



Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP

doi: 10.4136/ambi-agua.930

Giovanna Moreti Buzelli¹; Marcela Bianchessi da Cunha-Santino^{1,2*}.

^{1,2}Universidade Federal de São Carlos -São Carlos, São Paulo, Brasil

²Departamento de Hidrobiologia, Laboratório de Bioensaios e Modelagem Matemática

*Autor correspondente: e-mail: cunha_santino@ufscar.br,

giovanna.moreti010@gmail.com

RESUMO

À medida que a degradação ambiental se intensifica traz como consequências a diminuição da disponibilidade de água e o comprometimento da qualidade dos corpos hídricos, dessa forma, a gestão integrada de bacias hidrográficas assume uma importância cada vez maior. O monitoramento de ecossistemas aquáticos é uma importante ferramenta para a gestão ambiental, pois fornece informações que contribuem para diagnosticar a qualidade das águas lóxicas e lênticas, possibilitando identificar os principais impactos responsáveis pela degradação dos recursos hídricos. O reservatório de Barra Bonita localiza-se na região central do estado de São Paulo, Bacia do Médio Tietê Superior, e suas margens estão sujeitas a diversas atividades antrópicas. Neste contexto, há uma crescente necessidade de identificar os problemas ocasionados pelos impactos da interferência humana nos recursos hídricos. O presente estudo visou analisar e diagnosticar a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita utilizando-se os índices de qualidade das águas (IQA) e de estado trófico (IET), aplicando-os como uma ferramenta para a gestão ambiental. Para tanto, foram realizadas medições, referentes aos períodos de estiagem de 2011 e cheia de 2012, das variáveis limnológicas que compõem os índices, além de uma metanálise de dados fornecidos pelos relatórios anuais da CETESB. A partir dos resultados obtidos foi possível classificar as águas do reservatório como em condição *boa*, porém hipereutrófico para o período entre os anos de 2007 a 2012, evidenciando a importância da gestão ambiental para a recuperação e preservação dos recursos naturais. Por meio das análises dos índices utilizados e da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo do entorno do reservatório de Barra Bonita foi possível observar que a principal categoria de uso do solo em seu entorno é a atividade agrícola, e que a mesma está contribuindo diretamente para a alteração das características físicas e químicas da água desse ambiente, incrementando a fertilização das águas.

Palavras-chave: reservatório de Barra Bonita, monitoramento limnológico, gestão ambiental, índice de qualidade das águas (IQA), índice de estado trófico (IET).

Diagnosis and analysis of water quality and trophic state of Barra Bonita reservoir, SP

ABSTRACT

As a consequence of the intensification of environmental degradation, we observed a decrease in water availability and a change in water quality. Therefore, the integrated management of watersheds is an issue of extreme importance. Limnological monitoring is an important tool for environmental management, providing information on the quality of inland

waters and indicating the main factors responsible for the degradation of water resources. The Barra Bonita reservoir is located in the central region of São Paulo State, in the Superior Middle Tietê Basin, and the adjacent areas of the reservoir are subject to several human activities potentially impacting the environment. In this context, there is a need to determine the nature of negative human impacts on water resources. The present study aimed to analyze and diagnose the water quality of Barra Bonita reservoir using the water quality index (WQI) and the trophic state index (TSI). To this end, measurements of specific limnological variables were made *in situ* and laboratory and an analysis of data from CETESB annual reports was conducted. The results found that the waters of the reservoir were relatively healthy, but hyper eutrophic for the period from 2007 to 2012, indicating the importance of environmental management for the restoration and preservation of natural resources in this region. The estimated indices and the land use map of adjacent areas of the Barra Bonita reservoir showed that agriculture was the largest category of land use and that it contributes directly to the degradation of water quality due to contamination by run-off from fertilizers.

Keywords: Barra Bonita reservoir, limnological monitoring, environment management, water quality index, trophic state index.

1. INTRODUÇÃO

A água possui grande importância para todas as formas de vida existentes no planeta, por estar presente em diversos processos físicos, químicos e biológicos. Porém, a sociedade humana tem explorado este recurso natural de forma não sustentável, ocasionando graves problemas relacionados à baixa qualidade dos recursos hídricos e também sua escassez. A intensa diversificação dos usos múltiplos, a destruição de áreas alagadas, a supressão de matas ciliares, a poluição e a contaminação dos corpos hídricos pelo despejo de resíduos líquidos e sólidos *in natura*, têm ocasionado intensa perda da qualidade e na disponibilidade (*i.e.* quantidade) da água (Tundisi, 2003).

As fontes que levam à degradação da qualidade da água podem ser classificadas em pontuais, que são aquelas caracterizadas pelos efluentes domésticos e industriais, e em difusas, que são os resíduos provenientes da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas, entre outros), o escoamento superficial (urbano e rural) (CETESB, 2009).

À medida que a degradação ambiental se intensifica afetando a disponibilidade de água e comprometendo a qualidade dos corpos hídricos, a gestão integrada de bacias hidrográficas assume uma importância cada vez maior, descentralizando as ações e permitindo que os diversos usuários organizem seus atos, visando o desenvolvimento social e econômico de forma sustentável (Barbosa et al., 2003). Sendo assim, os princípios da gestão ambiental, que buscam o equilíbrio entre a produtividade dos recursos e o desenvolvimento social (Espíndola et al., 2000) aliados às técnicas de avaliação e monitoramento ambiental constituem-se em ferramentas indispensáveis para a elaboração de planos e estratégias de manejo que visem a conservação e recuperação de ambientes naturais e degradados.

O reservatório de Barra Bonita situa-se na Bacia do Médio Tietê Superior, região central do estado de São Paulo. Seu entorno é caracterizado pelo predomínio da cultura de cana-de-açúcar. Sua finalidade principal é a geração de energia elétrica, porém seus usos estendem-se para o transporte fluvial, recreação, piscicultura, irrigação, abastecimento público e industrial. No entanto, a ausência de saneamento básico local e o fato de um de seus principais afluentes percorrerem a área urbana pela cidade de São Paulo, onde recebe intensa descarga de efluentes domésticos e industriais, tem restringido sua utilização e comprometido a qualidade da água (Calijuri et al., 2002).

Neste contexto, há uma crescente necessidade de identificar os problemas ocasionados pelos impactos da interferência humana nos recursos hídricos. Esse trabalho científico teve como objetivos analisar e diagnosticar a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, em duas épocas do ano (estiagem e cheia) utilizando-se os índices de qualidade das águas (IQA) e de estado trófico (IET), além de realizar uma metanálise considerando os resultados obtidos pelos relatórios de qualidade de água da CETESB, desde o ano de 2007 até 2011 e destacar, pela interpretação dos resultados obtidos, as possíveis causas da degradação e comprometimento da qualidade da água do reservatório.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição da área de estudo

O município de Barra Bonita localiza-se na região central do estado de São Paulo, região administrativa de Bauru, apresentando uma área de 150,18 km² e ca. 234,76 habitantes km², o que corresponde a uma população de 35.256 habitantes, com um grau de urbanização de 97,90% no ano de 2010 (Fundação Sistema..., 2010). A economia do município é movida, principalmente, pelo setor dos serviços, mas também pelos setores industriais e agropecuários, com importante participação do cultivo de cana-de-açúcar, cuja produção no ano de 2009 atingiu 748.000 toneladas em uma área de 8.500 hectares, com rendimento médio de 88.000 quilogramas por hectare (IBGE, 2010). O município de Igaracú, localizado na margem esquerda do reservatório de Barra Bonita, pertence à região administrativa de Bauru e possui uma área de 96,62 km². Sua população estimada é de 241,88 habitantes por km², ou seja, 23.370 habitantes no ano de 2010, sendo que 134 pessoas encontram-se na zona rural, o que corresponde a um grau de urbanização de 99,43% (Fundação Sistema..., 2010). O cultivo da cana-de-açúcar foi responsável pelo desenvolvimento da economia local. No ano de 2009 foram produzidas 563.200 toneladas em uma área de 7.600 hectares plantados, dos quais 6.400 foram colhidos, com rendimento médio de 88.000 quilogramas por hectare (IBGE, 2010).

