



INTER
FACES
CIENTÍFICAS

SAÚDE E AMBIENTE

ISSN IMPRESSO 2316-3313

E - ISSN 2316-3798

DOI - /10.17564/2316-3798.2016v5n1p81-94

QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO JAIME UMBELINO – BARRAGEM DO POXIM/SERGIPE

RESERVOIR WATER QUALITY JAIME UMBELINO - DAM POXIM / SERGIPE

CALIDAD DEL AGUA DEL RESERVORIO JAIME UMBELINO – REPRESA POXIM-SERGIPE

Marilha dos Anjos Neves¹
Lucas Cruz Fonseca²

Lúcia Calumby B. Macedo²
José do Patrocínio Hora Alves¹

RESUMO

O reservatório da Jaime Umbelino está situado na cidade de São Cristóvão/ Sergipe, Nordeste do Brasil. Foi projetado como uma alternativa a mais, para garantir o abastecimento normal de água para a grande Aracaju pelos próximos 20 anos, atendendo a uma população estimada em 800.000 pessoas. Atingiu a capacidade máxima de inundação em 2013, com uma lamina de água de 15 m de profundidade. Esse estudo é a primeira avaliação da qualidade da água do reservatório após o seu enchimento. Amostras de água de superfície foram coletadas em quatro campanhas de amostragem, duas no período chuvoso e duas no período seco, compreendidas no intervalo temporal de

agosto de 2013 a janeiro de 2015. Em cada amostra foram determinados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, alcalinidade total, dureza, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais dissolvidos, cor, carbono orgânico total, fosfato, fósforo total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato, bicarbonato e coliformes termotolerantes. Um perfil da coluna d'água foi tomado em julho de 2015, usando uma sonda multiparamétrica. O reservatório apresentou uma leve estratificação com uma termoclina entre 5 e 10 m de profundidade. Foram aplicadas ao conjunto dos dados

a Análise de Agrupamento e a Análise de Componentes Principais (ACP), para obter informações sobre as diferenças entre os períodos seco e chuvoso. A análise de agrupamento mostrou similaridade entre o período chuvoso de 2014 e o período seco de 2015 e diferenças nas amostras coletadas no período chuvoso de 2013 e período seco de 2014, sendo que as amostras do período chuvoso de 2013 mostram-se diferentes de todas as outras. A ACP separou as amostras por diferenças sazonais. A primeira componente (CP1) foi fortemente associada aos coliformes termotolerantes e separou as amostras do período chuvoso, enquanto a segunda componente (CP2) mostrou uma

correlação positiva com a dureza e a DBO5, separando as amostras do período seco. As principais diferenças entre a qualidade da água do reservatório estão relacionadas ao período de enchimento, pois as diferenças mais significativas nas variáveis ocorreram nos períodos chuvoso de 2013 e seco de 2014, períodos subsequentes ao enchimento do reservatório.

PALAVRAS-CHAVE

Barragem Poxim. Rio Poxim Açú. Sergipe.

ABSTRACT

The reservoir of Jaime Umbelino is located in São Cristovão - Sergipe, Northeastern Brazil. It was designed as an extra alternative to ensure normal water supply in Aracaju for the next 20 years, serving an estimated population of 800.000 people. Reached the maximum flood capacity in 2013, with a superficial water of 15 m. This study is the first evaluation of reservoir water quality after its filling. Samples of this superficial water were collected at four sampling campaigns, two in the rainy season and two in the dry season, between August 2013 and January 2015. In each sample were considered the following parameters: temperature, pH, electrical conductivity, turbidity, dissolved oxygen, total alkalinity, hardness, biochemical oxygen demand, total dissolved solids, color, total organic carbon, phosphate, total phosphorus, nitrate, nitrite, ammonia, sodium, potassium, calcium, magnesium, chloride, sulfate, bicarbonate and fecal coliforms. A profile of the column of water was taken in July 2015, using a multi-parameter probe. The reservoir had a little stratification with a thermocline between 5 and 10 m of deepness. They were applied to all data in Cluster Analysis and Principal Component Analysis (PCA)

for information about the differences between the dry and rainy seasons. Each analysis showed similarity between the rainy season of 2014 and the dry season of 2015 and differences in samples collected during the rainy season of 2013 and dry season 2014, with samples of the rainy season of 2013 are shown different from all the others. The PCA separated samples for seasonal differences. The first component (PC1) was highly associated with fecal coliform and separated samples of the rainy season, while the second component (PC2) showed a positive correlation between the hardness and BOD5, separating the dry season samples. The main differences between the quality of reservoir water are related to the filling period, as the most significant differences in the variables occurred in the rainy seasons of 2013 and dry 2014, periods after the filling of the reservoir.

KEYWORDS

Dam Poxim. River Poxim Açú. Sergipe.

