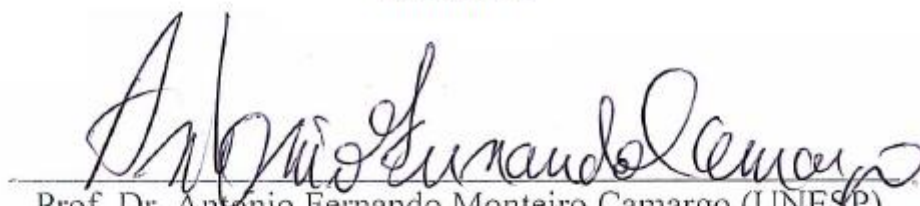
APROVADA EM: 27/03/2014

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva (UFERSA)

Orientador



Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo (UNESP)
Primeiro Conselheiro



Prof. Dr (a). Cibele Soares Pontes (UFRN)
Segunda Conselheira

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RAFSON VARELA DOS SANTOS - Nasceu em 17 de março de 1985 no município de Caicó, Rio Grande do Norte. Coursou o ensino fundamental e médio no Colégio Educandário Santa Teresinha. Concluiu a graduação em Aquicultura em 2008 na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)/Campus Central, oportunidade em que foi bolsista de iniciação científica e estagiário dos laboratórios do Centro de Saúde em Aquicultura e de microalgas e qualidade de água desta universidade. Entre 2009 e 2011 foi bolsista de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) nível 3 (extensão) vinculado a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte (EMPARN), atuando no projeto “Formulação de Estratégias para o Desenvolvimento da Piscicultura no Território da Cidadania do Sertão do Apodi-RN”. No segundo semestre de 2011 ingressou no Mestrado em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semiarido e em janeiro de 2012 foi convocado para assumir vaga em concurso público da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF) na 7ª Superintendência que fica localizada no Estado do Piauí, onde até os dias atuais exerce sua função de servidor público. Ao longo de sua trajetória acadêmica participou de vários congressos internacionais, nacionais e regionais com apresentação de trabalhos na área da Pesca e Aquicultura e realizou cursos de aperfeiçoamento.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Edvan Varela dos Santos e
Francisca Benigna Neta dos Santos,
por todo amor, carinho e ensinamentos da vida;
A minha esposa, Danielle Souza Silva Varela
que ao longo dos anos sempre esteve ao meu lado nos
momentos de felicidade e tristeza. Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer a vocês,
minha imensa gratidão e amor. Sem vocês, jamais poderia chegar a esse momento de
felicidade.

Se me falas, eu esqueço; Se me ensinas, eu lembro; Se me envolves, eu aprendo!

Benjamin Franklin.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai criador, pelo dom da vida, saúde e paz.

Aos meus pais, Edvan Varela e Francisca Benigna Neta, que muitas vezes renunciaram aos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu.

Aos irmãos Navde Rafael e Naum Raoni e a toda minha família que contribuíram de forma direta ou indireta para essa nova etapa da vida.

A minha esposa Danielle Varela, pela paciência, atenção e motivação em todo momento, sua contribuição foi fundamental para a concretização dessa vitória.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Gustavo Henrique Gonzaga da Silva, pelos ensinamentos a mim dedicados, além da amizade e do exemplo de dedicação, entusiasmo e seriedade nas pesquisas desenvolvidas.

Aos professores, Prof. Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo e a Prof. Dr^a. Cibele Soares Pontes, membros da banca examinadora, pela disponibilidade e valiosas contribuições dadas a esta pesquisa.

Aos colegas do Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (LIMNOAQUA) que sempre estiveram presentes nas coletas, no laboratório e nos ensinamentos do dia a dia (Sávio, Yuri, Cintia, Luísa, Cléo, Eudilena, Alissandra, Robéria, e em especial ao Luis Carlos técnico do LIMNOAQUA, que esteve orientando todas as análises limnológicas ao longo desta pesquisa). Foram anos de grande valia onde tive a oportunidade de criar vínculos de amizade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através de concessão de bolsa.

À Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA por ter cedido o transporte e as instalações para a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UFRSA e ao seu quadro de funcionários.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos vocês, meus eternos agradecimentos!

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DOS RESERVATÓRIOS SANTA CRUZ E UMARI, SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

SANTOS, Rafson Varela dos. **Variabilidade Espacial e Temporal das Características Limnológicas dos Reservatórios Santa Cruz e Umari, Semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal: sanidade e produção animal) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2014.

RESUMO GERAL: A construção dos reservatórios vem sendo uma medida estratégica adotada para suprir a escassez de água e atender ao aumento dos usos múltiplos. Apesar de sua importância social, o represamento de um ecossistema lótico tende a romper possíveis gradientes longitudinais, produzindo alterações bióticas e abióticas tanto a jusante quanto a montante do reservatório. Neste contexto, o presente trabalho objetivou: (i) descrever parâmetros morfométricos dos reservatórios Santa Cruz e Umari, localizados no semiárido do Rio Grande do Norte; (ii) avaliar temporalmente e espacialmente as características limnológicas desses reservatórios. O levantamento batimétrico foi realizado em dezembro de 2012, com auxílio de um ecobatímetro acoplado a DGPS, utilizando datum horizontal WGS 84 e sistema de coordenadas em UTM. Já a avaliação das variáveis limnológicas foi realizada nos meses de maio, agosto e novembro de 2012 e fevereiro de 2013, através de quatro coletas na superfície, no meio e no fundo da coluna d'água (amostras integralizadas). Com uma sonda multiparâmetros foram mensuradas *in loco* as seguintes variáveis: pH, temperatura da água, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez (TURB) e oxigênio dissolvido (OD), e por meio do disco de Secchi a transparência da água. No Laboratório de Limnologia e Qualidade de Água da Universidade Federal Rural do Semiárido foram determinadas as concentrações de N-total, P-total, N-amoniaco, N-nitrito, N-nitrato e clorofila *a*. Foi aplicada a análise de regressão no intuito de identificar possíveis relações entre as variáveis limnológicas com a distância da barragem e a Análise dos Componentes Principais (ACP) no intuito de observar um padrão de variação espacial e temporal. A batimetria em Santa Cruz esteve baseada num total de 35.971 pares de pontos (profundidade e localização geográfica) e Umari, 26.575. O reservatório Santa Cruz apresentou 15.984 m de comprimento máximo, 13 m de profundidade média e 38 m de profundidade máxima. Já Umari apresentou para esses mesmos parâmetros 14.227 m, 8 m e 28 m, respectivamente. O volume total de armazenamento em Santa Cruz foi de 295.858.761 m³ e o seu perímetro foi de 94.835 m. Já o reservatório de Umari apresentou um volume total de 114.866.034 m³ e perímetro de 110.887 m. Os reservatórios apresentaram baixa profundidade relativa que induz a uma possível instabilidade térmica e, consequentemente, uma mistura das massas de águas. Os resultados da ACP nos reservatórios Santa Cruz e Umari demonstraram um padrão espacial onde à medida que se aproximava da zona de influência fluvial foram registrados valores mais elevados de CE, STD, P-total, N-total e clorofila *a*. No entanto, em ambos os reservatórios não foi constatado um nítido padrão de variação temporal, provavelmente devido aos índices pluviométricos reduzidos observados durante todo o período de coletas. Os reservatórios apresentaram-se aptos a serem utilizados pelos diversos usos múltiplos conforme a resolução nº 357/2005 - CONAMA, tendo os valores médios das variáveis limnológicas enquadrados na Classe 1, a exceção do fósforo total que esteve dentro do limite para Classe 2 no reservatório Santa Cruz. Pôde-se concluir que o clássico conceito de compartimentalização longitudinal com a evidência das três zonas (fluvial, transição e

lacustre) não foi aplicado aos reservatórios estudados, sendo apenas possível identificar uma compartimentalização parcial, evidenciando duas Zonas bem definidas, a Zona Lacustre, ocupando a maior parte de ambos os reservatórios com características ultraoligotrófica e oligotrófica e uma Zona de influência Fluvial reduzida, variando de mesotrófica e eutrófica.

Palavras-chave: Reservatório; Morfometria; Variáveis limnológicas; Heterogeneidade espaço-temporal; Semiárido; Índice de Estado trófico.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF LIMNOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE SANTA CRUZ AND UMARI RESERVOIRS, SEMI-ARID REGION OF RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL

SUMMARY: The construction of reservoirs has been adopted as a strategic measure to overcome water shortages and cope with the increase of the multiple uses of this resource. Despite its social importance, the impounding of a lotic ecosystem tends to break possible longitudinal gradients, resulting in biotic and abiotic change both downstream and upstream of the reservoir. In this context, this work sought: (i) to describe the morphometric parameters of the Santa Cruz and Umari reservoirs in the semi-arid region of Rio Grande do Norte; (ii) to spatially and temporally assess the limnological characteristics of these water reservoirs. Bathymetric surveying was carried out in December 2012, with the aid of an ecobathymeter enhanced via DGPS, utilizing horizontal WGS 84 datum and the UTM coordinate system. Four samplings were extracted from the surface, the center and the bottom of the water column (integrated samples) in May, August and November 2012 and February 2013, so that limnological variables could be assessed. With the aid of a multiparameter probe, the following variables were measured in loco: pH, water temperature, electrical conductivity, total dissolved solids, turbidity and dissolved oxygen, and, via utilization of the Secchi disk, water transparency. In the Laboratory of Limnology and Water Quality of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, the concentration of total N, total P, ammoniacal nitrogen, nitrite N, nitrate N and Chlorophyll a was measured. Regression analyses were conducted so as to identify possible relationships between the limnological variables and the distance from the dam, and Principal Component Analyses were carried out in order to observe a spatial pattern of the points sampled during the temporal variation and gather the data concerning the sampling stations (longitudinal variation) and the collections (temporal variation). Bathymetry in Santa Cruz was based on a total of 35.971 point pairs (depth and location) and in Umari, on a total of 26.575. The Santa Cruz reservoir was verified to have a maximum length of 15.984m, average water depth of 13m and maximum depth of 38m. As for the Umari reservoir, maximum length, average depth and maximum depth were confirmed to be 14.227m, 8m and 28m, respectively. In what concerns the storage volume, accentuated differences between the two reservoirs were recorded: 295.858.761m³ in Santa Cruz and 114.866.034m³ in Umari. Despite bearing a smaller volume, Umari presented a larger perimeter area (110.887,26 m). Both reservoirs showed a shallow relative depth which could lead to thermal instability and, consequently, a mixture of the water masses. The results of the PCA showed a spatial pattern in which, as the water ran closer to the influence zone of affluent rivers, there were higher figures of temperature, electrical conductivity, turbidity, total dissolved solids, total P, total N, and Chlorophyll a. However, it could not be verified, in either reservoir, a clear pattern of temporal variation, likely due to the low rainfall during the entire period of sampling. Finally, the reservoirs proved to be adequate for various uses, abiding to the standards set by the CONAMA resolution nº 357/2005, the average concentrations of limnological variables being considered acceptable for Class 1, with the exception of the concentration of total P in the reservoir of Santa Cruz, which was considered acceptable for Class 2. It was concluded that the classic concept of longitudinal compartmentalization with three evident zones (fluvial, transition and lake) did not apply to the reservoirs in this study; therefore, it was only possible to identify partial compartmentalization: the lake zone, accounting for the larger part of both reservoirs and bearing oligotrophic characteristics, and a reduced fluvial zone, varying between mesotrophic and eutrophic.

Keywords: Reservoir; Morphometrics; Limnological variables; Spatial-temporal heterogeneity; Semi-arid; Trophic state index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Zonas longitudinais de um reservatório.....	20
Figura 2 - Localização geográfica dos reservatórios Santa Cruz (05°46'13.27'' S e 37°48'33.01''O) e Umari (05°42'04.24'' S e 37°14'34.28''O) nos respectivos municípios de Apodi e Upanema no Rio Grande do Norte, Brasil.....	30
Figura 3 - Mapa batimétrico do reservatório Santa Cruz, Rio Grande do Norte, Brasil.....	33
Figura 4 - Mapa batimétrico do reservatório Umari, Rio Grande do Norte, Brasil.....	34
Figura 5 - Curvas hipsométricas profundidade-área dos reservatórios (a) Santa Cruz e (b) Umari.....	35
Figura 6 - Curvas hipsométricas profundidade-volume dos reservatórios (a) Santa Cruz e (b) Umari.....	36
Tabela 1 - Parâmetros morfométricos calculados para Santa Cruz.....	39
Tabela 2 - Parâmetros morfométricos calculados para Umari.....	39
Figura 7 - Localização geográfica dos pontos de amostragens nos reservatórios Santa Cruz (05°46'13.27'' S / 37°48'33.01'' O) e Umari (05°42'04.24'' S / 37°14'34.28'' O) nos municípios de Apodi e Upanema (RN), respectivamente.	48
Figura 8 - Precipitação pluviométrica acumulada para cada mês (A), volume (B), no período de janeiro de 2012 a fevereiro de 2013, as setas representam os meses de coletas no Reservatório Santa Cruz.....	52
Figura 9 - Valores das variáveis limnológicas amostradas ao longo dos pontos do reservatório Santa Cruz (P1 a P10). T: Temperatura; pH; CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; TURB: Turbidez; STD: Sólidos totais dissolvidos; SEC: Transparência; CL: Clorofila a; P-total: Fósforo Total; N-total: Nitrogênio total; N-NO ₂ ⁻ : N-Nitrito; N-NO ₃ ⁻ : N-Nitrato; NH ₃ ⁻ : N-amoniacal.....	54
Figura 10 - Análise de regressão das variáveis limnológicas em relação à distância da barragem do reservatório de Santa Cruz para os meses de maio/2012; agosto/2012; novembro/2012 e fevereiro/2013.....	56
Figura 11 - Análise dos componentes principais das quatro coletas do reservatório de Santa Cruz. Os números correspondem aos locais de amostragem (1 a 10) seguido dos meses de coleta (mai-12: maio/2012; ago-12:	59

agosto/2012; nov-12: novembro/2012; fev-13: fevereiro/2013).....	
Figura 12 - Índice de estado trófico no reservatório Santa Cruz nos meses de (A) maio/2012, (B) agosto/2012, (C) novembro/2012 e (D) fevereiro/2013.....	61
Figura 13 - Valores médios das variáveis limnológicas do reservatório Santa Cruz nos meses de coleta (mai-12: maio/2012; ago-12: agosto/2012; nov-12: novembro/2012; fev-12: fevereiro/2013) comparada aos limites das classes dos corpos de água doce estabelecido pela resolução N° 357/2005 do CONAMA.....	62
Figura 14 - Precipitação pluviométrica acumulada para cada mês (A), volume (B), no período de janeiro de 2012 a fevereiro de 2013 as setas representam os meses de coletas no Reservatório Umari.....	63
Figura 15 - Valores das variáveis limnológicas amostradas ao longo dos pontos do Reservatório Umari (P1 a P12). T: temperatura; pH; CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; TURB: Turbidez; STD: Sólidos totais dissolvidos; SEC: Transparência; CL: Clorofila a; P-total: Fósforo Total; N-total: Nitrogênio total; N-NO ₂ ⁻ : N-Nitrito; N-NO ₃ ⁻ : N-nitrato; NH ₃ ⁻ : N-amoniacal.....	66
Figura 16 - Análise de regressão das variáveis limnológicas em relação à distância da barragem do reservatório Umari para os meses de maio/2012; fevereiro/2013; agosto/2012 e novembro/2012.....	68
Figura 17 - Análise dos componentes principais das quatro coletas do Reservatório Umari. Os números correspondem aos locais de amostragem (1 a 12) seguido dos meses de coleta (mai-12: maio/2012; ago-12: agosto/2012; nov-12: novembro/2012; fev-12: fevereiro/2013).....	70
Figura 18 - Índice de estado trófico no reservatório Umari nos meses de (A) maio/2012, (B) agosto/2012, (C) novembro/2012 e (D) fevereiro/2013.....	71
Figura 19 - Valores médios das variáveis limnológicas do Reservatório Umari nos meses de coleta (mai-12: maio/2012; ago-12: agosto/2012; nov-12: novembro/2012; fev-12: fevereiro/2013) comparada aos limites das classes dos corpos de água doce estabelecido pela resolução N° 357/2005 do CONAMA.	72

SUMÁRIO

Resumo Geral	IX
Summary.....	XI
Lista de Ilustrações.....	XIII
SUMÁRIO.....	XV
ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	17
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
1 IMPORTÂNCIA E MOTIVAÇÃO DO ESTUDO.....	18
1.2 OBJETIVO GERAL.....	18
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4 DINÂMICA DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS BRASILEIROS DE ACORDO COM O PADRÃO ESPACIAL E TEMPORAL: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
Resumo.....	19
Summary.....	19
1.4.1 Introdução.....	20
1.4.2 Considerações Finais.....	24
REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO 2 - PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DOS RESERVATÓRIOS SANTA CRUZ E UMARI, SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL.....	27
Resumo.....	28
Summary.....	28
1 INTRODUÇÃO.....	29
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICA DE RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL.....	43

Resumo.....	44
Summary.....	45
1 INTRODUÇÃO.....	46
1.1 ÁREA DE ESTUDO.....	47
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.1 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO SANTA CRUZ.....	50
3.2 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO UMARI.....	62
4 CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS.....	74

ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação está estruturada em três capítulos: o primeiro, intitulado “Considerações Gerais” aborda uma introdução geral sobre o assunto onde são enfatizadas a importância e a motivação do estudo; objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa; revisão bibliográfica sobre a dinâmica de variáveis limnológicas em reservatórios brasileiros e considerações finais. O segundo intitulado “Parâmetros morfométricos dos reservatórios Santa Cruz e Umari, semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil” descreve a morfometria das referidas reservas por meio de batimetria, originando cartas batimétricas. E o terceiro capítulo intitulado “Caracterização Espacial e Temporal de Variáveis Limnológicas de Reservatórios do Semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil” trata da avaliação espacial e temporal de variáveis limnológicas dos reservatórios Santa Cruz e Umari, bem como da avaliação do estado trófico e da aplicabilidade do conceito de compartimentalização longitudinal nesses reservatórios.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 IMPORTÂNCIA E MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

A crescente escassez de água no século XXI tem sido considerada o problema ambiental mais grave da atualidade. O uso indiscriminado e a poluição dos recursos hídricos têm comprometido as reservas naturais, despertando no homem a necessidade de criar novos mecanismos para suprir demandas locais de água. A construção de reservatórios mostra-se uma alternativa eficaz utilizada nesse contexto, mas é certo que sua viabilidade depende de fatores ambientais, físicos, químicos, biológicos e morfométricos. A presente pesquisa se propôs a analisar de forma espacial e temporal as variáveis limnológicas de dois reservatórios de amplo interesse para os usos múltiplos do estado do Rio Grande do Norte.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar de forma espacial e temporal as variáveis físicas, químicas e biológica dos reservatórios Santa Cruz e Umari, semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil, além de descrever a morfometria dessas reservas aquáticas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características físicas, químicas e biológica dos reservatórios ao longo da variação temporal e espacial;
- Avaliar o estado trófico dos reservatórios temporal e espacialmente através da elaboração de mapas temáticos;
- Classificar as variáveis físicas e químicas de acordo com as classes de água doce estabelecida pela resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA);
- Descrever parâmetros morfométricos dos reservatórios e construir cartas batimétricas.

DINÂMICA DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS BRASILEIROS DE ACORDO COM O PADRÃO ESPACIAL E TEMPORAL: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESUMO: O barramento dos rios para construção dos reservatórios vem sendo uma medida estratégica encontrada pelos gestores públicos para suprir a escassez de água e atender ao aumento dos usos múltiplos. Esses sistemas híbridos (reservatórios) apresentam morfometria e características físicas, químicas e biológicas distintas, que tendem a produzir diferenças verticais e longitudinais ao longo do eixo rio barragem, e sofrem influência de fatores externos, desencadeando uma complexa dinâmica. Nas últimas décadas é visível o aumento de estudos limnológicos que buscam incisivamente desvendar essa complexa dinâmica, viabilizando a elucidação de algumas interações entre variáveis e fatores externos, que interferem no funcionamento/ estado trófico desses sistemas. É impulsionado por tais questões que este capítulo pretende levantar da literatura científica estudos desenvolvidos em reservatórios do Brasil, buscando identificar a dinâmica de variáveis limnológicas desses ambientes de acordo com o padrão espacial e temporal existentes.

Palavras chave: Reservatório; Semiárido Brasileiro; Variáveis físicas, químicas e biológica; Estado trófico.

