

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**SÓLIDOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS PARA AUXILIAR A AVALIAÇÃO DO  
GRAU DE TROFIA DO RESERVATÓRIO DE ITUPARARANGA, BACIA DO RIO  
SOROCABA, SP**

Aluno: Lucas Simão Freitas Pena  
Orientadora: Prof<sup>a</sup> Tit. Maria do Carmo Calijuri

Monografia apresentada ao curso de  
graduação em Engenharia Ambiental da  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo

São Carlos, SP

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimentos ao Usuário do Serviço de  
Biblioteca – EESC/USP.

P397s Pena, Lucas Simão Freitas  
Sólidos orgânicos e inorgânicos para auxiliar a  
avaliação do grau de trofia do reservatório de  
Ituparanga, Bacia do Sorocaba, SP. / Lucas Simão  
Freitas Pena; orientadora Maria do Carmo Calijuri. São  
Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2012.

1. Nível de trofia. 2. Eutrofização. 3.  
Reservatórios tropicais. 4. Bacia do Sorocaba. I.  
Título.

*Dedico essa monografia de conclusão de curso à minha avó Ivonne, que me acompanhou durante os cinco anos de percurso da Engenharia Ambiental e me abastecerá incondicionalmente de amor e memórias durante as novas jornadas que virão.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em especial, à Professora Titular Maria do Carmo Calijuri pelos valiosos momentos de orientação para realização dessa pesquisa e pela oportunidade de participar ativamente do projeto temático “Contribuição ao conhecimento do ciclo do carbono no Reservatório de Itupararanga como subsídio para a sustentabilidade da Bacia do Rio Sorocaba (SP)” como membro da equipe do Laboratório BIOTACE, com os quais compartilhei importante momentos do meu desenvolvimento profissional, em especial durante os trabalhos em campo e em laboratório.

Ao futuro doutor, grande amigo e fanfarrão Davi Gasparini Fernandes Cunha que me acompanhou durante todo o processo de pesquisa, me apoiando sem cessar na busca pelos melhores caminhos para o desenvolvimento do trabalho e da minha vida.

Aos participantes da banca julgadora, Doutoras Adriana Cristina Poli Miwa e Patrícia Bortoletto de Falco pela disponibilidade e prontidão.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica (Processo 2009/50843-9) concedida para a concretização dessa pesquisa.

Ao apoio de todos do Laboratório BIOTACE, em especial, à Mestranda Lorena Ferrari Secchin e às Doutoras Flávia Bottino e Adriana Miwa presente na banca.

Aos grandes amigos e parceiros dessa minha jornada USPiana em São Carlos e ao redor do mundo: Livia Rodrigues Ignácio, Thaís Espinossi Fontanello, Eduardo Blanco, Eduardo Delosso Penteado e Gabriel Dibbern Sacchi.

Aos meus amigos paulistanos de vida e coragem, Gustavo Joaquim, Vitor Bresciani e Fernando Trambacos, por toda inspiração e companheirismo irrestrito pelas aventuras da vida.

Aos meus pais, Vanderlei e Suely, pelo apoio incondicional e pelo amor sem fim e sem medida em todos os momentos, que me permitiram ultrapassar com coragem e bravura os diversos desafios desses últimos 23 anos cheios de alegria e felicidade. Agradeço ainda à toda minha família, que me acompanha aonde quer que eu vá com um amor transcontinental.

À minha namorada, companheira e amiga Carolina Ramazzina Garcez Van Moorsel que me mostrou e me prova a cada dia que com amor não há limites para sonhar e construir uma vida *pleine de bonheur!*

## SUMÁRIO

Lista de Figuras .....	i
Lista de Tabelas .....	iv
Resumo .....	v
Abstract .....	vi
1. Introdução .....	1
2. Objetivos .....	4
3. Revisão Bibliográfica .....	5
4. Materiais e Métodos .....	15
4.1 Área de Estudo .....	15
4.2 Plano de Amostragem .....	18
4.3 Variáveis hidráulicas e climatológicas .....	23
4.4 Variáveis da água .....	23
4.5 Análise estatística .....	26
5. Resultados e Discussão .....	27
5.1 Variáveis hidráulicas e climatológicas .....	27
5.2 Variáveis físicas e químicas da água .....	28
5.2.1 Estação de amostragem BR1 .....	28
5.2.2 Estação de amostragem BR2 .....	30
5.2.3 Estação de amostragem BR3 .....	31
5.2.4 Estação de amostragem EC1 .....	33
5.2.5 Estação de amostragem EC2 .....	35
5.2.6 Estação de amostragem EC3 .....	36

5.3 Nutrientes e clorofila <i>a</i> .....	38
5.3.1 Fósforo total .....	38
5.3.2 Fosfato total dissolvido .....	40
5.3.3 Ortofosfato .....	42
5.3.4 Nitrogênio Kjeldahl total .....	43
5.3.5 Nitrito .....	44
5.3.6 Nitrato .....	45
5.3.7 Clorofila <i>a</i> .....	46
5.4 Transparência da água .....	48
5.5 Sólidos suspensos totais, orgânicos e inorgânicos .....	49
5.6 Variáveis do sedimento .....	55
5.6.1 Fósforo total .....	55
5.6.2 Matéria orgânica .....	56
5.7 Índice de estado trófico (IET) .....	57
5.8 Análise de dados .....	60
6. Conclusão .....	64
7. Referências Bibliográficas .....	66



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática das três principais zonas espaciais de um reservatório artificial e suas respectivas características físicas e químicas (E.C.: Energia Cinética; E.P.: Energia Potencial; [ ]: Concentração; SST: Sólidos Suspensos Totais). Modificado de: Thornton et al. (1990).....	7
Figura 2: Localização do reservatório de Itupararanga (SP) e principais municípios ao seu redor. Fonte: Adaptado de Marciano (2001).....	16
Figura 3: Carta em escala com a localização das Estações de amostragem no Reservatório de Itupararanga, Sorocaba (SP).....	19
Figura 4: Fotos das estações BR-1, BR-2 e BR-3, localizadas em diferentes braços do reservatório de Itupararanga, bacia do Sorocaba (SP) e as respectivas coordenadas geográficas (longitude/latitude).....	21
Figura 5: Fotos das estações EC-1, EC-2 e EC-3, localizadas no eixo central do reservatório de Itupararanga, bacia do Sorocaba (SP) e as respectivas coordenadas geográficas (longitude/latitude).....	22
Figura 6: : Precipitação pluviométrica conforme dados diários do posto da empresa operadora da barragem, Votorantim Energia.....	27
Figura 7: Cota média do nível de água do reservatório de Itupararanga, entre janeiro de 2009 e junho de 2010.....	28
Figura 8: Perfis de temperatura, pH e oxigênio dissolvido na estação de amostragem BR1, na entrada do reservatório de Itupararanga.....	29
Figura 9: Perfis de temperatura, pH e oxigênio dissolvido na estação de amostragem BR2, em braço mais preservado do reservatório de Itupararanga.....	31
Figura 10: Perfis de temperatura, pH e oxigênio dissolvido na estação de amostragem BR3 em braço do reservatório de Itupararanga.....	33
Figura 11: Perfis de temperatura, pH e oxigênio dissolvido nos seis meses amostrados na estação EC3.....	35
Figura 12: Perfis de temperatura, pH e oxigênio dissolvido nos seis meses analisados na estação de coleta EC2.....	36

Figura 13: Perfis de temperatura, pH e oxigênio dissolvido nos seis meses analisados na estação de amostragem EC1.....	38
Figura 14: Perfis de fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010.....	40
Figura 15: Perfis de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010, com limite de detecção de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ .....	42
Figura 16: Perfis de nitrogênio total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010.....	44
Figura 17: Perfis de nitrato ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010.....	46
Figura 18: Perfis de clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010.....	48
Figura 19: Profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (m) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga, nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010.....	49
Figura 20: Perfis de concentração de sólidos suspensos totais (SST) na coluna de água das estações de amostragem nos seis meses de coleta no reservatório de Itupararanga.....	51
Figura 21: Perfis de concentração de sólidos suspensos inorgânicos nas estações de amostragem nos seis meses de coleta, reservatório de Itupararanga.....	53
Figura 22: Perfis de concentração de sólidos suspensos orgânicos nas estações de amostragem nos seis meses de coleta, reservatório de Itupararanga.....	54
Figura 23: Fósforo Total no sedimento nas estações amostradas no reservatório de Itupararanga para os seis meses de coleta.....	55

Figura 24: Matéria Orgânica no sedimento (%) nas estações amostradas no reservatório de Itupararanga nos seis meses de coleta.....	57
Figura 25: Índice de Estado Trófico (Fósforo Total e Clorofila a), conforme metodologia proposta por Lamparelli (2004), nas seis estações de amostragem para o período de análise.....	58
Figura 26: Índice de Estado Trófico médio nas estações de amostragem nos seis meses de estudo. Os limites inferiores dos níveis de trofia seguem classificação estabelecida na tabela 6.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estados de trofia dos ecossistemas aquáticos e suas principais características.....	10
Tabela 2: Características gerais do reservatório de Itupararanga, Sorocaba (SP), entre elas parâmetros morfométricos, de usos múltiplos e climáticos.....	18
Tabela 3: Descrição das seis estações de amostragem escolhidas.....	20
Tabela 4: Classificação do estado trófico para reservatórios, de acordo com o valor do IET e das concentrações de fósforo total e clorofila a.....	24
Tabela 5: Concentrações médias (mg/L) de sólidos suspensos totais nos seis meses de coleta nas Estações de Amostragem, no reservatório de Itupararanga.....	52
Tabela 6: Classificação do Índice de Estado Trófico de acordo com Lamparelli (op. cit) e a cor representativa.....	58
Tabela 7: Índice de Estado Trófico médio, calculado a partir do IET(PT) e do IET(Cla). As cores classificatórias seguem os níveis propostos na Tabela 6.....	59
Tabela 8: Matriz de correlação Log Pearson entre as oito variáveis determinadas nos seis meses e estações amostrados.....	60
Tabela 9: Matriz de coeficientes de correlação Log Pearson nos meses secos (agosto de 2009, abril e junho de 2010) para todas as estações de amostragem.....	61
Tabela 10: Matriz de coeficientes de correlação Log Pearson nos meses chuvosos (outubro e dezembro de 2009 e fevereiro de 2010) para todas as estações de amostragem.....	61
Tabela 11: Matriz de coeficientes da correlação Log Pearson para as estações de amostragem nos braços do reservatório de Itupararanga, nos seis meses de coleta.	62
Tabela 12: Matriz de coeficientes da correlação LogPearson para estações de amostragem no eixo central do reservatório, nos seis meses de coleta.....	63

## RESUMO

PENA, L.S.F. **Sólidos orgânicos e inorgânicos para auxiliar a avaliação do grau de trofia do Reservatório de Itupararanga, Bacia do Sorocaba, SP.** Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