RESUMEN

El reservorio Jaime Umbelino está situado en la ciudad de São Cristóvão, en el estado de Sergipe-Brasil. Fue proyectado como una alternativa para garantizar el abastecimiento normal de agua para la ciudad de Aracaju por los próximos 20 años, atendiendo a una población estimada de 800.000 personas. En el año 2013 el reservorio alcanzó su capacidad máxima, con una lámina de agua de 15m de profundidad. Este estudio es la primera evaluación de la calidad del agua del reservorio después del llenado. Fueron colectadas muestras de agua en la superficie en cuatro campañas, dos en el periodo lluvioso, e dos en el periodo seco, comprendidos en un intervalo de tiempo de agosto de 2013 hasta enero de 2015. En cada muestra se determinaron los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto, alcalinidad total, dureza, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales disueltos, color, carbono orgánico total, fosfato, fósforo total, nitrito, nitrógeno amoniacal, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, sulfato, bicarbonato e coliformes termotolerantes. El perfil de la columna de agua fue registrado en julio de 2015, usando una sonda multiparamétrica. El reservorio presentó una leve estratificación con una termoclina entre 5 y 10 m de profundidad. Todos los datos fueron analizados mediante el Análisis de Agrupamiento

y Análisis de Componentes Principales (ACP) con la finalidad de obtener informaciones sobre las diferencias entre los periodos seco y lluvioso. El Análisis de Agrupamiento mostró similitud entre el periodo lluvioso del año 2014 y seco del año 2015 y mostró diferencias para la época lluviosa del año 2013 y seca del 2014, siendo que las muestras del periodo lluvioso del 2013 se mostraron diferentes a todas las otras. El ACP separó las muestras por diferencias estacionales. La primera componente (CP1) fue fuertemente asociada a los coliformes termotolerantes y separó las muestras del periodo lluvioso; mientras que la segunda componente (CP2) presentó una correlación positiva con la dureza y la DBO5, separando las muestras del periodo seco. Las principales diferencias entre la calidad del agua del reservorio están relacionados con el periodo de llenado, en vista que las diferencias más significativas en las variables ocurrieron en la época lluviosa del 2013 y en la época seca del 2014, periodos consecutivos al llenado del reservorio.

PALABRAS-CLAVES

Represa Poxim. Rio Poxim Açú. Sergipe.

1 INTRODUÇÃO

As formas de utilização da água, ao contrário do que ocorre com a maioria de outros recursos naturais que desaparecem com o uso, produzem modificações sensíveis em seus aspectos quali-quantitativos (NASCIMENTO, 2011). A construção de reservatórios, se tornou uma alternativa corriqueira para atender o aumento crescente da demanda por água, alimentos e energia (CUNHA, 2012). Esses sistemas geralmente são for-

mados por represamento de um rio e sofrem grandes alterações na qualidade da água durante os primeiros estágios de sua formação, enquanto um novo equilíbrio ecológico é tornando estabelecido (CHAPMAN, 1996).

A qualidade da água integra as variações espacial e temporal que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas de um corpo hídrico.

A interação dos diversos processos no espaço e no tempo deve ser, portanto, um somatório cujo resultado principal é a qualidade da água (TUNDISI, 1986). Vários autores (SILVA et al., 2009), (GUPTA; SHAIKH, 2013) e (PALMA et al., 2014), evidenciam que a qualidade da água pode ser afetada por variações temporais e espaciais provocadas por fatores naturais e/ou antropogênicos.

Em relação à qualidade da água, a temperatura é um importante parâmetro que controla os processos físicos, químicos e biológicos (ANGELOCCI et al., 1985). A estratificação térmica é um dos primeiros impactos produzidos na construção de um reservatório, caracteriza-se pela formação de camadas variadas de temperatura, com diferentes densidades, as quais formam uma barreira física, impedindo que se misturem, conduzindo assim, a alterações físico-químicas da água gerando prejuízo para o ecossistema (WACHHOLZ, 2011). Vários estudos (VIDAL; CAPELO NETO, 2011); (FRANZEN et al., 2011), (MANNICH et al., 2013) e (HUANG et al., 2014), observaram a presença da estratificação em reservatórios, provocando alterações significativas das variáveis físico-químicas na coluna d'água e portanto, influenciando na qualidade da água.

O aumento da degradação ambiental e os usos múltiplos dos reservatórios tornaram-se assuntos de grande preocupação (TUNDISI et al., 2008). Para Straskraba e Tundisi (2013) os maiores impactos sobre os recursos de água doce e, em particular, sobre os reservatórios, **são provenientes do desflorestamento, aporte de despejos urbanos e industriais, desenvolvimento urbano, agricultura e agroindústrias.** Segundo Goulart e Callisto (2003), o monitoramento de variáveis físicas e químicas trazem vantagens na avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos, tais como: identificação imediata de modificações nas propriedades físicas e químicas da água; detecção precisa da variável modificada e determinação destas concentrações alteradas.

Diversas variáveis físicas, químicas, biológicas e hidrológicas influenciam a dinâmica e as concentrações de nutrientes nos ecossistemas aquáticos (CARNEIRO, 2012). No Brasil, e na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte do esgoto bruto é lançada sem nenhum tratamento prévio nos cursos de água. Esse grande aporte de matéria orgânica e poluentes, têm sido relatado como os principais responsáveis pela eutrofização de uma grande variedade de ambientes aquáticos, gerando preocupação crescente pelo alto grau de poluição e contaminação em que se encontram, atualmente, lagos e outros ambientes continentais (TUNDISI, 2003). A entrada de nutrientes no sistema podem ser provenientes de fontes naturais, pontuais ou difusas, podendo ser influenciadas por fatores climáticos, interferências antrópicas, entre outros, provocando assim, modificações nas características do meio.

Em face à baixa disponibilidade hídrica dos rios locais (BRASIL, 2010), 70 % da água consumida na região metropolitana de Aracaju provém do rio São Francisco, situado a mais de 100 km de distância e 30 % do rio Poxim. O reservatório Jaime Umbelino foi construindo com a finalidade de regularizar a vazão do rio Poxim e para garantir o abastecimento da região metropolitana de Aracaju pelos próximos 20 anos. Em virtude da importância estratégica desse reservatório, torna-se necessário para fins de gerenciamento futuro, o conhecimento atual da qualidade da água. Esse estudo é a primeira avaliação do reservatório após o seu enchimento.