O reservatório de Barra Bonita localiza-se entre os municípios de Barra Bonita e Igaracú (latitude 22°29' S e longitude 48°34' W), a uma altitude de 430 metros (Oliveira, 1993; Antonio, 2004) e abrange dez municípios: Barra Bonita, Anhembi, Botucatu, Dois Córregos, Piracicaba, Santa Maria da Serra, São Pedro, Igaracú do Tietê, Mineiros do Tietê e São Manuel (Martins, 2000). Sua instalação, em 1963, objetivou a geração de energia elétrica pelo barramento de seu tributário principal, o Rio Tietê, e seu segundo tributário, o Rio Piracicaba (De Filippo, 1987). Além desses, o reservatório possui vários outros tributários menores, como o Rio Capivara (Oliveira, 1993). O reservatório não é somente utilizado para geração de energia elétrica, mas também para outros fins, tais como irrigação, recreação, transporte fluvial, piscicultura, abastecimento e desenvolvimento industrial da região (Jureidini, 1987 apud Wisniewski, 1998). Entretanto, fatores como a falta de saneamento básico no seu entorno e o fato de um de seus principais afluentes passar pela cidade de São Paulo, onde recebe grandes descargas de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio adequado, tem limitado sua utilização (Valente et al., 1997 apud Antonio, 2004).

O reservatório de Barra Bonita situa-se em região com intensas transformações nos padrões de uso e ocupação do solo estando vulnerável a processos acelerados de poluição (pontual e difusa) e assoreamento. Como fator agravante tem-se a contaminação da água por substâncias químicas provenientes, principalmente, da agricultura nas áreas adjacentes e das indústrias localizadas à montante do reservatório. Os rios Tietê e Piracicaba também contribuem para esse processo, pois, transportam efluentes domésticos e industriais de grandes centros urbanos. As bacias desses rios são as mais industrializadas do estado de São Paulo (Prado, 2004). Nesse contexto, as atividades industriais e agrícolas da região

constituem uma fonte difusa de poluição, colocando em risco a qualidade da água e biodiversidade local, merecendo, dessa forma, estudos específicos que contemplem análises de qualidade de água.

2.2. Coleta e análises limnológicas

O ponto de coleta das amostras e medição de variáveis *in situ* localizou-se próximo à barragem do reservatório (elevação de 456 m; 22K 753.793 UTM 7.506.635). A coleta no período de estiagem foi realizada no dia 12/09/2011 às 9:45 h. O dia foi ensolarado, sendo que houve precipitações atmosféricas no dia anterior à coleta, a temperatura do ar foi 20,9°C. A coleta referente ao período de chuvas foi realizada no dia 9/02/2012 às 10:44 h no mesmo local onde foi realizada a coleta do período de estiagem. O dia foi ensolarado, sem nuvens com ausência de chuvas anteriores com temperatura do ar de 30,3 °C. O local das coletas de água apresentou 15 m de $Z_{m\acute{a}x}$ (profundidade máxima). De forma geral, a água do reservatório apresentou-se sem odor, com a presença de material em suspensão visível (*i.e.* turbidez biogênica) ocasionando, assim uma aparente turbidez e com ausência de óleo. O leito do reservatório no ponto de coleta é constituído por cascalho e seixos. A paisagem do entorno apresenta vasta área de cultivo de cana-de-açúcar, com ausência de mata ciliar e visível erosão das margens.

As concentrações das variáveis: oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura do ar, temperatura da água e pH foram determinadas *in situ* com sonda multiparamétrica Horiba (Modelo U10, Japão). Após as coletas, realizadas com amostragem superficial, as amostras foram acondicionadas em uma caixa térmica (a 4°C) e levadas ao laboratório para as análises das seguintes variáveis: DBO₅, série nitrogenada, série fosfatada, sólidos totais, coliformes fecais e clorofila-*a*. Os valores de DBO₅ foram obtidos pelo método polarográfico, de acordo com APHA, AWWA, WPCF (1998). A turbidez foi determinada com turbidímetro (marca Hach, modelo 2100P). Os compostos orgânicos nitrogenados (N-Org) foram analisados por titrimetria (método Kjeldahl), os inorgânicos (N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻) pelo método espectrofotométrico (Koroleff, 1976; Strickland e Parsons, 1960; Mackereth et al., 1978). As concentrações de fósforo foram obtidas pelo método espectrofotométrico (Strickland e Parsons, 1960).

Os sólidos totais foram determinados pelo método gravimétrico (CETESB, 1978). O método utilizado para analisar os valores de coliformes fecais foi o das membranas filtrantes (APHA et al., 1998) e as determinações dos valores de clorofila-*a* foram feitas pelo método espectrofotométrico (Strickland e Parsons, 1960). O teste estatístico *t* de *Student* foi aplicado aos valores das variáveis limnológicas determinadas nos dois períodos de coleta (estiagem e chuvas). Para o georrefenciamento da área do entorno do reservatório (*Buffer* de 1 km) foi utilizado o software MapInfo 2010 que auxilia na digitalização e o ENVI que processa a imagem. A imagem utilizada foi LANDSAT 2010 fornecida pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. Com base nas variáveis limnológicas selecionadas foi realizado o cálculo do IQA e do IET seguindo os procedimentos sugeridos pela CETESB (2012). A metanálise das variáveis limnológicas que compõe o IQA e o IET foi realizada utilizando-se como base os relatórios anuais da CETESB de 2007 a 2010 (CETESB, 2011b); os pontos de amostragem utilizados como referência foram: (i) Reservatório de Barra Bonita - no meio do corpo central, a jusante da confluência - Braços Tietê e Piracicaba, (ii) Reservatório de Barra Bonita - No meio do corpo central, na direção do córrego Araquazinho, (iii) Braço do Rio Tietê - Ponte na rodovia SP - 191 que liga Santa Maria da Serra a São Manoel, (iv) Braço do rio Piracicaba - Ponte na rodovia SP - 191, no trecho que liga Santa Maria da Serra a São Manoel e (v) Rio Tietê - Ponte na rodovia SP - 255 que liga São Manoel a Jaú, a jusante do reservatório de Barra Bonita.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variáveis limnológicas

Os resultados do monitoramento das variáveis físicas e químicas da água no reservatório de Barra Bonita (período de estiagem de 2011 e chuvas de 2012) permitiram analisar as variáveis que compõem os índices de Qualidade da Água (IQA) e o de Estado Trófico (IET). O IQA é composto por nove variáveis (coliformes fecais, potencial hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais, Oxigênio Dissolvido (OD) e temperatura), com seus respectivos pesos, fixado em função da sua importância para a determinação da qualidade da água. O cálculo é realizado a partir do produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice. Os resultados obtidos variam em uma escala de 0 a 100, de acordo com o estado de qualidade da água do corpo hídrico em questão (CETESB, 2009). O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) é baseado em duas variáveis, a clorofila *a* e o fósforo total, sendo o IET final resultante da média aritmética simples dos índices anuais relativos ao fósforo total e a clorofila-*a*. A partir do valor encontrado o corpo hídrico pode ser classificado como ultraoligotrófico ($IET \leq 47$), oligotrófico ($47 < IET \leq 52$), mesotrófico ($52 < IET \leq 59$), eutrófico ($59 < IET \leq 63$), supereutrófico ($63 < IET \leq 67$) e hipereutrófico ($IET > 67$). (CETESB, 2009). Observaram-se as variações temporais dessas variáveis (Figuras 1 a 3), com relação aos valores encontrados na literatura para este reservatório, sendo também, verificado se existe ou não concordância com os limites estabelecidos pela legislação.

3.1.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), para o enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2 e 3 os valores de DBO₅ não devem ser superiores a 3 mg/L, 5 mg/L e 10 mg/L, respectivamente. Sendo assim, o reservatório de Barra Bonita pode ser enquadrado, no ano de 2012, como Classe 1 para o período de chuvas, uma vez que o valor médio obtido para DBO₅ foi $2,75 \pm 0,1$ mg/L e Classe 2 para o período de estiagem de 2011, com a concentração de $4,7 \pm 0,1$ mg/L. Segundo Antonio (2004) o valor médio para esta mesma variável no período de 2000 a 2002 foi $2,2 \pm 0,6$ mg/L, sendo similar com os resultados encontrados no presente estudo para o período de estiagem (2011).

O aumento da DBO₅ nos corpos de água pode ser decorrente de despejos de esgoto, provocando um aumento no teor de matéria orgânica, tendo como consequência a diminuição do oxigênio dissolvido por oxidação, o que causa a morte de animais; além de alterar tanto o cheiro quanto o sabor da água (CETESB, 2009). Dessa forma, a DBO₅ pode ser considerada um indicador de qualidade de água ao se considerar a poluição orgânica.