THE DYNAMICS OF LIMNOLOGICAL VARIABLES IN BRAZILIAN RESERVOIRS ACCORDING TO SPATIAL AND TEMPORAL PATTERNS: LITERATURE REVIEW

SUMMARY: Aiming to supply water during shortages and cope with the increase of the various uses of this resource the impounding of rivers for the construction of reservoirs has been a strategic measure adopted by public officials for the storage of this life source. These hybrid systems (the reservoirs) bear morphometry and distinct chemical, physical and biological characteristics, which tend to result in vertical and longitudinal differences along the river/dam axis, and are under influence of external factors, triggering a complex dynamic process. In the last decades, there has been an increase in the number of limnological studies that aim to incisively unravel these complex dynamics, facilitating the elucidation of some interactions between variables and external factors which interfere in the trophic state/functioning of these systems. Driven by such matters, this chapter proposes to contemplate studies on Brazilian reservoirs through literature review, in order to identify the dynamics of the limnological variables in these environments according to the existing spatial/temporal patterns.

Keywords: Reservoirs; Brazilian semi-arid; Biological, physical and chemical variables; Trophic state.

1.4.1 Introdução

A humanidade está cada dia mais dependente da água doce para produção de alimentos, uso doméstico e industrial. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO), no ano de 2050 a demanda por água deverá aumentar em 50% do que se demanda hoje. O progressivo crescimento populacional, com consequente aumento do consumo de água e degradação das reservas de água doce, poderá ocasionar uma das maiores crises, a “crise da água” (ESTEVES; MENEZES, 2011).

Frente a essa realidade, o barramento dos rios para construção dos reservatórios vem sendo uma medida encontrada pelos gestores públicos para suprir a demanda por água. Esses reservatórios são direcionados para atender a diversos usos múltiplos como: geração de energia elétrica, abastecimento humano, dessedentação, agricultura, piscicultura, pesca, lazer e contenção de enchentes. No entanto, a utilização dos reservatórios para diversos usos múltiplos de forma desordenada, pode contribuir para um desequilíbrio nesses ecossistemas, especificamente das características físicas, químicas e biológicas podendo inviabilizar o uso desses ecossistemas ou comprometer o seu potencial de aproveitamento (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

Os reservatórios são classificados como sistemas híbridos, pois apresentam características de rios e lagos. Esses sistemas possuem diferenças verticais e longitudinais das propriedades físicas, químicas, biológicas e morfológicas que tendem a formar ao longo do eixo rio-barragem, zonas de compartimentalização denominadas de zona de influência fluvial, zona de transição e zona lacustre (Figura 1) (NOGUEIRA; HENRY; MARICATTO, 1999).

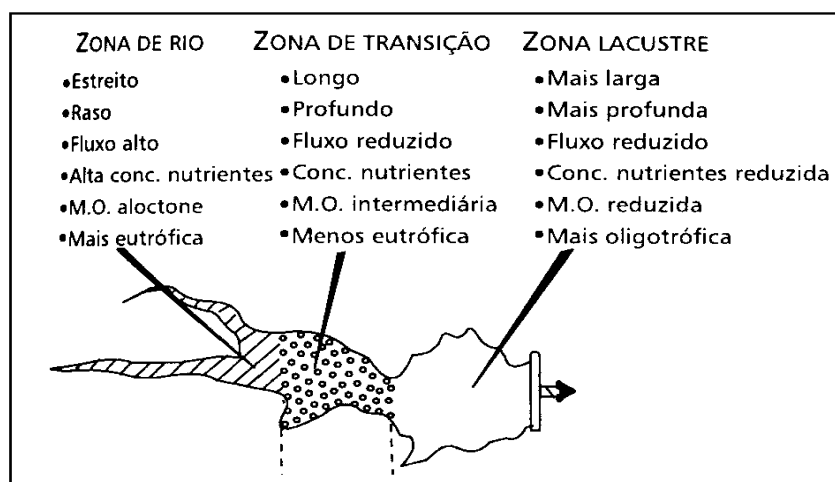


Figura 1. Zonas longitudinais de um reservatório. Fonte: Henry (1999).

A zona de influência fluvial distingue-se por apresentar morfologia estreita e rasa, concentrações de nutrientes e turbidez elevadas e significativa quantidade de matéria orgânica proveniente da bacia de drenagem. A zona de transição quando comparada a fluvial possui uma morfologia mais larga e profunda, turbidez em valores reduzidos e produção de matéria orgânica autóctone. Já a zona lacustre apresenta canal mais amplo e com maior profundidade, menor concentração de nutrientes e transparência elevada (THORNTON, 1990).

A delimitação, expansão e retração dessas zonas sofrem influência principalmente da variação temporal (seca/chuva) e de fatores em escala espacial, tais como: advecção proporcionada pelos afluentes que formam o reservatório; correntes superficiais causadas pela ação do vento; e correntes atribuídas ao fluxo de saída de água conforme a gestão operacional dos reservatórios (KIMMEL et al., 1990; TUNDISI, 1990). Além disso, nem sempre estes ecossistemas híbridos apresentam as três zonas de compartimentalização bem delimitada. Geralmente, os reservatórios construídos em série ao longo do rio (“efeito cascata”) não apresentam de forma bem definida essas três zonas. Isso provavelmente acontece em função dos reservatórios a montante comportar-se como sistemas receptores acumulando grandes concentrações de nutrientes e sedimentos (AGOSTINHO et al., 2007).

No entanto, o estudo de Ribeiro Filho et al. (2011) no reservatório Itaipu (Paraná) mostrou que o efeito cascata interferiu na concentração das variáveis limnológicas, mas não na definição das três zonas de compartimentalização. Esses autores identificaram que entre 1985 e 2008 (23 anos) o reservatório apresentou uma redução nas concentrações de nutrientes, sólidos totais e clorofila *a*, e dos valores de turbidez e transparência, nas três zonas de compartimentalização, especialmente quando o reservatório Porto Primavera localizado a montante, teve sua construção finalizada. Na zona de influência fluvial encontraram as maiores concentrações de nutrientes com uma redução no sentido da barragem, quando por outro lado, na zona de transição a transparência e a clorofila *a* aumentaram. Já a zona lacustre registrou a maior transparência da água e menor concentração de clorofila *a* (RIBEIRO FILHO et al., 2011).

Segundo Pagioro e Thomaz (2002) as concentrações de nutrientes reduzidas na zona lacustre, principalmente a base de fósforo, podem limitar a produtividade primária (clorofila-*a*), ainda que um aumento da transparência seja registrado nessa zona. Entretanto, Freitas, Righetto e Attayde (2011) ao analisar o reservatório de Cruzeta (Rio Grande do Norte) observaram que apesar de ter sido mensurado concentrações elevadas de fósforo total (120

ug/L), as concentrações de clorofila *a* não foram tão elevadas (12,0 ug/L). Essa dinâmica foi explicada pela alta turbidez (196 NTU) abiogênica proveniente das ações antrópicas que limitou o nitrogênio ou a entrada de luz. Tais situações denotam que os reservatórios podem sofrer influência de diversos fatores concomitantemente, inclusive, a partir da interação entre suas variáveis limnológicas, explicando suas dinâmicas.

Um exemplo de influência da variação temporal sobre a compartimentalização longitudinal de um reservatório foi encontrado por Freire; Calijuri e Santaella (2009) em estudo no reservatório Pacajus (Ceará). Nesse reservatório, os autores identificaram que no período de estiagem era possível delimitar as três zonas de características físicas, químicas e biológicas da água ao longo do eixo rio-barragem. Mas, no período chuvoso, apenas duas zonas eram observadas: uma zona de influência fluvial distribuída pela maior área do reservatório e uma zona lacustre reduzida e limitada à área da barragem. Nessa configuração, os autores concluíram que a compartimentalização do reservatório no período chuvoso foi definida pela influência do rio Choró no transporte de nutrientes e materiais em suspensão carreados ao longo da bacia de drenagem.

É importante ressaltar que a dinâmica dos reservatórios das regiões semiáridas apresenta-se particularmente influenciada pelas condições climáticas e morfológicas típicas dessas regiões, como: a variação espacial e temporal da precipitação pluviométrica; um baixo índice pluviométrico; um alto índice de evaporação (BARBOSA et al., 2012); e ainda a uma significativa desproporção entre a área da bacia de drenagem e a área do reservatório necessária para acumular água (THORNTON; RAST, 1989, 1993).

O semiárido brasileiro, além dessas características, abriga a maior população humana entre as regiões semiáridas do mundo, tornando seus reservatórios mais vulneráveis ao acúmulo e ao aumento das concentrações dos nutrientes, devido às ações antropogênicas, que por sua vez, contribuem para eutrofização artificial (REBOUÇAS, 1997; IBGE, 2011).

Sobre a qualidade da água, o índice de estado trófico (IET) desenvolvido por Carlson (1977) e modificado por Toledo Júnior et al., (1983) é o método mais utilizado no Brasil para classificá-la em termos de enriquecimento de nutrientes. O IET é calculado por meio de modelos de regressão linear, a partir das análises de clorofila *a*, transparência da água (disco de Secchi) e fósforo total.

Barbosa et al. (2006) utilizando esse método encontraram que o estado trófico de três reservatórios localizados no estado da Paraíba (Taperoá, Soledade e Namorados), sofreu

modificações de acordo com a variação temporal no período estudado. O reservatório dos Namorados apresentou-se oligotrófico, tendo classificação mesotrófica apenas no mês de dezembro, período mais crítico da seca; o reservatório Taperoá permaneceu mesotrófico; e o reservatório Soledade foi classificado como eutrófico durante o período de seca, com significativa diluição de nutrientes no período chuvoso, tornando-se mesotrófico. Nesse caso, os autores apontaram que o padrão de sazonalidade determinou o estado trófico dos reservatórios.

Quanto a isso, o tempo de residência da água dos reservatórios também pode influenciar no estado trófico a ser encontrado, no entanto, não ser por si só suficiente para determiná-lo. Pressões antropogênicas, por exemplo, podem promover interferências significativas nessa relação, conforme evidenciou o estudo de Soares et al. (2008). Nesse estudo, verificou-se que apesar do reservatório Ribeirão das Lajes (Rio de Janeiro) possuir um tempo de residência 30 vezes maior do que o reservatório Funil (Rio de Janeiro) apresentou concentrações de nutrientes reduzidas, sendo classificado como mesotrófico (IET - Toledo Junior et al., (1983). Por outro lado, o reservatório Funil, embora com tempo de residência curto, exibiu elevadas concentrações de nutrientes, classificando-se como eutrófico. Segundo os autores, o que de fato interferiu nas concentrações de nutrientes dos reservatórios foram os impactos antropogênicos, que no reservatório do Funil estavam mais evidenciados. Nesse sentido, é possível concluir que os reservatórios localizados em áreas preservadas e de baixo uso e ocupação do solo, mesmo com tempo de residência elevado tendem a ser menos impactados.

Vale destacar que reservatórios com formação dendrítica são mais propícios a apresentar áreas com características limnológicas distintas, especialmente quando seus afluentes sofrem impactos antropogênicos diferentes. O complexo Billings (São Paulo) estudado por Wengrat e Bicudo (2011) representa um exemplo dessa relação. Nesse complexo, a área do corpo central que recebia águas oriundas de uma das regiões mais populosas e industrializadas do Brasil, por meio do rio Pinheiros (afluente), apresentou elevadas concentrações de clorofila a e de nutrientes. Essas concentrações foram superiores quando comparado às mensuradas no braço do rio Pequeno, cuja região a montante era considerada de referência (menos impactada) no Complexo. Nesse caso, a diferença das pressões antropogênicas desenvolvidas ao longo da bacia de drenagem dos afluentes resultou em áreas do reservatório com características diferentes, assim como produziu diferenças no

estado trófico (LAMPARELLI, 2004), visto que para o braço rio Pequeno foi mesotrófico e para o corpo central hipereutrófico.

Percebe-se, neste contexto, que existe uma alta relação entre os impactos antropogênicos registrados ao longo da bacia hidrográfica e as características limnológicas que determinam a compartimentalização, o estado trófico e os consequentes usos múltiplos dos reservatórios. Nesse sentido, a resolução de nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) propõe a classificação dos reservatórios em quatro Classes (1, 2, 3 e 4) segundo as concentrações das variáveis limnológicas mensuradas. Essas Classes irão determinar os usos múltiplos a serem implantados nessas reservas, contribuindo para uma gestão equilibrada.

Políticas públicas que incentivam a implantação e ampliação dos usos múltiplos nos reservatórios são cada vez mais frequentes no Brasil. Um exemplo de ampliação foi encontrado por Periotto e Tundisi (2013) no reservatório Carlos Botelho (São Paulo). Esse reservatório construído inicialmente em 1973 para geração de energia elétrica registra atualmente (2013) mais de 20 usos múltiplos, que geram de forma direta e indireta benefício social, econômico e ecológico em escala local, regional e global.

No entanto, é importante ressaltar que a continuidade, redução ou ampliação desses usos múltiplos é dependente da gestão equilibrada entre os usos múltiplos, das atividades produtivas desenvolvidas ao longo da bacia hidrográfica, além da recuperação e mitigação dos impactos, principalmente, através de políticas públicas. Dessa forma, o monitoramento das variáveis limnológicas dos reservatórios torna-se essencial para viabilizar uma melhor gestão, na medida em que esses usos vão sendo implementados (PERIOTTO; TUNDISI, 2013).

1.4.2 Considerações Finais

A partir dessa revisão percebem-se as complexidades e particularidades das dinâmicas dos reservatórios. Influência de ações externas (variação temporal e pressões antropogênicas) e internas (morfologia, tempo de residência, interação entre variáveis limnológicas) podem proporcionar alterações nas variáveis físicas, químicas e biológicas que, por sua vez, podem interferir na compartimentalização e no estado trófico dessas reservas. Evidencia-se a importância do monitoramento dos reservatórios como uma ferramenta para viabilizar uma gestão equilibrada do sistema.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A. Fish ladder of Lajeado Dam: migrations on one-way routes? **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v.5, n.2, p.121-130, 2007.
- BARBOSA, J. E. L. et al. Diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, Trópico semi-árido brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, sup. esp., n. 1, p. 81-89, 2006.
- BARBOSA, J. E. L. et al. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 24, n. 1, p. 22-31, 2012.
- CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology & Oceanography**, Waco, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2013.
- ESTEVES, F. A.; MENEZES, C. F. S. **Papel da água e da Limnologia na sociedade moderna**. In: ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FREIRE, R. H. F.; CALIJURI, M. C.; SANTAELLA, S. T. Longitudinal patterns and variations in water quality in a reservoir in the semiarid region of NE Brazil: responses to hydrological and climatic changes. **Acta Limnologica Brasileira**, Rio Claro, v. 21, n. 2, p. 251-262, 2009.
- FREITAS, F. R. S.; RIGHETTO, A. M.; ATTAYDE, J. L. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semiárido brasileiro. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v.15, n. 3, p. 655-665, 2011.
- HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FAPESP - FUNDIBIO, 1999.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores Sociais Municipais: Uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011.
- LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 235 p. [Tese de Doutorado em Ciências]. 2004.
- KIMMEL, B. L.; LIND, O. T.; PAULSON, G. R. Reservoir primary production. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (Ed.). **Reservoir limnology: ecological perspectives**. Somerset, New Jersey: John Wiley & Sons, p. 133-194, 1990.
- NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; MARICATTO F. E. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. **Research & Management Lakes & Reservoirs**, Malden, v. 4, n. 4, p.107–120, 1999.

PAGIORO, T. A.; THOMAZ, S. M. Longitudinal patterns of sedimentation in a deep monomitic subtropical reservoir Itaipu (Brazil- Paraguay). **Archiv für Hydrobiologie**, Stuttgart, v. 154, n. 3, p. 515-528, 2002.

PERIOTTO, N. A.; TUNDISI, J. G. B Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.73, n. 3, p. 471-482, 2013.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Instituto de Estudos Avançados, São José dos Campos**, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.

RIBEIRO FILHO, R.A. et al. Itaipu Reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 4, p. 889-902, 2011.

SOARES, M. C. S. et al. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil, **Research Management Lakes Reservoirs**, Malden, v.13, n.4, p. 257-269, 2008.

THORNTON, J.A.; RAST, W. Preliminary observations on nutrient enrichment of semi-arid, manmade lakes in the northern and southern hemispheres. **Lake and Reservoir Management**, n.5, p.59-66, 1989.

THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir limnology ecological perspective**. New York: United States John Wiley, 1990.

THORNTON J. A.; RAST, W. **A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes**. In: Comparative reservoir limnology and water quality management. STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUCAN, A. (Eds). Developments in hydrobiology DH77. Dordrecht: Kluwer academic Publisher, p.1-24, 1993.

TOLEDO JUNIOR, A. P. et al. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. In: XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Camboriú. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Camboriú (SC). Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 1983.

TUNDISI, J. G. Distribuição Espacial, Sequência Temporal e Ciclo Sazonal do Fitoplâncton em Represas: Fatores Limitantes e Controladores. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 50, n.4, p. 937-955, 1990.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 631 p., 2008.

WENGRAT, S.; DENISE, C. B. Spatial evaluation of water quality in an urban reservoir (Billings Complex, southeastern Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v.23, n.2, p. 200-216, 2011.

CAPÍTULO 2:

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DOS RESERVATÓRIOS SANTA CRUZ E UMARI, SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

(a ser submetido ao Boletim do Instituto de Pesca)

CAPÍTULO 2: PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DOS RESERVATÓRIOS SANTA CRUZ E UMARI, SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

RESUMO: Objetivou-se descrever os parâmetros morfométricos dos reservatórios Santa Cruz e Umari, semiárido do Rio Grande do Norte. O levantamento batimétrico foi realizado em dezembro de 2012, com auxílio de ecobatímetro acoplado a DGPS, utilizando datum horizontal WGS 84 e sistema de coordenadas em UTM. A navegação seguiu linhas perpendiculares ao talvegue dos reservatórios com ajuda de um GPS de mão. A batimetria em Santa Cruz esteve baseada num total de 35.971 pares de pontos (profundidade e localização submétrica) e Umari, 26.575. O reservatório Santa Cruz apresentou 15.984 m de comprimento máximo, 13 m de profundidade média e 38 m de profundidade máxima. Já Umari apresentou para esses mesmos parâmetros 14.227 m, 8 m e 28 m, respectivamente. O volume total de armazenamento registrou diferenças entre os reservatórios, onde Santa Cruz apresentou $295.858.761\text{m}^3$ e Umari $114.866.034\text{m}^3$. Embora com menor volume, Umari apresentou maior perímetro 110.887 m. Os reservatórios apresentaram profundidade relativa baixa que induz a uma possível instabilidade térmica e, conseqüentemente, uma mistura das massas de águas.

Palavras-chave: Reservatórios; Mapeamento batimétrico; Morfometria; Semiárido.

MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE SANTA CRUZ AND UMARI RESERVOIRS – RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL

SUMMARY: This study sought to describe the morphometric parameters of the Santa Cruz and Umari reservoirs in the semi-arid region of Rio Grande do Norte. Bathymetric surveying was carried out in December 2012, with the aid of an ecobathymeter enhanced via DGPS, utilizing horizontal WGS 84 datum and the UTM coordinate system. Navigation occurred along lines which were perpendicular to the thalwegs of the reservoirs with the aid of a hand-held GPS device. Bathymetry in Santa Cruz was based on a total of 35.971 point pairs (depth and location) and in Umari, on a total of 26.575. The Santa Cruz reservoir has a maximum length of 15.984 m, an average depth of 13 m and maximum depth of 38 m. The Umari reservoir showed, for the same parameters 14.227 m, 8 m and 28 m, respectively. Total storage volume differed between reservoirs, in Santa Cruz it was $295.858.761\text{ m}^3$ and in Umari, $114.866.034\text{ m}^3$. Despite bearing a smaller volume, Umari presented a larger perimeter (110.887 m). Both reservoirs showed a relative depth which could lead to thermal instability and, consequently, a mixture of the water masses.

Keywords: Reservoirs; Bathymetric surveying; Morphometrics; Semi-arid.

2 INTRODUÇÃO

Os estudos das características morfológicas e morfométricas dos reservatórios contribuem para o entendimento do funcionamento desses ecossistemas aquáticos (VON SPERLING, 1999), uma vez que auxilia na compreensão da dinâmica entre as variáveis limnológicas físicas, químicas e biológicas, além de ser uma importante base de dados para subsidiar as instituições gestoras na tomada de decisão sobre o uso ordenado dessas reservas (WETZEL, 2001; RESCK; BEZERRA-NETO; PINTO-COELHO, 2007).

Esses estudos tornaram-se mais confiáveis com o advento da tecnologia *Differential Global Positioning Systems* (D-GPS), a qual tem permitido obter pontos amostrados com precisão submétrica (VON SPERLING, 1999; BRIGHENTI et al., 2011). Essa tecnologia possibilita a obtenção de uma grande quantidade de pontos de amostragem que favorece a criação de cartas batimétricas bem detalhadas e com parâmetros morfométricos mais precisos (BEZERRA-NETO; PINTO-COELHO, 2008). Segundo Cole (1994), a precisão das cartas batimétricas está diretamente relacionada ao número de pontos amostrados.