2 OBJETIVO

Determinar a qualidade da água do reservatório Jaime Umbelino de Souza - Rio Poxim Açú e identificar as variações entre os períodos secos e chuvosos e as fontes e/ou parâmetros que a determinam.

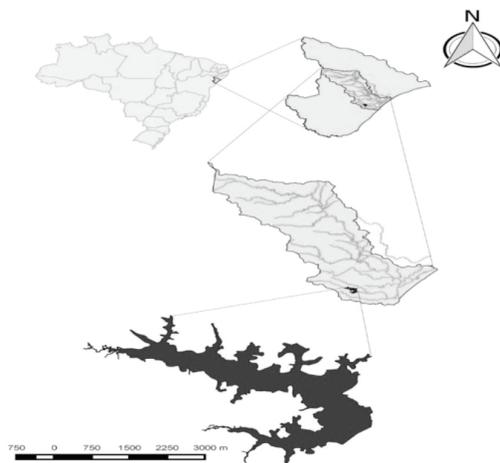
3 MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 ÁREA DE TRABALHO E AMOSTRAGEM

A área de estudo compreende a Reservatório Jaime Umbelino (Figura 1), localizado na região Centro Sul do estado de Sergipe. O reservatório está inserido na bacia hidrográfica do rio Sergipe e na sub-bacia do rio Poxim. Foi construído no período 2001-2013 pelo barramento do rio Poxim-Açu, tem uma capacidade de $32,73 \times 10^6 \text{ m}^3$, ocupa uma área de $5,2 \text{ km}^2$ e foi projetado para garantir o abastecimento normal de água para a grande Aracaju pelos próximos 20 anos, atendendo a uma população estimada em 800.000 pessoas. Attingiu a capacidade máxima de inundação em 2013, com uma lamina de água de 15 m de profundidade.

Amostras de água de superfície foram coletadas em quatro campanhas de amostragem, duas no período chuvoso e duas no período seco, compreendidas no intervalo temporal de agosto de 2013 a janeiro de 2015. As amostras foram acondicionadas, preservadas e transportadas para o laboratório de acordo com as recomendações do *Standard Methods* (APHA, 2012).

Figura 1 - Localização do reservatório Jaime Umbelino de Souza - Rio PoximAçu



Fonte: ALVES, J. P. H. et al (2015)

3.2 ANÁLISE QUÍMICA

As amostras foram analisadas no Laboratório de Química de Água do Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS), para determinação dos seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), sólidos totais dissolvidos, temperatura da água (medida em campo), cor, fósforo total, carbono orgânico total dissolvido, coliformes termotolerantes, nitrato (N-NO_3^-), nitrito (N-NO_2^-), nitrogênio amoniacal (NH_3), fosfato (P-PO_4^{3-}), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), bicarbonato (HCO_3), sulfato (SO_4^{2-}) e cloreto (Cl^-). Todos os parâmetros foram determinados seguindo os protocolos do *Standard Methods* (APHA, 2012) (Tabela 1)

Para garantia da qualidade analítica foram usados, à calibração com padrões, a análise de reagentes em branco e determinações em replicatas. O laboratório também participa regularmente de programas de proficiência e tem acreditação para alguns parâmetros.

Uma medida do perfil da coluna d'água foi realizada no mês de julho de 2015, utilizando uma sonda multiparamétrica, determinando os seguintes parâmetros: Temperatura, pH e condutividade elétrica.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

Os parâmetros de qualidade da água foram avaliados utilizando a análise multivariada de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico usando o método de Ward com a distância Euclidiana. As análises foram realizadas utilizando o programa PAST - PAleontological STatistics, versão 3.04 (<http://folk.uio.no/ohammer/past>). Um valor de 0,05 foi adotado como nível crítico para todos os testes estatísticos dando um nível de confiança de 95 %.

Tabela 1 - Metodologia analítica usada na análise das amostras de água (*SM – *Standard Methods*, APHA, 2012).

Parâmetros	Técnica analítica	Método de referência
pH	Método potenciométrico	*SM 4500 H+ B
Condutividade elétrica	Método condutimétrico	SM 2510 B
Turbidez	Método nefelométrico	SM 2130 B
Oxigênio dissolvido	Método de laboratório	SM 4500 O
Alcalinidade total	Método titulométrico	SM 2320 B
Dureza total	Calculada pelo Ca e Mg	SM 2340 B
DBO5	Método respirométrico	SM 5210 D
Sólidos totais dissolvidos	Determinado pela medida da condutividade	SM 2510 A
Temperatura da água	Medida em campo	-
Cor verdadeira	Método espectrofotométrico	SM 2120 C
Fósforo total	ICP OES	-
Carbono orgânico total dissolvido	Método da combustão a alta temperatura	SM 5310 B
Coliformes termotolerantes	NMP Colilert 24	SM 9223 B
Nitrogênio - nitrato	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Nitrogênio - nitrito	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Nitrogênio amoniacal	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
P- fosfato	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Sódio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Potássio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Cálcio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7

Magnésio	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Bicarbonato	Método titulométrico	SM 2320 B
Sulfato	Cromatografia iônica	US EPA 300.7
Cloreto	Cromatografia iônica	US EPA 300.7