A disponibilidade hídrica é um tema de importância inestimável, pois é determinante no desenvolvimento social e econômico das comunidades em todo o mundo, no presente e no futuro. Nesse intuito, a avaliação do estado trófico de reservatórios tem sido aplicada com frequência, principalmente para realização de estudos comparativos de sistemas distintos e como ferramenta de monitoramento espacial e temporal da qualidade de água, com o objetivo de garantir sua disponibilidade para os diversos usos, visando à sustentabilidade. Este Trabalho de Graduação teve como objetivo primordial avaliar o estado trófico do reservatório de Itupararanga, Ibiúna, SP, por meio da análise das variáveis da água (pH, temperatura, oxigênio dissolvido, concentrações de espécies de fósforo e nitrogênio e de clorofila a), além da discussão da relevância de outras variáveis auxiliares para essa avaliação, principalmente dos sólidos suspensos totais (SST) e suas respectivas frações orgânicas e inorgânicas. De acordo com as características de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do reservatório de Itupararanga, foram escolhidas seis estações de amostragem, sendo três delas no eixo central (códigos EC-1, EC-2 e EC-3) e outras três em braços do sistema (códigos BR-1, BR-2 e BR-3). A análise das variáveis da água e do sedimento permitiu caracterizar o reservatório quanto a sua dinâmica espacial, física, química e biológica. Nesse contexto, os sólidos suspensos totais foram determinantes para a caracterização do sistema e demonstraram relação positiva com as condições de estratificação térmica e química e com as respostas desse ecossistema aquático aos diversos processos naturais e antrópicos em sua bacia de drenagem, principalmente quanto ao regime de chuvas dos meses amostrados.

Palavras-chave: estado trófico; eutrofização; reservatórios tropicais; Bacia do rio Sorocaba.

## ABSTRACT

**PENA, L.S.F. Organic and Inorganic Suspended Solids to assist trophic state evaluation of Itupararanga Reservoir, Sorocaba River Basin, SP.** Monograph (Course Conclusion), São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2012.

Water availability is an issue of extreme importance, once it is key-factor of the social and economic development around the world, in the present and in the future. Accordingly, the trophic state evaluation of reservoirs have been frequently applied, mainly to achieve comparative studies of different systems and also as a tool for spatial and temporal monitoring of water quality in a way to assure water availability for multiple uses, aiming the sustainability principles. This research presented as main objective the trophic state evaluation of Itupararanga Reservoir, Sorocaba, SP, through the analysis of various water parameters (pH, temperature, dissolved oxygen, nitrogen, phosphorous and chlorophyll a concentrations), beyond the discussion of the relevance of other auxiliary parameters to assist the evaluation, in special Total Suspended Solids and its Organic and Inorganic fractions. In accordance with the land use characteristics of the Itupararanga Reservoir's watershed, six sampling stations were set, three in the main axe (codes EC1, EC2 and EC3) and other three in the arms of the reservoir (codes BR1, BR2 and BR3). The analysis of the water and the sediment parameters allowed the characterization of the reservoir in relation of its spatial, physical, chemical and biological dynamics. In this context, the Total Suspended Solids were central for the system characterization and they showed positive relation with the thermal and chemical stratification conditions and with the responses of this aquatic ecosystem to the various natural and anthropic processes along its watershed, mostly in accordance with the hydrological period sampled.

Key-Words: trophic state; eutrophication; tropical reservoirs; Sorocaba River Basin.

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica é um tema de importância inestimável na atualidade, pois é determinante no desenvolvimento social e econômico das comunidades em todo o mundo, no presente e no futuro. O aumento da demanda por água, fruto do crescimento demográfico acelerado e do adensamento populacional nos centros urbanos, intensifica a pressão antrópica sobre os corpos hídricos e, consequentemente, ocasiona impactos diretos nas suas características quantitativas e qualitativas. Torna-se imprescindível, portanto, a discussão de diretrizes e metodologias para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos, com o objetivo de garantir sua disponibilidade para os diversos usos, não apenas em termos de quantidade, mas também de qualidade, visando à sustentabilidade.

Dentro deste contexto de desenvolvimento econômico, com crescente demanda por água e também por energia, a construção de reservatórios tornou-se uma alternativa corriqueiramente adotada para garantir o atendimento às necessidades de consumo das populações, principalmente daquelas adensadas nos grandes centros urbanos. Além disso, esses sistemas assumiram o caráter de usos múltiplos, pois suprem não apenas a demanda pública, mas também as necessidades da indústria e da produção agropecuária, ao mesmo tempo em que possuem funções recreativas. Os impactos das atividades humanas, e não apenas os processos naturais, devem ser considerados para o estudo e monitoramento dos recursos hídricos, visando ao entendimento da relação dualística homem-ambiente.

Dentre esses impactos, o aporte excessivo de nutrientes tem se configurado como um grave problema mundial, já que altera as características da coluna de água, afetando diretamente a vida aquática e os usos múltiplos dos reservatórios. Este processo de enriquecimento por nutrientes é denominado eutrofização artificial, cultural ou antrópica e tem contribuição tanto do despejo pontual de poluentes (esgotos doméstico e industrial), como da poluição difusa (lixiviação de áreas agrícolas e urbanas), comprometendo a qualidade da água.

O monitoramento e a investigação da qualidade da água dos reservatórios, quanto à descarga excessiva de nutrientes, assumem, enfim, fundamental importância para garantir a preservação destes dentro de níveis que propiciem a manutenção das relações ecológicas estabelecidas e dos múltiplos usos aos quais se destinam. Nesse intuito, a avaliação do estado trófico de reservatórios tem sido aplicada com frequência, principalmente para realização de estudos comparativos de sistemas distintos, como apresentado por Andreoli & Carneiro (2005) e Sperling et al. (2008), e

como ferramenta de monitoramento espacial e temporal da qualidade da água (LAMPARELLI, 2004; CETESB, 2010).

Porém, segundo Thornton et al. (1990) e Lamparelli (op. cit) ainda há poucos estudos a respeito da eutrofização em reservatórios tropicais e subtropicais que considerem adequadamente as suas peculiaridades e distinções em relação aos estudos da limnologia clássica de lagos temperados. Thornton et al. (op. cit) ainda ressaltaram as diferenças existentes entre os reservatórios e os lagos no que tange às variáveis físicas, químicas e biológicas, que são capazes de determinar respostas distintas entre eles, mesmo quando submetidos a impactos similares, sejam estes de origem natural ou antrópica.

Há necessidade de aprimoramentos das avaliações do estado trófico dos reservatórios, de modo que estas considerem variáveis que possibilitem uma interpretação desses sistemas próxima da realidade, tornando essas variáveis de fato, uma ferramenta confiável para o monitoramento ambiental (ZAGATTO et al., 1999). Além disso, os programas de monitoramento necessitam de variáveis robustas que contribuam para a esquematização de planos de amostragem eficientes e de esquemas representativos de coleta em campo, que permitam uma avaliação confiável do ecossistema quanto à eutrofização e uma rápida detecção de áreas prioritárias para intervenção.

Muitas pesquisas têm direcionado os objetivos para a descrição de correlações potenciais de algumas variáveis de reservatórios com o nível trófico dos mesmos, como biomassa pesqueira (MARCIANO, 2005; PANIKKAR & KHAN, 2008), comunidades planctônicas (NEDOVIC & HOLLERT, 2005; SZELAG-WASIELEWSKA, 2007; CAPUTO et al., 2008; IMOUBE & ADEYINKA, 2009; JANJUA et al., 2009). Ainda assim, há necessidade de obtenção de indicadores de estado trófico que apresentem alguns atributos, dentre eles a fácil quantificação, a rápida determinação e a correlação satisfatória com o nível trófico dos ambientes aquáticos. Indicadores que apresentem tais atributos seriam de extrema importância, em especial, para os sistemas de monitoramento ambiental de países em desenvolvimento, pois esses encontram obstáculos técnicos e financeiros para a adequada avaliação da qualidade de água dos seus recursos hídricos.

Nesse contexto, a presente pesquisa teve como foco colaborar na análise da contribuição efetiva da variável sólidos suspensos para a produtividade de represas e, portanto, na avaliação do estado trófico das mesmas, como sugerido por Istvánovics & Somlyódy (2001), Owens et al. (2005) e Bilotta & Brazier (2008). Os sólidos suspensos alteram a produtividade dos ecossistemas aquáticos, pois são limitadores da penetração de luz solar na coluna de água, o que diminui a profundidade da zona

eufótica, além de serem imobilizadores ou liberadores de nutrientes para o sistema. Deste modo, o presente estudo avaliou a contribuição dos sólidos orgânicos e inorgânicos para o nível de trofia do reservatório estudado e analisou a capacidade de predição do estado trófico do ambiente aquático por meio destas variáveis.

## 2. OBJETIVO

A presente pesquisa teve como objetivo principal avaliar o estado trófico do reservatório de Itupararanga, Sorocaba, SP. Essa avaliação foi realizada a partir da análise das variáveis da água determinantes para a compreensão do processo (pH, temperatura, oxigênio dissolvido, radiação solar incidente e subaquática, concentrações de espécies de fósforo e nitrogênio e de clorofila a). Além disso, como objetivo específico, foi discutida a relevância de outras variáveis auxiliares para a avaliação e mesmo para a predição do grau de trofia do sistema, principalmente dos sólidos suspensos totais (SST) e suas respectivas frações orgânicas (SSV – Sólidos Suspensos Voláteis) e inorgânicas (SSF – Sólidos Suspensos Fixos). Métodos estatísticos foram aplicados para facilitar a identificação de correlações entre os sólidos em suspensão e a qualidade de água e sua variação espacial e temporal. Foi possível analisar o comportamento sazonal do reservatório quanto ao seu estado trófico, devido à realização de coletas em diferentes fases do período hidrológico, caracterizado por flutuações naturais nos padrões de precipitação pluviométrica.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Deve-se reconhecer a importância de se considerar, para efeitos de pesquisa, de manejo e de gerenciamento dos recursos hídricos, a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial básica. A partir dos diferentes processos que ocorrem na bacia é que se torna possível o melhor entendimento da complexidade dos sistemas ecológicos, pois a adoção deste conceito exacerba a relação dualística homem-ambiente. Isso se deve, principalmente, ao fato de a qualidade dos sistemas aquáticos estar diretamente relacionada aos processos antrópicos e naturais que ocorrem nas áreas de vertentes, como por exemplo, o uso e ocupação do solo, os lançamentos de esgotos domésticos e industriais e o escoamento superficial pela precipitação pluviométrica. Portanto, é necessário que o gerenciamento e o monitoramento dos recursos hídricos, assim como as pesquisas relacionadas aos mesmos, abordem o tema tendo em vista esse caráter sistêmico dos processos.