A partir das cartas batimétricas pode-se obter parâmetros morfométricos primários, como o comprimento máximo, a área, o volume e a profundidade máxima, e parâmetros morfométricos secundários, como a profundidade média, a profundidade relativa e o tempo de residência (HAKANSON, 1981). As batimetrias são estratégicas do ponto de vista de monitorar e comparar dados iniciais da construção dos reservatórios a dados recentes, tendo em vista o tempo de vida útil dos reservatórios sofrer variação de acordo com as suas características morfológicas, morfométricas e do processo de assoreamento, o qual modifica o relevo dos reservatórios ao longo dos anos, podendo reduzir a capacidade de armazenamento inicial e, conseqüentemente, o direcionamento dos usos múltiplos (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Nesse contexto, o presente trabalho objetivou descrever os parâmetros morfométricos dos reservatórios Santa Cruz e Umari localizados no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O reservatório Santa Cruz está localizado no município de Apodi – RN ($05^{\circ}46'13.27''$ S e $37^{\circ}48'33.01''$ O), é formado pelo barramento do rio Apodi/Mossoró e possui uma bacia hidrográfica de $4.264,00 \text{ km}^2$ (ANA, 2007). Inaugurado no ano de 2002, a capacidade de armazenamento é de $599.712.000,00 \text{ m}^3$ de água, sendo o segundo maior reservatório do Rio Grande do Norte (Figura 1).

O reservatório Umari está localizado no município de Upanema – RN ($05^{\circ}42'04.24''$ S e $37^{\circ}14'34.28''$ O), é formado pelo barramento do rio Carmo e possui uma bacia hidrográfica de $1.533,00 \text{ km}^2$ (ANA, 2007). A capacidade de armazenamento é de $292.812.650,00 \text{ m}^3$ de água, sendo o terceiro maior do Rio Grande do Norte, também inaugurado no ano de 2002 (Figura 2).

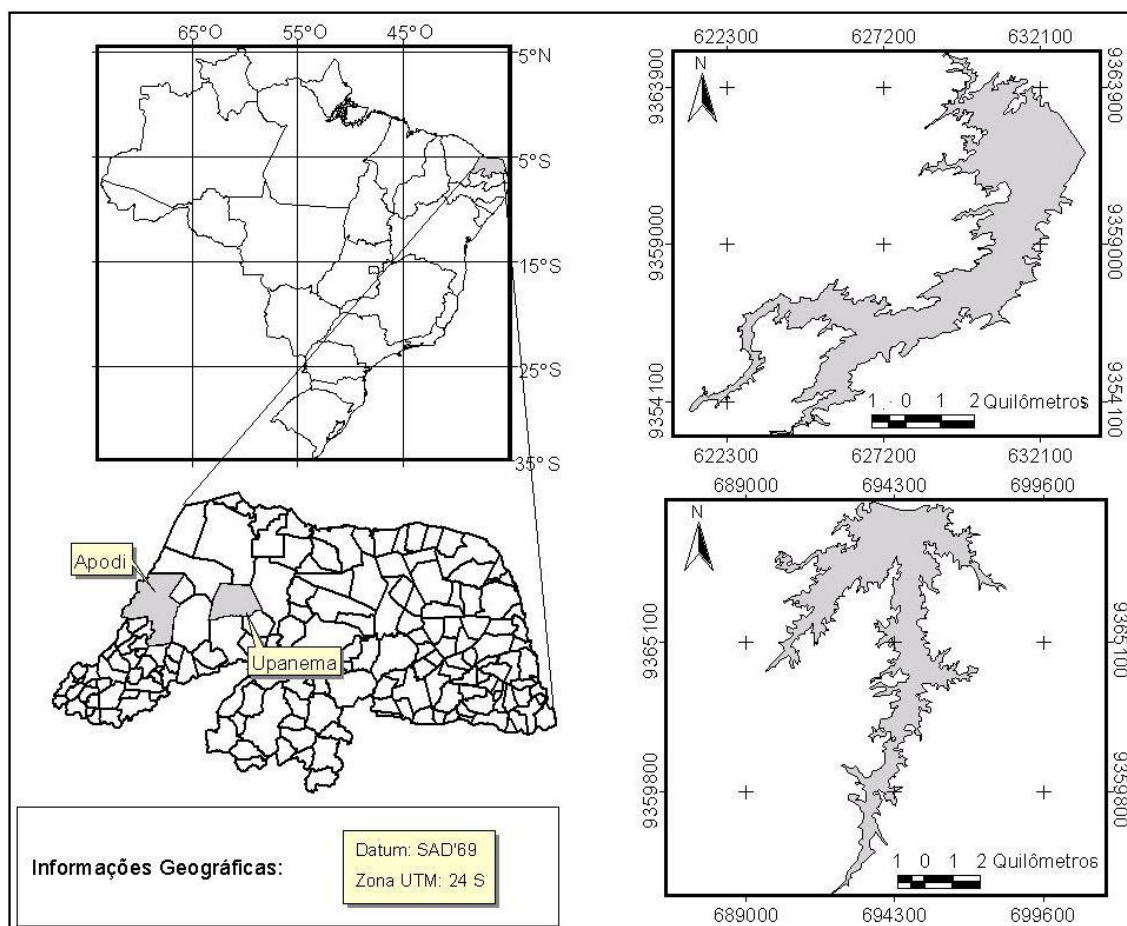


Figura 2. Localização geográfica dos reservatórios Santa Cruz ($05^{\circ}46'13.27''$ S e $37^{\circ}48'33.01''$ O) e Umari ($05^{\circ}42'04.24''$ S e $37^{\circ}14'34.28''$ O) nos respectivos municípios de Apodi e Upanema no Rio Grande do Norte, Brasil.

O clima da região é o tropical quente semiárido. A temperatura média anual é de 28,5°C, com mínima de 22,0°C e máxima de 35,0°C. A precipitação média anual na região é de 772 mm, registrando-se uma distribuição irregular durante o ano (ANA, 2007).

A coleta dos dados batimétricos no reservatório Umari foi realizada nos dias 16 e 17 de dezembro de 2012 e no reservatório Santa Cruz nos dias 19, 20 e 21 de dezembro de 2012. O levantamento batimétrico foi realizado com o auxílio de um ecobatímetro Hydrotrac II (TELEDYNE) acoplado a um DGPS GTR-G² (TECH GEO). O datum horizontal utilizado foi o WGS 84 e o sistema de coordenadas o UTM. O transdutor do ecobatímetro e a antena do DGPS foram fixados nas extremidades opostas de uma mesma haste, na parte posterior lateral da embarcação. O deslocamento seguiu linhas perpendiculares ao talvegue dos reservatórios Santa Cruz e Umari, com velocidade média de 5 km/h. Um GPS de mão Garmin etrex (Garmin Ltd.) foi utilizado para direcionar o deslocamento durante a navegação. As regiões dos reservatórios com profundidades inviáveis à navegação tiveram medidas pontuais realizadas, visando à composição da malha de dados.

Para confecção do mapa batimétrico foi utilizado o programa Surfer 10.0® (Golden Software Inc.), através da rotina de interpolação, sendo usado o método da “krigagem” (kriging). A linha da margem foi digitalizada, por meio do programa SPRING 5.2.3 (INPE), a partir de imagem de satélite dos reservatórios, obtida no catálogo de imagens do INPE, para as épocas correspondentes à aquisição de dados. Antes da digitalização da margem, a imagem dos reservatórios foi novamente georreferenciada, utilizando-se ao menos seis pontos de controle.

O perímetro foi calculado por meio do programa SPRING. Volume e área total da superfície foram calculados a partir de sub-rotinas do programa Surfer. Considerou-se a média de três métodos distintos (regra trapezoidal, regra de Simpson e regra de Simpson 3/8) para o cálculo do volume de ambos os reservatórios. Também em ambiente Surfer foram calculados volumes e áreas entre as camadas de profundidade, espaçadas 2 metros entre si, possibilitando a confecção das curvas hipsométrica profundidade-área e profundidade-volume dos reservatórios (COLE, 1994).

O levantamento batimétrico para o reservatório Santa Cruz compreendeu um total de 35.971 pontos com profundidade e precisão submétrica, enquanto que o levantamento em Umari abrangeu um total 26.575 pontos. A partir desse levantamento, foram calculados os seguintes parâmetros morfométricos primários: Profundidade Máxima (Zmax), Perímetro

(PL), Comprimento Máximo (Cmax), Largura Máxima (Lmax), Área Superficial (A), Volume Total (V) e Volume Relativo (Vrel); e os parâmetros secundários: Profundidade Média (Zmed), Relação Profundidade Média e Máxima (RZ), Profundidade Relativa (Zrel), Profundidade Média Limnológica (Zlim), Índice de Desenvolvimento de Volume (IDV), Índice de Desenvolvimento de Margem (IDM), Proporção de Litoral (PL), Largura Média (Lmed), Largura Máxima Efetiva (Lmaxef), Fetch (F) e Diâmetro (D). Estes parâmetros foram calculados de acordo com Von Sperling (1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relevo batimétrico do reservatório Santa Cruz evidenciou que a porção com maior profundidade está localizada junto à barragem (± 38 metros), com o corpo central do reservatório apresentando profundidades menores, principalmente entre 23 e 33 metros. A maioria das baías e reentrâncias apresentou profundidade até oito metros. O braço secundário foi relativamente raso, com profundidades entre três e 13 metros. Uma pequena porção do reservatório, próximo à área de influência do rio Apodi/Mossoró, apresentou profundidades menores que três metros (Figura 3).

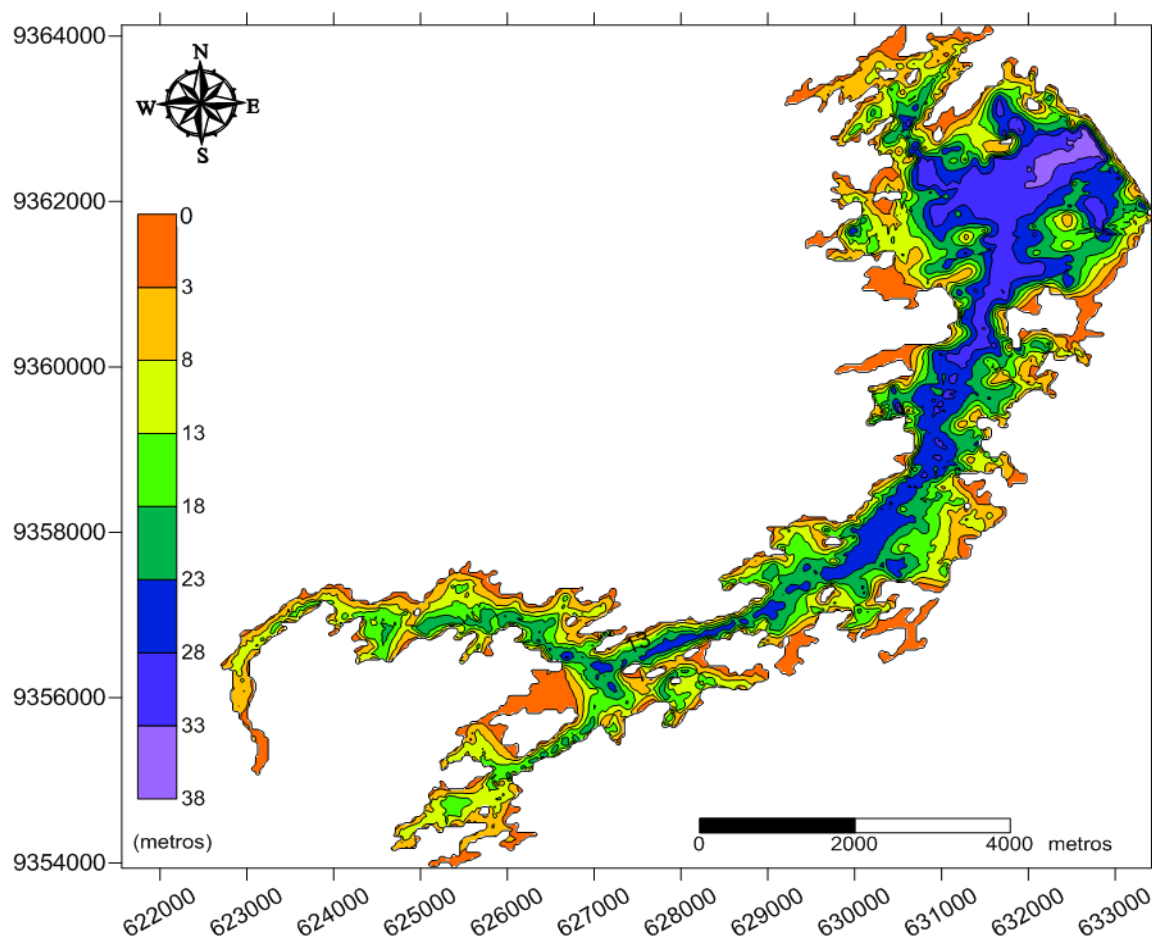


Figura 3. Mapa batimétrico do reservatório Santa Cruz, Rio Grande do Norte, Brasil.

O relevo batimétrico do reservatório Umari evidenciou uma porção mais profunda localizada junto à barragem (± 28 metros). Profundidades maiores que 18 metros foram encontradas ainda no corpo central do reservatório em regiões mais próximas da barragem. Os braços secundários foram relativamente rasos, com profundidades variando entre três e 13 metros, sendo que a maioria das baías e reentrâncias, juntamente com várias áreas do braço principal do reservatório, apresentaram profundidades até três metros, principalmente quando o canal se aproxima da área de influência do rio Carmo (Figura 4).

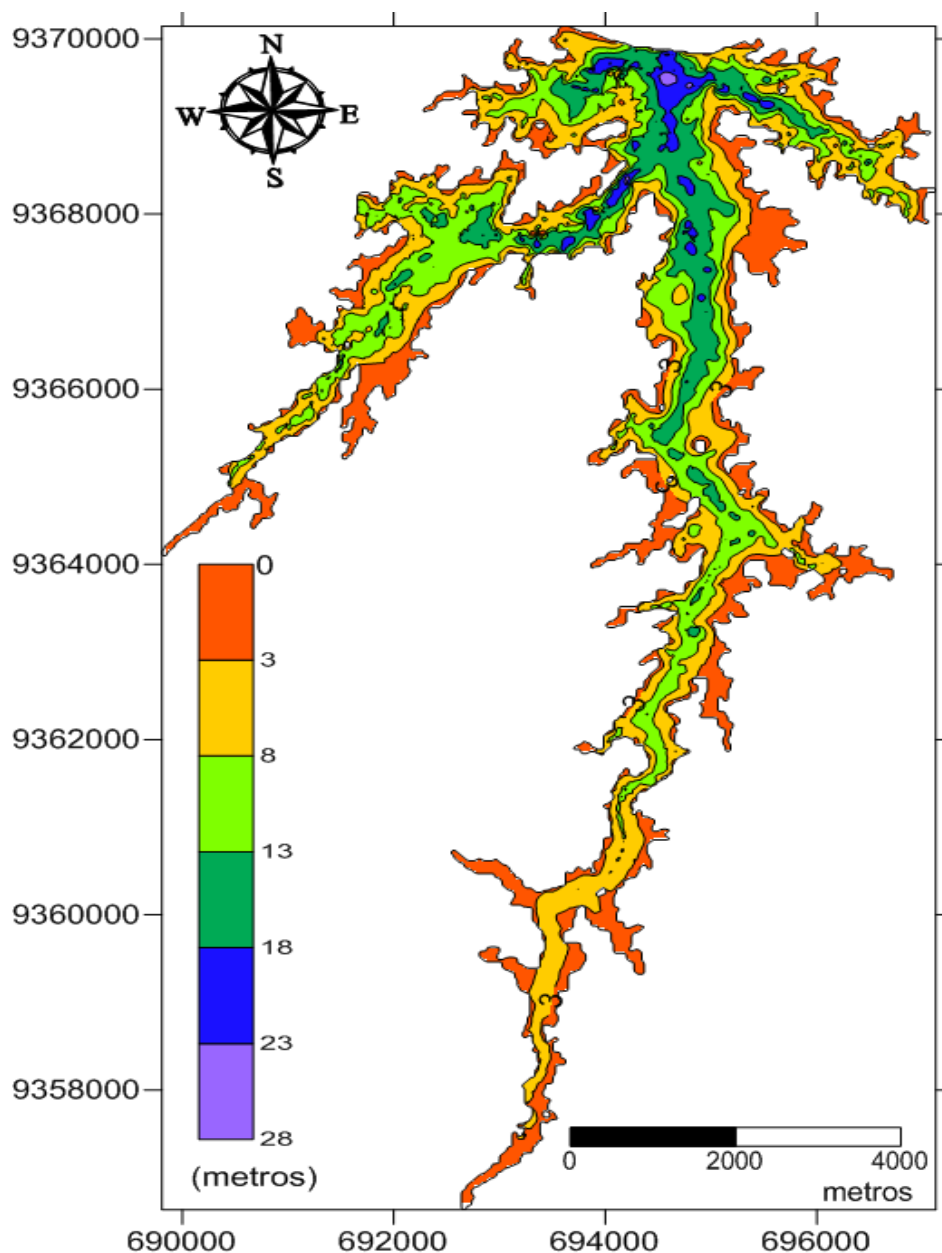


Figura 4. Mapa batimétrico do reservatório Umari, Rio Grande do Norte, Brasil.

As curvas hipsométricas profundidade-área revelaram que 75% da área em Santa Cruz apresentou profundidade com até 10 metros, enquanto que em Umari 75% de sua área esteve até seis metros de profundidade (Figura 5).

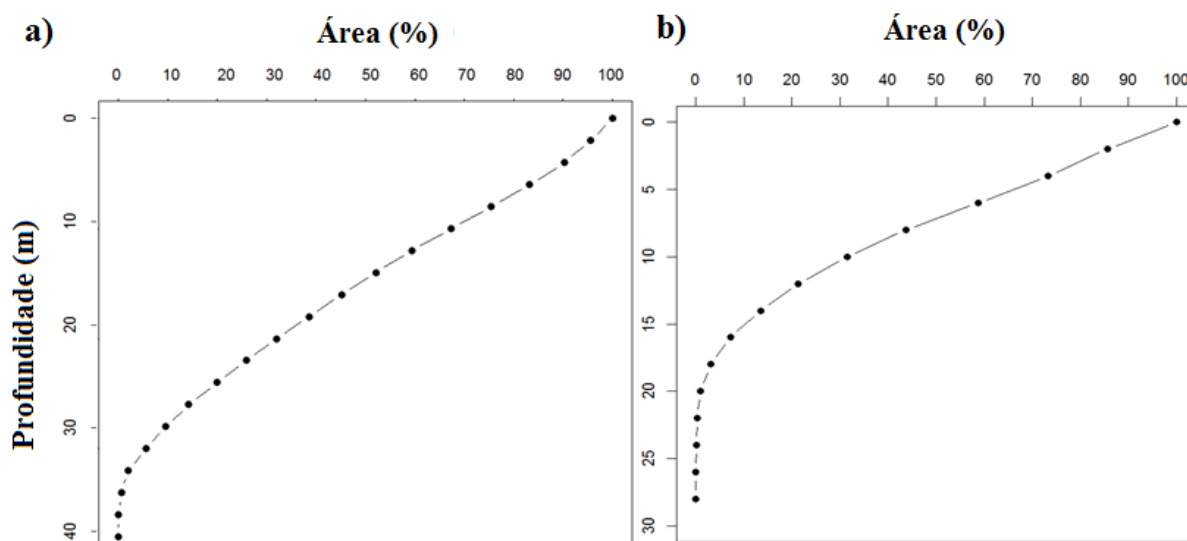


Figura 5. Curvas hipsométricas profundidade-área dos reservatórios (a) Santa Cruz e (b) Umari.

As curvas hipsométricas profundidade-volume revelaram que 75% do volume de Santa Cruz esteve até 12 metros de profundidade, enquanto que em Umari 75% de seu volume encontrou-se até oito metros de profundidade (Figura 6). Segundo Wetzel (1993) os resultados das curvas hipsométricas profundidade-volume e profundidade-área são importantes nos estudos limnológicos devido à relação entre produtividade biológica, área e volume dos ambientes aquáticos. Estudo na lagoa Central-MG revelou que 80% do volume e da área encontravam-se abaixo de um metro de profundidade favorecendo a alta produtividade biológica deste ambiente (BRIGHENTI et al., 2011). Nesse sentido, provavelmente o reservatório Umari oferece um maior suporte à produtividade biológica quando comparado a Santa Cruz.