Fonte: ALVES, J. P. H. et al (2015)

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PERFIL DA COLUNA D'ÁGUA

O reservatório apresentou uma leve estratificação com uma termoclina entre 5 e 10 m de profundidade. Esta leve estratificação pode estar ocorrendo em menor proporção por conta do período chuvoso, visto que a coleta foi realizada no mês de junho. Vidal e Neto (VIDAL; CAPELO NETO, 2011), em estudo realizado no açude Gavião, CE, observou a estratificação a partir dos 3,0 m de profundidade e zonas anóxicas abaixo dos 6,0 m de profundidade. Mannich et al (2013) estudando o perfil térmico do Reservatório Vossoroca, PR, observaram uma intensa mistura e elevação do nível da água no mês de junho, e a partir de agosto, uma significativa diminuição do nível do reservatório. Entre os meses de maio a julho, a estratificação observada foi menos pronunciada.

4.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os valores dos parâmetros da qualidade da água estão apresentados na Tabela 2.

A temperatura tem importância determinante sobre a densidade, viscosidade e movimentos de convecção da água. Também influenciam muitos processos biológicos, distribuição, periodicidade e reprodução dos organismos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água. A temperatura sofre influência da latitude, altitude, estação do ano e hora do dia (LIMA;

GARCIA, 2008). A temperatura da água apresentou variação de 27,0 a 26,4 °C no período chuvoso, já no período seco os valores variaram de 25,0 a 30,0 °C.

O pH influencia diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no corpo d'água em geral. O pH no período chuvoso variou de 6,9 a 7,6 e no período seco de 7,6 a 7,8, atendendo assim a classificação da Resolução nº 357 do Conama para água doce classe 1. Segundo Lima e Garcia (2008) é um parâmetro que deve ser sempre avaliado, pois pode interferir no processo de coagulação-precipitação química durante o tratamento da água, na corrosão de tubulações e equipamentos, no crescimento microbiano dos sistemas biológicos de tratamento, na toxidez de certos compostos e nos constituintes da alcalinidade e acidez da água.

A condutividade elétrica mede a capacidade da água para conduzir a corrente elétrica, sendo geralmente proporcional a concentração dos sólidos totais dissolvidos. A condutividade variou de 149,9 a 158,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ no período chuvoso a 154,8 a 173,3 $\mu\text{S cm}^{-1}$ no período seco. Segundo Rodrigues (2012), em reservatório recém inundados a elevada condutividade é esperada devido à liberação de eletrólitos como produto da decomposição da vegetação submersa. Os sólidos totais dissolvidos variaram de 83,9 a 88,8 mg.L^{-1} no período chuvoso a 86,7 a 97,1 mg.L^{-1} no período seco, estando abaixo de 250 mg.L^{-1} e assim atendem ao limite estabelecida pelo Resolução nº 357 do Conama para Águas Doces Classe 1.

A turbidez e a cor influenciam na passagem de luz podendo interferir na produção primária, os valores de turbidez variaram de 17,6 a 1,5 UT no período chuvoso a 4,2 a 2,5 UT no período seco, podendo assim ser classificado pela Resolução nº 357 do Conama como águas doce classe 1, valores ≤ 40 UT. Geralmente a cor da água é decorrente da decomposição de vegetais, podendo também ser de origem antropogênica, resultante de resíduos industriais. A cor variou de 6,20 a 3,20 UH no período chuvoso e de 2,07 a 0,60 UH no período seco.

O oxigênio dissolvido é importante nos processos de respiração e trocas no meio, as concentrações variaram de 1,22 a 6,67 mg L^{-1} no período chuvoso a 5,96 a 5,47 mg L^{-1} no período seco. Pode-se classificar para a maioria dos períodos segundo a Resolução nº 357 do Conama como águas doces classe 2 (5,0 mg.L^{-1}). Esse valor mais baixo no período chuvoso da primeira campanha pode estar relacionado com enchimento do reservatório, percebe-se que nas demais campanhas os valores já estavam em níveis aceitáveis. De acordo com Esteves (1998), os primeiros anos após a inundação correspondem ao período de maior déficit de oxigênio.

A alcalinidade apresentou valores para o período chuvoso variando de 44,59 a 47,72 mg L^{-1} e para o período seco 49,37 a 43,16 mg L^{-1} . Valores elevados da alcalinidade estão associados ao processo de decomposição da matéria orgânica e a alta taxa respiratória dos microrganismos, com a liberação e dissolução do gás carbônico na água. Baixos valores estão associados a pouca capacidade de tamponamento, podendo ser susceptível a qualquer alteração de pH (BARRETO; GARCIA, 2010). A dureza é causada principalmente pela presença de sais de cálcio e magnésio, mas íons polivalentes como ferro, alumínio, manganês e zinco podem contribuir com a dureza (ALVES et al., 2007). A dureza variou de 42,45 a 42,70 mg L^{-1} no período chuvoso a 59,56 a 39,14 mg L^{-1} no período seco. Sendo classificada como água mole ou branda (< 50 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) para todos os períodos exceto para o período seco de 2014, sendo considerada como água com dureza moderada (teores entre 50-150 $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) indica a intensidade do consumo de oxigênio, necessário para as bactérias na estabilização da matéria orgânica carbonácea, indicando também a concentração de carbono biodegradável [28]. A DBO_5 registrou valores variando de 12,60 a 13,73 mg L^{-1} no período chuvoso a 25,2 a 17,10 mg L^{-1} no período seco. Não obedecendo nenhuma classe da Resolução nº 357 do Conama para águas doce, apresentado concentrações > 10 mg L^{-1} . O carbono orgânico dissolvido (COD) é uma medida da

matéria orgânica presente na água. As concentrações do COD ficaram no intervalo de 10,11 a 7,18 mg L⁻¹ no período chuvoso de 8,54 a 8,56 mgL⁻¹ no período seco.