3.1.2. Turbidez

O valor dessa variável no reservatório de Barra Bonita na estiagem foi $14,76 \pm 0,97$ UNT e nas chuvas foi $41,26 \pm 5,54$ UNT. Em relação à turbidez do reservatório de Barra Bonita, variações de 7,43 UNT (estiagem) a 58,05 UNT (chuvas) foram encontradas por Cavenaghi et al. (2003). Antonio (2004) determinou uma turbidez de $15 \pm 10,7$ UNT e Panhota e Bianchini Jr. (2003) encontraram uma variação de $7,24 \pm 7,32$ UNT (estiagem) a $11,4 \pm 4,34$ UNT (chuvas). Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 esta variável pode atingir o máximo de 40 UNT para ser enquadrado em um corpo hídrico de Classe 1. Portanto, o período de chuvas de 2012 se enquadrado como Classe 2.

O aumento da turbidez ocorre, geralmente, em estações chuvosas devido à movimentação do sedimento em locais rasos como a zona litorânea, erosão das margens por falta de vegetação ripária, folhagens e galhos de árvores que são levados para dentro do corpo hídrico por ação dos ventos e da correnteza. Detritos orgânicos como algas, bactérias, plâncton,

dentre outros, também interferem na turbidez (por biogênese) da água. Ações antrópicas como desmatamento, despejo de esgoto sanitário, efluentes industriais, agropecuários e mineração, fazem com que o escoamento superficial aumente a turbidez da água resultando em grandes alterações no ecossistema aquático. Isso ocorre devido à redução da fotossíntese de plantas aquáticas, principalmente do fitoplâncton e das macrófitas submersas, suprimindo a produtividade de peixes e afetando adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional (CESTEB, 2009).

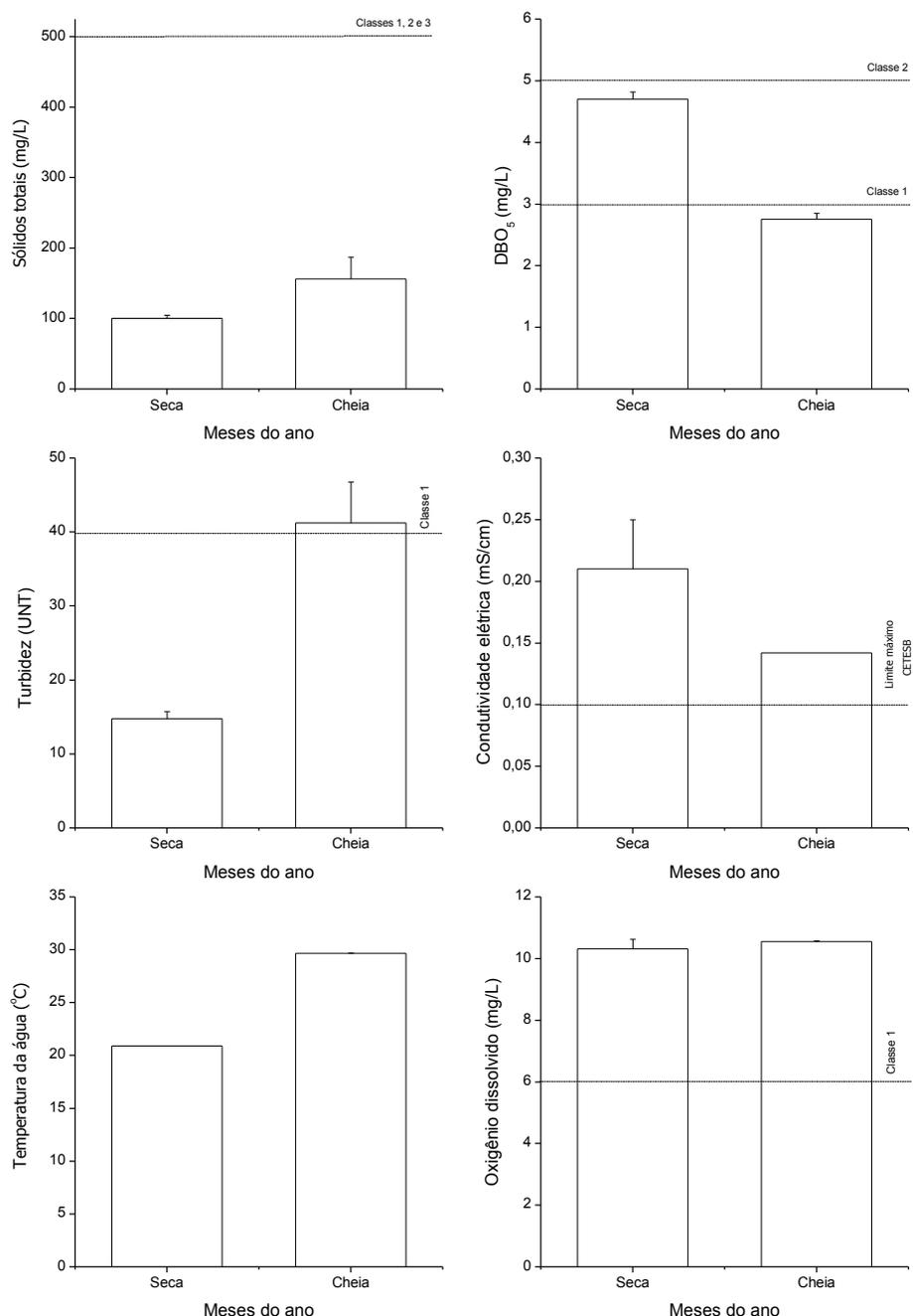


Figura 1. Variação das variáveis limnológicas sólidos totais, DBO₅, turbidez, condutividade elétrica, temperatura da água e oxigênio dissolvido para os períodos de estiagem e de cheia (2011 e 2012).

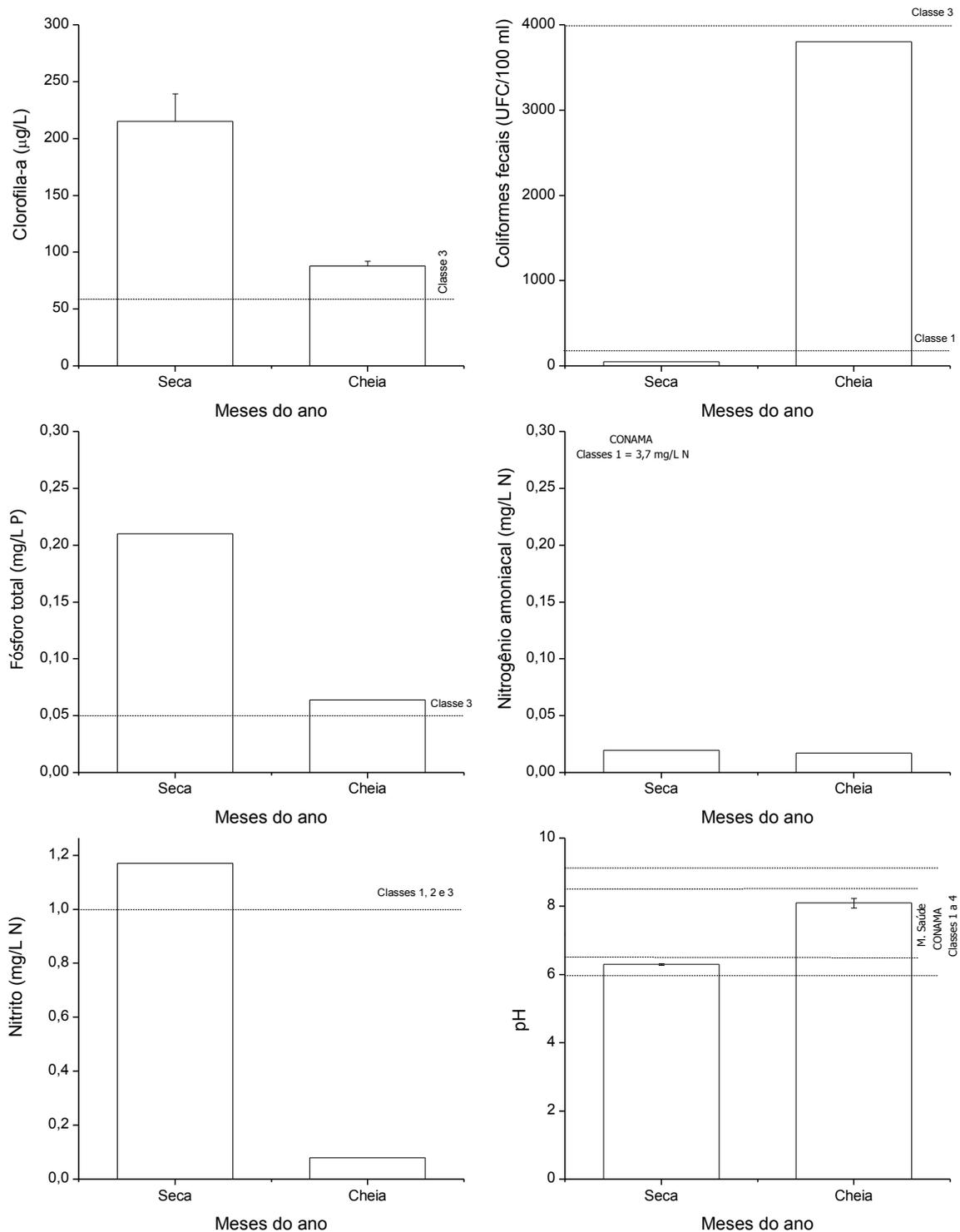


Figura 2. Variação das variáveis limnológicas pH, clorofila-*a*, coliformes fecais, fósforo total, nitrogênio amoniacal e nitrito para os períodos de estiagem e de cheia (2011 e 2012).