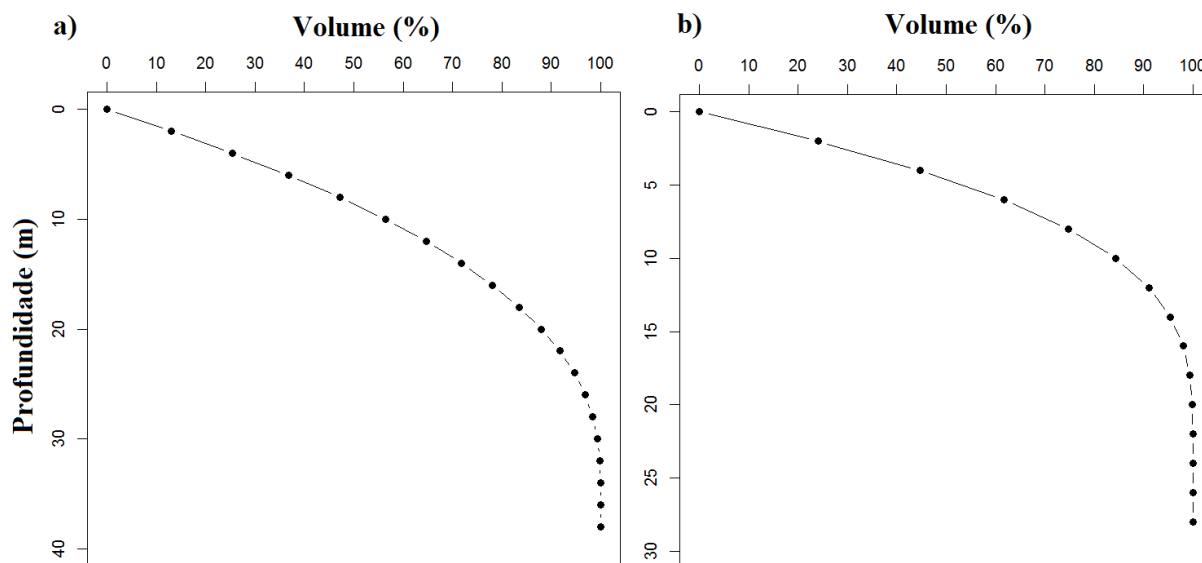


Figura 6. Curvas hipsométricas profundidade-volume dos reservatórios (a) Santa Cruz e (b) Umari.

Os parâmetros morfométricos primários e secundários de Santa Cruz e de Umari estão descritos na Tabela 1 e 2, respectivamente. Santa Cruz apresentou 15.984 m de comprimento máximo, 1.187 m de largura média, enquanto o reservatório de Umari apresentou 14.227 m e 1.030 m de comprimento e largura, respectivamente. Em Santa Cruz foi estimado um volume de 295.858.761 m³ de água armazenada, 13,5 m de profundidade média e 38 m de profundidade máxima. Para Umari o volume total de armazenamento foi igual a 114.866.034 m³, com uma profundidade média de 8,1 m e profundidade máxima igual a 28,0 m.

Os menores valores de profundidades máxima e média e o maior valor do fetch foram mensurados no reservatório Umari. Kimmel, Lind e Paulson (1990) afirmam que valores reduzidos de profundidade máxima e média contribuem para maior ressuspensão do sedimento do fundo caracterizando-se como uma carga extra de nutrientes para a biota presente na coluna d'água. Resck, Bezerra-Neto e Pinto-Coelho (2007) estudando o reservatório da Pampulha MG, evidenciaram que as áreas mais propícias a ressuspensão do sedimento e a produtividade biológica estavam relacionadas aos menores valores de profundidades. Desta forma, sugere-se que no reservatório Umari existe um favorecimento da ressuspensão de partículas sólidas e de nutrientes oriundos do sedimento, especialmente em regiões mais rasas do corpo d'água. Essa característica provavelmente influencia nos valores de algumas variáveis limnológicas, a exemplo da turbidez e da transparência da água.

O reservatório Santa Cruz apresentou perímetro de 94.835 m, 6,14% de Índice de Desenvolvimento de Margem e 13,02% de Proporção de Litoral. O reservatório Umari apresentou perímetro igual a 110.887 m, Índice de Desenvolvimento de Margem igual a 8,17% e Proporção de Litoral de 33,78%.

O maior perímetro encontrado no reservatório Umari ocorreu em virtude da presença de margens mais irregulares (dendríticas) demonstrado pelo maior Índice de Desenvolvimento de Margem, característica que também contribuiu para uma maior porcentagem de áreas rasas (litoral) neste reservatório. O Índice de Desenvolvimento de Margem indica o potencial de colonização das margens por comunidades litorâneas (WETZEL, 1993). Desta forma, supõe-se que o reservatório Umari, por apresentar maior perímetro e índice de desenvolvimento de margem, tenha suas margens mais propícias a colonização de comunidades de vegetais e de animais aquáticos, em relação à Santa Cruz.

A maior proporção de litoral foi registrada no reservatório Umari. De acordo com Von Sperling (1994), a proporção de litoral relaciona a área da bacia de drenagem com a área total do sistema aquático, onde o registro de valor elevado desse parâmetro indica que grandes quantidades de materiais sólidos e nutrientes podem ser carregadas, o que intensifica o processo de assoreamento e eutrofização dos corpos aquáticos. Sendo assim, de acordo com os valores registrados, sugere-se que Umari está mais susceptível a sofrer influência dos impactos antropogênicos da sua bacia de drenagem do que Santa Cruz.

No entanto, é interessante ressaltar que os valores de proporção de litoral registrados em Santa Cruz e Umari foram menores quando comparado aos encontrados nos reservatórios do Nado, Vargem das Flores e da Pampulha localizados no estado de Minas Gerais (BEZERRA-NETO; PINTO-COELHO, 2002; RESCK et al., 2007; SANTOS, 2012). Essa informação denota que os reservatórios Santa Cruz e Umari certamente sofrem menor influência de fenômenos de origem antropogênica que os reservatórios supracitados, sugerindo uma maior preservação de suas bacias de drenagem.

O menor valor da profundidade relativa (0,63%) foi encontrado no reservatório Umari. Von Sperling (1997) afirma que profundidade relativa com valor menor que 1% é considerada baixa. Esse mesmo autor menciona ainda que baixa profundidade relativa é uma característica comum em lagos e reservatórios brasileiros, sobretudo, naqueles situados na região nordeste. De acordo com Cole (1983), as medidas de profundidade relativa podem influenciar na estabilidade térmica dos reservatórios. Estudo no reservatório Vargem das Flores-MG

associou a alta instabilidade térmica aos menores valores de profundidade máxima, média e relativa desse corpo hídrico (SANTOS, 2012). Por outro lado, estudo realizado no reservatório do Nado-MG, associou a alta estabilidade térmica ao valor elevado da profundidade relativa (5,5%) e aos menores valores da largura e do comprimento máximo (BEZERRA-NETO; PINTO-COELHO, 2002). Desse modo, acredita-se que o reservatório Umari apresente maior instabilidade térmica em relação à Santa Cruz, apresentando como consequência maior mistura das massas de água na coluna da água, estando mais susceptível à ação dos ventos.

Tabela 1. Parâmetros morfométricos calculados para Santa Cruz.

Parâmetro	Valor
Área Superficial	18983598,00 m ²
Comprimento Máximo	15984,10 m
Diâmetro	800,70 m
Fetch	6487,19 m
Índice de Desenvolvimento de Margem	6,14
Índice de Desenvolvimento de Volume	1,07
Largura Máxima	4158,31 m
Largura Máxima efetiva	4084,58 m
Largura Média	1187,66 m
Perímetro	94835,30 m
Profundidade Máxima	38,00 m
Profundidade Média	13,51 m
Profundidade média limnológica	15,58 m
Profundidade Relativa	0,77 %
Proporção de litoral	13,02 %
Relação Profundidade média e máxima	0,36
Volume	295858761,00 m ³
Volume relativo	49,33 %

Tabela 2. Parâmetros morfométricos calculados para Umari.

Parâmetro	Valor
Área Superficial	14658108,00 m ²
Comprimento Máximo	14227,65 m
Diâmetro	528,76 m
Fetch	6585,64 m
Índice de Desenvolvimento de Margem	8,17
Índice de Desenvolvimento de Volume	0,91
Largura Máxima	3424,20 m
Largura Máxima efetiva	3285,68 m
Largura Média	1030,26 m
Perímetro	110887,26 m
Profundidade Máxima	28,00 m
Profundidade Média	8,18 m
Profundidade média limnológica	7,84 m
Profundidade Relativa	0,63 %
Proporção de litoral	33,78 %
Relação Profundidade média e máxima	0,30
Volume	114866034,00 m ³
Volume relativo	39,23 %

5 CONCLUSÃO

O comprimento máximo e a largura média dos reservatórios apresentaram dimensões semelhantes, no entanto, o volume total de armazenamento em Santa Cruz foi 62% maior que o de Umari. Já os valores do perímetro e proporção de litoral do reservatório Umari foram 15% e 62%, respectivamente, maiores do que os observados em Santa Cruz. Os resultados apresentados reforçam a informação de que a maioria dos reservatórios brasileiros apresenta baixa profundidade relativa ($< 1\%$), condição que certamente favorece a mistura das camadas de água, promovendo uma maior homogeneidade da coluna d'água. Observou-se que a maior porção da área de ambos os reservatórios está localizada em baixas profundidades (menores que 10 metros), com aproximadamente 75% do volume de água acumulado em profundidades de até doze metros.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Boletim de monitoramento dos reservatórios do nordeste do Brasil**. Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2007.

BEZERRA NETO, J. F.; COELHO, R. M. P. A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: Lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 2, p. 285-290, 2002.

BEZERRA-NETO, J. F.; PINTO-COELHO, R. M. Morphometric study of Lake Dom Helvécio, Parque Estadual do Rio Doce (PERD), Minas Gerais, Brazil: a re-evaluation. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 117-130, 2008.

BRIGHENTI, L. S. et al. Parâmetros morfométricos da Lagoa Central (Lagoa Santa, Estado de Minas Gerais): comparação de duas metodologias. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 281-287, 2011.

COLE, G. A. **Textbook of Limnology**. Saint louis: C.V. Mosby C. O., 1983.

COLE, G. A. **Text book of Limnology**. 4ªed. Prospect Heights, Illinois: Waveland Press, 1994.

HAKANSON, L. **A manual of lake morphometry Springer Verlag**, 1981.

KIMMEL, B. L.; LIND, O. T.; PAULSON, G. R. Reservoir primary production. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (Ed.). **Reservoir limnology: ecological perspectives**. Somerset, New Jersey: John Wiley & Sons, 1990.

RESCK, R.; BEZERRA-NETO, J. F.; PINTO-COELHO, R. M. Nova batimetria e uma avaliação ecológica de parâmetros morfométricos da Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil). **Geografias**, v. 3, n. 2, p. 24-37, 2007.

SANTOS, S. P. **Morfometria, Compartimentação e Hidrodinâmica de um Reservatório Periurbano Tropical: Prognósticos Sobre o Tempo de Vida útil do Reservatório de Vargem das Flores, Minas Gerais – Brasil** (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

VON SPERLING, E. **Influência do parâmetro profundidade relativa na qualidade da água de lagos e represas**. In. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro: ABES, p. 2160- 2163, 1994.

VON SPERLING, E. Influência do parâmetro profundidade relativa na qualidade da água de lagos e represas In: **19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 1997,

Foz de Iguaçu, Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 2160-2163, 1997.

VON SPERLING, E. **Morfometria de lagos e represas**. Belo Horizonte: UFMG, 1999.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 631p, 2008.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste, 1993.

WETZEL, RG. **Limnology**. San Diego, USA: Academic Press. 3ªed. 2001.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DE RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

(a ser submetido à Revista Limnetica)

CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DE RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

RESUMO: Objetivou-se avaliar espacialmente e temporalmente as variáveis limnológicas dos reservatórios Santa Cruz e Umari (semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil), bem como avaliar o estado trófico e a aplicabilidade do conceito de compartimentalização longitudinal nesses ambientes aquáticos. Foram realizadas quatro coletas nos meses de maio, agosto e novembro de 2012 e fevereiro de 2013. Foram mensuradas com uma sonda multiparâmetros as seguintes variáveis: pH, temperatura, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez e oxigênio dissolvido e por meio do disco de Secchi a transparência. Foram ainda determinadas concentrações de N-total, P-total, N-amoniaco, N-nitrito, N-nitrato e clorofila *a* e aplicadas análises de regressão e a análise dos componentes principais (ACP). Nos reservatórios de Santa Cruz e Umari, a ACP demonstrou um padrão espacial onde à medida que se aproximava da zona fluvial foram registrados valores mais elevados de CE, STD, P-total, N-total e clorofila *a*. No entanto, em ambos os reservatórios não foi constatado um nítido padrão de variação temporal, provavelmente devido aos índices pluviométricos reduzidos observados durante todo o período de coletas. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, os valores médios das variáveis limnológicas foram enquadrados na Classe 1, com exceção do P-total no reservatório Santa Cruz (Classe 2). Pôde-se concluir que o conceito de compartimentalização longitudinal pode ser aplicado parcialmente aos reservatórios estudados, sendo apenas constatada uma zona lacustre, ocupando a maior parte de ambos os reservatórios com características ultraoligotrófica e oligotróficas, e uma zona fluvial reduzida com características variando de mesotrófica a eutrófica.

Palavras Chaves: Reservatórios; Semiárido Brasileiro; Variáveis físicas, químicas e biológica; Heterogeneidade espaço-temporal; Estado trófico; Análise dos Componentes Principais.

.

CAPÍTULO 3: CHARACTERIZATION SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF LIMNOLOGICAL VARIABLES IN RESERVOIRS OF THE SEMI-ARID REGION OF RIO GRANDE DO NORTE, BRAZIL

SUMMARY: It was this study's aim to spatially and temporally evaluate the limnological variables of the water reservoirs of Santa Cruz and Umari (Semi-arid region of Rio Grande do Norte, Brazil), as well as to evaluate the trophic status and the applicability of the concept of longitudinal compartmentalization in these aquatic environments. Four samplings were conducted in May, August and November 2012 and February 2013. With the aid of a multiparameter probe, the following variables were measured: pH, water temperature, electrical conductivity, total dissolved solids, turbidity and dissolved oxygen, and, via utilization of the Secchi disk, water transparency. Also, it was possible to determine the concentrations of total N, total P, ammoniacal nitrogen, nitrite N, nitrate N and Chlorophyll a, and Principal Component Analysis (PCA) was carried out. In the reservoirs of Santa Cruz and Umari, PCA results showed a spatial pattern in which, as the water ran closer to the influence zone of affluent rivers, there were higher figures of temperature, electrical conductivity, turbidity, total dissolved solids, total P, total N, and Chlorophyll a. However, it could not be verified, in either reservoir, a clear pattern of temporal variation, likely due to the low rainfall during the entire period of sampling. According to the CONAMA resolution nº 357/2005, the average figures of the limnological variables were placed in Class 1, with the exception of the concentration of total P in the reservoir of Santa Cruz (Class 2). It could be concluded that the concept of longitudinal compartmentalization may be partially applied to the reservoirs studied, with the verification of a lake zone, taking the larger part of both reservoirs and bearing oligotrophic characteristics, and a reduced fluvial zone, bearing both mesotrophic and eutrophic characteristics.

Keywords: Reservoir; Semi-arid; Physical, chemical and biological variables; Spatial-temporal heterogeneity; Trophic state; Principal Component Analysis.

1 INTRODUÇÃO

Represar os rios com o objetivo de controlar e armazenar água para diversos usos vem sendo realizado pela humanidade há séculos. Nas últimas décadas, essa prática tem sido intensificada e revelou-se como uma importante alternativa para suprir o atual consumo de água (GUARINO, 2005). De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO) a demanda por água até o ano de 2050 deverá aumentar em 50% do que se dispõe hoje (ESTEVES; MENEZES, 2011). Diante desta realidade, a construção dos reservatórios se mostra uma medida encontrada pelos gestores públicos para suprir a demanda por água, embora sejam registrados impactos negativos ocasionados pelo barramento dos rios à fauna, a flora e as condições abióticas localizadas a montante e a jusante (WARD; STANFORD, 1983; FERREIRA et al., 2013).

Os reservatórios são considerados sistemas híbridos, pois apresentam morfometria e características hidrológicas de rios e lagos, com diferenças verticais e longitudinais que constituem zonas de compartimentalização ao longo do seu eixo rio-barragem, a saber: zona de influência fluvial, zona de transição e zona lacustre (NOGUEIRA; HENRY; MARICATTO, 1999).

A zona lacustre geralmente possui um canal mais largo e profundo, com maior transparência associada às concentrações reduzidas de nutrientes. A zona de transição possui um canal mais estreito e raso, quando comparada à lacustre, ocorrendo produção de matéria orgânica autóctone. Já a zona de influência fluvial distingue-se das demais por apresentar bacia estreita e rasa, concentrações de nutrientes e turbidez elevadas e significativa quantidade de matéria orgânica proveniente da bacia de drenagem (THORNTON et al., 1990).

O dimensionamento dessas três zonas é fortemente influenciado pelo regime hidrológico da região; o influxo de água dos tributários e rios principais; a ação dos ventos por meio das correntes superficiais; o tempo de residência; a morfometria dendrítica; a estratificação térmica e a gestão que controla o fluxo de saída de água de acordo com a demanda de energia e dos usos múltiplos do reservatório (FREIRE; CALIJURI; SANTAELLA, 2009; PADIAL; POMPEO; MOSCHINI-CARLOS, 2009, RIBEIRO FILHO et al., 2011).

Os reservatórios localizados na região do semiárido brasileiro tendem a apresentar um longo período de residência da água o que desencadeia o acúmulo e o aumento das

concentrações de nutrientes, tornando-os mais vulneráveis à perda da qualidade da água e, consequentemente, à eutrofização (BOUVY et al., 2000; COSTA et al., 2006; ESKINAZI-SANT'ANNA, 2007). Esta característica apresenta uma situação agravante quando se verifica que essa região abriga a maior população entre as regiões semiáridas do mundo, com um baixo regime pluviométrico e um alto índice de evaporação (REBOUÇAS, 1997; IBGE, 2011). Além disso, essa região assim como outras regiões semiáridas do mundo, apresenta características climáticas e geomorfológicas que influenciam diretamente na dinâmica dos seus reservatórios e nos seus usos múltiplos. Constituem exemplos a variação espacial e temporal da precipitação, a baixa amplitude térmica, com temperaturas superiores a 25°C durante todo o ano, e as bacias de drenagem caracterizadas pelos rios intermitentes (BARBOSA et al., 2012).

Neste contexto, a presente pesquisa objetivou avaliar espacialmente e temporalmente as características físicas, químicas e biológica dos reservatórios Santa Cruz e Umari (semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil), bem como avaliar o estado trófico e a aplicabilidade do conceito de compartimentalização longitudinal nesses reservatórios.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado nos reservatórios Santa Cruz e Umari situados na bacia hidrográfica do rio Apodi Mossoró no semiárido do Rio Grande do Norte (Figura 7). O reservatório Santa Cruz tem um volume de 599.712.000,00 m³, enquanto que o reservatório Umari acumula um volume de água de 292.813.000,00 m³, correspondendo a segunda e a terceira maiores reservas de água do estado, respectivamente.