Grande parte das doenças associadas à água é transmitida por organismos patogênicos eliminados pelas fezes que atingem o ambiente aquático (LIBÂNIO, 2010). De acordo com Garcia e Alves (2006), os efluentes domésticos são as principais fontes de poluição dos recursos continentais e costeiros, com risco para a saúde humana e o meio ambiente aquático. Além do excremento humano, esse efluente contém grande número de compostos orgânicos resultantes da atividade humana. As concentrações de coliformes termotolerantes apresentaram valores entre 49 a 17 NMP/100 mL no período chuvoso e <1,8 a 2 NMP/100 mL no período seco, obedecendo a classificação pela Resolução nº 357 do Conama para águas doce classe 1 (≤ 200 NMP/100mL).

As principais fontes de fósforo para os ecossistemas aquáticos são o intemperismo de rochas fosfatas (origem natural), despejos domésticos, efluentes industriais e fertilizantes (origem antrópica) (ALVES et al., 2007). Os valores de fósforo total variaram de 0,30 a 0,51 mg L⁻¹ no período chuvoso e de <0,033 a 0,083 mg L⁻¹ no período seco. No período chuvoso as concentrações mostram-se elevadas podendo ser provenientes do escoamento superficial e lixiviação dos solos no entorno do reservatório. Os ortofosfatos (P-PO₄³⁻) são representados pelos radicais, que se combina com cátions formando sais inorgânicos nas águas. As concentrações do ortofosfato em todas as amostras ficaram abaixo do limite de detecção (<0,033mgL⁻¹).

O nitrogênio pode ter origem natural (água da chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular) ou antrópico sendo proveniente, principalmente, de efluentes domésticos, industriais e agrícolas (BUZELLI; CUNHA, 2013). Na água, o nitrogênio pode ser encontrado nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal (NH₃ e N-NH₄⁺), nitrito (NO²⁻) e nitrato (NO³⁻) (ALVES et al.,

2007). No corpo d'água a determinação do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio de poluição, sendo que a poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou amoniacal, enquanto uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrito (VON,2005). O nitrato (NO₃⁻) variou de 0,21 a 0,16 mg L⁻¹ no período chuvoso e de 0,64 a 1,44 mg L⁻¹ no período seco, obedecendo a classificação da Resolução nº 357 do Conama como águas doce classe 1 (≤ 10 mg/L). O nitrito (NO₂) variou de 0,090 a 0,015 mg L⁻¹ no período chuvoso e foi <0,015 mg L⁻¹ para o período seco. Os resultados atendem ao limite da Resolução nº 357 do Conama para águas doce classe 1 (≤ 1 mg/L⁻¹). Nitrogênio amoniacal (NH₃) variou de <0,03 a 0,10 mg L⁻¹ no período chuvoso e foi 0,10 mg L⁻¹ nos períodos secos, sendo classificado pela Resolução nº 357 do Conama como águas doce classe 1.

Os íons maiores são constituintes derivados de sais minerais dissolvidos na água. As suas concentrações estão relacionadas a fatores geoquímicos, propriedades da base de drenagem, tipo de solo, condições climáticas, despejos urbanos e industriais. A composição química da água pode sofrer variações significativas devido a interações e/ou precipitações químicas, adsorção ou troca iônica e ação direta ou indireta da atividade humana. Os íons maiores ocorrem com concentração ≥ 1 mg/L⁻¹ e na água são formados por: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ HCO₃⁻ e/ou CO₃²⁻. Somente Cl⁻, SO₄²⁻ são legislados pela Resolução nº 357 do Conama, mas eles são particularmente importantes em aplicações industriais quando é necessário controlar os efeitos da corrosão e incrustação (GARCIA; ALVES, 2006).

O sódio (Na⁺) é um dos elementos mais abundantes na terra e seus sais são muito solúveis, por isso toda água natural contém sódio. Suas concentrações em águas superficiais estão bem abaixo de 50 mg/L (GARCIA; ALVES, 2006). As concentrações de sódio variaram de 9,38 a 10,97 mg L⁻¹ no período chuvoso 6,54 a 9,25 mg L⁻¹ no período seco. O potássio (K⁺) é encontrado em baixas concentrações nas águas naturais, pois são provenientes de rochas resistentes às

ações do tempo. Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, entrando nas águas doces através das descargas industriais e de áreas agrícolas. As concentrações em águas naturais são < 10 mg/L (CETESB, 2013). No presente estudo o potássio variou de 2,30 a 1,61 mg L⁻¹ no período chuvoso 1,43 mg L⁻¹ a 1,02 mg L⁻¹ no período seco.

Cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) são elementos comuns em águas naturais, originários de rochas calcárias e de rochas contendo minerais como ferro-magnésio. As concentrações de Ca²⁺ variaram de 13,21 a 13,62 mg L⁻¹ no período chuvoso e de 20,59 a 10,80 mg L⁻¹ no período seco. O Mg²⁺ é também essencial à vida, um adulto requer diariamente cerca de 200 a 300 mg de Mg (GARCIA; ALVES, 2006). As concentrações de magnésio variaram de 2,30 a 2,11 mg L⁻¹ no período chuvoso a 1,97 a 2,96 mg L⁻¹ no período seco.