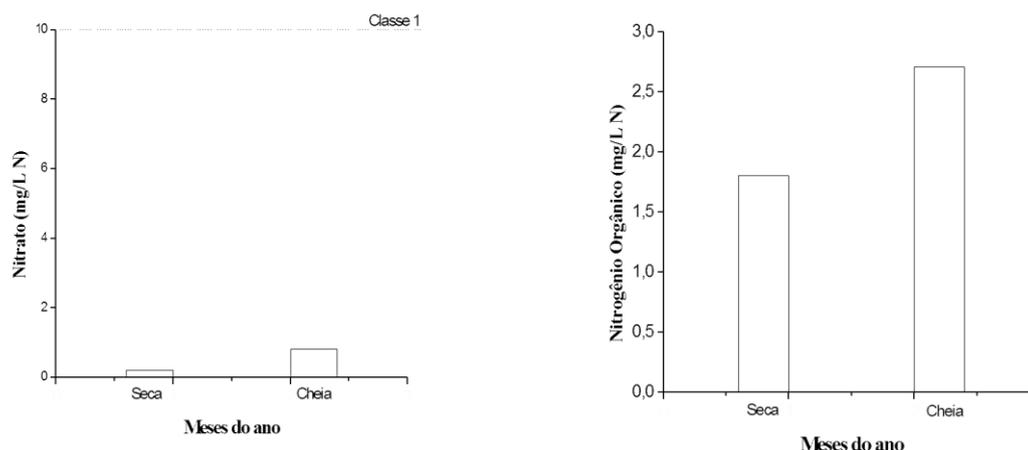


Figura 3. Variação das variáveis limnológicas nitrato e nitrogênio orgânico para os períodos de estiagem e cheia (2011 e 2012).

3.1.3. Sólidos totais

As concentrações dos sólidos totais das amostras de água do reservatório foram $100,00 \pm 6,00$ mg/L (período de estiagem) e $156,00 \pm 31,00$ mg/L (período de chuvas). Segundo o inventário limnológico realizado por Antonio (2004) esta variável apresentou valor médio de 180 ± 50 mg/L, sendo superior aos resultados encontrados no presente estudo em 2011. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, para enquadramento do corpo hídrico nas Classes 1, 2 e 3 a concentração de sólidos totais não deve ultrapassar 500 mg/L. Valores acima do estabelecido pela legislação deverão enquadrar o corpo hídrico na Classe 4. Portanto, os valores obtidos tanto para o período da estiagem, quanto para o período de chuvas não ultrapassa o limitado pela legislação, sendo em média, cinco vezes menor que o previsto na legislação.

O comportamento dos sólidos totais é semelhante ao da turbidez, variável com a qual se relaciona. Os valores refletem a condição local, com aumento em locais de maior poluição (Almeida e Schwarzbald, 2003). O excesso de sólidos na água pode afetar a comunidade aquática, podendo alterar as condições de luminosidade da água interferindo no metabolismo dos organismos autotróficos submersos, por dificultar a realização da fotossíntese, consequentemente prejudicando também os demais organismos heterotróficos dependentes do oxigênio dissolvido produzido na fotossíntese para respiração. A sedimentação também pode danificar o leito dos rios que servem como substrato para o habitat de diversas espécies e incrementando os detritos orgânicos nos sedimentos dos corpos hídricos, promovendo a intensificação dos processos de decomposição. Seu depósito no leito dos corpos de água pode causar o assoreamento, gerando problemas para a navegação e aumentando o risco de enchentes por diminuição da calha do rio (ANA, 2009; CESTESB, 2009).

3.1.4. Condutividade Elétrica (CE)

Para a variável CE, no período de estiagem de 2011 foi determinado o valor de $0,212 \pm 0,0447$ mS/cm e no período de chuvas de 2012 o valor de $0,142 \pm 0$ mS/cm. Segundo Rodgher et al. (2005) e Panhota e Bianchini Jr. (2003), no período da estiagem os valores de condutividade elétrica variaram de 0,239 mS/cm a 0,280 mS/cm e no período de chuvas a variação foi de 0,126 mS/cm a 0,210 mS/cm. A Resolução CONAMA 357/2005 não determina valor específico para esta variável, porém a CETESB aponta que acima de 0,100 mS/cm, existe a possibilidade de entrada de esgoto no ambiente.

A CE está relacionada com a presença de íons, partículas carregadas eletricamente, dissolvidos na água. Sendo assim, quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da mesma, a qual pode variar também de acordo com a temperatura e o pH (Mota, 1995 apud Cruz, et al. 2007). Quando as concentrações ultrapassarem 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o ambiente pode estar impactado por ações antrópicas além de que valores elevados de CE podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2009). Valores acima de 0,100 mS/cm foram identificados no reservatório de Barra Bonita, tanto no período de estiagem quanto no de chuvas; assim supõe-se que as atividades econômicas predominantes do entorno (cultivo de cana-de-açúcar) contribuam para o aporte de íons nas águas do reservatório por escoamento superficial em épocas de precipitações elevadas.

3.1.5. Temperatura da água

A temperatura média da água e o desvio padrão para o período de estiagem foi $20,9 \pm 0^\circ\text{C}$ e para o período de chuvas foi de $29,66 \pm 0,05^\circ\text{C}$. De acordo com Rodgher et al. (2005) e Panhota e Bianchini Jr. (2003), a temperatura da água do reservatório variou de $25,61^\circ\text{C}$ a $27,8^\circ\text{C}$ nas chuvas e $19,41^\circ\text{C}$ a $20,3^\circ\text{C}$ na estiagem. Não consta na legislação valores máximos ou mínimos estipulados para esta variável, entretanto, os resultados obtidos para essa variável estão dentro do esperado para a condição climática da região, cujo clima é considerado de transição entre os climas tropical e subtropical e as estações anuais não são bem definidas. Segundo a classificação de Köpen, é do tipo CWA (clima mesotérmico), com inverno seco e verão quente (Prado, 2004). A formação de camadas de diferentes densidades nos corpos hídricos ocorre com a absorção da radiação solar incidente na superfície da água e pela ação dos ventos que pode movimentar as massas de água dependendo da profundidade e do entorno. Com isso, ocorre transferência de calor da superfície para as camadas mais profundas, contribuindo para a redução da concentração de oxigênio dissolvido na água, podendo provocar a morte de animais aquáticos e aumentar a quantidade de matéria orgânica presente na água (Esteves, 1988). A elevação da temperatura também tem como consequência a intensificação da taxa de decomposição da matéria orgânica, aumentando a demanda bioquímica de oxigênio do ambiente aquático, sendo que liberações de nitrogênio e fósforo também são intensificadas pela lixiviação (processo de dissolução de frações hidrossolúveis que ocorre durante a decomposição). Do ponto de vista físico, a temperatura é inversamente proporcional a concentração de oxigênio dissolvido, dessa forma no período mais quente (*i.e.* nas chuvas) ocorre uma maior pressão no balanço de oxigênio dissolvido do sistema, tanto pela diminuição da solubilização dos gases quanto na intensificação dos processos degradativos, principalmente do fitoplâncton do reservatório de Barra Bonita, uma vez que o mesmo encontra-se com um elevado grau de trofia.