A análise dos recursos hídricos com o recorte de uma bacia hidrográfica permite, ainda, a gestão ambiental adequada da água, já que se tornam possíveis a modelagem e a simulação dos processos dinâmicos da coluna de água com maior precisão (HONTI et al., 2010). A obtenção de resultados mais precisos é reflexo da interpretação dos mesmos dentro de escalas espaciais e temporais adequadas às variáveis analisadas.

Thornton et al. (1990) citaram quatro escalas a serem consideradas para o estudo dos reservatórios: Geológica, Macroescala, Mesoescala e Microescala. As variáveis de escala geológica influenciam a localização dos reservatórios no território, ou seja, representam as características do ambiente formadas ao longo do tempo geológico. Já a macroescala relaciona-se com as condições do relevo, da meteorologia e da rede de drenagem da bacia, portanto tem foco nas condições de entorno do sistema. A mesoescala, por sua vez, ocorre em nível individual do reservatório e tem relação direta com os gradientes verticais e horizontais do mesmo. As medições e as amostragens ocorrem na microescala, que possibilita a determinação das variáveis físicas, químicas e biológicas caracterizadoras dos processos do ecossistema aquático e de suas interfaces. Gubiani et al. (2011) também apontam para a importância de serem consideradas as escalas de tempo na avaliação das dinâmicas dos ecossistemas aquáticos de reservatórios artificiais, uma vez que a resiliência e a maturidade dos sistemas são influenciadas pela idade do barramento e pelo equilíbrio das comunidades biológicas neles presentes, conforme identificado pelos autores para uma série de reservatórios paranaenses.

Além das distinções entre as escalas do sistema, é imprescindível que o estudo de reservatórios considere as peculiaridades destes em relação aos sistemas lóticos (rios) e, principalmente, aos sistemas de lagos (LAMPARELLI, 2004). As diferenças limnológicas e ecológicas entre estes sistemas refletem a origem dos mesmos, já que os reservatórios são, em essência, interferências antrópicas no meio natural para suprir à demanda por água e energia das populações (LUZIA, 2004), enquanto os lagos são formados pelos processos naturais dos ecossistemas.

Dessa maneira, os reservatórios alteram significativamente as características da coluna de água e do ecossistema terrestre adjacente, com reflexo em toda a bacia hidrográfica (SANTOS, 1996). Portanto, como ressaltou Lamparelli (2004), é imprescindível considerar a inter-relação entre os sistemas lênticos e lóticos, já que os reservatórios modificam as características iniciais dos rios que os formam, diminuindo a velocidade do fluxo de água, aumentando a quantidade de material em suspensão à montante e contribuindo com significativas concentrações de organismos planctônicos à jusante.

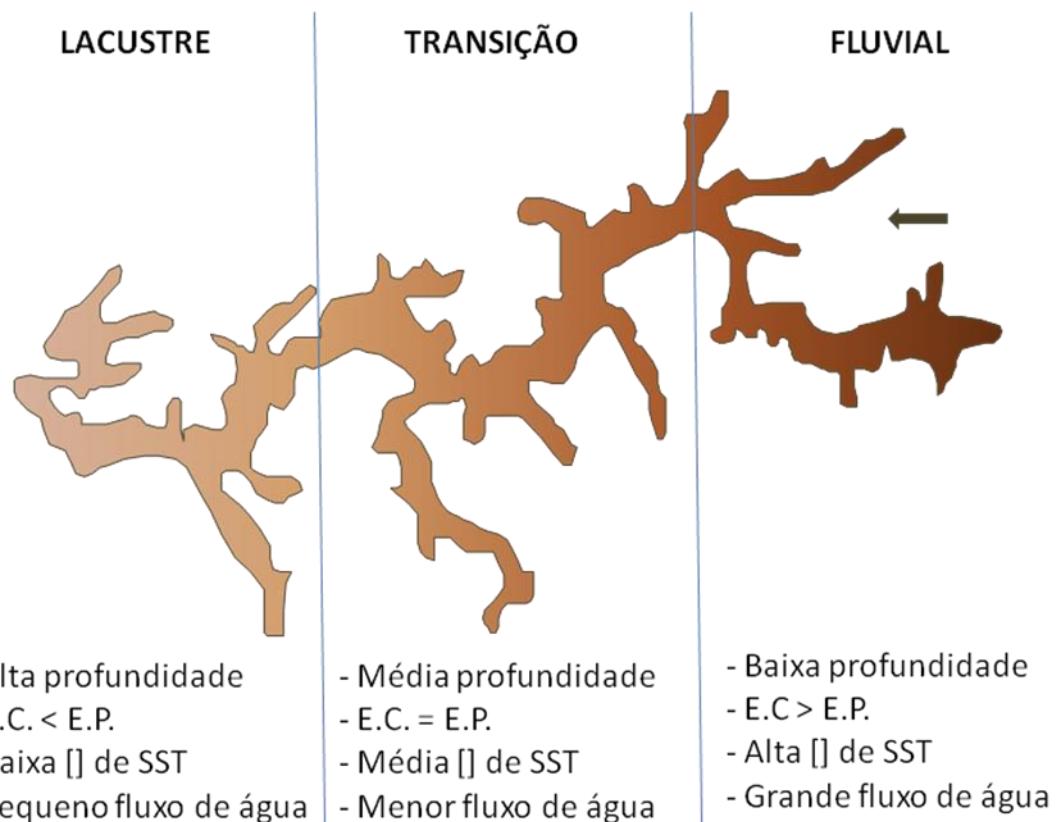
As modificações observadas após a construção de reservatórios ocorrem pelo fato de esses sistemas interferirem no equilíbrio dinâmico até então estabelecido no ecossistema aquático (lótico) e nas suas interfaces, pois alteram o balanço de energia do sistema, correspondente ao *continuum* do rio, como proposto por Vannote et al. (1980). Sendo assim, esse impacto no ecossistema da bacia hidrográfica é determinante para a qualidade de água dos próprios reservatórios, já que a inter-relação rios-reservatório influencia os mecanismos de mistura e de transporte da coluna de água, que modificam, por sua vez, a distribuição de energia, nutrientes e sedimentos no sistema (THORNTON et al., 1990; RIBEIRO FILHO, 2006).

A construção de barragens ao longo de rios tem modificado substancialmente o equilíbrio dinâmico conforme descrito por Vannote et al. (op. cit) e verificado por Xu & Milliman (2008) para o rio Yangtze, China. Os autores identificaram mudança, principalmente, no comportamento do transporte de sedimentos ao longo do rio, em especial após a instalação da barragem de Três Gargantas. O fluxo hídrico no rio Yangtze não apresentou variação significativa, porém houve alteração dos mecanismos de erosão e assoreamento que impactou o equilíbrio naturalmente estabelecido.

Além das variações intrínsecas às diferenças climáticas e hidromorfométricas dos sistemas aquáticos, é importante salientar a dinâmica espacial das características observadas em um reservatório. A heterogeneidade dos gradientes observada em um reservatório estará diretamente relacionada com a sua morfometria, vazões e condições de estratificação (DOS SANTOS, 2003).

Os gradientes horizontais ocorrem devido à crescente profundidade dos reservatórios, que normalmente terá o seu máximo próximo à barragem, formando zonas distintas no eixo do sistema: fluvial, de transição e lacustre. A Figura 1 apresenta, esquematicamente, as principais características dessas três diferentes regiões. As profundidades distintas interferem na penetração de luz solar, nas concentrações de oxigênio dissolvido e de nutrientes e na sedimentação de sólidos suspensos, o que pode conduzir à estratificação da coluna de água (THORNTON et al., 1990) e ocasionar mudanças na comunidade fitoplânctonica.

O ecossistema aquático estratificado, termicamente e/ou quimicamente, dependendo da variação observada, pode alterar significativamente os gradientes verticais da coluna de água. Dessa forma, ocorre uma diferenciação física, química e biológica dos estratos, apresentando influência direta nas concentrações de nutrientes, pH e produção primária ao longo da coluna de água (BIOTTA & BRAZIER, 2008).



**Figura 1: Representação esquemática das três principais zonas espaciais de um reservatório artificial e suas respectivas características físicas e químicas (E.C.: Energia Cinética; E.P.: Energia Potencial; [ ]: Concentração; SST: Sólidos Suspensos Totais)**  
Modificado de: Thornton et al. (1990)

A estratificação depende de fatores externos ao ecossistema aquático, ou seja, os ciclos biogeoquímicos atuam no estabelecimento das propriedades físicas da

estratificação. Boehrer & Schultz (2008) constataram que vários processos contribuem para a transferência de calor/energia através dos estratos da coluna de água em reservatórios, destacando-se a radiação solar, os ventos, a precipitação e evaporação e os fluxos de entrada e saída de água do sistema.

Além disso, há alteração da qualidade de água nos reservatórios oriunda, principalmente, dos impactos humanos nos mesmos. Dentre esses impactos, o aporte excessivo de nutrientes tem se destacado como um grave problema mundial, já que altera as características da coluna de água, impactando negativamente a vida aquática e os usos múltiplos dos reservatórios (LAMPARELLI, 2004; PARINET et al., 2004; LEONE, 2008; HEISLER et al., 2008; SMITH & SCHINDLER, 2009; HONTI et al., 2010). Apesar de o processo de eutrofização ser observado naturalmente, em escala geológica, o despejo de esgotos domésticos e industriais nos corpos de água e o aumento no uso de fertilizantes na agricultura ocasionam a aceleração desse processo como observado nos estudos de Mosca (2008) e Domagalski et al. (2007).

Os impactos das atividades humanas, e não apenas os processos naturais, devem ser considerados para o estudo e monitoramento dos ambientes aquáticos. Liu et al. (2008) demonstraram, através da construção de modelos de previsão econômicos-ecológicos das variáveis físicas, químicas e biológicas para o lago Qionghai, China, entre os anos de 2004 e 2015, a relação direta entre as condições do sistema aquático e o uso e cobertura da respectiva bacia hidrográfica. Os cenários obtidos pelos autores evidenciaram a importância de se considerar, em estudos de ecossistemas aquáticos, os diferentes subsistemas que interferem na bacia hidrográfica, sendo citados pelos autores: sistema social, sistema econômico, ecossistema terrestre, sistema de fluxo de água (tributários, escoamento superficial, consumo humano etc.), sistema poluente e, por fim, o ecossistema aquático.

Os resultados obtidos por Parinet et al. (2004) na avaliação do estado trófico de um sistema de lagos em cascata na Costa do Marfim, convergem para a afirmação de Liu et al. (2008) quanto à relevância do uso e cobertura do solo das vertentes para a qualidade de água. Os primeiros lagos do sistema analisado por Parinet et al. (op. cit.), que possuíam vertentes pouco degradadas e de uso rural, apresentaram grau de trofia menor do que os últimos, os quais recebiam o aporte do esgoto doméstico da população urbana que ocupava as suas margens. A mesma relevância da cobertura e uso do solo para a qualidade de água de reservatórios foi observada por Chua et al. (2009) para a bacia de drenagem do reservatório Kranji, em Cingapura, através da análise da qualidade de água do escoamento superficial e subsuperficial das margens do sistema. Os autores obtiveram correlações entre os parâmetros da água coletada nas margens e do grau de trofia do sistema lítico que permitiram identificar a

principal fonte de nutrientes e poluentes caracterizados, no caso os fertilizantes das áreas rurais da bacia.