O bicarbonato (HCO₃) em águas naturais desempenha uma função importante na química ácido-base, capacidade tampão, complexação de metais, formação de sólidos e no metabolismo biológico. As suas concentrações variaram de 44,59 a 47,72 mg L⁻¹ no período chuvoso e no período seco de 49,37 a 43,16

mg L⁻¹. O sulfato (SO₄²⁻) é um dos íons mais abundantes na natureza. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto. As principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais são as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Nas águas tratadas, é proveniente do uso de coagulantes (CETESB, 2013). Águas com elevadas concentrações de sulfato podem provocar alterações gastrintestinais, por isso é recomendado consumir água com concentração de sulfato menor que 500mg/L⁻¹ (GARCIA; ALVES, 2006). As concentrações do sulfato variaram de 1,53 a 2,58 mg L⁻¹ período chuvoso de 1,91 a 1,70 mg L⁻¹ no período seco.

O cloreto (Cl⁻) entra na água de superfície pela deposição do aerossol marinho, pelo intemperismo de rochas sedimentares e através de efluentes industriais e urbanos (GARCIA; ALVES, 2006). Altos teores de cloreto é um indicador de poluição por esgotos domésticos [33]. A concentração de cloreto em águas de abastecimento público constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor “salgado” na água (CETESB, 2013). O cloreto variou de 13,34 a 14,97 mg L⁻¹ no período chuvoso e de 13,19 a 16,97 mg L⁻¹ e no período seco.

Tabela 2 - Valores dos parâmetros de qualidade da água de superfície do reservatório no período chuvoso e seco

Parâmetros/Campanhas	Período chuvoso		Período seco	
	06/08/2013	21/07/14	07/01/14	14/01/15
pH	6,9	7,6	7,8	7,6
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	149,9	158,6	154,8	173,3
Turbidez (uT)	17,6	1,5	4,2	2,5
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹ O ₂)	1,22	6,67	5,96	5,47
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	44,59	47,72	49,37	43,16
Dureza (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	42,45	42,70	59,56	39,14
DBO ₅ (mg.L ⁻¹ O ₂)	12,60	13,73	25,20	17,10
STD (mg.L ⁻¹)	83,9	88,8	86,7	97,1

Parâmetros/Campanhas	Período chuvoso		Período seco	
	06/08/2013	21/07/14	07/01/14	14/01/15
Temperatura da Água (°C)	27,0	26,4	25,0	30,0
Cor (uH)	6,20	3,20	2,07	0,60
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	0,30	0,51	0,083	< 0,033
COD (mg.L ⁻¹)	10,11	7,18	8,31	8,56
Col. Termotolerantes (NMP/100mL)	49	17	2	< 1,8
N-NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,21	0,16	0,64	1,44
N-NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,090	< 0,015	< 0,015	< 0,015
NH ₃ (mg.L ⁻¹)	< 0,03	0,10	0,10	0,10
P-PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹ P)	< 0,033	< 0,033	< 0,033	< 0,033
Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	9,38	10,97	6,54	9,25
K ⁺ (mg.L ⁻¹)	2,30	1,61	1,43	1,02
Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	13,21	13,62	20,59	10,80
Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	2,30	2,11	1,97	2,96
HCO ₃	44,59	47,72	49,37	43,16
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	1,53	2,58	1,91	1,70
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	13,34	14,97	13,19	16,97

Fonte: ALVES, J. P. H. et al (2015)

4.3 AVALIAÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO USANDO ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

A análise de agrupamento e a análise de componentes principais (PCA) foram aplicadas ao conjunto dos dados da Tabela 2, com objetivo de obter informações sobre as diferenças entre os períodos seco e chuvoso, sobre as variáveis envolvidas na discriminação e as fontes que a originaram.

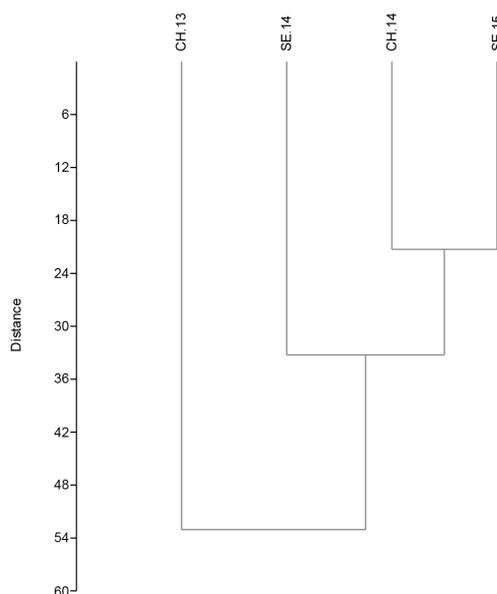
A análise de agrupamento gerou o dendograma da Figura 2 e a distância Euclidiana usualmente indica a similaridade entre os resultados das campanhas de amostragem. O dendograma agrupou as campanhas em 3 grupos; o grupo 1 contém as amostras coletadas

no período chuvoso de 2014 (CH14) e as amostras coletadas no período seco de 2015 (SE15), isso significa que estatisticamente a qualidade da água nesses dois períodos foram similares. As amostras do período chuvoso de 2013 (CH13) e período seco de 2014 (SE14) foram diferentes entre se e diferentes do grupo 1.

A técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) consiste na aplicação da análise multivariada aos dados originais, considerando cada ponto de amostragem como um objeto e os parâmetros medidos como variáveis. A matriz dos dados foi constituída de 4 objetos e 25 variáveis. A ACP permite encontrar novas variáveis (componentes principais, CP), que em menor número que as originais podem explicar as variâncias dos dados

e simultaneamente reduzir a dimensionalidade do problema. Assim, os CPs são combinações lineares ponderadas das variáveis originais e fornecem informações sobre os parâmetros mais significativos que descrevem um conjunto de dados, proporcionando redução dos dados com o mínimo de perda da informação original.

Figura 2- Dendograma mostrando o agrupamento hierárquico, pelo método de Ward com distância Euclidiana, das amostras coletadas nos períodos secos de 2014 (SE.14) e 2015 (SE.15) e chuvosos de 2014(CH13) e 2014 (CH14).



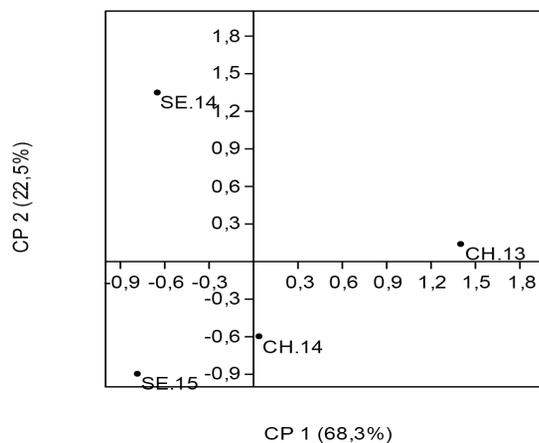
Fonte: ALVES, J. P. H. et al (2015)

A ACP aplicada ao conjunto dos dados da Tabela 2, revelou que as duas primeiras componentes principais (PC1, 68,3 %; PC2, 22,5 %) juntas, explicaram 90,7 % da variância total do conjunto dos dados da qualidade da água dos reservatório. A primeira componente (PC1) está fortemente associada (peso > 0,80) aos coliformes termotolerantes, enquanto a segunda componente (PC2) está associada à dureza (> 0,40) e a demanda bioquímica de oxigênio (> 0,50). A localização representativa de cada campanha de amostragem no plano formada pelas duas primeiras componentes principais é mostrada na Figura 3.

A primeira componente (CP1) separou o período chuvoso (CH.13, CH.14) do período seco (SE.14, SE.15), ou seja mostrou que existe uma diferença sazonal na qualidade da água do reservatório. As campanhas do período chuvoso estão fixadas no lado positivo do PC1 e as campanhas do período seco no lado negativo, indicando um aumento dos coliformes termotolerantes no período chuvoso, provavelmente associado ao aumento do escoamento superficial no período chuvoso. Apesar disso, os valores dos coliformes termotolerantes na água do reservatório foram baixo e não excederam o limite para Água Doce Classe 1 (200 NMP/100 mL) estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do Conama.

A segunda componente (CP2) mostrou uma correlação positiva com a DBO₅ e a dureza, separando as amostras do período seco. Os valores da DBO₅ e dureza foram maiores no período seco, quando o processo de diluição é reduzido. A sub-bacia do rio Poxim que contribui com a formação do reservatório tem mostrado concentrações mais elevadas da DBO₅ no período seco (PALÁCIO, 2011).

Figura 3 - Diagrama da análise de componentes principais para a qualidade da água do reservatório nos períodos seco (SE) e chuvoso (CH).



Fonte: ALVES, J. P. H. et al (2015)

5 CONCLUSÕES

O reservatório Jaima Umbelino, situado na cidade de São Cristóvão/Sergipe, apresentou uma leve estratificação com uma termoclina entre 5 e 10 m de profundidade. Esta leve estratificação pode estar ocorrendo em menor proporção por conta do período chuvoso, visto que a coleta foi realizada no mês de junho.

A Análise de Componentes Principais, aplicada ao conjunto dos dados, separou o período chuvoso (CH.13, CH.14) do período seco (SE.14, SE.15), ou seja mostrou que existe uma diferença sazonal na qualidade da água do reservatório. O parametro mais importante na separação foram os coliformes termotolerantes, que aumentaram no período chuvoso, provavelmente associados ao transporte pelo escoamento superficial.

As principais diferenças entre a qualidade da água do reservatório estão relacionadas a fase de enchimento, pois as diferenças mais significativas nas variáveis ocorreram nos períodos chuvoso de 2013 e seco de 2014, períodos subsequentes ao enchimento do reservatório.

6 AGRADECIMENTOS

Ao projeto “Monitoramento de Mananciais Superficiais e Reservatórios do Estado de Sergipe”, Convênio nº 001/2012 entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (SEMARH) e o Instituto Tecnológico e de Pesquisas de Sergipe (ITPS), pelo suporte técnico nas coletas e análises das amostras.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. P. H. et al. Rio Poxim: qualidade da água e suas variações sazonais. Anais Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo: **ABRH**. 2007. v.17, p.1-15.

ANDRADE, E. M. et al. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**. Santa Maria. v.37, p.1791-1797. 2007.

ANGELOCCI, L. R. et al. Variações da temperatura da água de um pequeno lago artificial ao longo de um ano em Piracicaba-São Paulo. **Sci. Agric. Piracicaba**. v.52, n.3, p.431-438.1995.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for The Examination Of Water And Wastewater**. Water Environment Federation. Washington, DC. 2012.