3.1.6. Oxigênio Dissolvido (OD)

A concentração de oxigênio dissolvido analisada *in situ* foi $10,3 \pm 0,32$ mg/L no período de estiagem e $10,55 \pm 0,037$ mg/L no período de chuvas, sendo que o valor mínimo necessário para enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, 3 e 4 são, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, 6 mg/L, 5 mg/L, 4 mg/L, e 2 mg/L, respectivamente. Sendo assim, o reservatório pode ser enquadrado na Classe 1, tanto no período de estiagem quanto no período de chuvas, indicando que o mesmo, apesar de ser um ambiente lêntico, apresenta boa oxigenação de suas águas. Segundo Antonio (2004) e Cavenaghi et al. (2003) a concentração de oxigênio dissolvido no reservatório de Barra Bonita, entre 2000 e 2002 variou de 5 mg/L a 7,05 mg/L.

As trocas gasosas com a atmosfera e a fotossíntese são os principais fornecedores de oxigênio para o corpo hídrico, sendo que temperaturas elevadas e diminuição da pressão

atmosférica diminuem sua solubilidade (Wetzel, 2001). Além deste, outros fatores contribuem para a redução de oxigênio da água, tais como as perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, processos de oxidação de íons metálicos e decomposição aeróbia (Esteves, 1988). Dessa forma, a concentração de oxigênio dissolvido em um corpo hídrico pode ser usada como uma das variáveis para a determinação da qualidade da água, pois quanto mais reduzida foi a concentração de oxigênio dissolvido, pode-se dizer que, mais poluído o curso d'água se encontra (Prado, 1999), influenciando diretamente na biodiversidade aquática.

3.1.7. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH compõe uma das variáveis de potabilidade da água, de forma que as águas destinadas ao abastecimento público devem apresentar valores entre 6,0 e 9,5, de acordo com a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011). Porém, para o enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, 3 e 4 o pH deve variar entre 6 e 9, de acordo com o estabelecido pela legislação federal, sendo que os critérios de proteção da vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (ANA, 2009). O valor médio e desvio padrão encontrado para esta variável foi $6,33 \pm 0,026$ no período de estiagem e $8,10 \pm 0,14$ no período de chuvas, demonstrando que o pH do reservatório encontra-se dentro da faixa estabelecida, tanto para os padrões do Ministério da Saúde quanto para a Resolução CONAMA 357/2005 e critérios de proteção da vida aquática. O pH é diretamente influenciado pelas taxas de fotossíntese do ecossistema, pois quando esta se eleva, favorecida pelo enriquecimento da água por nitrogênio e fósforo, o pH da água tende a aumentar, ou seja, tornar-se mais alcalino em decorrência da diminuição das concentrações de gás carbônico na água (Wetzel, 2001). Segundo Rodgher et al. (2005) e Panhota e Bianchini Jr. (2003) a faixa de pH variou entre 6,10 e 6,48 no período de chuvas e 6,56 e 6,94 no período de estiagem.

O excesso de matéria orgânica contribui para reduzir o pH na água devido à liberação de gás carbônico decorrente de compostos orgânicos ácidos e da decomposição, a qual origina o ácido carbônico em meio aquoso (Marotta et al., 2008). Além disso, pode interferir na solubilidade de nutrientes. No caso do reservatório de Barra Bonita, a média do valor do pH da superfície, no período das chuvas, foi igual a 8,0 indicando condições alcalinas decorrentes dos processos fotossintéticos do fitoplâncton. As variações do pH em um corpo hídrico determinam o tipo de fauna e flora que habitam o local, sendo que o meio neutro é o que possibilita uma maior estabilidade do meio e diversificação dos ecossistemas, permitindo o desenvolvimento de diferentes espécies (CETESB, 2009).

3.1.8. Clorofila-*a*

A concentração desta variável biológica encontrada nas águas do reservatório de Barra Bonita no período de estiagem foi $214,94 \pm 24,43$ µg/L e no período de chuvas foi $87,61 \pm 4,69$ µg/L. Esses valores indicam que no período da estiagem, quando a concentração dos nutrientes é maior, pode-se encontrar concentrações mais elevadas de clorofila-*a* nas águas do reservatório, sendo que para os dois períodos a concentração dessa variável está acima do estabelecido pela legislação, pois segundo a Resolução CONAMA 357/2005 para que o corpo hídrico seja enquadrado nas Classes 1, 2, e 3 os valores máximos permitidos para este parâmetro são 10 µg/L, 30 µg/L e 60 µg/L, respectivamente.

A clorofila-*a* é uma importante variável nos ecossistemas aquáticos, sendo o principal pigmento responsável pelo processo de fotossíntese. Pode ser considerada como um indicador do estado trófico dos ambientes aquáticos, pois indica a biomassa de algas presente no corpo hídrico (Esteves, 1988). O mapa de uso e ocupação do solo do entorno do reservatório de Barra Bonita (Figura 4), juntamente com as análises realizadas, sugere que a elevada

concentração de nutrientes na água, proveniente do despejo de esgoto doméstico não tratado dos centros urbanos localizados à montante e nas margens do reservatório, dos efluentes agrícolas (defensivos e fertilizantes), provenientes das intensas atividades agrícolas que ocupam a maior parte dentre os usos do solo da região, e dos processos naturais, favorecem o desenvolvimento e proliferação de algas, interferindo na concentração de clorofila-*a* e também de outras variáveis, como oxigênio dissolvido, turbidez, sólidos totais e DBO.

Considerando que a clorofila-*a* é uma medida indireta de biomassa da comunidade fitoplanctônica, de acordo com Oliveira (2010) em decorrência do processo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita, no ano de 2008 foram registradas três espécies de cianobactérias pertencentes à classe Cyanophyceae – ordem *Chroococcales* (*Microcystis aeruginosa*, *Microcystis panniformis* e *Microcystis cf. wesenbergii*). Cianobactérias são organismos unicelulares ou multicelulares que fazem parte da comunidade fitoplanctônica de um ecossistema aquático responsável pelo processo de produção primária (CETESB, 2011a). A principal preocupação com relação ao aumento da ocorrência de florações de cianobactérias em mananciais de abastecimento de água é a capacidade de esses microorganismos produzirem e liberarem toxinas (cianotoxinas), as quais podem afetar a saúde humana, caso o tratamento da água não seja eficiente na remoção dessas toxinas. A contaminação ocorre, principalmente, pela ingestão da água, mas também por contato primário em atividades de recreação e pelo consumo de pescado contaminado. As cianotoxinas causam efeitos diversos em vertebrados e devido a sua ação farmacológica são classificadas em neurotoxinas e hepatotoxinas. Algumas são neurotoxinas bastante potentes (anatoxina-a, anatoxina-a(s), saxitoxinas), outras atuam principalmente no fígado (microcistinas, nodularina e cilindrospermopsina) e outras podem ser irritantes ao contato (endotoxinas pirogênicas), como as de bactérias gram-negativas (Brasil, 2003).

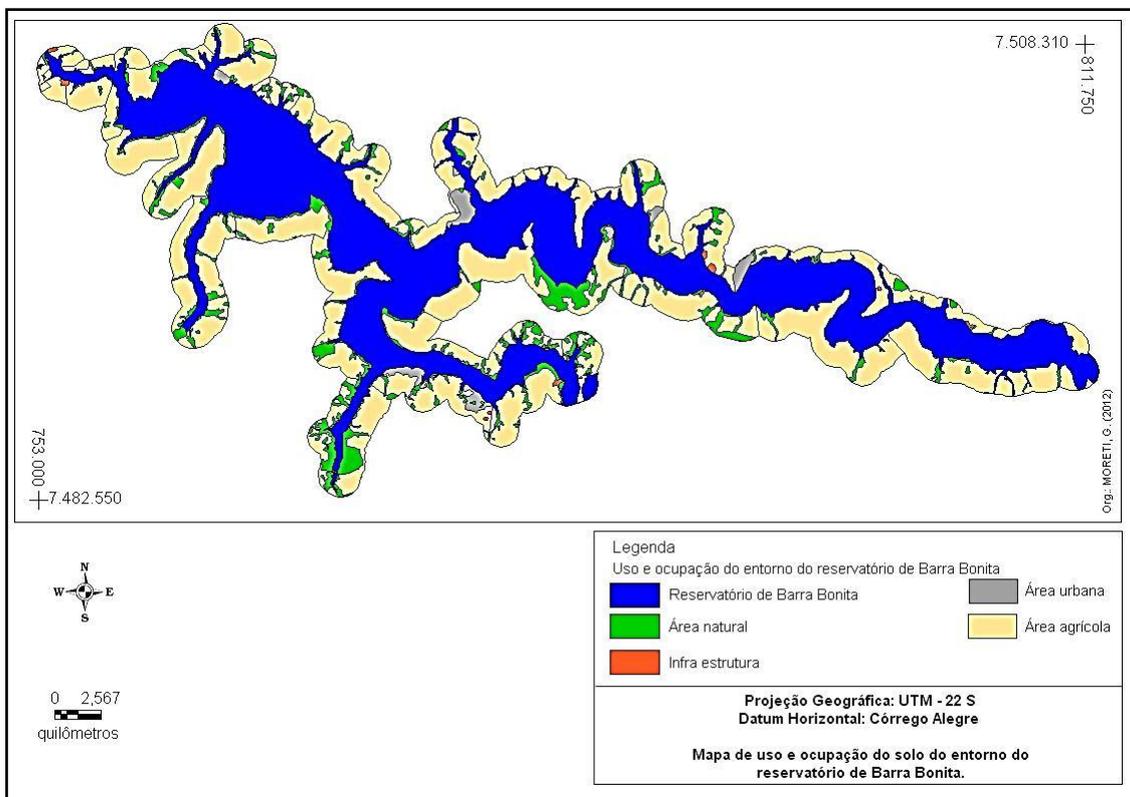


Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo do entorno do reservatório de Barra Bonita.