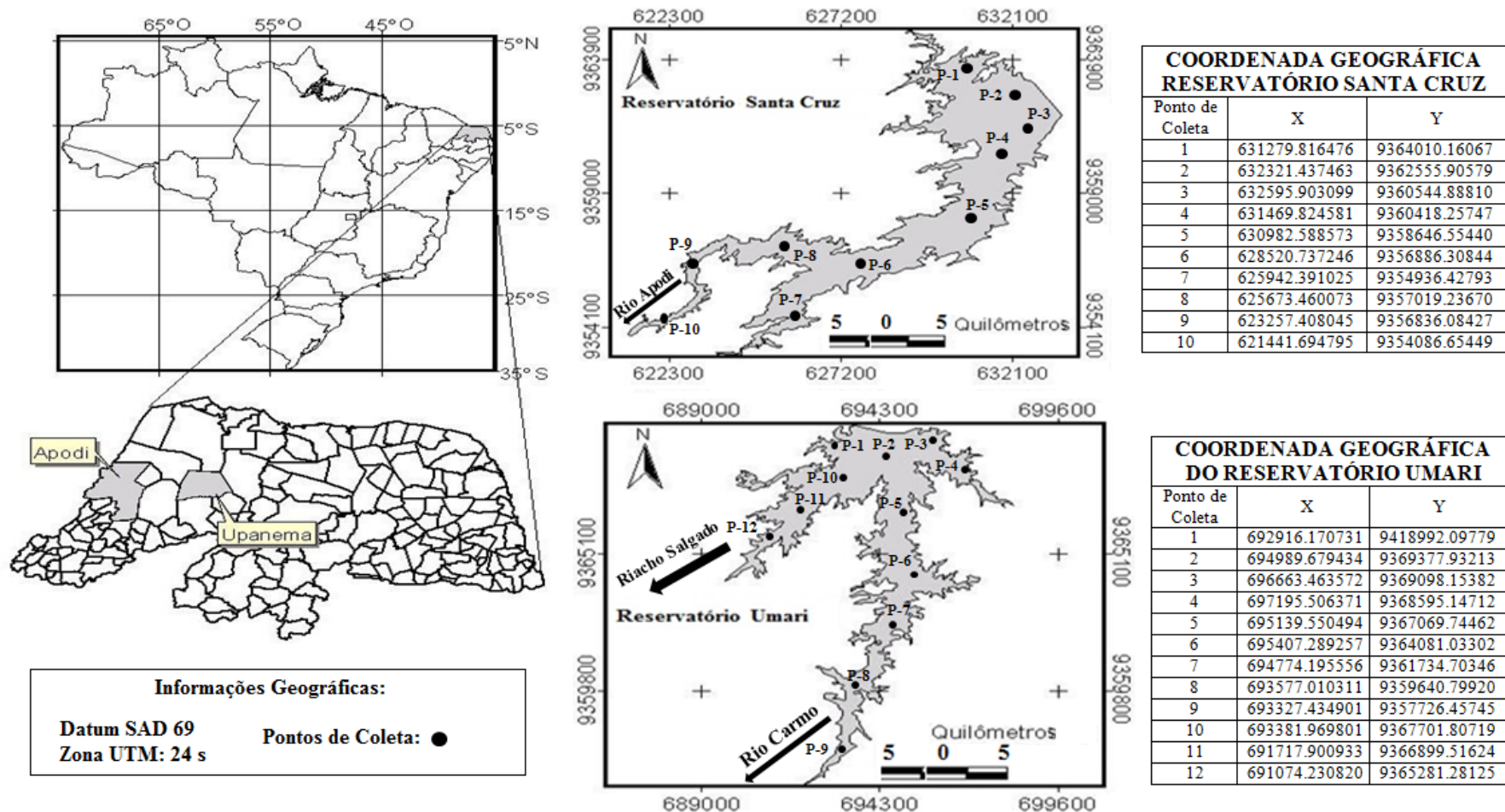


Figura 7. Localização geográfica dos pontos de amostragens nos reservatórios Santa Cruz (05°46'13.27" S / 37°48'33.01" O) e Umari (05°42'04.24" S / 37°14'34.28" O) nos municípios de Apodi e Upanema (RN), respectivamente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas quatro coletas com frequência trimestral nos meses de maio, agosto e novembro de 2012 e no mês de fevereiro de 2013, sendo avaliado em cada coleta 10 pontos de amostragens no reservatório Santa Cruz e 12 pontos no reservatório Umari ao longo do eixo rio-barragem (Figura 7). Vale destacar que no reservatório Umari, não foi possível realizar coleta no ponto nove nos meses de novembro/2012 e fevereiro/2013 e no ponto quatro em fevereiro/2013, em virtude do baixo volume do reservatório.

As variáveis limnológicas mensuradas com uma sonda multiparâmetros (marca HORIBA, modelo U-52) foram: Temperatura (T), Condutividade Elétrica (CE), Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Turbidez (TURB); e pelo disco de Secchi a transparência da água (SEC). Foram determinadas as concentrações de Fósforo Total (P-total) segundo Murphy e Riley (MURPHY; RILEY, 1962); Nitrogênio Total (N-total) por Goltermam; Clymo e Ohnstad (1978); N-nitrito (N-NO_2^-) e N-nitrato (N-NO_3^-) de acordo com Strickland e Parson (1972); N-amoniaco (N-NH_3) por Ivancic e Degobbi (1984); e Clorofila-a (CL) de acordo com Nusch (1980).

Os valores de precipitação pluviométrica foram obtidos das estações climatológicas monitoradas pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2013a) que estão localizados a montante dos reservatórios Umari e Santa Cruz com as coordenadas: $05^\circ 51' 44.70''\text{S}$ / $37^\circ 18' 34.41''\text{O}$ e $05^\circ 55' 44.70''\text{S}$ / $38^\circ 02' 47.56''\text{O}$, respectivamente. Os valores pluviométricos representaram o acumulado para cada mês. Os dados mensais referentes ao volume dos reservatórios foram fornecidos pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado do Rio Grande do Norte (SEMARH, 2013).

A Análise dos Componentes Principais (ACP) foi aplicada para as variáveis CE, STD, CL, P-total, N-total, N-NO_2^- , N-NO_3^- e N-NH_3 , a fim de observar um padrão espacial dos pontos amostrados ao longo da variação temporal (BOUROCHE; SAPORTA, 1982). Esta análise possibilita reunir um grande número de variáveis correlacionadas e indicar as associações existentes. (SANTOS et al., 2008). Neste estudo, a ACP reuniu o conjunto de dados referentes às estações amostrais (variação espacial) e as coletas (variação temporal), sendo representado nas figuras pelo número do ponto amostral, seguido do mês e ano de coleta. A regressão não linear (modelo exponencial) foi utilizada no intuito de identificar possíveis relações entre as variáveis limnológicas analisadas com a distância da barragem

sendo consideradas apenas as variáveis que apresentaram correlação (≥ 0.50), (ARMENGOL et al., 1999).

O Índice de Estado Trófico (IET) foi calculado segundo Carlson modificado por Toledo Junior e colaboradores adotando a classificação trófica de acordo com Toledo Junior (CARLSON, 1977; TOLEDO JUNIOR, et al., 1983; TOLEDO JUNIOR, 1990). O IET foi apresentado através de mapas temáticos utilizando-se o sistema de informações geográficas *ArcView 3.2*, através da interpolação dos dados espaciais de acordo com o método *Inverse Distance Weighted* (IDW) (MELLO et al., 2003). Os valores médios das variáveis limnológicas Clorofila a, P-Total, N-Total, Turbidez, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, OD e pH, foram confrontadas com a resolução N° 357/2005 do CONAMA (CONAMA, 2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO SANTA CRUZ

No reservatório Santa Cruz, o acumulado total da precipitação pluviométrica entre fevereiro/2012 e fevereiro/2013 foi de 198,00 mm. Nesse período, ocorreu precipitação nos meses de fevereiro a maio de 2012 e janeiro e fevereiro de 2013, e não houve precipitação entre junho e dezembro de 2012. No mês de fevereiro de 2013 foi registrado o menor volume de armazenamento desse reservatório após seu primeiro transbordamento em 2008 (342.303.505 m³), que correspondeu a 57,1% de sua capacidade total de armazenamento (Figura 8). Esse baixo volume do reservatório se deu em virtude do reduzido acumulado total da precipitação pluviométrica. Uma situação possivelmente agravada pelo período de estiagem que atingiu a região semiárida nos anos de 2012 e 2013, sendo classificada como uma das maiores secas das últimas décadas (INMET, 2013).

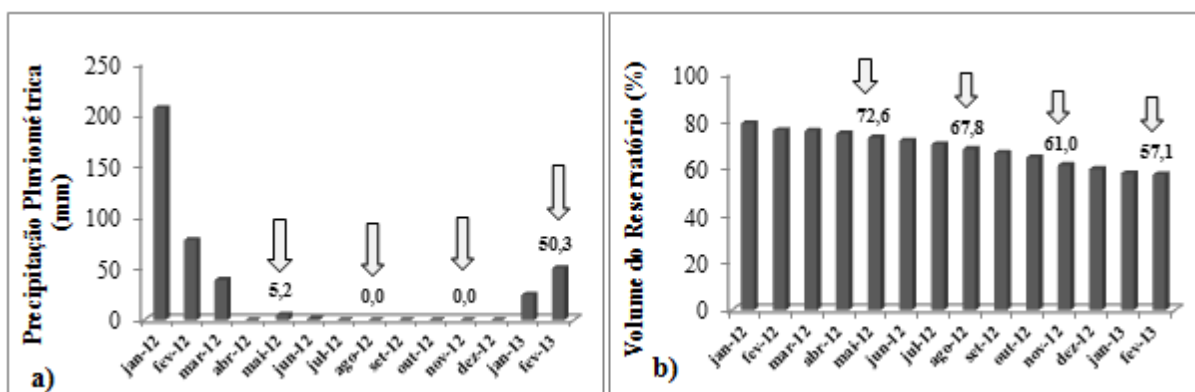


Figura 8. Precipitação pluviométrica acumulada para cada mês (A), volume (B), no período de janeiro de 2012 a fevereiro de 2013, as setas representam os meses de coletas no Reservatório Santa Cruz.

A partir dos pontos de amostragem distribuídos ao longo do eixo longitudinal do reservatório Santa Cruz, foi possível evidenciar um gradiente de valores elevados de algumas variáveis limnológicas, na medida em que se distanciavam da barragem e se aproximavam da zona de influência do rio Apodi/Mossoró (Figura 9).

A temperatura da água apresentou um padrão espacial com aumento gradativo a partir barragem, atingindo os maiores valores na zona de influência fluvial. É possível que esse padrão tenha ocorrido em função do horário de coleta, que iniciou por volta das 08h00min e finalizou próximo as 14h00min. Quanto ao padrão temporal, o maior valor médio da temperatura foi registrado em maio/2012 (28,96 °C) e o menor em fevereiro/2013 (28,45 °C).

O oxigênio dissolvido apresentou um padrão temporal inverso ao encontrado para a temperatura. Essa variável apresentou menor valor médio em maio/2012 (6,9 mg/L⁻¹) e o maior valor em fevereiro/2013 (8,5 mg/L⁻¹). A regressão entre as variáveis temperatura e oxigênio dissolvido com um R² de 0,011, sugere que a pequena variação da temperatura da água encontrada não foi determinante para estabelecer o padrão do oxigênio dissolvido. Nesse contexto, é plausível considerar a influência de outros fatores sobre as concentrações do oxigênio, a exemplo dos processos biológicos de produção e decomposição nos ecossistemas aquáticos.

A condutividade elétrica apresentou o menor valor médio em maio/2012 (0,279 mS/cm) e um aumento ao longo dos meses posteriores atingindo maior valor médio (0,342 mS/cm) em fevereiro/2013. Esse aumento dos valores de CE possivelmente esteve relacionado ao volume do reservatório que apresentou redução de 16,0% entre a primeira e última coleta, contribuindo para elevar a concentração dos íons dissolvidos na água.

Os valores de sólidos totais dissolvidos apresentaram um padrão temporal semelhante ao da CE, atingindo maior valor no mês de fevereiro ($0,222 \text{ mg/L}^{-1}$), sendo possivelmente atribuído ao baixo volume do reservatório. A turbidez, por sua vez, também seguiu essa tendência e registrou o maior valor médio no mês de fevereiro/2013 ($3,5 \text{ NTU}$). Um padrão temporal diferente foi observado para a transparência, onde em fevereiro/2013 foi verificado a menor média ($2,9 \text{ m}$). Sobre o padrão espacial, a turbidez expôs um gradiente onde à medida que se aproximava da zona de influência do rio Apodi/Mossoró os valores aumentavam. Já a transparência, apresentou um padrão onde os valores aumentavam a medida em que se distanciava da zona de influência do rio Apodi/Mossoró.

O padrão espacial e temporal encontrado para a turbidez e a transparência da água foi semelhante ao observado em estudos nos reservatórios de Barra Bonita-SP e Barra dos Coqueiros- GO. Os autores observaram que nas primeiras chuvas, o escoamento superficial e a movimentação dos sedimentos aumentaram a turbidez na área a montante das barragens e diminuíram a transparência (BRAGA et al., 2012, BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013). No reservatório Santa Cruz, pode-se inferir que a precipitação pluviométrica ocorrida no mês de fevereiro/2013, associada ao baixo volume do reservatório registrado pode ter contribuído para o aumento das concentrações dos sólidos em suspensão, aumentando a turbidez e reduzindo a transparência.

Em relação ao fósforo total e à clorofila *a* os maiores valores médios foram observados em maio/2012, apresentando, respectivamente, $33,6 \text{ ug/L}$ e $6,7 \text{ ug/L}$. Nesse mesmo mês, foi registrado o menor valor médio dos sólidos totais dissolvidos. Nessa dinâmica, acredita-se que a maior concentração do fósforo total e o menor valor dos sólidos totais dissolvidos possa ter favorecido o processo de absorção dos nutrientes pelas microalgas, desencadeando maiores valores de clorofila *a*. Resultado inverso foi encontrado por Freitas, Righetto e Attayde (2011) no reservatório de Cruzeta-RN. Esses autores observaram que apesar de ter sido registrado altas concentrações de fósforo total (120 ug/L), as concentrações de clorofila *a* não foram tão elevadas ($12,0 \text{ ug/L}$), devido aos altos valores de turbidez (196 NTU) e de sólidos suspensos totais ($9,94 \text{ mg/L}$). Dessa forma, percebe-se que a absorção dos nutrientes pelos produtores primários pode ser limitada pela alta concentração de partículas dissolvidas na água, que reduzem a penetração da luz e, conseqüentemente, a assimilação.

O pH apresentou-se alcalino ao longo do estudo, tendo o maior valor médio (8,5) registrado em novembro de 2012 e o menor (7,7) em maio desse mesmo ano. Ao longo do padrão espacial, os maiores valores do pH permaneceram próximo a zona de influência do rio Apodi/Mossoró. Sugere-se que os valores de pH registrados no presente estudo possa ser atribuídos em parte a predominância do íon bicarbonato nos solos do semiárido nordestino, conforme evidenciou Leprun (1983) ao estudar mais de 304 açudes do semiárido brasileiro.

O padrão espacial do nitrogênio foi evidenciado pelos maiores valores nos pontos próximos a zona de influência fluvial e o padrão temporal pelo maior valor médio ($0,37 \text{ mg/L}^{-1}$) no mês de fevereiro/2013. Os valores elevados em fevereiro podem ser atribuídos à precipitação pluviométrica registrada e ao baixo volume do reservatório observado nesse mês, fato que contribuiu para uma maior concentração dessa e de outras variáveis. Segundo Henry et al. (1998) o início do período chuvoso pode influenciar no transporte de cargas externas de nutrientes provenientes da bacia de drenagem, a exemplo do nitrogênio, funcionando como um sistema adicional de enriquecimento ao reservatório. No entanto, tanto no estudo de Henry et al. (1998) quanto no presente estudo, os aportes alóctones de nutrientes tiveram efeitos limitados nas estações próximas à desembocadura dos tributários, dando a entender que a chuva transporta maior aporte de nutrientes provenientes da bacia de drenagem e influencia nas concentrações dos compartimentos mais a montante do reservatório.

O maior valor médio do N-nitrato ($254,1 \text{ ug/L}^{-1}$) e do N-amoniacal ($89,1 \text{ ug/L}^{-1}$) foi registrado em fevereiro/2013, enquanto que nesse mesmo mês observou-se uma redução do valor médio do N-nitrito ($0,39 \text{ ug/L}^{-1}$). Essa dinâmica, possivelmente pode ser atribuída ao processo de oxidação biológica dos compostos nitrogenados que foram favorecidos pelas concentrações elevadas do oxigênio dissolvido, registradas em fevereiro/2013. Segundo Schafer (1984) concentrações elevadas de oxigênio dissolvido tem importante papel no processo do ciclo do nitrogênio podendo determinar a ocorrência da via nitrificação, estabelecendo uma relação de dependência.

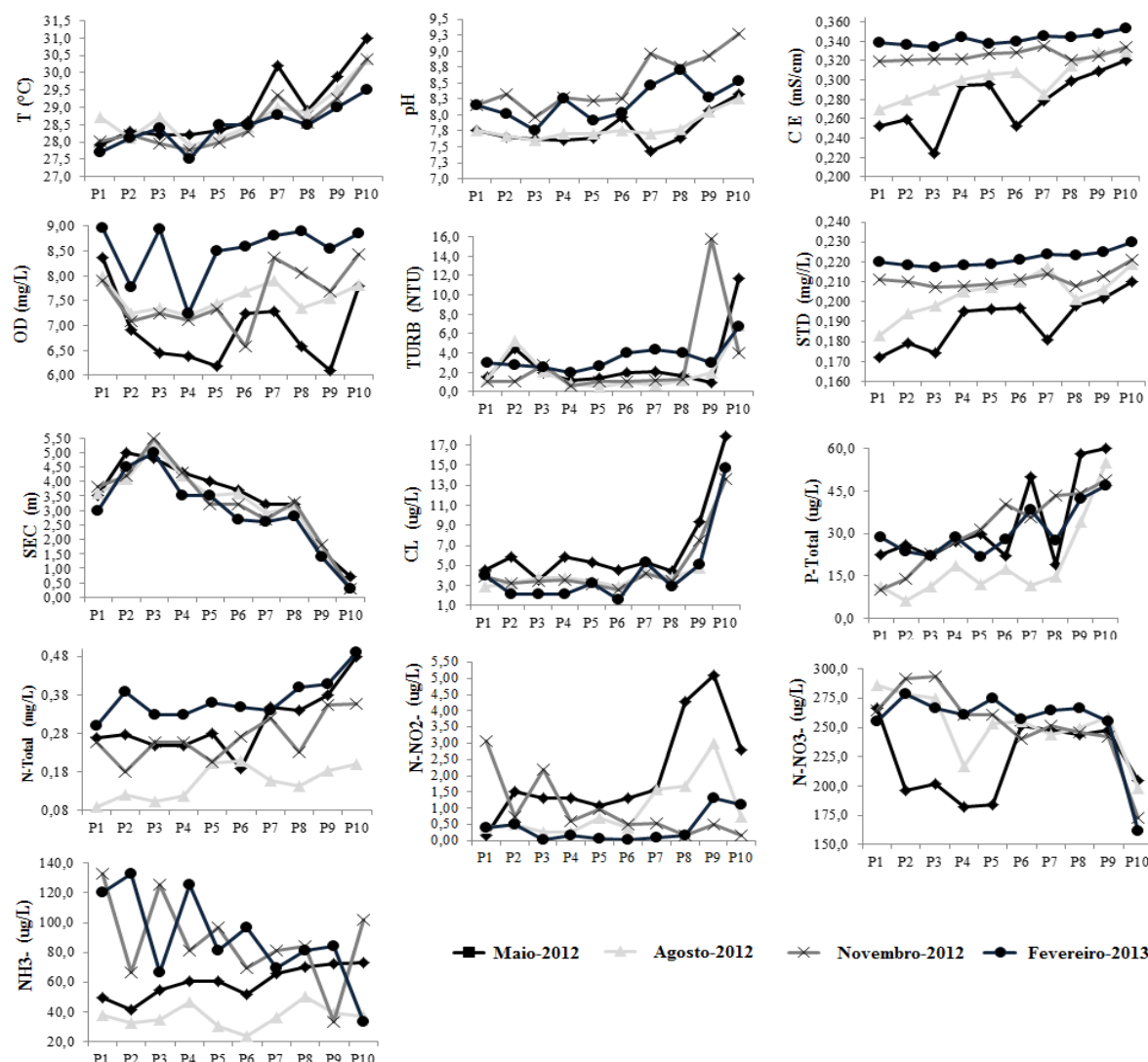


Figura 9. Valores das variáveis limnológicas amostradas ao longo dos pontos do reservatório Santa Cruz (P1 a P10). T: Temperatura; pH; CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; TURB: Turbidez; STD: Sólidos totais dissolvidos; SEC: Transparência; CL: Clorofila a; P-total: Fósforo Total; N-total: Nitrogênio total; N-NO₂⁻: N-Nitrito; N-NO₃⁻: N-Nitrato; NH₃: N-amoniaco.

Os resultados das análises de regressão entre as variáveis limnológicas e a distância da barragem revelaram as maiores correlações em maio/2012 para as variáveis SEC ($r^2=0,71$) e N-total ($r^2=0,53$) e em fevereiro/2013 para o P-total ($r^2=0,72$), STD ($r^2=0,92$) e CE ($r^2=0,78$). As variáveis que apresentaram valores de correlação abaixo do estipulado ($r^2<0,5$) foram: N-NO₂⁻, N-NH₃, OD e temperatura (Figura 10).