Assim, a eutrofização artificial caracteriza-se como um processo dinâmico e complexo, que leva a mudanças qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físico-químicas do meio e na produtividade do sistema (ANDREOLI et al., 2005). Dentre os nutrientes atuantes no fenômeno da eutrofização, os principais são o fósforo e o nitrogênio (TOLEDO, 1983; LEONE, 2008). Lamparelli (2004) ressaltou que os lagos e os reservatórios são mais suscetíveis à eutrofização do que os rios, pois se configuram como ambientes lênticos, apresentando condições favoráveis para o crescimento de algas e outros organismos.

Porém, a distribuição destes nutrientes no reservatório, assim como a resposta biológica do sistema ao aporte dessas substâncias, é influenciada diretamente pelos diversos parâmetros físicos e químicos da coluna de água, que são dependentes das forçantes que atuam na bacia hidrográfica, como a morfométrica, a climática e a antrópica (THORNTON et al., 1990). Os parâmetros físicos e químicos apresentam correlação positiva com as causas e os efeitos da eutrofização, como comprovado por Parinet et al. (2004) para dezoito variáveis, entre elas Sólidos Suspensos, Temperatura, pH e Oxigênio Dissolvido, e por Boher & Schultz (2008) que demonstraram a relação entre a estratificação do sistema e a qualidade da água do mesmo. Smith & Schindler (2009) indicam ainda a necessidade de se compreender a interação entre o aporte de nutrientes ao sistema aquático e a estabilidade desses ecossistemas, além de ressaltarem a importância de se considerar a influência do processo de eutrofização sobre a dinâmica dos demais contaminantes do corpo de água, em especial dos patogênicos.

De acordo com os estudos de Salas & Martino (1991) e Lamparelli (2004), as correlações entre as variáveis de qualidade de água quantificadas (físicas, químicas e biológicas) e os limites a serem considerados entre os graus de trofia devem corresponder às singularidades de cada sistema aquático, principalmente em relação às diferenças inerentes aos ambientes de clima tropical e temperado, e aos sistemas lóticos e lênticos. Dodds et al. (2006) destacaram que o estudo de condições ambientais de referência é imprescindível para se mitigar o enriquecimento de nutrientes nos sistemas aquáticos. Tais condições de referência permitiriam, segundo os autores, o agrupamento de sistemas de reservatórios por “ecoregiões de referência”.

Tendo em vista essa necessidade da análise da qualidade de água quanto ao enriquecimento por nutrientes e a partir da caracterização dos ambientes aquáticos em Oligotrófico, Mesotrófico e Eutrófico (Tabela 1), Carlson (1977) propôs o Índice do

Estado Trófico, que foi modificado primeiramente por Toledo (1983) e em um segundo momento por Lamparelli (2004), para adaptar o IET às condições do clima tropical (ZAGATTO, 1999).

**Tabela 1: Estados de trofia dos ecossistemas aquáticos e suas principais características**

Estado Trófico	Características
Oligotrófico	Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os múltiplos usos da água.
Mesotrófico	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, geralmente afetados por atividades antrópicas, em função das quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus múltiplos usos.

**Fonte: Carlson (1977)**

Lamparelli (op. cit.) propôs, então, um novo Índice de Estado Trófico (IET), modificado de Carlson (op. cit.), calculado a partir das concentrações de fósforo total e clorofila-a na água, sendo este índice mais sensível e coerente quando são estudados ambientes tropicais. A mesma pesquisadora propôs diferentes fórmulas para o cálculo do IET em sistemas lênticos (lagos e reservatórios) e lóticos (rios).

Usualmente, apenas as variáveis fósforo e nitrogênio são consideradas no índice de estado trófico. Alguns estudos indicam uma correlação mais significativa da variável clorofila-a com a concentração de fósforo na água, em comparação àquela observada com a concentração de nitrogênio, sobretudo quando o fósforo é o fator limitante para o crescimento fitoplânctônico (BEZERRA-NETO & PINTO-COELHO, 2002; LAMPARELLI, op. cit.; SCHUSSLER et al., 2007; DOMAGALSKI et al., 2007). Em alguns sistemas, contudo, o nitrogênio pode se apresentar como fator limitante da produção primária, no lugar do fósforo (HUSZAR et al., 2006; GLIBERT et al., 2008).

Além disso, alguns estudos têm demonstrado que a produtividade primária não é limitada apenas pela concentração de nitrogênio e/ou fósforo na coluna de água, mas sim pela composição relativa desses nutrientes no sistema, ou seja, pela relação N:P (VON SPERLING et al., 2008). Heisler et al. (2008), a partir da análise da relação da eutrofização com as florações de algas nos reservatórios dos EUA, observaram que a ocorrência dos episódios de floração teve maior correlação com a composição

N:P. Todavia, as condições limitadoras da produtividade primária em lagos e reservatórios apresentam significativa variabilidade de acordo com as peculiaridades de cada sistema (HUSZAR et al., 2006; VON SPERLING et al., 2008).

Entre os gradientes que influenciam a produtividade primária, a radiação solar se destaca, pois é imprescindível para o crescimento da biomassa fitoplânctonica e para a distribuição de oxigênio dissolvido e nutrientes, já que além de transferir energia térmica ao sistema, possibilita o aumento do metabolismo fotossintético e, consequentemente, o maior consumo de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, e a liberação de oxigênio para a coluna de água (RODRIGUES, 2002; VON SPERLING et al., 2008). A delimitação da zona eufótica da coluna de água é essencial para a caracterização mais representativa do sistema em estudo, já que a extensão da mesma depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática, estando diretamente relacionada aos parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água. Do mais, Chellappa et al. (2009) destacam que em reservatórios de clima tropical, a dinâmica da comunidade fitoplânctonica está intrinsicamente relacionada ao regime hidrológico, apresentando padrões distintos nos períodos úmido e seco.

Lamparelli (2004) e Bilotta & Brazier (2008) ressaltaram que, além da penetração de luz, outro aspecto que tem influência na produtividade planctônica é a presença de material em suspensão na água. Primeiramente, o material em suspensão inorgânico diminui a produtividade do sistema, pois altera a turbidez da coluna de água, contribuindo para a dispersão e absorção da radiação. Em um segundo momento, dependendo da composição do material em suspensão, este material pode se associar ao fósforo, o qual não estará disponível ao fitoplâncton na coluna de água (CASALÍ et al., 2008), também afetando a produtividade primária e influenciando os resultados das análises de qualidade de água. Entretanto, os sólidos suspensos não são apenas poluentes por peso, volume e associação a nutrientes, mas também estão associados a diferentes compostos químicos e orgânicos, como organismos patogênicos e metais pesados, que impactam a qualidade de água e apresentam efeito acumulativo na cadeia alimentar.

Todavia, não há consenso quanto ao uso da transparência como indicador de eutrofização, já que estudos apontam para conclusões distintas quanto à correlação dessa variável com as concentrações de clorofila-a e de fósforo encontradas em reservatórios (CARLSON, 1977; THOMAZ, 2000). O principal fator que dificulta análises mais criteriosas quanto a essas correlações é a aplicação do método de verificação da transparência da coluna de água pelo Disco de Secchi, pois o mesmo

está sujeito a uma elevada incerteza, devido à subjetividade do procedimento, variando conforme o julgamento do investigador e de outras variáveis externas.

Portanto, é necessário o aprofundamento das discussões quanto à influência dos sólidos suspensos sobre o grau de trofa dos sistemas aquáticos (THORNTON et al., 1990; ISTVÁNOVICS & SOMLYÓDY, 2001), além de métodos mais precisos para a determinação da transparência da água, que permitam utilizá-la como indicador de eutrofização (CARLSON, 1977; LAMPARELLI, 2004; JONES & KNOWLTON, 2005; JANSE et al., 2008). Bilotto & Brazier (2008) ainda ressaltaram que alguns estudos buscaram identificar o potencial de predição dos sólidos em suspensão da qualidade de água, mas que, geralmente, esses realizaram a análise dos Sólidos Suspensos Totais supondo uma correlação positiva segura dessa variável com a turbidez, que resultam em conclusões e classificações quantitativas de baixa precisão. Dessa forma, os valores de referência até então obtidos não têm sido aplicados com sucesso para o monitoramento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Chellappa et al. (2009) identificaram para três reservatórios de clima tropical no nordeste brasileiro, o impacto do aporte de sólidos em suspensão na produtividade primária dos sistemas aquáticos, em especial durante o período chuvoso. Além disso, os mesmos autores observaram que o aumento da vazão vertida nas barragens alterou significativamente a produtividade do sistema e, portanto, o seu estado trófico.

Quanto aos sólidos suspensos, Cole et al. (2007) e Matsuda (2010) ressaltaram a importância da quantificação desta variável na coluna de água dos reservatórios devido à correlação positiva destes valores com o fluxo e a taxa de estocagem de carbono nesses sistemas. Os autores sugerem que estudos englobem a análise de sólidos suspensos para uma melhor interpretação do ciclo e das fontes de carbono nesses ambientes aquáticos.

Jones & Knowlton (2005), a partir do estudo da influência dos sólidos suspensos na qualidade de água dos reservatórios do estado de Missouri – EUA, observaram que os Sólidos Suspensos Totais e suas respectivas frações Volátil e Não Volátil apresentaram correlação positiva com o fósforo total nos sistemas analisados. Os mesmos autores ressaltaram que as frações distintas do material em suspensão, Voláteis e Não Voláteis, refletiram as fontes dos mesmos, sendo os Não-Voláteis de origem alóctone ao reservatório e os Voláteis, de fontes autóctones.

Sendo assim, espera-se que a fração volátil apresente correlação positiva com a clorofila-a nos sistemas aquáticos, por serem compostos basicamente de materiais orgânicos, enquanto a fração não volátil (fixa) indicará o aporte de material das vertentes da bacia hidrográfica, seja através do escoamento superficial ou do despejo de efluentes domésticos e industriais no reservatório ou nos rios formadores do

mesmo (FREIRE et al., 2009). O escoamento superficial é potencializado nos períodos chuvosos, o que pode ocasionar maior participação relativa da fração não volátil nestas ocasiões, enquanto, nos períodos de estiagem, normalmente predomina a fração volátil, conforme relatado por An & Jones (2000) para um reservatório coreano.