3.1.9. Coliformes fecais

A média de coliformes fecais e coliformes totais coletadas no reservatório foi, respectivamente, no período de estiagem: 50 UFC/100 ml e 46000 UFC/100 ml e no período de chuvas: 3800 UFC/100 ml e 56000 UFC/100 ml. De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 a concentração máxima permitida para os coliformes fecais para vários usos, é de até 200 UFC/100 ml para a Classe 1, 1000 UFC/100 ml para a Classe 2, 4000 UFC/100 ml para a Classe 3 e qualquer valor acima deste último caracteriza a Classe 4. Sendo assim, a categorização nesse caso é Classe 1 no período de estiagem e Classe 3 no período de chuvas.

Segundo a Resolução CONAMA 274/2000 (Brasil, 2000), as águas consideradas próprias para balneabilidade humana são subdivididas em: *excelente* (máximo de 250 coliformes fecais ou 200 *Escherichia coli* por 100 ml), *muito boa* (máximo de 500 coliformes fecais ou 400 *Escherichia coli*) e *satisfatória* (máximo de 1.000 coliformes fecais ou 800 *Escherichia coli*). Porém, se o valor obtido para esta variável for superior a 2.500 coliformes fecais ou 2.000 *Escherichia coli* as águas serão consideradas impróprias. Portanto, para os padrões de balneabilidade o reservatório de Barra Bonita pode ser considerado excelente no período de estiagem e impróprio no de chuvas. A principal fonte de coliformes fecais para as águas do reservatório é o despejo de esgoto, principalmente doméstico, sem tratamento prévio.

Considerando o sistema de limnosaprobidade (que utiliza os coliformes totais) de Kolkwitz & Marsson (Liebmann, 1962) para o reservatório de Barra Bonita, este pode ser classificado como alfa-mesossapróbico ($< 10^5$ /ml) para os dois períodos.

3.1.10. Fósforo total

O valor máximo de fósforo total permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 para o enquadramento de ambientes lênticos de água doce (no caso do reservatório de Barra Bonita o tempo de residência varia de 60 a 220 dias; Dellamano-Oliveira, 2006) no máximo 0,020 mg P/L para a Classe 1, 0,030 mg P/L para Classe 2, 0,050 mg P/L para a Classe 3 e valores superiores a esse último enquadram o corpo hídrico na Classe 4. O valor médio encontrado para esta variável no reservatório, para o período de estiagem foi 0,21 mg P/L e para as chuvas foi 0,08 mg P/L, sendo, portanto enquadrado na Classe 4. Segundo Panhota e Bianchini Jr. (2003) o valor obtido para esta variável no período de chuvas foi 0,21 mg P/L e para a estiagem foi 0,12 mg P/L.

O fósforo é o principal fator limitante da produtividade nos corpos hídricos e tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial desses ecossistemas, *i.e.*, passa a existir uma maior produção de matéria orgânica do que seu consumo e decomposição. O fósforo pode ser proveniente de fontes naturais (presente na composição de rochas, carregado pelo escoamento superficial da água da chuva, material particulado presente na atmosfera e resultante da decomposição de organismos de origem alóctone) e artificiais como esgotos domésticos e industriais, fertilizantes agrícolas e material particulado de origem industrial contido na atmosfera (Esteves, 1988; Wetzel, 2001). O acúmulo desse nutriente na água favorece o desenvolvimento de algas e macrófitas aquáticas, contribuindo para a intensificação da produção primária e com isso levando ao processo de eutrofização e ao aumento da concentração de clorofila na água devido o crescimento do fitoplâncton no corpo hídrico, como observado no reservatório de Barra Bonita, que apresentou as concentrações elevadas de clorofila-*a*: 214,94 µg/L na estiagem e 87,61 µg/L nas chuvas. Como consequência há uma alteração das características químicas e físicas do meio, podendo trazer consequências negativas para o ecossistema aquático, como a morte de diversos organismos.

3.1.11. Série nitrogenada: nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), Nitrato (N-NO₃⁻), Nitrito (N-NO₂⁻) e nitrogênio orgânico total (N-Org)

A média obtida para o nitrogênio amoniacal no período de estiagem foi 0,19 mg N/L e nas chuvas foi 0,017 mg N/L, categorizando o reservatório na Classe 1, pois segundo a Resolução CONAMA 357/2005 os valores estipulados para esta variável são 3,7 mg N/L para as Classes 1 e 2, 13,3 mg N/L para a Classe 3 e para a Classe 4 os valores superiores ao da Classe 3. De acordo com Cavenaghi (2003) os valores obtidos para esta variável nos períodos de estiagem e chuvas foram, respectivamente, 1,44 mg N/L e 0,56 mg N/L.

De acordo com o estabelecido pela legislação (Brasil, 2005) o valor máximo de nitrito para o enquadramento dos corpos hídricos de água doce nas Classes 1, 2, e 3 é de 1,0 mg N/L e para valores superiores a categoria é Classe 4. A média obtida para esta variável foi 1,17 mg N/L no período de estiagem e 0,08 mg N/L para as chuvas, sendo enquadrado na Classe 4 na estiagem e Classe 1 nas chuvas. Para este mesmo parâmetro Cavenaghi (2003) obteve os valores de 0,12 mg N/L para estiagem e 0,25 mg N/L para as chuvas.

A média de nitrato para a coleta referente ao período de estiagem foi 0,20 mg N/L e ao período de chuvas foi 0,80 mg N/L. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005, o valor para enquadramento do corpo hídrico nas Classes 1, 2 e 3 é de até 10,0 mg N/L, sendo que serão enquadrados como Classe 4 os corpos hídricos com valores mais elevados. Portanto, para esta variável, o reservatório é Classe 1. De acordo com Cavenaghi (2003) foi encontrado o valor de 5,61 mg N/L para a estiagem e 5,70 mg N/L para as chuvas.

Para o nitrogênio orgânico total o valor médio encontrado no período de estiagem foi de 1,80 mg N/L e para o período de chuvas foi 2,72 mg N/L. Segundo Panhota e Bianchini Jr. (2003) no período de chuvas foi determinado para esta variável o valor de 0,40 mg N/L e para a estiagem foi 0,27 mg N/L. Não há na legislação um padrão previsto para essa variável.

As formas orgânicas de nitrogênio nos ecossistemas aquáticos ocorrem pela assimilação do nitrogênio inorgânico e conseqüente incorporação por algas e bactérias (Wetzel, 2001).

Por ser um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos, o nitrogênio atua como fator limitante na produção primária de ecossistemas, sendo que concentrações elevadas desse nutriente favorecem esta produção. Por isso, é um dos nutrientes responsáveis pelo processo de eutrofização e, conseqüentemente, influencia na quantidade de oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e clorofila existente no meio, podendo causar a diminuição da biodiversidade existente no local (Wetzel, 2001; Esteves, 2011). Sua origem pode ser natural (água da chuva, material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular) ou artificial sendo proveniente, principalmente, de efluentes domésticos, industriais e agrícolas.