As variáveis SEC, N-total, P-total, STD e CE estiveram correlacionadas fortemente com a distância da barragem. Isso permite afirmar que existiu um padrão espacial de aumento dos valores próximos à área de influência do rio Apodi/Mossoró e de redução à medida que se aproximava da barragem, com exceção da transparência que apresentou comportamento contrário. Um gradiente acentuado foi verificado em fevereiro/2013, conforme indica os valores dos coeficientes angulares das regressões para essas variáveis limnológicas (Figura 10). Esse padrão espacial pode ser explicado pelo processo de sedimentação e absorção dessas variáveis ao longo do eixo longitudinal, onde a acentuação no mês de fevereiro/2013 pode ter sido influenciada pelo menor volume do reservatório verificado no período estudado, que também correspondeu ao referido mês.

Dinâmica semelhante foi observada por Bouvy et al. (2003) estudando o reservatório Tapacurá (Pernambuco) durante o período de estiagem que compreendeu os anos de 1998 e 1999. Nesse estudo, as concentrações das variáveis limnológicas eram acrescidas ao passo que o volume do reservatório reduzia, atingindo os maiores valores no final do período da estiagem quando o menor volume do reservatório foi registrado. Isto evidencia que no período de seca a redução do volume de água dos reservatórios pode atuar concentrando os nutrientes e os íons dissolvidos na coluna d'água, desencadeando um aumento dos valores das variáveis limnológicas.

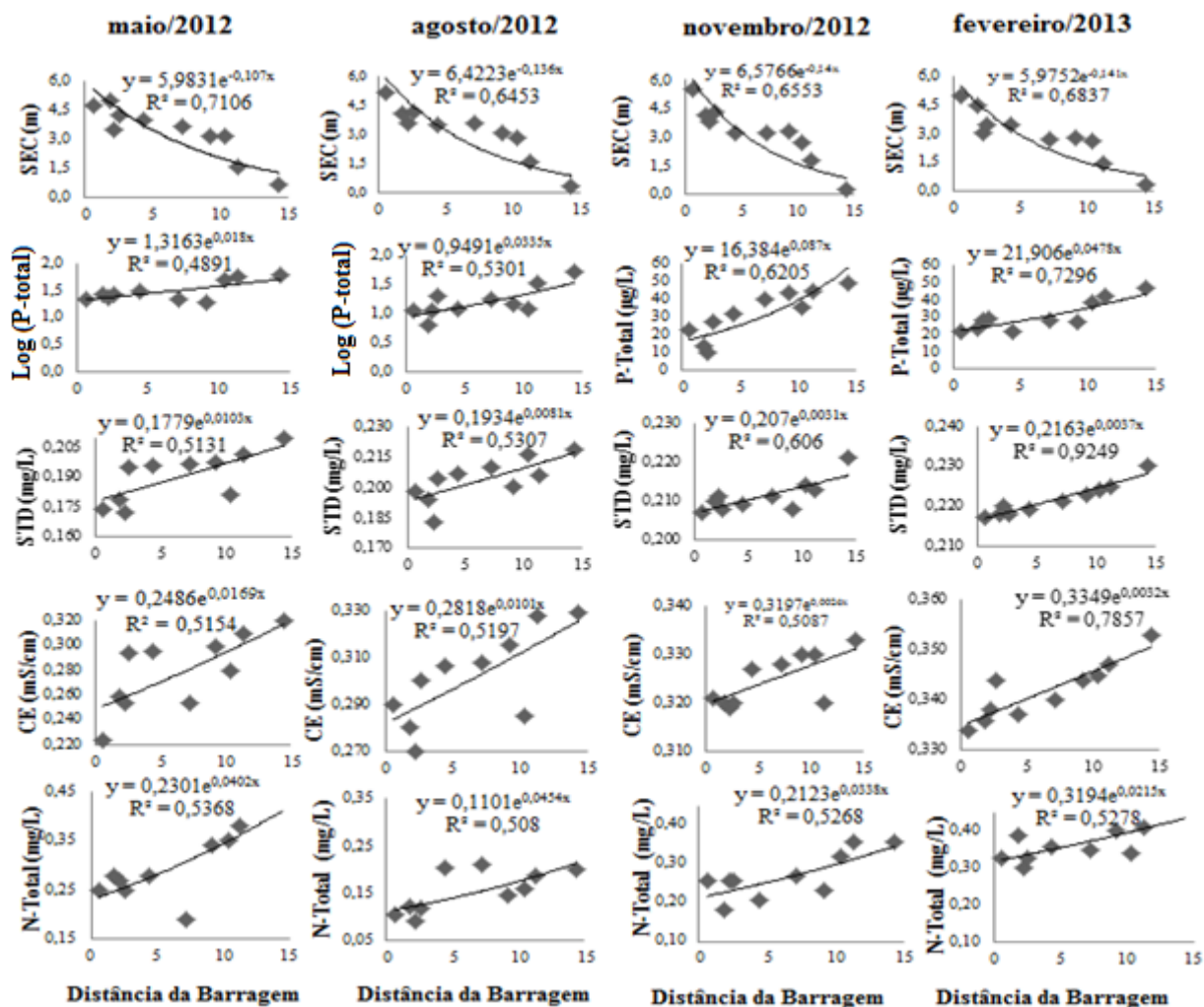


Figura 10. Análise de regressão das variáveis limnológicas em relação à distância da barragem do reservatório de Santa Cruz para os meses de maio/2012; agosto/2012; novembro/2012 e fevereiro/2013.

Os resultados da ACP para as variáveis limnológicas do reservatório Santa Cruz resumiu 65,57% da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros eixos de ordenação, sendo que o primeiro eixo explicou 39,05% da variação total, enquanto que o segundo eixo explicou 26,52%. Essas correlações foram estabelecidas pelo valor de $|0,6|$. No primeiro eixo, as variáveis condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, fósforo total e nitrogênio total apresentaram-se correlacionadas negativamente, enquanto que no segundo eixo a clorofila *a* correlacionou-se positivamente e o N-nitrato negativamente (Figura 11).

Com base no Eixo 1, pode-se visualizar que o agrupamento A formado pelo ponto 10, independentemente do mês da coleta, e pelos pontos 9-mai-12 e 9-nov-12, esteve diferenciado dos demais agrupamentos, destacando-se por apresentar os maiores valores das variáveis correlacionadas negativamente no primeiro eixo (CE, STD, P-total e N-total). Essa discrepância pode estar relacionada ao maior aporte de nutrientes e de partículas dissolvidas provenientes do carreamento do rio Apodi/Mossoró. Segundo Henry et al. (1998) os compartimentos mais a montante do reservatório sofrem maiores impactos devido as cargas externas de nutrientes introduzidas pelos tributários. Esses tributários se comportam como um sistema adicional de enriquecimento, que tende a ser menor ao passo em que se aproxima da barragem.

O agrupamento C composto pela maioria dos pontos amostrados nos meses de maio e agosto de 2012 evidenciou concentrações reduzidas das variáveis limnológicas correlacionadas negativamente com o primeiro eixo, tendo destaque os pontos 2-maio-12 e 3-maio-12, que estiveram mais próximos à barragem. Esse padrão pode ter sido influenciado pelo fato do maior volume do reservatório ter sido registrado no mês de maio/2012. Afirma-se isto porque visualizou-se uma progressiva diminuição desse volume ao longo dos meses de coleta posteriores, resultando no aumento das concentrações das variáveis.

O agrupamento B foi constituído pelos pontos amostrados em novembro de 2012 e fevereiro de 2013, com exceção dos pontos 9-nov-12, 10-nov-12 e 10-fev-13 que fizeram parte do agrupamento A (zona de maior influência do rio Apodi/Mossoró). Quando comparado ao agrupamento A, os valores das variáveis limnológicas do agrupamento B (CE, STD, P-total e N-total) apresentaram-se menores. Certamente isso aconteceu devido a sedimentação e/ou assimilação desses nutrientes pelos produtores primários, ocasionando um aumento das concentrações da clorofila *a* no agrupamento A. Vale destacar que as concentrações dos sólidos totais dissolvidos na área de maior influência fluvial permaneceu reduzida ($< 0,230$ mg/L), favorecendo a penetração da luz na coluna da água e, consequentemente, a absorção dos nutrientes pelo fitoplâncton.

Tal padrão foi inverso ao verificado no reservatório Jurumirim-SP, onde a alta carga de material particulado proveniente do rio Paranapanema interferiu na penetração da luz limitando a atividade primária, desencadeando nas concentrações mais reduzidas da clorofila *a* no sentido rio-barragem (HENRY et al., 1998). Dessa forma, compreende-se que apesar da zona de influência fluvial tender a maior concentração de nutrientes, a atividade fotossintética

pode ser limitada devido à ação de influências externas ao sistema (altas cargas de sedimentos introduzidas pelos afluentes) que interferem na penetração de luz e, por conseguinte, nas concentrações de clorofila *a* (HENRY et al., 1998).

De modo geral, o resultado da ACP para o reservatório Santa Cruz demonstrou um padrão espacial, onde os maiores valores foram mensurados na zona de influência do rio Apodi-Mossoró independente do período de coleta. Já o padrão temporal foi constituído por um ciclo hidrológico com índice pluviométrico abaixo da média para região semiárida, que foi determinante para reduzir o volume do reservatório, e por sua vez, aumentar os valores das variáveis limnológicas ao longo dos meses de coletas.

Situação contrária foi observada no reservatório Serrote-CE, onde o ciclo hidrológico com precipitação pluviométrica acima da média para a região semiárida determinou um aumento das concentrações das variáveis limnológicas. Nesse caso, o padrão espacial foi diretamente influenciado pelos altos índices pluviométricos que desencadeou no carreamento dos nutrientes oriundos da bacia de drenagem (ALEXANDRE et al., 2010). Tal característica é acentuada nos reservatórios do semiárido devido à alta desproporção entre a área da bacia de drenagem e a área do reservatório, necessária para manter o volume de água (THORNTON; RAST, 1993). Portanto, verifica-se que o aumento dos valores das variáveis mostra-se influenciado tanto pela redução do volume do reservatório, quanto pela precipitação pluviométrica.

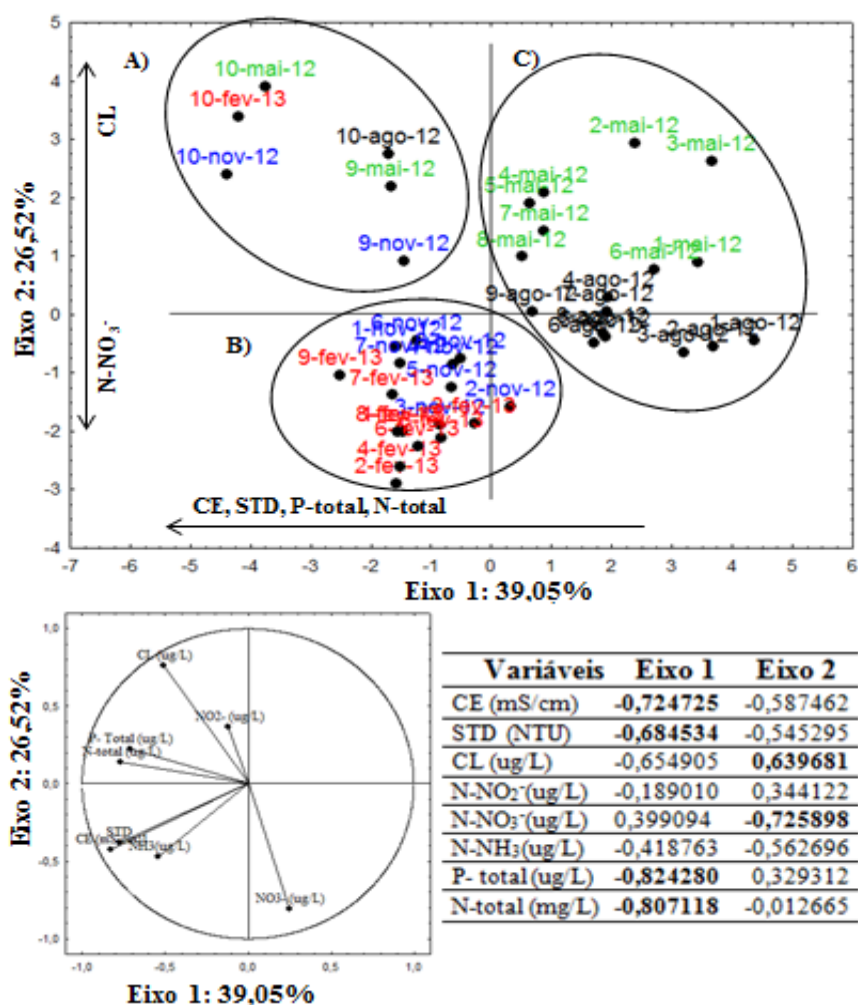


Figura 11. Análise dos componentes principais das quatro coletas do reservatório Santa Cruz. Os números correspondem aos locais de amostragem (1 a 10) seguido dos meses de coleta (mai-12: maio/2012; ago-12: agosto/2012; nov-12: novembro/2012; fev-13: fevereiro/2013).

No reservatório Santa Cruz, pode-se visualizar que a compartimentalização clássica não foi evidente ao ponto de identificar as três zonas (fluvial, transição e lacustre). No entanto, foi observada uma zona fluvial reduzida e próxima ao rio que forma o reservatório e uma zona lacustre ocupando a maior parte do reservatório.

Uma pequena área da zona de influência fluvial permaneceu classificada como eutrófica ao longo do período estudado, enquanto que o restante do reservatório esteve variando entre mesotrófica e oligotrófica. No entanto, a maior área desse reservatório esteve classificada como oligotrófica, independentemente dos meses de coleta (Figura 12).

Esses resultados condizem aos mencionados por Henry-Silva et al. (2013), que classificaram o reservatório Santa Cruz em oligotrófico, com exceção da zona de influência fluvial que esteve variando de mesotrófica a eutrófica. No presente estudo, acredita-se que a

classificação eutrófica encontrada na parte alta do reservatório Santa Cruz possa ter ocorrido em resposta à carga de efluentes domésticos, agrícola e pecuário, além de outros usos e ocupação do solo da bacia de drenagem. Já a classificação oligotrófica atribuída à maior parte do reservatório, possivelmente ocorreu em virtude do recente tempo de represamento desse reservatório, registrado no ano de 2002, e ao seu primeiro transbordamento, em 2008. Algo semelhante ao ressaltado por Molisani, et al. (2010) no reservatório Castanhão (Ceará), onde a classificação mesotrófica encontrada foi consequência do recente tempo do primeiro transbordamento desse reservatório que ocorreu em 2004. Dessa forma, pode-se concluir que a recente construção desses reservatórios, associados ao recente tempo do primeiro transbordamento (inferior a uma década) contribuiu para classificação trófica desses reservatórios.

Supõe-se que tais características tenham contribuído para que o reservatório Santa Cruz apresente um estado trófico diferente da classificação mais comumente encontrada nos reservatórios do semiárido nordestino, que é o eutrófico. No estado do Rio Grande do Norte, por exemplo, diversos estudos apontam que reservatórios construídos a mais de três décadas apresentam-se eutrofizados (ESKINAZI-SANT'ANNA et al., 2007; COSTA et al., 2009; FREITAS et al., 2011), tornando-se, muitas vezes, impróprios ao abastecimento humano, desencadeando problemas sociais, econômicos e de saúde pública (BOUVY et al., 2000). Costa et al. (2009) relataram concentrações da clorofila *a* ultrapassando $60 \mu\text{g/L}^{-1}$ nos reservatórios Sabugi e Passagem das Traíras que tiveram picos de hipereutrófia. Em consonância, Eskinazi-Sant'Anna et al. (2007) detectaram característica eutrófica nos reservatórios Armando Ribeiro Gonçalves, Gargalheiras e Itans, que apresentaram concentrações $>20\mu\text{g/L}^{-1}$ para Clorofila *a*, N-total $>1000\mu\text{g/L}^{-1}$ e P-total $>60\mu\text{g/L}^{-1}$. Freitas et al. (2011) estudando o reservatório Cruzeta encontraram ainda o P-total com valores de $280 \mu\text{g/L}^{-1}$ e o N-total com $150\mu\text{g/L}^{-1}$. Isso leva a induzir que o tempo de construção de um reservatório interfere nas concentrações dos nutrientes e no estado trófico.

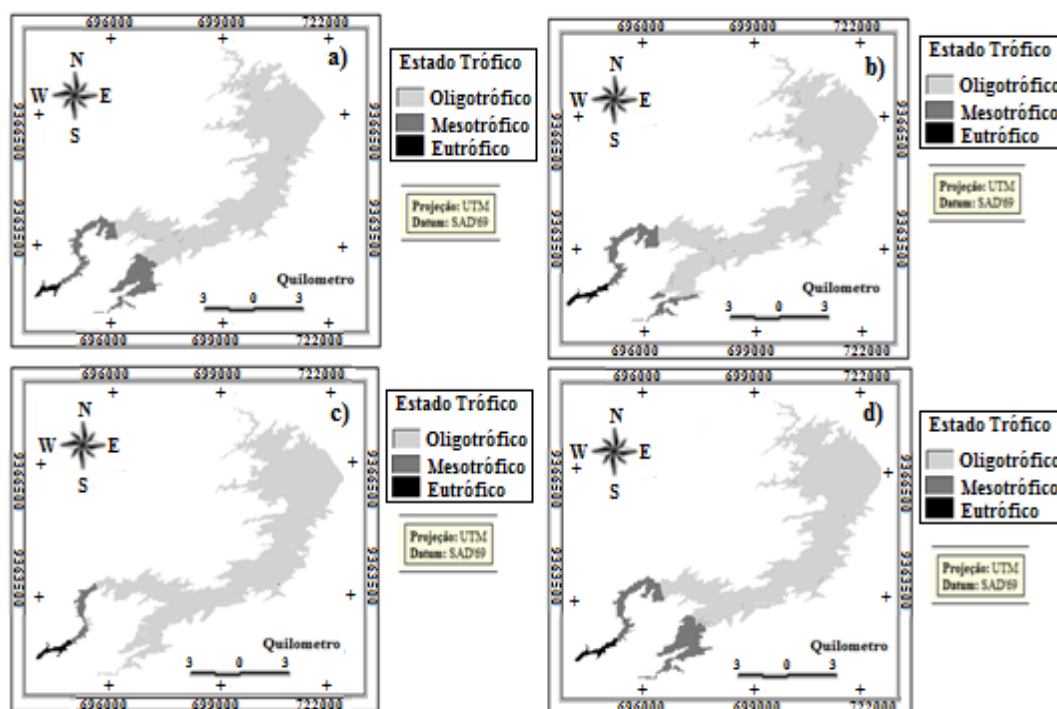


Figura 12. Índice de estado trófico no reservatório Santa Cruz nos meses de (A) maio/2012, (B) agosto/2012, (C) novembro/2012 e (D) fevereiro/2013.

Dessa forma, o reservatório Santa Cruz apresentou uma classificação trófica inferior quando comparado aos demais reservatórios do estado, visto que a maior área desse reservatório foi classificada como oligotrófica. Corroborando com esse resultado, as variáveis limnológicas mensuradas estiveram com concentrações médias ao longo do estudo dentro do limite da Classe I - Águas Doces conforme a resolução nº 357/2005 – CONAMA, salvo as concentrações de P-total nos meses de maio e novembro de 2012 e fevereiro/2013 que registraram concentrações enquadradas na Classe II (Figura 13). Dentro desse limite, o reservatório Santa Cruz apresenta condições para o abastecimento humano, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, aquicultura, pesca, proteção das comunidades aquáticas e recreação de contato primário (CONAMA, 2005). No entanto, é necessário que seja garantido um ordenamento desses usos múltiplos a fim de preservar e proteger essa reserva hídrica.