A operação dos reservatórios para garantir o abastecimento público de água e energia e o controle do nível nos períodos de cheia e de estiagem também influencia diretamente a concentração de sólidos suspensos na coluna de água, como constataram Shantz et al. (2004) para o reservatório de Columbia, Canadá, durante o rebaixamento do nível do sistema, que propiciou a ressuspensão dos sólidos sedimentados. Os autores verificaram também a correlação positiva entre os valores de SST e fósforo total neste período, com alteração significativa da transparência e da acidez da coluna de água, que impactaram a produtividade primária.

A inter-relação entre os sólidos suspensos e o sedimento, evidente no caso canadense do reservatório de Columbia (SHANTZ et al., op. cit.), ressalta a importância deste compartimento nas análises limnológicas, uma vez que seu estudo facilita o entendimento dos processos que ocorrem no ambiente aquático do qual faz parte, além de permitir a avaliação dos efeitos das atividades humanas realizadas na bacia hidrográfica em que o sistema se localiza (SALOMONS & FORSTNER, 1984; BRAMORSKY, 2004; CUNHA & CALIJURI, 2008). Os sedimentos são, portanto, indicadores das atividades que ocorrem nas proximidades do respectivo corpo de água. Servem como substrato aos organismos bentônicos e tem a função ou de estocar nutrientes, imobilizando-os, ou de liberá-los para a coluna de água, em consonância com as características físicas e químicas verificadas na interface (THORNTON et al., 1990). Dentre os diversos mecanismos de transportes dos reservatórios e das diferentes reações bioquímicas da coluna de água, Freire et al. (2009) destacaram a difusão molecular, a convecção e advecção, a bioturvação, a adsorção e as reações de oxi-redução como aqueles com maior responsabilidade sobre a liberação de fósforo dos sedimentos.

Não se deve dissociar os compartimentos água e sedimento, já que os mesmos merecem um estudo conjunto, conhecida a estreita relação que mantêm. As características do sedimento também influenciam o estado trófico da massa líquida, e vice-versa, fazendo com que sedimentos de ambientes mais eutrofizados tenham, por exemplo, uma capacidade de armazenamento (ou potencial de liberação) de fósforo diferente daquela característica de ambientes oligotróficos, como verificado por Wang et al. (2009).

Do exposto, consideraram-se duas hipóteses principais para a presente pesquisa

i) Pressupõe-se que a quantificação dos sólidos orgânicos e inorgânicos poderia auxiliar na avaliação do estado trófico do ambiente, já que se esperava que essas variáveis mantivessem correlação significativa com as concentrações de fósforo e clorofila-a e com os valores de transparência da água. Presumiu-se, portanto, que os sólidos possuían capacidade de predição do grau de trofia do ambiente;

ii) Quando houvesse estratificação da coluna de água, esperou-se que os sólidos orgânicos predominassem, porcentualmente, na superfície do reservatório, em função da maior disponibilidade de luz. Por outro lado, os sólidos inorgânicos deveriam preponderar no fundo, na região próxima ao sedimento, em razão do processo de sedimentação. Além disso, provavelmente haveria predomínio de sólidos orgânicos no período de estiagem e de sólidos inorgânicos no período chuvoso, assim como aumento da concentração dos sólidos totais com a diminuição do nível de água do sistema.

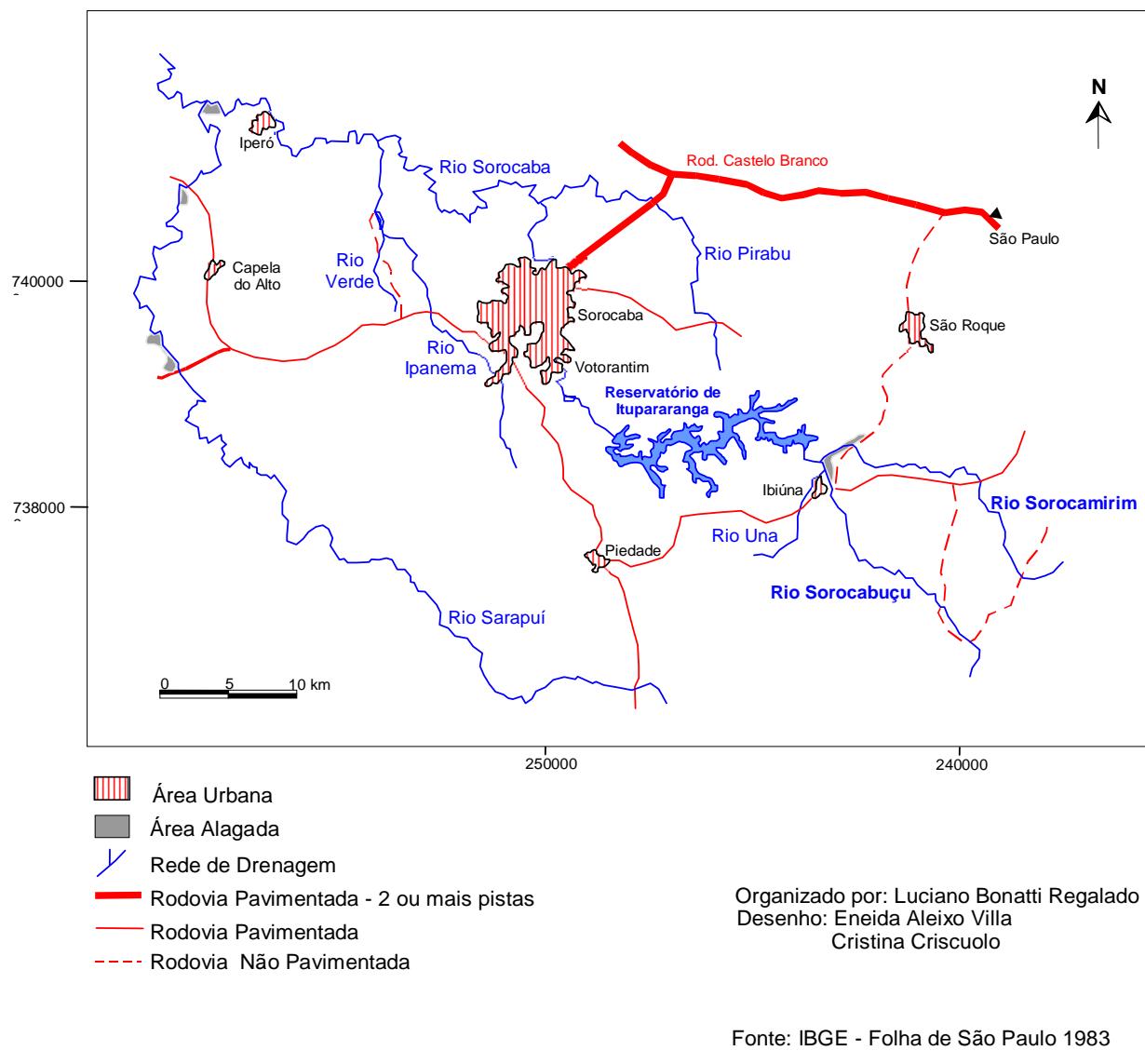
Deste modo, espera-se que o presente estudo contribua para o avanço científico na área da Limnologia, especificamente em relação ao estudo de reservatórios artificiais, criados pela ação antrópica para satisfazer necessidades de abastecimento público, geração de energia, entre outras. Além disso, parte-se do pressuposto que os resultados obtidos possam oferecer suporte ao acompanhamento do estado trófico do reservatório estudado e a eventuais planos de manejo e gerenciamento integrado dos recursos hídricos da Bacia do rio Sorocaba (SP).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Área de Estudo

O reservatório de Itupararanga (Figura 2) está situado na bacia hidrográfica do rio Sorocaba (UGRHI 10 – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos). Vale ressaltar que a bacia de drenagem deste sistema lêntico abrange oito municípios paulistas, a citar: Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim. O reservatório foi formado em 1912 e entrou em operação em 1914, com o objetivo principal de gerar energia elétrica. Atualmente, além da geração de energia utilizada pela Votorantim Energia, processam-se outros usos da água, como irrigação, lazer e abastecimento humano (SARDINHA, 2008).

O reservatório de Itupararanga possui importância estratégica para o estado de São Paulo, uma vez que, segundo Salles et al. (2008), é responsável pelo abastecimento de água a cerca de um milhão de pessoas e atua na regularização de vazão do rio Sorocaba. Queiroz & Inai (2007) realizaram o mapeamento de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do reservatório de Itupararanga, que permitiu constatar a presença de pastagens, culturas perenes e temporárias, áreas construídas e solo exposto em suas margens. Há ainda remanescente de área natural de floresta, principalmente na margem direita do reservatório. Porém, os autores observaram a supressão da vegetação original pelas atividades antrópicas, que estão em desacordo com a classificação de Áreas de Proteção Ambiental definidas para as margens do sistema de Itupararanga pelo Estado de São Paulo.



**Figura 2. Localização do reservatório de Itupararanga (SP) e principais municípios ao seu redor.**  
 Fonte: Adaptado de Marciano (2001)

Além disso, o reservatório de Itupararanga (SP) ainda não apresenta sérios problemas relacionados à qualidade da água. Entretanto, alterações na disponibilidade hídrica e sucessivo aumento da contribuição de fontes poluidoras na região têm sido descritas nos últimos anos (CETESB, 2011). Pedrazzi et al. (2007) verificaram que a zona fluvial do sistema, próximo à entrada do rio Sorocaba, é classificada como eutrófica, devido, principalmente, ao aporte de esgoto doméstico *in natura* no seu tributário, já que 71% do esgoto gerado na bacia do Sorocaba não recebe nenhum tipo de tratamento (SEADE, 2010). Levando-se em conta, ainda, que o reservatório em questão é responsável pelo atendimento de cerca de 63% da demanda total de água da bacia do Sorocaba, que possui cerca de 2 milhões de habitantes, o monitoramento e a análise da susceptibilidade deste ambiente à eutrofização adquirem caráter prioritário.

Os parâmetros morfométricos do reservatório (Tabela 2) demonstram uma dinâmica linear do sistema, no qual os braços apresentam comportamentos distintos daqueles do eixo central, como proposto por Thornton et al. (1990) e verificado para o reservatório de Itupararanga por Queiroz et al. (2007) e Pedrazzi et al. (2007), variação relacionada, em especial, à qualidade de água dos rios tributários que desembocam nesses pontos (rios Sorocabuçu, Sorocamirim e Una e córrego do Paruru) e às menores profundidades da coluna de água. Portanto, as estações de coleta foram determinadas com base nessa variabilidade espacial do reservatório.

As características climáticas médias correspondem a precipitação anual de 1924 mm e temperatura do ar entre 15,0°C e 23,8°C, com invernos geralmente secos e verões mais chuvosos. Entre os usos múltiplos do reservatório, destaca-se a geração de energia, finalidade para a qual a barragem foi construída pela empresa operadora do sistema. A vazão destinada à produção hidroelétrica, de potência instalada de 55 mW, é cerca de seis vezes maior do que a vazão aduzida para abastecimento humano e mais de cem vezes a vazão destinada à irrigação, conforme apresentado na Tabela 2. Sendo assim, a cota do nível de água do sistema aquático varia, principalmente, conforme a demanda energética da operadora e a precipitação na bacia de drenagem.