3.2. Análise estatística

A partir dos resultados encontrados com a análise das variáveis limnológicas foi aplicado o teste estatístico (Tabela 1) aos resultados obtidos em 2011 (época de estiagem) e 2012 (época de chuva). Foi possível observar que, com exceção da concentração de oxigênio dissolvido, cujos valores tanto nos períodos de estiagem quanto nos períodos de chuvas foram elevados, as demais variáveis turbidez, DBO, amônia, fósforo total, fósforo dissolvido, nitrato nitrito, nitrogênio total, clorofila-*a*, coliformes fecais, pH, temperatura e condutividade elétrica apresentaram valores extremamente significantes entre os períodos hidrológicos (Tabela 1). A variável limnológica sólidos totais foi considerada significativa ($t = 3,05$) entre os períodos amostrados. Esses resultados indicaram que o período hidrológico, i.e. cheia e seca proporciona a diferenciação significativa entre as variáveis limnológicas mensuradas. Em relação à única variável (i.e. oxigênio dissolvido, $t = 1,55$) em que o teste estatístico não apontou diferença verificou-se que a oxigenação elevada do reservatório no inverno relacionou-se à queda da temperatura, a qual é inversamente proporcional à concentração de

oxigênio dissolvido na água, e também à ação dos ventos. Já no verão, a alta concentração de OD foi decorrente da intensa atividade primária (clorofila-*a* = 87,6 µg/L), liberando quantidades significativas do oxigênio na água. As variáveis turbidez e sólidos totais apresentaram valores mais elevados no período das chuvas, provavelmente, devido à maior concentração de matéria orgânica e material alóctone que entrou no sistema por influência das chuvas que caracterizam esse período.

Tabela 1. Valores de *t* obtidos da comparação das médias das variáveis limnológicas no período de seca e de cheia.

Variáveis	<i>t</i>	
DBO	21,62	(S*)
Turbidez	10,52	(S*)
Sólidos totais	3,05	(S)
Clorofila- <i>a</i>	8,86	(S*)
Amônia	198,76	(S*)
Fósforo total	41,59	(S*)
Fósforo dissolvido	124,31	(S*)
Nitrato	15,94	(S*)
Nitrito	45,34	(S*)
Nitrogênio total	16,78	(S*)
Coliformes fecais	9,50	(S*)
Temperatura	276,38	(S*)
Condutividade elétrica	175,33	(S*)
Oxigênio dissolvido	1,55	(NS)
pH	27,35	(S*)

S* = extremamente significante, S = significante e ND = não significante.

As concentrações de fósforo total, nitrogênio amoniacal e nitratos provenientes principalmente de fertilizantes agrícolas e de esgotos domésticos provavelmente contribuíram para manter elevadas as concentrações desses nutrientes durante a época da estiagem, uma vez que não há o efeito diluidor provocado pelas precipitações atmosféricas. A manutenção da biomassa fitoplanctônica em decorrência da fertilização das águas também influenciou a DBO₅, a qual se apresentou mais elevada no período da estiagem, possivelmente em decorrência de processos de decomposição. A DBO₅ no período de estiagem, também esteve influenciada pelo despejo de efluentes assim como a condutividade elétrica (variável que evidencia a entrada de esgoto no sistema) que também foi mais elevada nesse período. As variáveis pH e coliformes fecais também apresentaram valores mais elevados no período das chuvas. No caso do pH, no dia e no horário da coleta observaram-se valores elevados na superfície da água. De acordo com Mercante et al. (2011), valores elevados de pH que tornam o meio básico pela remoção do dióxido de carbono da água pelos processos fotossintéticos. Os coliformes fecais foram relacionados com o aumento do escoamento superficial das áreas de pastagem adjacentes ao reservatório.

3.3. Índice de qualidade de água (IQA) e índice de estado trófico (IET)

Considerando a metanálise realizada usando valores das variáveis limnológicas fornecidos pelo Relatório de Qualidade de Água da CETESB, referentes aos anos de 2007 a 2010 e as concentrações das variáveis que compõe o IQA obtidas para o período de estiagem de 2011 e de chuvas de 2012 por meio de medições realizadas *in situ* e em laboratório, foi possível observar (Figura 5) que para ambos os períodos (estiagem e chuvas), desde o ano de 2007 até o ano de 2012, os valores para o IQA apresentaram pouca variação.

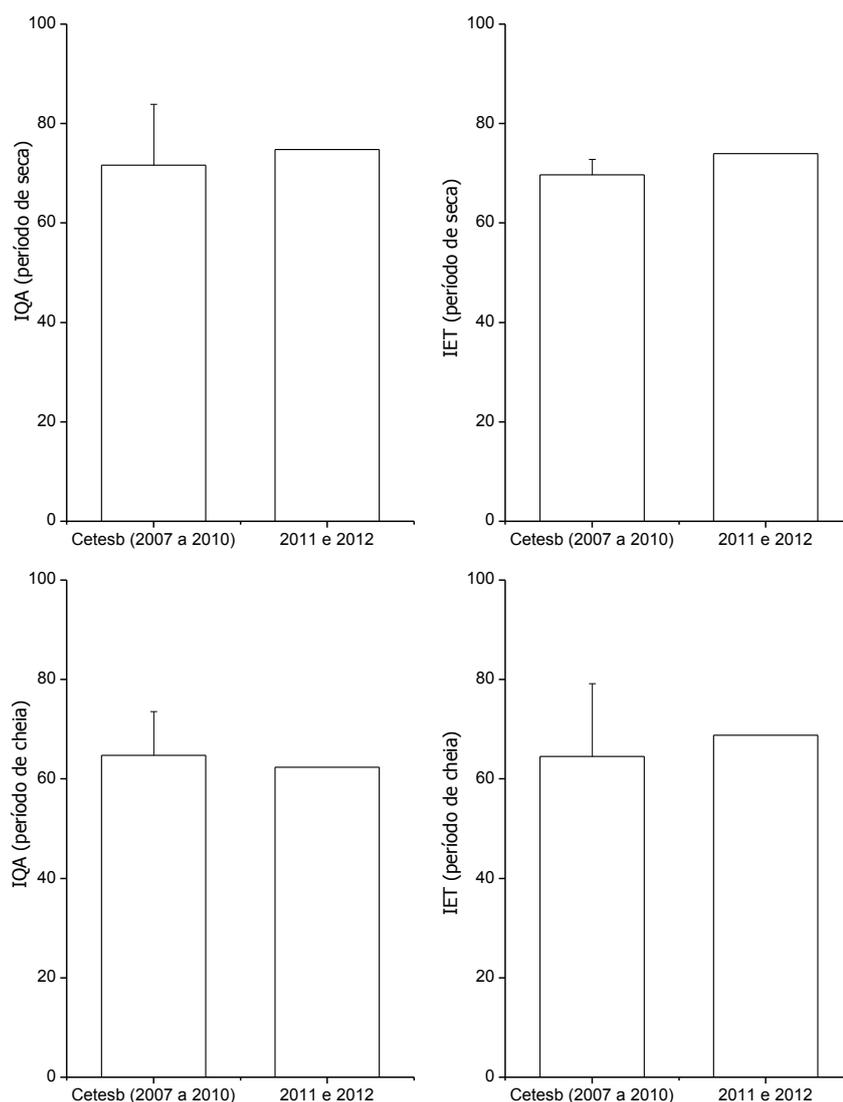


Figura 5. Variação temporal do IQA e IET para o período de 2007-2010 e 2011-2012.

Os resultados para os dados da CETESB foram $71,62 \pm 12,32$ para o período de estiagem e $64,73 \pm 8,88$ para as chuvas e para as coletas de 2011 e 2012 os resultados foram 74,79 para a estiagem e 62,34 para as chuvas, caracterizando, portanto, a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita como boa condição para o período de 2007 a 2012, apesar das intensas atividades antrópicas existentes no seu entorno. Carvalho et al. (2000) afirmam que o IQA não atinge uma abordagem multidimensional, por não considerar outros contaminantes potenciais importantes, como os agrotóxicos, para compor o cálculo. Segundo Lopes et al. (2008) substâncias em concentrações tóxicas à biota, como hidrocarbonetos e metais pesados, também não são consideradas havendo a necessidade de analisar uma série de outras variáveis que não compõem o IQA para se obter resultados mais detalhados sobre a qualidade da água. O mapa de uso e ocupação do solo do entorno do reservatório de Barra Bonita (Figura 4) evidencia o domínio da atividade agrícola na região, seguida pela área de urbanização. Considerando o buffer de 1 km no entorno do reservatório, totalizando uma área de 49.729 hectares, as porcentagens referentes aos diferentes tipos de uso do solo são: 47,2 % para a área agrícola (23.463,17 ha), 7,45 % para a área natural (3.706,8 ha), 1,35 % para a área

urbana (672,81 ha) e 0,2 % para a infraestrutura (97,75 ha). Dessa forma, torna-se evidente a grande influência da atividade agrícola de cultivo de cana-de-açúcar na qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, sendo a principal fonte de degradação da qualidade de suas águas, devido à contaminação e poluição dos recursos hídricos por agrotóxicos e de fertilizantes (i.e. N e P) empregados no processo produtivo que ocorre de forma direta através do escoamento superficial e indireta pela contaminação do solo, atingindo as águas superficiais pelos processos de infiltração e percolação. Ressalta-se que, de acordo com dados do IBGE (2011), foram plantados 10.060 hectares de cana-de-açúcar no município de Barra Bonita (aproximadamente 43% da área agrícola considerada no buffer de 1 km), o que corresponde a um rendimento médio de 88.000 quilogramas por hectare.