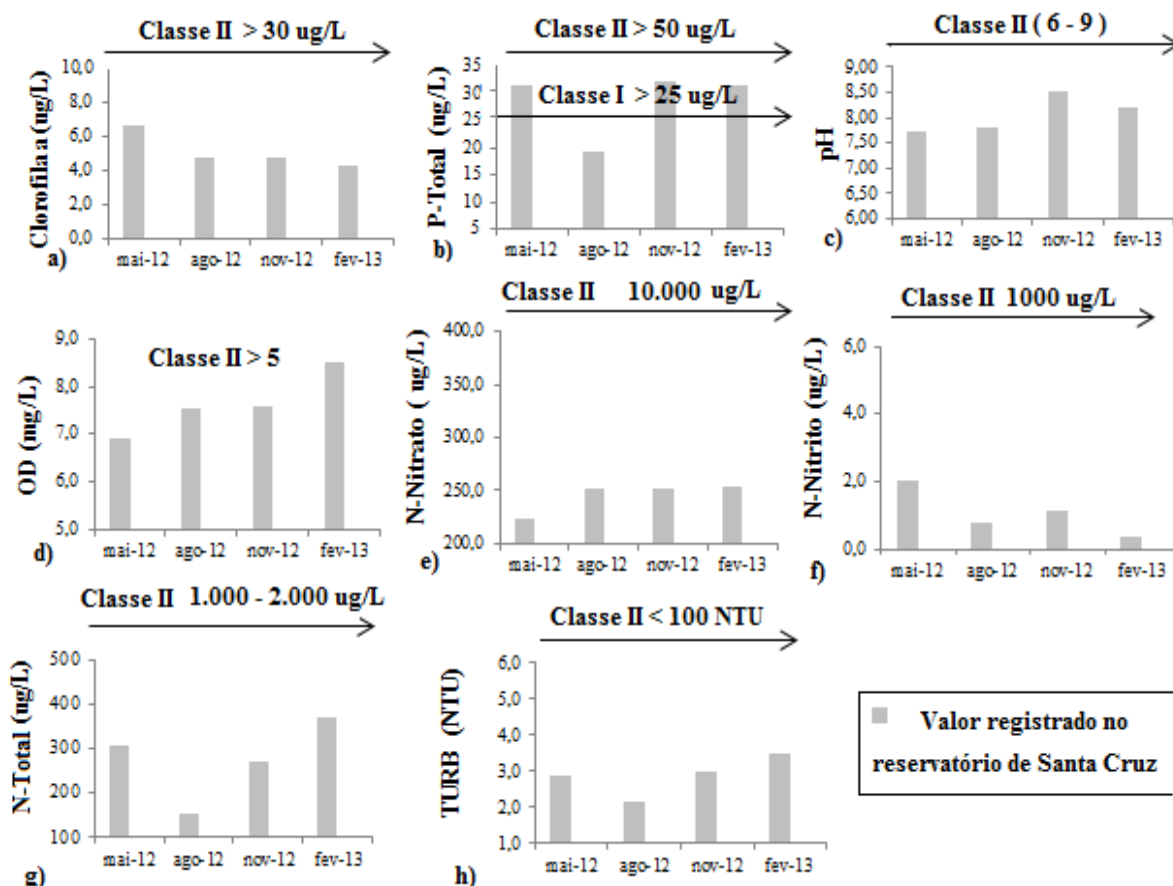


Figura 13. Valores médios das variáveis limnológicas do reservatório Santa Cruz nos meses de coleta (mai-12: maio/2012; ago-12: agosto/2012; nov-12: novembro/2012; fev-12: fevereiro/2013) comparada aos limites das classes dos corpos de água doce estabelecido pela resolução N° 357/2005 do CONAMA.

3.2 VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO UMARI

No reservatório Umari, o acumulado total da precipitação pluviométrica registrado no período de fevereiro/2012 a fevereiro/2013 foi de 314,00 mm, ocorrendo precipitações nos meses de fevereiro a junho/2012, janeiro e fevereiro/2013, enquanto que de julho a dezembro/2012 não foi registrado precipitação. Em fevereiro de 2013 também foi encontrado o menor volume de armazenamento já registrado nesse reservatório desde a sua construção ($124.707.649 \text{ m}^3$), correspondendo a 42,6% de sua capacidade total de armazenamento (Figura 14).

O acumulado da precipitação pluviométrica encontrado nesse reservatório também esteve abaixo da média para região semiárida, devido ao período de estiagem na região Nordeste. Por outro lado, embora com menor volume de armazenamento já encontrado (42,6%), o reservatório Umari ainda apresentou um volume em porcentagem acima da mediana calculada para os dez maiores reservatórios do Rio Grande do Norte em fevereiro de 2013 (39%) (ANA, 2013b).

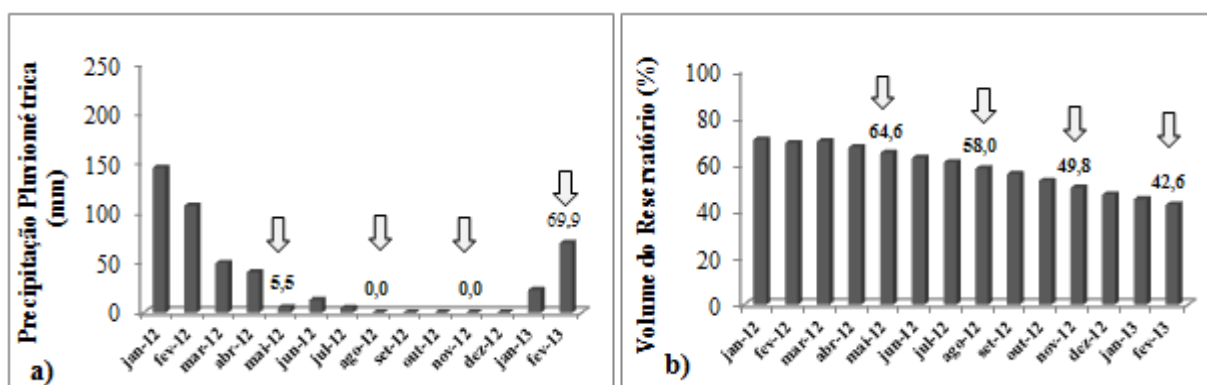


Figura 14. Precipitação pluviométrica acumulada para cada mês (A), volume (B), no período de janeiro de 2012 a fevereiro de 2013 as setas representam os meses de coletas no Reservatório Umari.

Os valores das variáveis físicas e químicas do reservatório Umari ao longo do eixo rio-barragem demonstram a existência de um padrão espacial. De uma forma geral, os pontos de amostragens mais próximos da influência do rio Carmo e do riacho Salgado apresentaram os valores mais elevados de temperatura, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais dissolvidos, fósforo total, nitrogênio total e clorofila *a* (Figura 15).

Os valores da temperatura da água estiveram ligeiramente elevados nos meses que ocorreram precipitação pluviométrica, sendo a maior média registrada em fevereiro/2013 (29,6 °C) e a menor em agosto/2012 (26,5 °C). O oxigênio dissolvido apresentou o maior valor médio em agosto/2012 (8,3 mg/L⁻¹) e o menor valor no mês de maio/2012 (6,8 mg/L⁻¹). Neste caso, observou-se uma baixa relação entre a temperatura e oxigênio dissolvido, com o R² igual a 0,15, sugerindo que a temperatura pouco influenciou na dinâmica do oxigênio dissolvido. A pouca variabilidade da temperatura da água ao longo do estudo talvez tenha justificado esse resultado, apontando uma relação contrária à apresentada em estudo realizado no estado da Paraíba. Nesse estudo, a alta variação da temperatura nos reservatórios

Soledade, Namorados e na lagoa do Panatis foi à situação que melhor explicou a dinâmica do oxigênio dissolvido encontrado nessas reservas (BARBOSA et al., 2006).

Quanto ao pH, este apresentou-se alcalino ao longo do estudo com o maior valor médio 8,3 em novembro/2012. Já o padrão espacial foi constituído por um aumento dos valores à medida que se aproximava dos afluentes rio Carmo e riacho Salgado. Esses maiores valores de pH próximos aos afluentes possivelmente deve-se à maior condutividade elétrica e quantidade de íons bicarbonato predominante nos solos do semiárido nordestino (BOUVY et al., 2000).

A condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos apresentaram um padrão espacial, onde na medida em que se aproximava dos afluentes rio Carmo e o riacho Salgado os valores eram acrescidos. Quanto ao padrão temporal, às maiores médias dessas variáveis foi verificado no mês de fevereiro/2013, um aumento possivelmente relacionado ao baixo índice pluviométrico, que provocou redução do volume do reservatório, aumentando a concentração dos íons dissolvidos na água. De fato, no reservatório Azibo em Portugal estudo identificou que num período de 10 anos (2000-2009) os maiores valores de CE foram verificados no período de menor volume do reservatório, levando-nos a concluir que a dinâmica dessa variável sofre influência da precipitação pluviométrica/volume do reservatório (GERALDES; GEORGE, 2012). No que se refere aos sólidos totais dissolvidos, acredita-se que a redução do volume do reservatório Umari associada à precipitação pluviométrica ocorrida em fevereiro/2013 (69 mm), tenham contribuído para a ressuspensão dos sedimentos, justificando os valores encontrados.

Dando seguimento a análise das outras variáveis, um padrão inverso foi observado entre turbidez e transparência. Os valores da turbidez aumentaram gradativamente em direção à área de influência dos afluentes (rio Carmo e riacho Salgado), enquanto que os valores da transparência diminuíram nessa mesma direção. O maior valor médio da transparência foi registrado em maio/2012 e o maior valor médio da turbidez em fevereiro/2013. O maior valor da transparência pode ser explicado pelo acumulado pluviométrico ocorrido até maio/2012 (203 mm), o qual contribuiu para o maior volume do reservatório registrado no período estudado. Quando por outro lado, os maiores valores da turbidez justificam-se pelo menor volume do reservatório registrado no período estudado, associado à precipitação pluviométrica ocorrida no mês de fevereiro/2013, os quais contribuíram para a ressuspensão dos sedimentos.

De fato, a redução do volume e da profundidade em reservatórios relativamente rasos pode atuar como um fator que contribui para ressuspensão de partículas inorgânicas e orgânicas sedimentadas, reduzindo à transparência e, conseqüentemente, a diminuição da disponibilidade de luz na coluna d'água (JONES; KNOWLTON, 1993). Pode-se constatar ainda, que os maiores valores da turbidez e dos sólidos totais dissolvidos na área próxima aos afluentes não foram suficientes para inibir a produtividade primária, visto que as maiores concentrações da clorofila *a* foram encontradas na área de influência fluvial independente do mês de coleta.

O padrão espacial do P-total e N-total foi determinado por um aumento progressivo à medida que se aproximava dos afluentes. Já o padrão temporal foi marcado pelos maiores valores médios do P-total em novembro/2012 (22,0 µg/L) e do N-total em fevereiro/2013 (0,49 mg/L). Nesses mesmos meses também foi observado um aumento das concentrações dos compostos nitrogenados (N-amoniaco, N-nitrito e N-nitrato), padrão inverso ao encontrado por Amancio, Farias e Silva Neto (2005) no reservatório Pentecoste-CE, onde esses autores verificaram uma diminuição dos compostos nitrogenados na área fluvial e a atribuíram ao aumento do volume de água do reservatório. Em ambos os casos, é possível relacionar que o aumento ou diminuição da concentração desses nutrientes foi influenciado pelo nível de água dos reservatórios. Em Umari, especificamente, afirma-se isto porque nesses dois últimos meses de coleta foram registrados os menores volumes de armazenamento do reservatório, o qual certamente contribuiu para maior concentração dos nutrientes, inclusive do P-total e N-total.

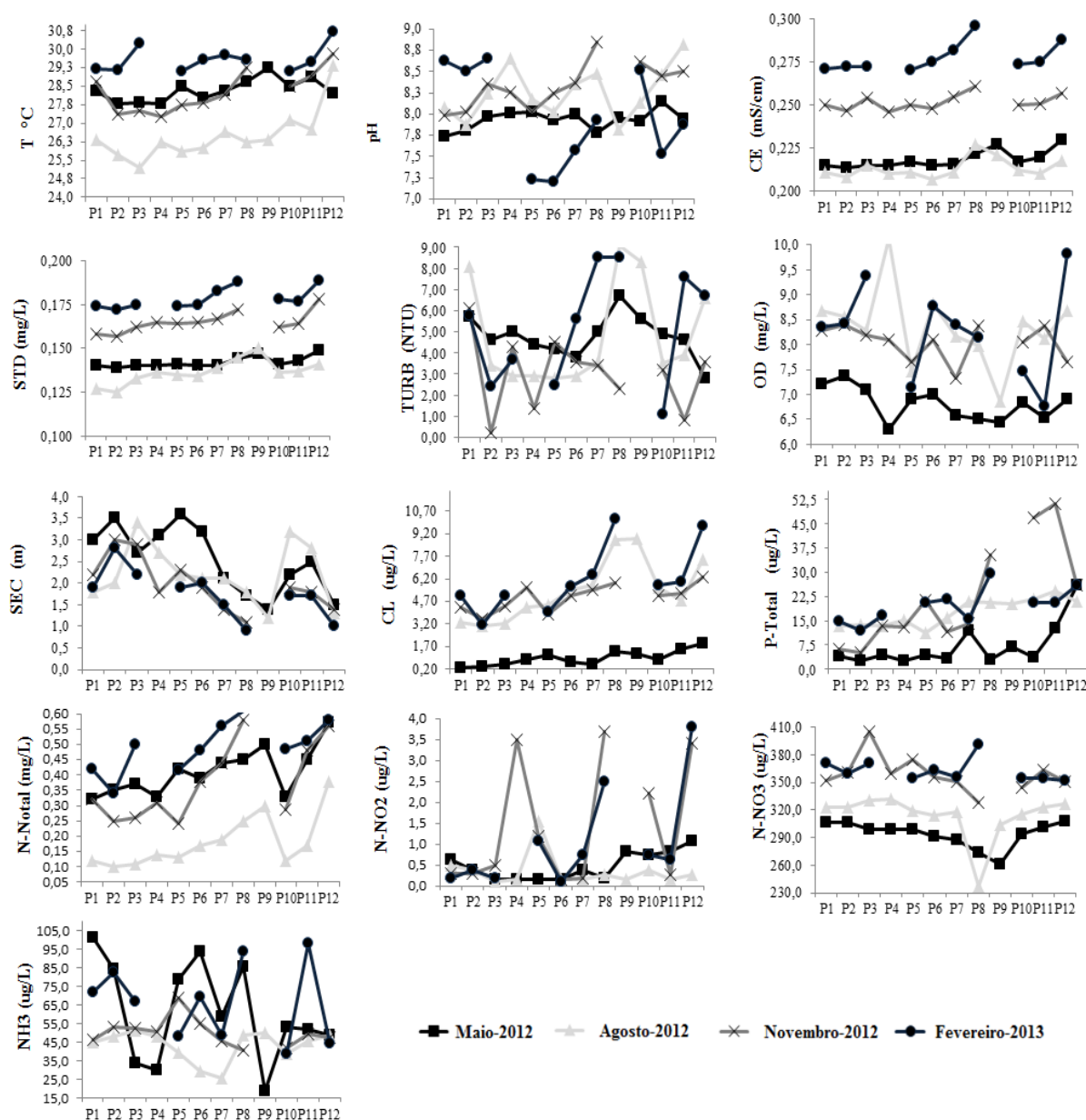


Figura 15. Valores das variáveis limnológicas amostradas ao longo dos pontos do Reservatório Umari (P1 a P12). T: temperatura; pH; CE: Condutividade elétrica; OD: Oxigênio dissolvido; TURB: Turbidez; STD: Sólidos totais dissolvidos; SEC: Transparência; CL: Clorofila a; P-total: Fósforo Total; N-total: Nitrogênio total; N-NO₂⁻: N-Nitrito; N-NO₃⁻: N-nitrato; NH₃⁺: N-amoniacal.

As análises de regressão das variáveis limnológicas em relação à distância da barragem do reservatório Umari demonstraram que as variáveis com maior correlação foram: SEC ($r^2=0,52$), STD ($r^2=0,55$) e Clorofila *a* ($r^2=0,70$) no mês de maio/2012, N-total ($r^2=0,51$) em fevereiro/2013 e P-total ($r^2=0,74$) em novembro/2012. As variáveis que apresentaram valores de correlação abaixo do estipulado foram: temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, pH e condutividade elétrica (Figura 16).

Diante do exposto, as variáveis SEC, STD, CL, P-total e N-total permaneceram correlacionada fortemente com a distância da barragem durante a pesquisa. Isso permite afirmar que existiu um padrão espacial de aumento dos valores próximos à área de influência dos afluentes (rio Carmo e riacho Salgado) e de redução à medida que se aproximava da barragem, com exceção da transparência que apresentou comportamento contrário.

De acordo com os coeficientes angulares das regressões, verificou-se um gradiente acentuado em maio/2012 para a variável SEC, em novembro/2012 para CL e em fevereiro/2013 para as variáveis STD, P-total e N-total (Figura 10). O maior volume do reservatório registrado em maio/2012 possivelmente contribuiu para que os maiores valores da transparência também fossem registrados nesse mês, justificando o acentuado gradiente encontrado. Já o gradiente acentuado da clorofila *a* no mês de novembro/2012 pode ser atribuído ao maior valor médio do P-total, que favoreceu a assimilação pelos produtores primários, resultando em maiores concentrações de CL. Quanto as variáveis STD, P-total e N-total, acredita-se que o menor volume do reservatório Umari registrado em fevereiro/2013, ocasionado pela baixa precipitação pluviométrica, possa ter favorecido o gradiente acentuado. Isso mostra que a diluição ou concentração dessas variáveis são influenciadas pelo volume do reservatório, que por outro lado, varia de acordo com a precipitação pluviométrica (ARMENGOL et al., 1999).

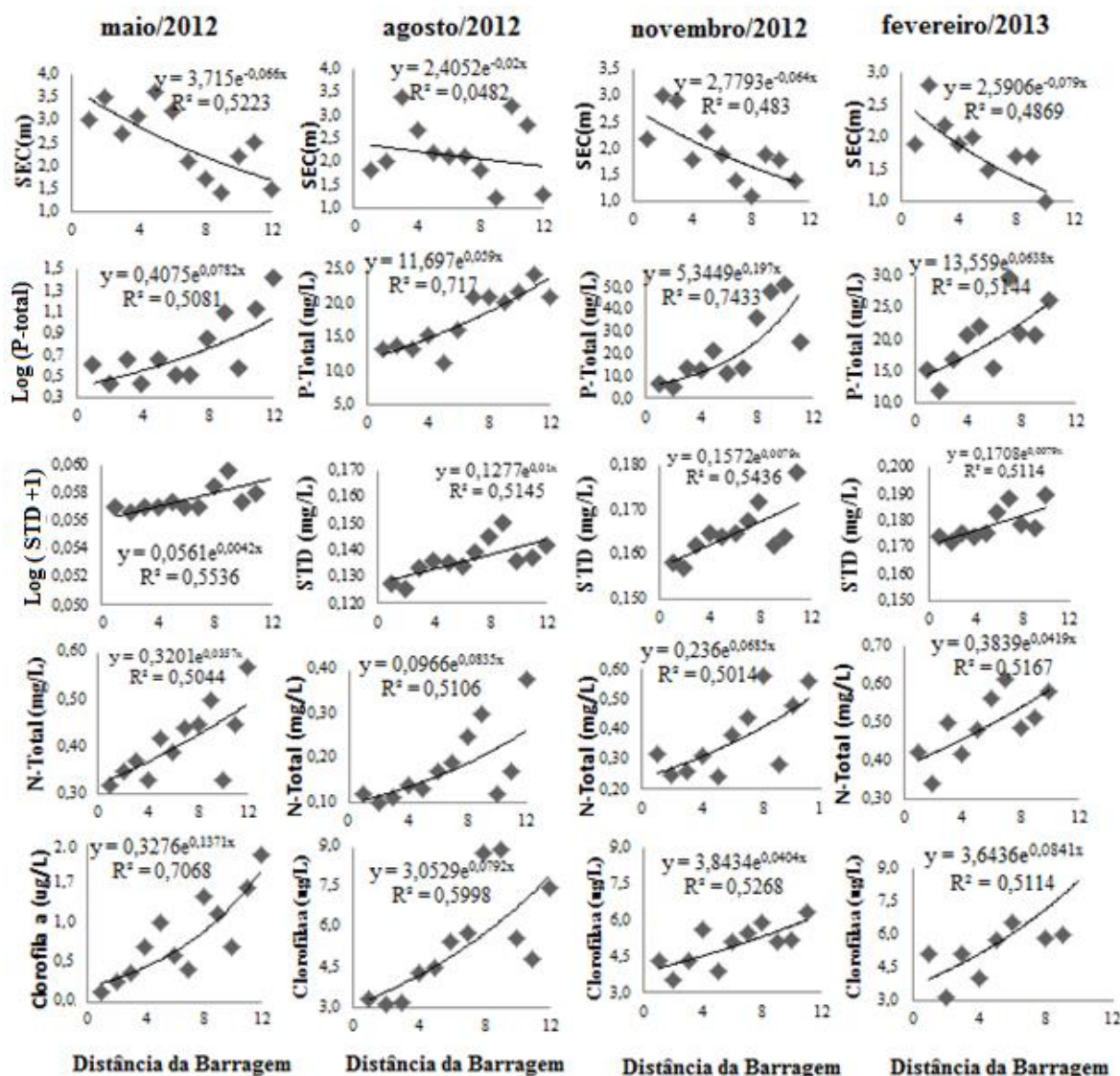


Figura 16. Análise de regressão das variáveis limnológicas em relação à distância da barragem do reservatório Umari para os meses de maio/2012; fevereiro/2013; agosto/2012 e novembro/2012.