**Tabela 2. Características gerais do reservatório de Itupararanga, Ibiúna (SP), entre elas parâmetros morfométricos, de usos múltiplos e climáticos**

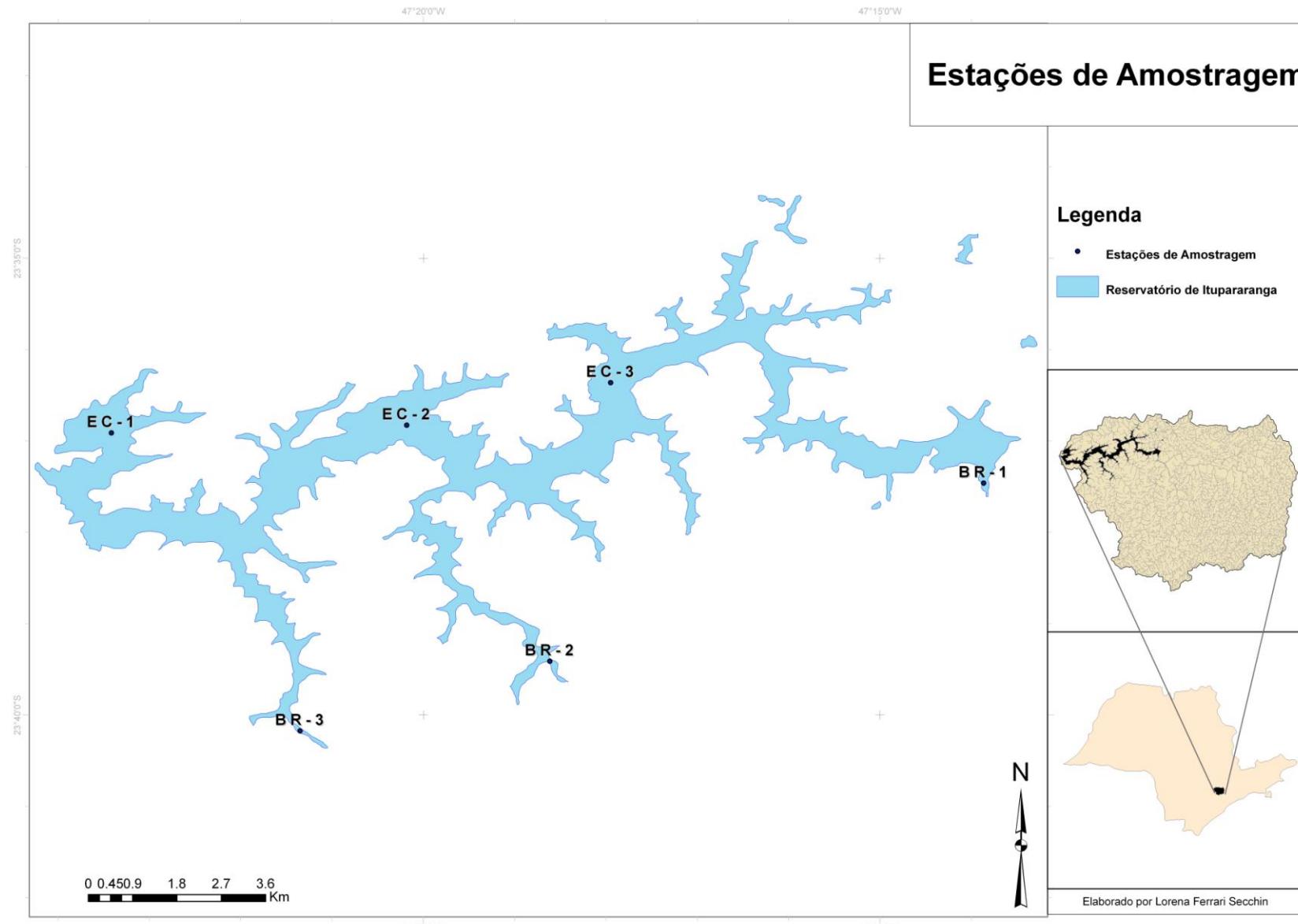
<b>Parâmetros Morfométricos</b>	
Area (km <sup>2</sup> )**	936
Comprimento linear (km)**	40
Tempo de residência teórico (dias)**	223
Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )**	286
<b>Usos Múltiplos da Água</b>	
Vazão para geração de energia (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )*	12,69
Vazão para abastecimento humano (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )*	2,15 (atendimento a 800.000 habitantes)
Vazão para irrigação (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )*	0,13
<b>Potência Hidroelétrica</b>	
Altura de queda d'água (m)**	206
Capacidade instalada (mW)**	55
<b>Características Climáticas</b>	
Precipitação anual (mm)*	1.924
Temperatura mínima média do ar (°C)*	15,0 (Junho)
Temperatura máxima média do ar (°C)*	23,8 (Novembro)
Velocidade mínima média do vento (m.s <sup>-1</sup> )*	1,5 (Junho)
Velocidade máxima média do vento (m.s <sup>-1</sup> )*	2,7 (Outubro)

\*valores referentes ao ano de 2009 (Fonte: INMET, 2009); \*\*Votorantim Energia

As coletas foram realizadas a cada dois meses, tendo em vista obter dados representativos à variabilidade temporal do ano hidrológico. As coletas ocorreram em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010.

#### **4.2. Plano de Amostragem**

Tendo em vista avaliar os diferentes usos e cobertura do solo da bacia de drenagem do reservatório e a dinâmica espacial e temporal das variáveis da água e do sedimento deste ecossistema aquático, foram escolhidos seis estações de amostragem, sendo três delas no eixo central do reservatório (códigos EC-1, EC-2 e EC-3) e outras três em braços do sistema (códigos BR-1, BR-2 e BR-3), de acordo com o esquema apresentado na Figura 3. As estações nos braços apresentam diferentes formas de uso do solo, incluindo ocupação por atividades agrícolas, remanescentes de vegetação e construções (i.e. casas, sítios e chácaras).



**Figura 3:** Carta em escala com a localização das Estações de amostragem no Reservatório de Itupararanga, Ibiúna (SP) (Produzido por Lorena Ferrari Secchin)

A Tabela 3 apresenta a descrição das seis estações de amostragem escolhidas, a partir das observações realizadas em campo.

**Tabela 3: Descrição das seis estações de amostragem escolhidas**

<b>Pontos</b>	<b>Descrição</b>	<b>Profundidade máx (m)</b>
EC-1	Eixo central, próximo à barragem.	19,5
EC-2	Eixo central, na zona de transição.	16,5
EC-3	Eixo central, na zona fluvial.	12,0
BR-1	Entrada dos dois rios formadores do reservatório, rios Sorocamirim e Sorocabuçu, que recebem efluente de ETE. Após extensa área coberta por macrófitas aquáticas.	8,0
BR-2	Desembocadura do Córrego da Ressaca. Margem com vegetação original, em parte suprimida. Presença significativa de macrófitas aquáticas.	3,2
BR-3	Desembocadura do Córrego do Paruru. Este córrego possui margens urbanizadas, com aporte de esgoto doméstico clandestino. Presença de macrófitas aquáticas.	2,3

As Figuras 4 e 5 apresentam as fotos das estações escolhidas em diferentes braços e no eixo do reservatório, assim como as coordenadas geográficas de cada uma delas.

**BR-1**

(47°13'52"W/23°37'28"S)



**BR-2**

(47°18'37"W/23°39'25"S)



**BR-3**

(47°19'40"W/23°38'49"S)



**Figura 4: Fotos das estações BR-1, BR-2 e BR-3, localizadas em diferentes braços do reservatório de Itupararanga, bacia do rio Sorocaba (SP) e as respectivas coordenadas geográficas (longitude/latitude)**

**EC-1**

(47°23'25" W/23°36'55" S)



**EC-2**

(47°20'11" W/23°36'50" S)



**EC-3**

(47°17'57" W/23°36'22" S)



**Figura 5: Fotos das estações EC-1, EC-2 e EC-3, localizadas no eixo central do reservatório de Itupararanga, bacia do rio Sorocaba (SP) e as respectivas coordenadas geográficas (longitude/latitude)**

Em todas as seis estações escolhidas, foi realizada a quantificação das variáveis da água na coluna, por meio da coleta de amostras em diferentes profundidades. Para a escolha das diferentes profundidades de amostragem, efetuou-se a medição da radiação solar incidente e subaquática com radiômetro Quanta-Meter Li-Cor (LI - 1.400), tendo como objetivo determinar as profundidades de incidência de 100% (superfície), 75%, 50%, 25% e 10% da radiação solar, além da zona afótica.

#### **4.3. Variáveis hidráulicas e climatológicas**

Os dados de vazão diária ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) foram obtidos junto à operadora da barragem construída no reservatório de Itupararanga. Os dados de temperatura do ar, precipitação pluviométrica, cota do nível de água e vazão vertida e turbinada, por sua vez, foram obtidos junto à operadora da barragem, Votorantim Energia. Todas essas variáveis foram importantes para o entendimento dos processos que ocorrem no reservatório e contribuíram para a discussão dos demais resultados obtidos.

#### **4.4. Variáveis da água**

Tendo auxílio da Multi-Sonda da marca Yellow Springer®, modelo 556, foram medidas algumas variáveis da água, tais como: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH e oxigênio dissolvido (em  $\text{mg}.\text{L}^{-1}$  e em % de saturação). As amostras de água foram coletadas em diferentes profundidades, por meio de garrafa de Van Dorn, e encaminhadas ao Laboratório BIOTACE, da EESC/USP. As análises de clorofila-a ( $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ ) foram realizadas a partir do método convencional por espectrofotometria e extração com etanol, seguindo as recomendações de Nusch (1980) modificado por NEN (1981). Foram determinadas, ainda, as concentrações de nitrogênio kjeldahl e fósforo totais e ortofosfato, nitrito e nitrato na água, seguindo os protocolos descritos por APHA (2005).

De posse das concentrações de fósforo total e clorofila-a, foi calculado o Índice de Estado Trófico (IET) para cada amostra, de acordo com as Equações 1, 2 e 3 (Lamparelli, 2004).

$$IET(CL) = 10 \left[ 6 - \frac{0,92 - 0,34 \ln CL}{\ln 2} \right] \quad (1)$$

*IET (CL) – Índice de Estado Trófico em relação à clorofila- a*

*CL – Concentração de clorofila-a medida à superfície da água ( $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$ )*

$$IET(PT) = 10 \left[ 6 - \frac{1,77 - 0,42 \ln PT}{\ln 2} \right] \quad (2)$$

*IET (PT) – Índice de Estado Trófico em relação ao fósforo*

*PT – Concentração de fósforo total medida à superfície da água ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )*

$$IET = \frac{IET(CL) + IET(PT)}{2} \quad (3)$$

*IET – Índice de Estado Trófico médio*

Assim, foi possível classificar o grau de trofia do ambiente, para cada ponto de amostragem, conforme a Tabela 3.