BARRETO, P. R., GARCIA, C. A. B. **Caracterização da qualidade da água do açude Buri-Frei Paulo/SE**. Scientia Plena. v.6, p.1-21.2010.

BRANDELERO, S. M. et al. Desoxigenação em água superficial de ambiente lótico. **Ambi-Água**. Taubaté. v.5, p.163-171. 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre uma nova classificação para as águas doces, bem como para as águas salobras e salinas do território nacional. Brasília. Conama. p.1-27. 2005.

BRASIL. Gestão Integrada das Águas Urbanas em Aracaju-SE. **Relatório do Diagnóstico Qualitativo**. p.1-54. 2010.

BUZELLI, G. M.; CUNHA SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). Taubaté: **Ambi-Água**. v.8, p.186-205. 2013.

CARNEIRO, F.M. **Determinantes da estrutura de comunidades do fitoplâncton em diferentes escalas espaciais**. Goiás. 2012. p.1-93.Tese (Doutorado). Universidade Federal de Goiás. 2012.

- CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. 2th. ed. 1996. p.1-609.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo. **Apêndice D Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. São Paulo. 2013.
- CUNHA, D.G.F. **Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do reservatório de Ituparanga: uma contribuição ao manejo sustentável dos recursos hídricos da bacia do rio Sorocaba**. 2012. 235f. Tese (Doutorado). EESC-USP, São Carlos, 2012.
- ESTEVES, F. A.. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro. **Interciência**. v. 2, p.1-602. 1998.
- GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H. Diagnóstico e avaliação da sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim. Universidade Federal de Sergipe/FAPESE. **São Cristóvão**. v.8, n.7, p.1-9. 2006.
- GUPTA; SHAIKH N. Seasonal Variations in Physicochemical Parameters and Primary Productivity of Shelar lake Bhiwandi. **Universal Journal of Environmental Research and Technology**, Thane, v.3, p.523-530. 2013.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas. São Paulo: Átomo. 2010, p.1-494.
- LIMA, W. S.; GARCIA; C. A. B.. Qualidade da Água em Ribeirópolis-SE: O Açude do Cajueiro a Barragem do João Ferreira. **Scientia plena**. v.4, n.12, p.1-24. 2008.
- M. FRANZEN et al. Circulação da Água Hipolimnética no Reservatório Divisa do Sistema Salto (RS). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.16, p.41-48. 2011.
- M. GOULART; M. CALLISTO. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da Faculdade de Pará de Minas**. V. 2, n.1, p.1-9. 2003.
- M. MANNICH et al. Análise da estratificação térmica no reservatório vossoroca através de índices físicos. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** p.1-8. 2013.
- NASCIMENTO, F. R. Categorização de usos múltiplos dos recursos hídricos e problemas ambientais. **Revista da ANPEGE**, v.7, p.81-97. 2011.
- PALÁCIO, A. Q. H. et al. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, p.395-402. 2011.
- PALMA P., LEDOA, L. et al. Spatial and temporal variability of the water and sediments quality in the Alqueva reservoir. **Science of the Total Environment**. p.780-790. 2014.
- PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista eletrônica de recursos hídricos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p.20-36. 2004.
- RICHTER, C. A.; NETO, J. M. A. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. São Paulo. v.1, p. 332. 1991.
- RODRIGUES, L. M. **Alterações espaciais e temporais de características limnológicas resultantes da transformação Rio reservatório na área do reservatório da usina hidrelétrica dona Francisca**. 2012. 100f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SILVA, A.P. S. et al. **Qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) de PETI**. Revista *Árvore*, Viçosa, Minas Gerais, v.33, p.1063-1069. 2009.

SILVA, M. G. **Modelagem ambiental na bacia hidrográfica do rio poxim-açu/se e suas relações antrópicas**. 2013. 224p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Sergipe. 2013.

SILVA, S. et al. Índice de sustentabilidade ambiental do uso da água (ISA_ÁGUA): municípios da região do entorno do rio **Poxim, SE**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p.1-46. 2004.

STRASKRABA M.; TUNDISI J. G. **Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos**: Gerenciamento da qualidade da água de represa. v.9. 3, p.1-300. 2013. (Oficina de Textos).

T. HUANG et al. **Effects of storm runoff on the thermal regime and water quality of a deep, stratified reservoir in a temperate monsoon zone, in Northwest China**. Science of the Total Environment. 2014. p.820-827.

TUNDISI, J. G. Água no século 21: enfrentando a escassez. RIMA/IIE. P.1-247. 2003.

TUNDISI, J. G. et al. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology**. v.68, p.1133-1135. 2008.

TUNDISI, J. G.. Represas Artificiais: Perspectivas para o Controle e Manejo da Qualidade da Água para Usos Múltiplos. **Revista Brasileira de Educação**, v.1, p.37-47, 1986.

VASCO, A.N. et al. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambi-Água**. v.6, p.118-130. 2011.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Impacto da estratificação térmica na qualidade da água de reservatório do semiárido. **Anais: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. p.1-8. 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. v.3, p.1-443. 2005.

WACHHOLZ, F. **Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí – RS Rio Claro – São Paulo**. 2011..1-196f.. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Recebido em: 29 de Maio de 2016
Avaliado em: 30 de Maio de 2016
Aceito em: 3 de Junho de 2016

1. Mestrado em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE, Brasil
2. Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe, Aracaju - SE, Brasil