O resultado da ACP para as variáveis limnológicas do reservatório Umari sumarizou 68,99% da variabilidade total dos dados em seus dois primeiros eixos de ordenação, onde o Eixo 1 exibiu 49,30% da variação total e o Eixo 2, 19,69%. Estiveram correlacionadas negativamente com o Eixo 1, as variáveis condutividade elétrica, sólidos totais dissolvido, clorofila *a*, N-nitrito, N-nitrato, P-total e N-total e no Eixo 2 o N-amoniacoal. Essas variáveis foram correlacionadas nos dois eixos pelo valor estabelecido de $|0,6|$ (Figura 17).

Na ACP para o reservatório Umari tendo como referência o Eixo 1, pode-se visualizar que o agrupamento A constituído pelos pontos amostrados no meses de novembro/ 2012 e fevereiro/2013 registrou ao longo do padrão espacial e temporal os maiores valores das variáveis correlacionadas negativamente (CE, STD, CL, N-NO₂-, N-NO₃⁻, P-total e N-total), com destaque para os pontos 8-fev-13 e 12-fev-13. É possível afirmar que esse agrupamento amostral foi influenciado pela progressiva redução do volume do reservatório, uma vez que, na medida em que o volume do reservatório reduzia, as concentrações das variáveis eram elevadas. Especificamente, o fato dos pontos 8-fev-13 e 12-fev-13 terem ficado em evidência, sugere uma possível influencia do riacho Salgado e rio Carmo, pela proximidade dos pontos amostrados a esses afluentes.

No agrupamento B foi verificado a união dos pontos amostrados em maio/2012 e o registro das menores concentrações das variáveis limnológicas correlacionadas negativamente no primeiro eixo. Nessa conformação, esse agrupamento se mostrou diferente dos demais (A e C), certamente devido o acumulado da precipitação pluviométrica registrado nos meses anteriores a maio/2012 (203,0 mm), que provocou aumento do volume do reservatório (o maior verificado no período estudado), contribuindo para os menores valores dessas variáveis.

Já o agrupamento C reuniu os pontos amostrados no mês de agosto/2012, onde os valores das variáveis limnológicas foram superiores aos apresentados pelo agrupamento B e inferiores quando comparado ao agrupamento A. Isso denota as consequências da progressiva redução do volume do reservatório ao longo do período estudado.

Diante desses resultados, a compartimentalização clássica no reservatório Umari em três zonas (zona fluvial, transição e lacustre) não foi evidenciada. Foi constatada uma zona lacustre distribuída pela maior área do reservatório e uma zona de influência fluvial reduzida aos seus dois afluentes (rio Carmo e riacho Salgado). Resck; Bezerra-Neto e Pinto-Coelho (2008) estudando o reservatório da Pampulha-MG também encontraram uma descaracterização da compartimentalização clássica devido à existência de uma zona fluvial constituída pelos dois afluentes (Tijuco e Mergulhão) que retardaram a formação da zona lacustre. Dessa forma, sugere-se que reservatórios com formação dendrítica, a exemplo dos reservatórios Umari e da Pampulha, estão mais propícios a sofrer influências dos seus afluentes, e assim promover mudanças na compartimentalização longitudinal, como uma indefinição da compartimentalização (THORNTON et al., 1990).

Com relação ao Índice de Estado Trófico, a maior área do reservatório Umari foi classificada em oligotrófica, com exceção do mês de maio/2012 que esteve ultraoligotrófica. Já as regiões localizadas próximas ao rio Carmo e riacho Salgado permaneceram mesotrófica, exceto no mês de maio/2012 que estiveram oligotrófica (Figura 18). Ocorreu um aumento da área mesotrófica no mês de novembro/2012, possivelmente devido concentrações mais elevadas de P-total e da clorofila *a* registrada justamente nesse mês.

Padrão espacial semelhante foi encontrado no reservatório de Itupararanga-SP, onde observou-se um aumento gradual do nível de trofia a medida que se aproximava dos afluentes, chegando a ser classificado como eutrófico (TANIWAKI et al., 2011). Nesse caso, os autores verificaram que essa progressão ocorreu num período sem precipitação pluviométrica e,

consequentemente, de menor volume do reservatório, levando a entender que essa situação favoreceu a concentração de nutrientes, a exemplo do P-total e da clorofila *a*. Em Umari, este fato também pode ter ocorrido, explicando o resultado encontrado, visto que em novembro de 2012 não ocorreu precipitação e o volume do reservatório apresentava-se reduzido. Sendo assim, a precipitação pluviométrica e o volume do reservatório interferiram no estado trófico encontrado.

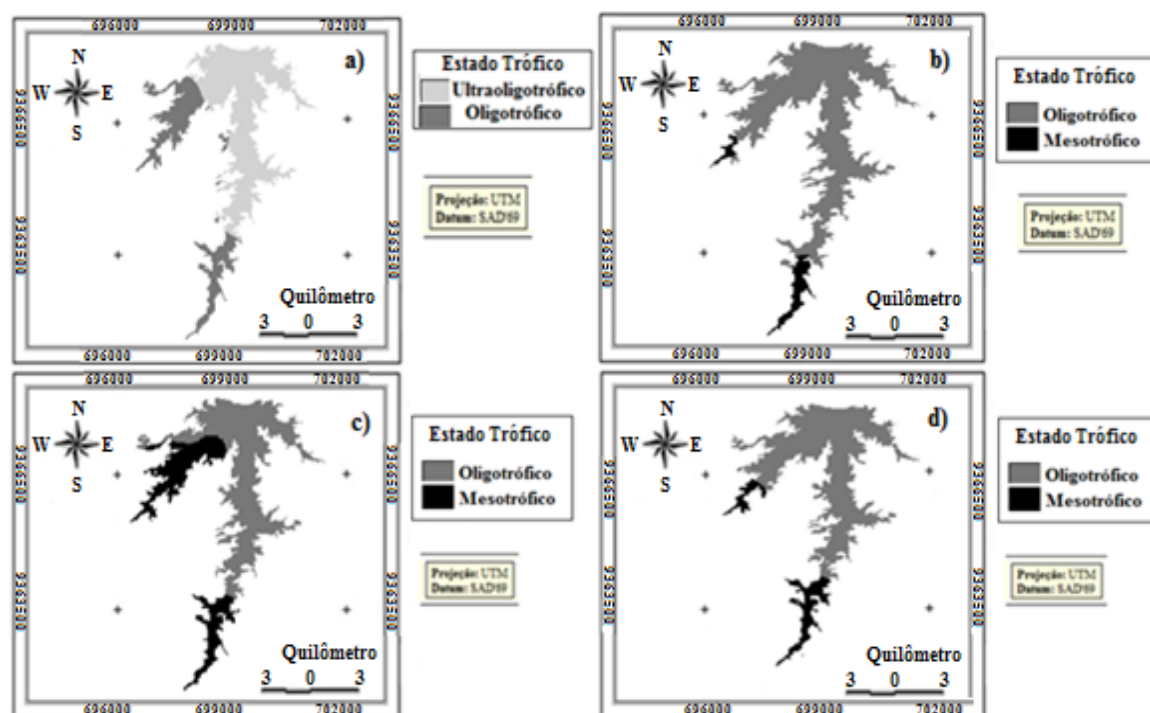


Figura 18. Índice de estado trófico no reservatório Umari nos meses de (A) maio/2012, (B) agosto/2012, (C) novembro/2012 e (D) fevereiro/2013.

De acordo com a resolução de nº 357/05 do CONAMA, as concentrações médias das variáveis limnológicas analisadas no reservatório Umari foram classificadas dentro do limite da Classe I - Águas Doces (Figura 19). Segundo essa classificação, esse reservatório encontra-se habilitado para o abastecimento humano após tratamento simplificado; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças e frutíferas que são consumidas cruas; proteção de comunidades aquáticas; dentre outras.

O cenário encontrado em Umari diferiu bastante do verificado em Barra Bonita-SP, onde a maioria das variáveis limnológicas apresentou concentrações classificadas acima do limite da Classe III- Águas Doces. O motivo dessa classificação esteve relacionado à alta vulnerabilidade a poluição (pontual e difusa) e ao assoreamento, tendo em vista esse reservatório encontrar-se numa região de forte pressão antropogênica, caracterizada por

atividades industriais e agrícolas que colocam em risco a qualidade da água e a biodiversidade local (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

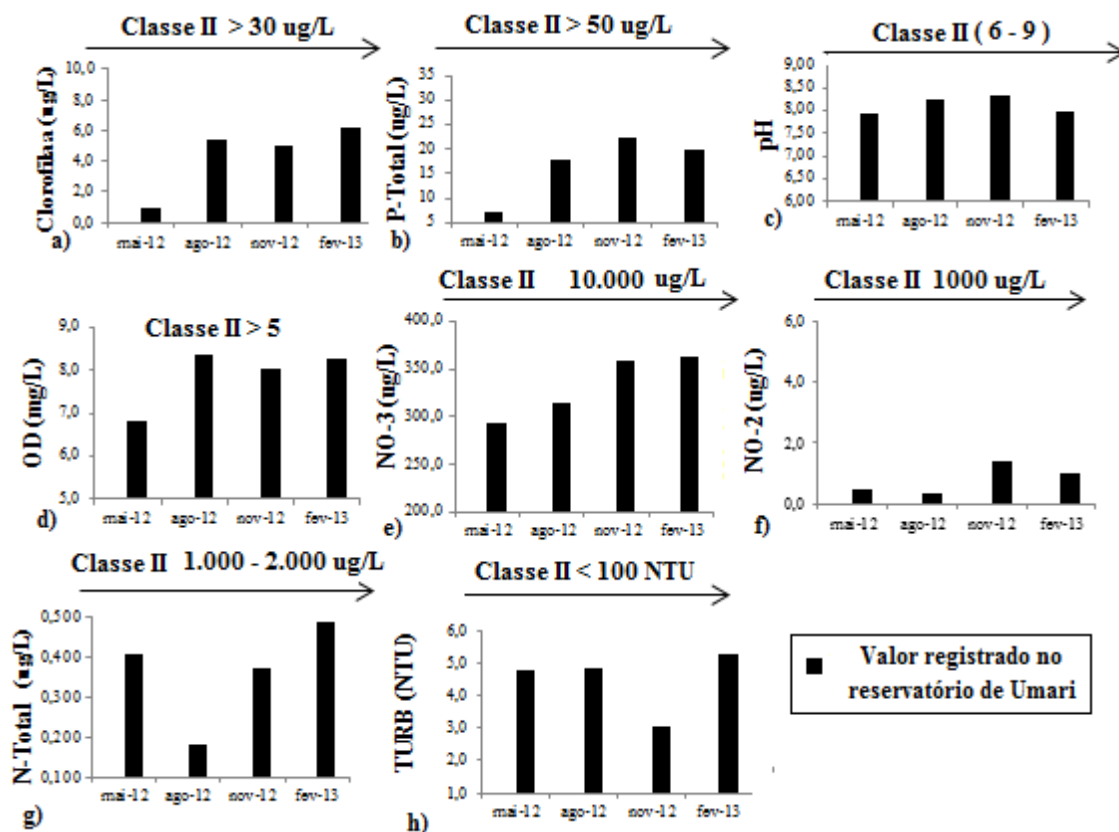


Figura 19. Valores médios das variáveis limnológicas do Reservatório Umari nos meses de coleta (mai-12: maio/2012; ago-12: agosto/2012; nov-12: novembro/2012; fev-12: fevereiro/2013) comparada aos limites das classes dos corpos de água doce estabelecido pela resolução N° 357/2005 do CONAMA.

4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que nos reservatórios estudados houve um padrão espacial das variáveis limnológicas ligeiramente influenciado pelo padrão temporal. A baixa precipitação pluviométrica reduziu o volume dos reservatórios, interferindo nas concentrações das variáveis analisadas. Os reservatórios apresentaram-se aptos a serem utilizados pelos diversos usos múltiplos conforme a resolução de nº 357/2005 - CONAMA, tendo os valores médios das variáveis limnológicas enquadrados na Classe I, à exceção do fósforo total que esteve dentro do limite para Classe II no reservatório Santa Cruz. O clássico conceito de compartimentalização longitudinal, com a evidência de três zonas (fluvial, transição e lacustre) não pode ser aplicado aos reservatórios estudados, sendo apenas possível identificar com maior evidência duas zonas bem definidas: a zona lacustre, ocupando a maior parte de ambos os reservatórios com características ultraoligotrófica e oligotrófica e uma zona de influência fluvial reduzida, com características variando de mesotrófica a eutrófica.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, D. M. B. et al. Investigação da qualidade das águas em reservatório do semiárido usando geoprocessamento e análise multivariada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 554-561, 2010.
- AMANCIO, A. L. L.; Farias, W. R. L.; Silva Neto, A. R. Balanço de nutrientes da água do açude Pentecoste (Pentecoste, Ceará, Brasil) no período de março a dezembro de 2002. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n.1, p. 44 - 52, jan./abr. 2005.
- ANA. 2013a.
<http://www.snirh.gov.br/telemetria/consultardadoshidrovisualizacaogeo/inicial.action;jsessionid=mMcnSJj8TCqWLvTp6GKP1QvHsJdhv5kZHJ1z7XQL4X1TTMsPhlJ!-393926459>,
 acessado em outubro de 2013.
- ANA. 2013b. **Boletim de Acompanhamento dos Reservatórios do Nordeste do Brasil**. Agência Nacional de Águas - ANA, Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília: Agência Nacional de Águas, v.8, n.02, fev. 2013.
- ARMENGOL, J. et al. **Longitudinal processes in canyon type reservoir: the case of Sau (N.E. SPAIN)**. In: TUNDISI, J. G.; STRAŠKRABA, M. (Eds.). Theoretical reservoir ecology and its applications. Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, p. 313-345, 1999.
- BARBOSA, J. E. L. et al. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 24, n. 1, p. 22-31, 2012.
- BARBOSA, J. E. L. et al. Diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, Trópico semi-árido brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, sup. esp, n. 1, p. 81-89, 2006.
- BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Ed. Zahar, 1982.
- BOUVY, M. et al. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. **Aquatic Microbial Ecology**, Oldendorf/Luhe, v. 23, s/n, p.13-27, 2000.
- BOUVY, M. et al. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought **Hydrobiologia** v. 493, p.115–130, 2003.
- BRAGA, C. C. et al. Distribuição espacial e temporal de sólidos em suspensão no reservatório da usina hidrelétrica barra dos coqueiros – GO. **Geoambiente**, Jataí, n.19, p 197-213, jul./dez. 2012.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Diagnosis and analysis of water quality and trophic state of Barra Bonita reservoir, SP. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology & Oceanography**, Waco, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

COSTA, I. A. S. et al. Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a brazilian semiarid reservoir. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 66, n.1, p. 211-219, 2006.

COSTA, I. A. S. et al. Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.13, n.2, p. 382-401, 2009.

ESTEVES, F. A.; MENEZES, C. F. S. **Papel da água e da Limnologia na sociedade moderna**. In: ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

ESKINAZI-SANT'ANNA E. M. et al. Composição da comunidade zooplantônica em reservatórios eutróficos do semi-árido do Rio Grande do Norte. **Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro**, v. 11, n.3, p. 345-356, 2007.

FERREIRA, L. V. et al. Impacts of hydroelectric dams on alluvial riparian plant communities in eastern brazilian amazonian. **Anais da Academia Brasileira de Biências**, Rio de Janeiro, v. 85, n. 3, p. 1013- 1023, 2013.

FREIRE, R. H. F.; CALIJURI, M. C.; SANTAELLA, S. T. Longitudinal patterns and variations in water quality in a reservoir in the semiarid region of NE Brazil: responses to hydrological and climatic changes. **Acta Limnologica Brasileira**, Rio Claro, v. 21, n. 2, p. 251-262, 2009.

FREITAS, F. R. S.; RIGHETTO, A. M.; ATTAYDE, J. L. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semiárido brasileiro. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v.15, n. 3, p. 655-665, 2011.

GERALDES, A. M.; GEORGE, C. Limnological variations of a deep reservoir in periods with distinct rainfall patterns. **Acta Limnologica brasiliensis**, Rio Claro, v. 24, n. 4, p. 417-426, 2012.

GUARINO, A. W. S. et al. Limnological Characteristics of an Old Tropical Reservoir (Ribeirão das Lajes Reservoir, RJ, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensis**, Rio Claro, v. 17, n. 2, p.129-141, 2005.

GOLTERMAM, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwater**. 2 ed. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1978.

HENRY, R. et al. Variação espacial e temporal da produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de jurumirim (Rio Paranapanema, SP). **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v.58, n.4, p. 571-590, 1998.

HENRY-SILVA, G. G. et al. Primeiro registro de *Chara indica* e *Chara zeylanica* (Charophyceae, Charales, Characeae) em reservatórios do semiárido do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Biotemas**, Curitiba, v.26, n.3, p. 243-248, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores Sociais Municipais**: Uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro, 2011.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Previsão de Consenso Boletim de Prognóstico Climático Ano 10**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/prev_clima_tempo/prognostico_climatico_trimestral/pc/PC1303.pdf>. Acessado: em 25 de março de 2013.

IVANCIC, I.; DEGOBBIS, D. Na optimal manual procedure for amônia analysis in natural 503 Waters by the indophenol blue method. **Water Research**, Rietfontein, v.18, n. 9, p. 1143-1147, 1984.

JONES, J. R.; KNOWLTON, M. F. Limnology of Missouri reservoirs: An analysis of regional patterns. **Lakes Reservoir manage**, Columbia, v.8, n. 1, p. 17-30, 1993.

LEPRUN, P. (1983). “Primeira avaliação das águas superficiais do nordeste”. Relatório final de convênio, SUDENE, Recife, 141p.

NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; MARICATTO, F. E. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. **Research & Management Lakes & Reservoirs**, Malden, v.4, n.4, p.107–120, 1999.

NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment 531 determination. **Archiv für Hydrobiologie, Beiheft: Ergebnisse der Limnologie**, Canberra, v. 532, n. 14, p. 14-36, 1980.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, s/n, p. 925-933, 2003.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. Modified single solution methods for the determination of 529 phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 27, s/n., p. 31-36, 1962.

MOLISANI, M. M. et al. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão Reservoir, CE, Brazil **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2010.

PADIAL, P. R.; POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Heterogeneidade espacial e temporal da qualidade da água no reservatório Rio das Pedras (complexo Billings, São Paulo). **Ambi-àgua**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 35-53, 2009.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Instituto de Estudos Avançados, São José dos Campos**, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.

RIBEIRO FILHO, R. A. et al. Itaipu Reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 4, p. 889-902, 2011.

RESCK, R.; BEZERRA NETO, J. F.; PINTO-COELHO, R. M. P. Nova batimetria e avaliação de parâmetros morfométricos da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil) Geografias. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v.3, n.2, p. 24-27, 2008.

SANTOS, M. L. P. et al. Efeitos dos escoamentos urbanos e rurais na qualidade das águas do córrego verruga em Vitória da Conquista - Bahia, Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p.1997-2003, 2008.

SCHAFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984.

SEMARH. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. Coordenadoria de Gestão de Recursos Hídricos. Programa De Monitoramento e Fiscalização. **Monitoramento do Reservatório Santa Cruz de Apodi**. 2013a.

SEMARH. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. Coordenadoria de Gestão de Recursos Hídricos. Programa De Monitoramento e Fiscalização. **Monitoramento do Reservatório Umari de Upanema**. 2013b.

STRICKLAND, J. H. D.; PARSON, T. R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. Bulletin 167. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1972, 293p.

TANIWAKI R. H. et al. Variação espacial do grau de trofia e da biomassa fitoplanctônica no reservatório de Itupararanga (São Paulo, Brasil). **Holos Environment**, Rio claro, v. 11, n.2, p.170-179, 2011.

THORNTON, K.W. et al. **Reservoir limnology: ecological perspective**. New York: Copyright, 1990.

THORNTON J. A.; RAST, W. **A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes**. In: Comparative reservoir limnology and water quality management. STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUCAN, A. (Eds). Developments in hydrobiology DH77. Dordrecht: Kluwer academic Publisher, p.1-24, 1993.

TOLEDO JUNIOR, A. P. et al. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. In: XII Congresso Brasileiro

de Engenharia Sanitária. Camboriú. Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Camboriú (SC), 1983.

TOLEDO JUNIOR, A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais** (Relatório Interno Cetesb). São Paulo: CETESB, 1990, 12p.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. **The serial discontinuity concept in lotic ecosystems**. In. Dynamics of Lotic Ecosystems. FONTAINE, T. D.; BARTHELL, S. M. (eds). Michigan: Ann Arbor Scien, 1983.