**Tabela 4: Classificação do estado trófico para reservatórios, de acordo com o valor do IET e das concentrações de fósforo total e clorofila-a**

Classificação	Ponderação	Fósforo total (PT, $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Clorofila-a (CL, $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Ultraoligotrófico	IET $\leq 47$	PT $\leq 8$	CL $\leq 1,2$
Oligotrófico	47 $<$ IET $\leq 52$	8 $<$ PT $\leq 19$	1,2 $<$ CL $\leq 3,2$
Mesotrófico	52 $<$ IET $\leq 59$	19 $<$ PT $\leq 52$	3,2 $<$ CL $\leq 11,0$
Eutrófico	59 $<$ IET $\leq 63$	52 $<$ PT $\leq 120$	11,0 $<$ CL $\leq 30,6$
Supereutrófico	63 $<$ IET $\leq 67$	120 $<$ PT $\leq 233$	30,6 $<$ CL $\leq 69,1$
Hipereutrófico	IET $> 67$	PT $> 233$	CL $> 69,1$

**Fonte: Lamparelli (2004)**

As concentrações de sólidos suspensos totais e suas frações orgânica (ou volátil) e inorgânica (ou fixa), também foram determinadas de acordo com APHA (2005), em duplicatas para cada amostra. Resumidamente, a determinação das concentrações de sólidos suspensos totais (SST) foi realizada de acordo com os seguintes passos:

- i) Uma alíquota da amostra foi filtrada em filtros de fibra de vidro, previamente calcinados em mufla a 550°C e cuja massa é conhecida;
- ii) O filtro foi deixado em estufa (temperatura entre 103°C e 105°C) por 1h, visando à eliminação da umidade;
- iii) A massa do filtro foi novamente determinada;
- iv) Calculou-se a concentração de SST de acordo com a Equação 4.

$$SST = 1000 \frac{(A - B)}{V} \quad (4)$$

*SST – Concentração de Sólidos Suspensos Totais (mg.L<sup>-1</sup>)*

*A – Massa do filtro + resíduo (mg), após 1h na estufa*

*B – Massa do filtro (mg)*

*V – Volume filtrado da amostra (mL)*

Em seguida, o mesmo filtro, cuja umidade foi retirada pela estufa, foi submetido a uma temperatura de 550°C na mufla, normalmente por 20 minutos. Desta maneira, foram calculadas as concentrações de sólidos fixos e voláteis, de acordo com as Equações 5 e 6.

$$SSV = 1000 \frac{(C - D)}{V} \quad (5)$$

$$SSF = 1000 \frac{(D - E)}{V} \quad (6)$$

*SSV – Concentração de Sólidos Suspensos Voláteis ou Orgânicos (mg.L<sup>-1</sup>)*

*SSF – Concentração de Sólidos Suspensos Fixos ou Inorgânicos (mg.L<sup>-1</sup>)*

*C – Massa do filtro + resíduo (mg), após 1h na estufa e antes da ignição na mufla*

*D – Massa do filtro + resíduo (mg) após a ignição na mufla*

*E – Massa do filtro (mg)*

*V – Volume filtrado da amostra (mL)*

O número de coletas realizadas, por meio de configuração bimestral e abrangendo períodos hidrológicos distintos, permitiu observar a flutuação sazonal de todas as variáveis da água determinadas nesta pesquisa.

#### **4.4. Variáveis do sedimento**

Amostras de sedimento superficial das seis estações de coleta foram recolhidas com auxílio de uma draga Van Veen e, em seguida, acondicionadas em recipientes plásticos para posterior análise no Laboratório BIOTACE. As porcentagens

de matéria orgânica e as concentrações de fósforo e nitrogênio totais foram determinadas seguindo os métodos descritos por Trindade (1980), Andersen (1976) e APHA (2005), respectivamente.

#### **4.5. Análise estatística**

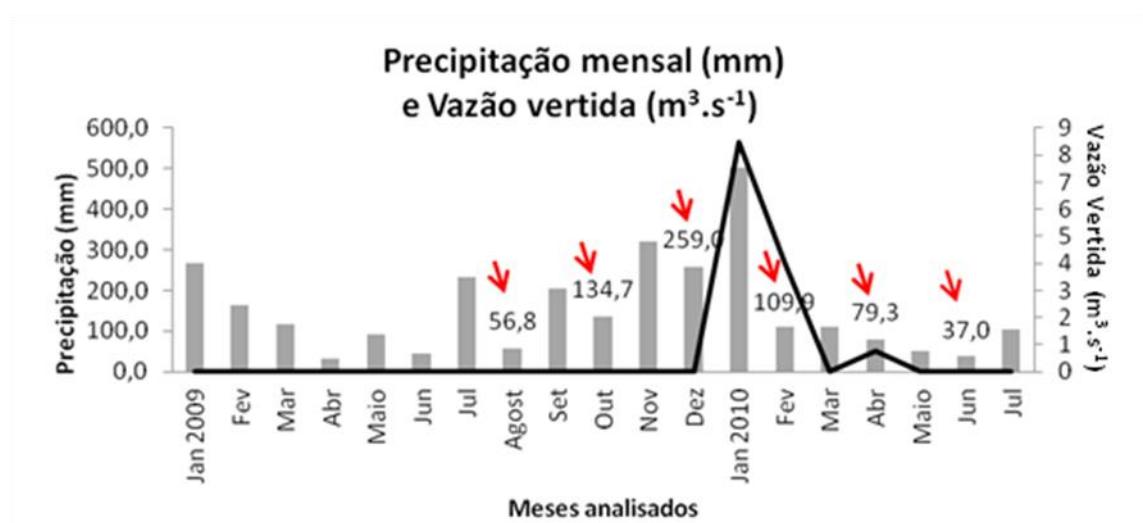
A partir das concentrações médias de SST, SSI, SSO, Fósforo Total e Clorofila a determinadas nas estações de amostragem para os meses de agosto, outubro e dezembro de 2009, fevereiro, abril e junho de 2010, foi possível realizar a análise de dados de correlação dessas com os valores calculados para os Índices de Estado Trófico, considerando Fósforo Total (IET(PT)), Clorofila a (IET(Cla)) e o médio (IETm).

A análise de dados procedeu-se através do software Microsoft Office Excel® 2007, com aplicação da análise de correlação Log Pearson, a qual permitiu obter o coeficiente entre as oito variáveis de interesse.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Variáveis Hidráulicas e Climatológicas

O regime de precipitação pluviométrica observado na bacia do rio Sorocaba entre os meses de janeiro de 2009 e junho de 2010 é apresentado na Figura 6.

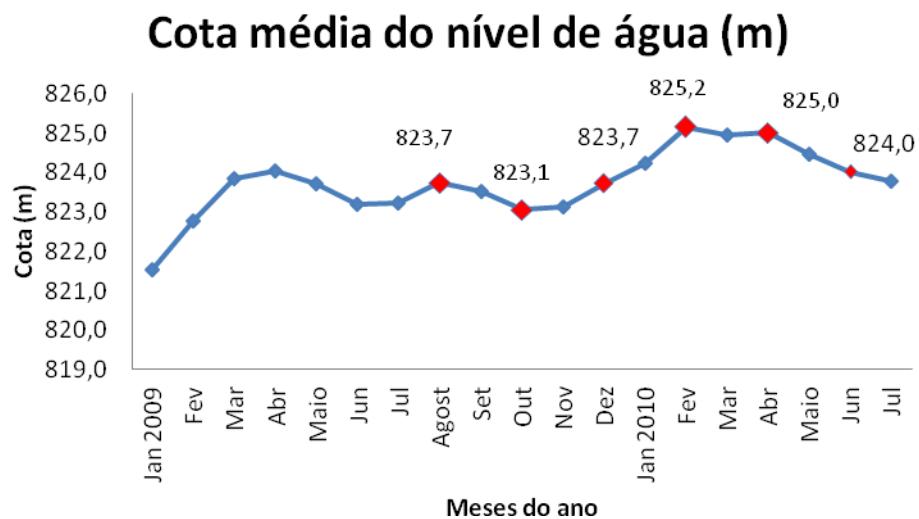


**Figura 6: Precipitação pluviométrica mensal (mm) e vazão vertida ( $m^3.s^{-1}$ ) conforme dados diários do posto da empresa operadora da barragem, Votorantim Energia**

Observa-se que o mês de agosto configurou-se como um mês seco, no qual a precipitação total foi de 56,8 mm, enquanto o mês de outubro apresentou uma precipitação total de 134,7 mm, sendo que destes 43,2 mm foram precipitados durante os dias de coleta (19 a 23 de outubro). Esse contraste de precipitação total mensal e de coleta entre esses meses foi determinante para as características físicas e químicas analisadas no reservatório. A precipitação durante os dias de coleta em outubro provavelmente aumentou o escoamento superficial na bacia de drenagem e, consequentemente, o carreamento de material alóctone ao ambiente aquático.

O mês de dezembro apresentou precipitação total de 259,0 mm, sendo esta a maior lâmina precipitada nos seis meses de coleta. Em fevereiro, apesar de precipitação total (109,9 mm) abaixo do nível observado em dezembro, houve influência direta das chuvas, uma vez que o mês de janeiro apresentou a maior lâmina precipitada no período de análise (504,0 mm). A precipitação intensa em janeiro fez necessária a abertura do vertedouro da barragem, com vazão média de  $8,5\ m^3.s^{-1}$  nesse mesmo mês e de  $4,0\ m^3.s^{-1}$  em fevereiro.

O mês de abril apresentou menores lâminas precipitadas, porém houve necessidade de abertura dos vertedouros devido ao volume acumulado nos meses anteriores de verão (Figura 7).



**Figura 7: Cota média do nível de água (m) do reservatório de Itupararanga, entre janeiro de 2009 e junho de 2010**

A abertura dos vertedouros foi justificada pela elevada cota média do nível de água após as chuvas dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, durante o verão. A elevada precipitação total aumentou a cota média do reservatório, atingindo o máximo do período analisado em fevereiro de 2010 (825,15 m). A cota manteve-se praticamente constante até o mês de junho de 2010.