A supressão das matas ciliares influencia diretamente os processos erosivos nas margens do reservatório, ocasionando assoreamento, além de limitar sua função de barreira natural contra a entrada de agrotóxicos e também a de abrigar espécies nativas, tanto animal como vegetal, e atuar como corredor ecológico, reduzindo a biodiversidade. A urbanização também pode ser responsabilizada pela degradação da qualidade da água, pois os centros urbanos encontram-se nas margens do reservatório e à montante, sendo, portanto, muito provável o despejo de esgoto doméstico no corpo hídrico.

Assim como observado no IQA, os valores obtidos para o IET em ambos os períodos não apresentaram variações significativas (Figura 5). Os resultados obtidos pela análise dos dados da CETESB foram $69,70 \pm 3,16$ para o período de estiagem e $64,55 \pm 14,63$ para as chuvas e para as coletas de 2011 e 2012 os resultados foram 73,94 para a estiagem e 68,90 para as chuvas, demonstrando que o reservatório de Barra Bonita foi classificado como hipereutrófico, ou seja, o corpo hídrico apresenta o mais elevado grau de trofia, influenciando a redução da qualidade de suas águas tanto para o consumo humano, quanto para a conservação da biodiversidade local.

4. CONCLUSÃO

Os cálculos do Índice de Qualidade de Água (IQA) baseados nos dados das coletas de 2011 e 2012 e na metanálise realizada a partir dos relatórios da CETESB demonstraram que a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita pode ser considerada como *boa* para o período entre os anos de 2007 a 2012, apesar das intensas pressões antrópicas, principalmente em decorrência das atividades agrícolas, às quais o reservatório encontra-se submetido. O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) classificou o reservatório como hipereutrófico entre os anos de 2007 e 2012, mostrando o alto grau de fertilização de suas águas. Por meio das análises dos índices utilizados e da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo do entorno do reservatório de Barra Bonita foi possível observar que os tipos de uso do solo empregados em seu entorno, destacando-se as atividades agrícolas, estão contribuindo diretamente para a degradação da água desse ambiente, incrementando a fertilização das águas. Dessa forma, esse diagnóstico possibilita um planejamento adequado visando à conservação da qualidade da água do reservatório de Barra Bonita.

5. AGRADECIMENTOS

À FAPESP, órgão financiador, pela concessão da bolsa de iniciação científica, processo nº 2011/08187-7, que possibilitou a execução desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Índice de qualidades das águas**. Portal da qualidade das águas. Brasil, 2009. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>> Acesso em: 25 nov. 2011.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 1, p. 81-97, jan./mar. 2003.
- ANTONIO, R. M. **Potencial de heterotrofia do reservatório de Barra Bonita (SP), com ênfase na decomposição de polissacarídeos extra celulares de espécies fitoplanctônicas**. 2004. 135 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington D.C., 1998. 1193 p.
- BARBOSA, C. F. et al. Sistema de gestão de recursos hídricos através de Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em Áreas de Proteção Ambiental Municipal (APA ou APAM). Campinas: UNICAMP/Instituto de Geociências – IG, 2003. 39 p. Trabalho de Graduação.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução 357**. Brasília, 2005. 23 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução 274**. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/praias/res_conama_274_00.pdf>. Acesso em: 12 maio 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília, 2003. 56 p. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/cianobacterias.pdf>> Acesso em: 01 jun. 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**. Brasília, 2011. 34 p.
- CALIJURI, M. C.; DOS SANTOS, A. C. A.; JATI, S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, S. P. – Brazil). *Journal of Plankton Research*, v. 24, n. 7, p. 617 – 634, 2002. <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/24.7.617>
- CARVALHO, A. R.; SCHLITTER, F. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422000000500009>
- CAVENAGHI, A. L. et al. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 21, ed. especial, p. 43-52, 2003.

- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Índices de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/agua /%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas)> Acesso em: 18 Jun. 2012.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Florações de cianobactérias**. São Paulo, 2011a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/101-floracoes-de-cianobacterias>>. Acesso em: 16 maio 2012.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo**. São Paulo, 2011b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/35-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 02 out. 2011.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Variáveis de qualidade de água**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#transparencia>>. Acesso em: 19 Jan. 2011.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Determinação de resíduos em águas - Método gravimétrico**. Normalização Técnica L5.149. São Paulo, 1978.
- CRUZ, P. et al. Estudo comparativo da qualidade físico-química da água no período chuvoso e seco na confluência dos rios Poti e Parnaíba em Teresina/Pi. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: IFS, 2007.
- DE FILIPPO, R. **Ciclo sazonal do fitoplâncton, fatores climáticos e hidrológicos na represa de Barra Bonita, São Paulo**. 1987. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1987.
- DELLAMANO – OLIVEIRA, M. J. **Comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita e sua relação com a composição e quantidade de polissacarídeos extracelulares e agregados gelatinosos**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.
- ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. **A bacia hidrográfica do rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar**. São Carlos: Rima, 2000. 188 p.
- FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE (São Paulo). **Perfil municipal: Barra Bonita – SP e Igaracú – SP**. 2010. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/>>. Acesso em: 24 jan. 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE cidades: Barra Bonita – SP e Igaracú - SP**. 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow .htm?1](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1)>. Acesso em: 24 jan. 2011.
- KOROLEFF, F. Determination of nutrients: method of seawater analysis. In: GRASSHOFF, K. (Ed.). **Method of seawater analysis**. New York: Verlag Chemie Weinheim, 1976. P 125-31, 1976.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.930>)

LIEBMANN, H. **Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie**. 2nd. ed. München: Oldenbourg Verlag; Jena, Fischer Verlag, 1962. vol. 1

LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; ARAÚJO, L. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water chemistry**: some revised methods for limnologists. London: Freshwater Biological Association, 1978. 121p. (Scientific Publications, 36).

MAROTTA, H.; SANTOS, R. O.; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. *Ambiente & Sociedade*, Campinas, v. 11, n. 1, p. 67-79, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100006>

MARTINS, R. C. **Análise dos impactos sócio-ambientais do processo de modernização agrícola das áreas de influência dos reservatórios de Barra Bonita e Jurumirim**. 2000. 199 f. Tese (Doutorado em Sociologia Política) – Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.

MERCANTE, C. T. J.; CARMO, C. F.; RODRIGUES, C. J.; OSTI, J. A. S.; MAINARDES PINTO, C. S.; VAZ-DOS-SANTOS, A. M. et al. Limnologia de viveiro de criação de tilápias do Nilo: avaliação diurna visando boas práticas de manejo. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 37, n. 1, 73-84, 2011.

OLIVEIRA, H. T. **Avaliação das condições limnológicas de um compartimento (Braço do Rio Capivara) e sua interação com o reservatório de Barra Bonita, S.P., com ênfase na comunidade fitoplanctônica**. 1993. 328 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

OLIVEIRA, L. L. D. de. **Estudo da estrutura da comunidade zooplânctônica e sua relação com as cianobactérias em três reservatórios do Médio rio Tietê, SP**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PANHOTA, R. S.; BIANCHINI JR, I. Potential cycling of organic matter in a eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP – Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 1 – 11, 2003.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. 197 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PRADO, R. B. **Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: estudo no médio rio Pardo – SP (período de 1985 a 1997)**. 209 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.930>)

RODGHER, S. et al. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 65, n. 4, p. 697-710, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-2005000400017>

STRICKLAND, J. D; PARSONS, T. R. **A manual of sea water analysis**. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1960. Bulletin n. 125. p. 1-185.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003. 247p.

WETZEL, R. G. **Limnology**. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.

WISNIEWSKI, M. J. S. **Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplanctônica do reservatório de Barra Bonita - SP**. 1998. 140 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998.