## 5.2. Variáveis físicas e químicas da água

### 5.2.1. Estação de amostragem BR1

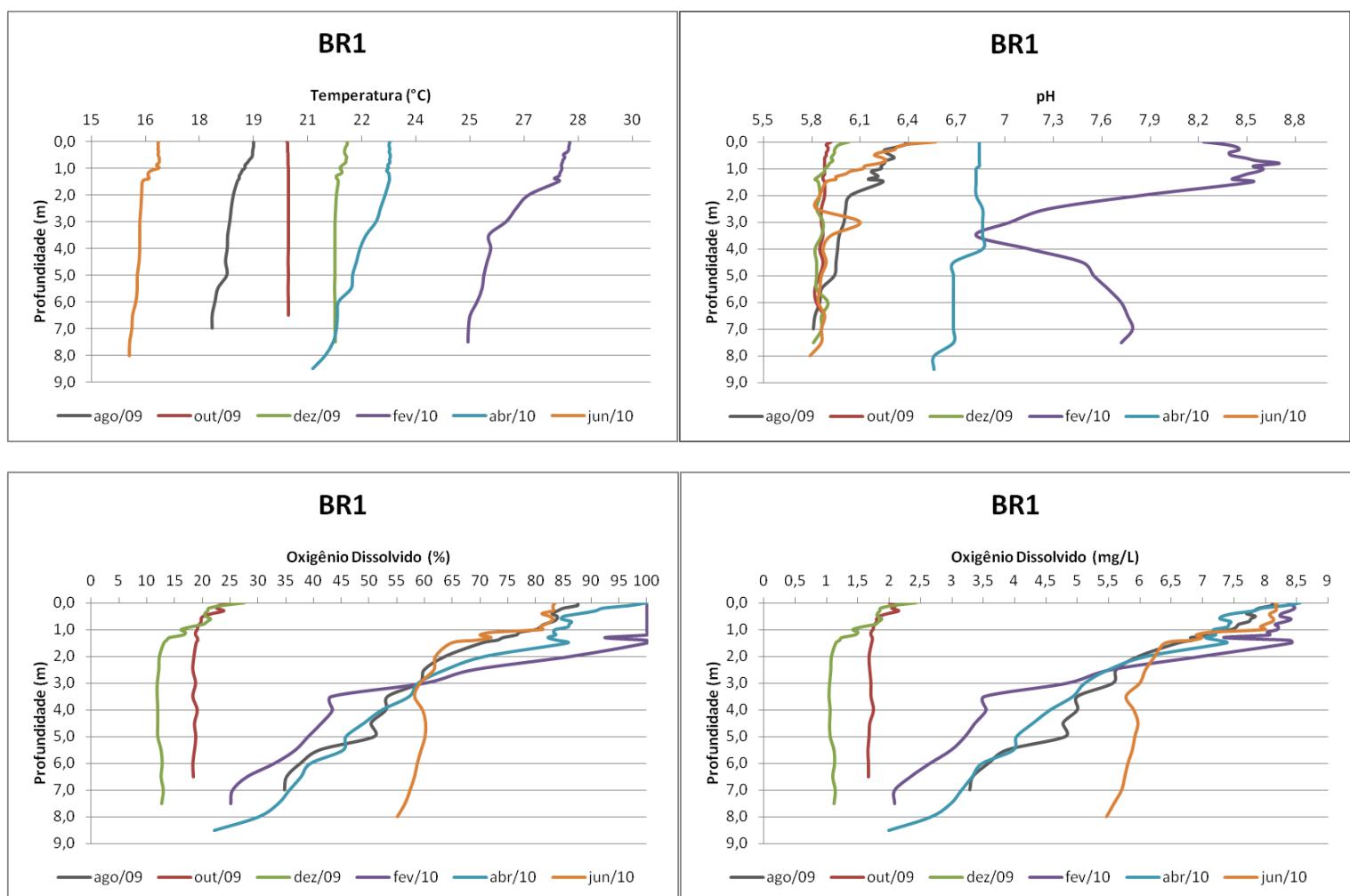
A estação de amostragem BR1 é próxima à entrada dos rios formadores do reservatório, após extensa área recoberta por macrófitas aquáticas.

Em relação à temperatura, conforme perfis apresentados na Figura 8, valores mais elevados foram observados nos meses de dezembro de 2009, fevereiro e abril de 2010. Em fevereiro, a coluna de água alcançou 27,8 °C na superfície, com diferença de 2,82 °C entre superfície e fundo, tendendo a uma estratificação térmica. O perfil de temperatura de abril de 2010 apresentou tendência à microestratificação. Nos demais

meses, não houve diferença significativa de temperatura que configurasse estratificação da coluna de água.

À exceção dos meses de outubro e dezembro de 2009, a coluna de água apresentou estratificação química quanto ao pH e às concentrações de oxigênio dissolvido. Destacou-se o mês de fevereiro de 2010 por apresentar as maiores diferenças entre superfície e fundo e comportamento anômalo do pH, com queda brusca entre 1,5 m e 3,5 m de profundidade e aumento de 3,5 m até o fundo.

As baixas concentrações de oxigênio dissolvido em outubro e dezembro de 2009 também devem ser ressaltadas, uma vez que foram observadas mínimas de 26,0%; 2,0 mg/L e 27,5%; 2,43 mg/L na superfície, respectivamente. Essas baixas concentrações podem estar relacionadas aos processos de decomposição e à extensa área coberta por macrófitas aquáticas próximo à estação, o que também foi destacado por Rosa et al. (2008) para justificar as menores concentrações de OD na cabeceira do reservatório.



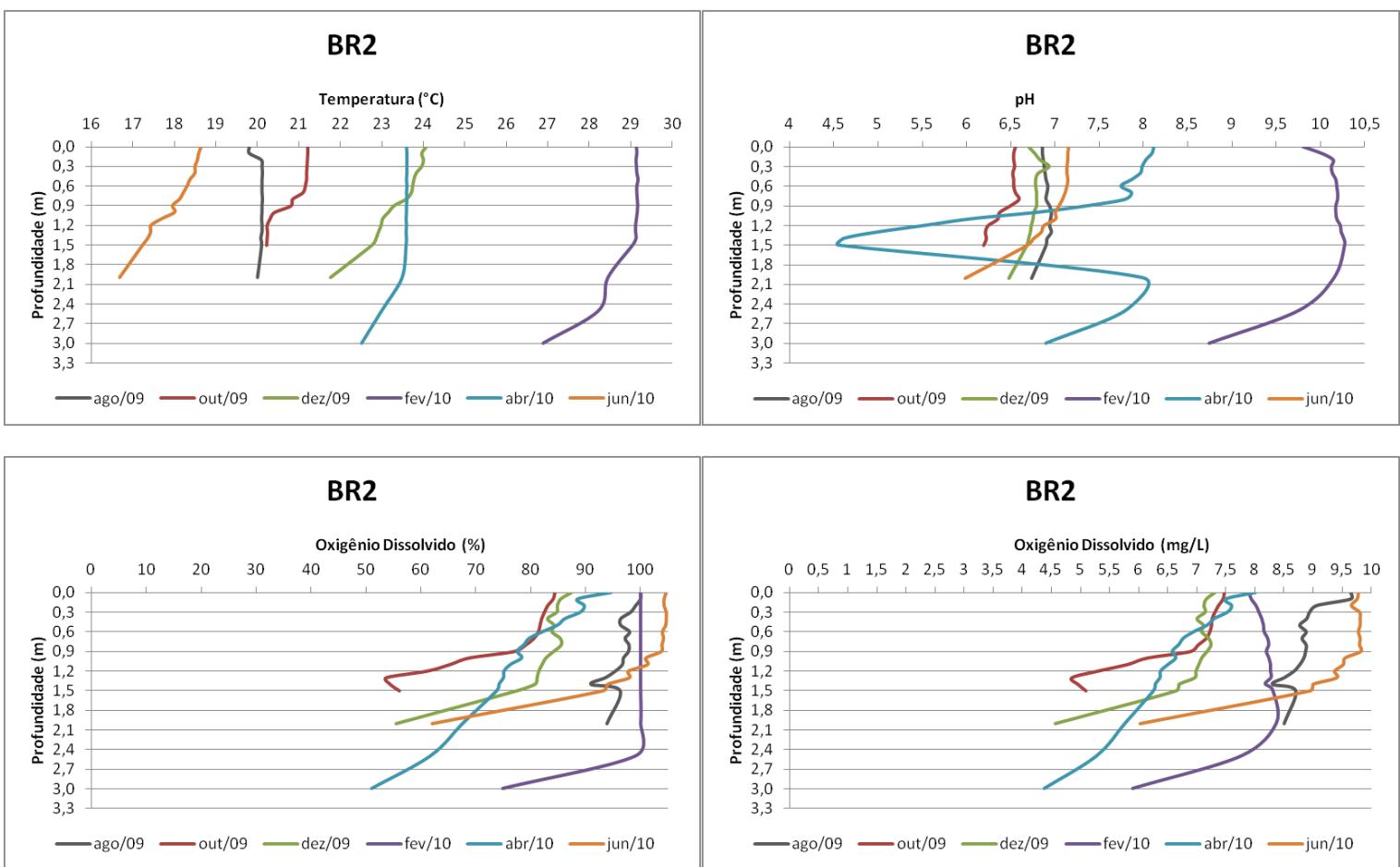
**Figura 8: Perfis de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH e oxigênio dissolvido ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; %) na estação de amostragem BR1, na entrada do reservatório de Itupararanga**

### **5.2.2. Estação de amostragem BR2**

A estação de amostragem BR2 está no braço com as margens com cobertura vegetal estabelecida, composta por árvores e arbustos. Há desembocadura do córrego da Ressaca nesse ponto. Assim como em BR1, as maiores temperaturas da coluna de água foram observadas nos meses de dezembro de 2009, fevereiro e abril de 2010. À exceção de agosto de 2009, em todos os meses houve estratificação ou microestratificação da coluna de água.

Os perfis em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro de 2010 apresentam apenas microestratificação em relação ao pH e estratificação química em relação ao oxigênio dissolvido. Nos meses de abril e junho de 2010, a estação de coleta mostrou-se estratificada quimicamente quanto às duas variáveis apresentadas na Figura 9.

Destacou-se o comportamento anômalo do perfil de pH em abril de 2010, com diminuição do valor observado até 1,5 m e, a partir dessa profundidade, um aumento progressivo até o fundo do reservatório. Essa variabilidade do perfil também ocorreu no mês de fevereiro em BR1. As concentrações de oxigênio dissolvido também foram menores nessa estação, apesar das margens mais preservadas. A existência da desembocadura do córrego da Ressaca e de pontos de poluição pontual deve ter colaborado para o comprometimento da qualidade de água nessa estação.



**Figura 9: Perfis de temperatura( $^{\circ}\text{C}$ ), pH e oxigênio dissolvido ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; %) na estação de amostragem BR2, em braço mais preservado do reservatório de Itupararanga**

### 5.2.3. Estação de amostragem BR3

A estação BR3 localiza-se em um braço com margens pouco preservadas do reservatório, além de ser diretamente afetado pela desembocadura do córrego do Paruru.

Os perfis de temperatura seguiram as tendências observadas para as demais estações em braços do sistema (BR1 e BR2), com valores mais elevados em fevereiro e estratificação térmica apenas em dezembro de 2009, fevereiro e abril de 2010. Nos demais meses, houve apenas microestratificação térmica da coluna de água.

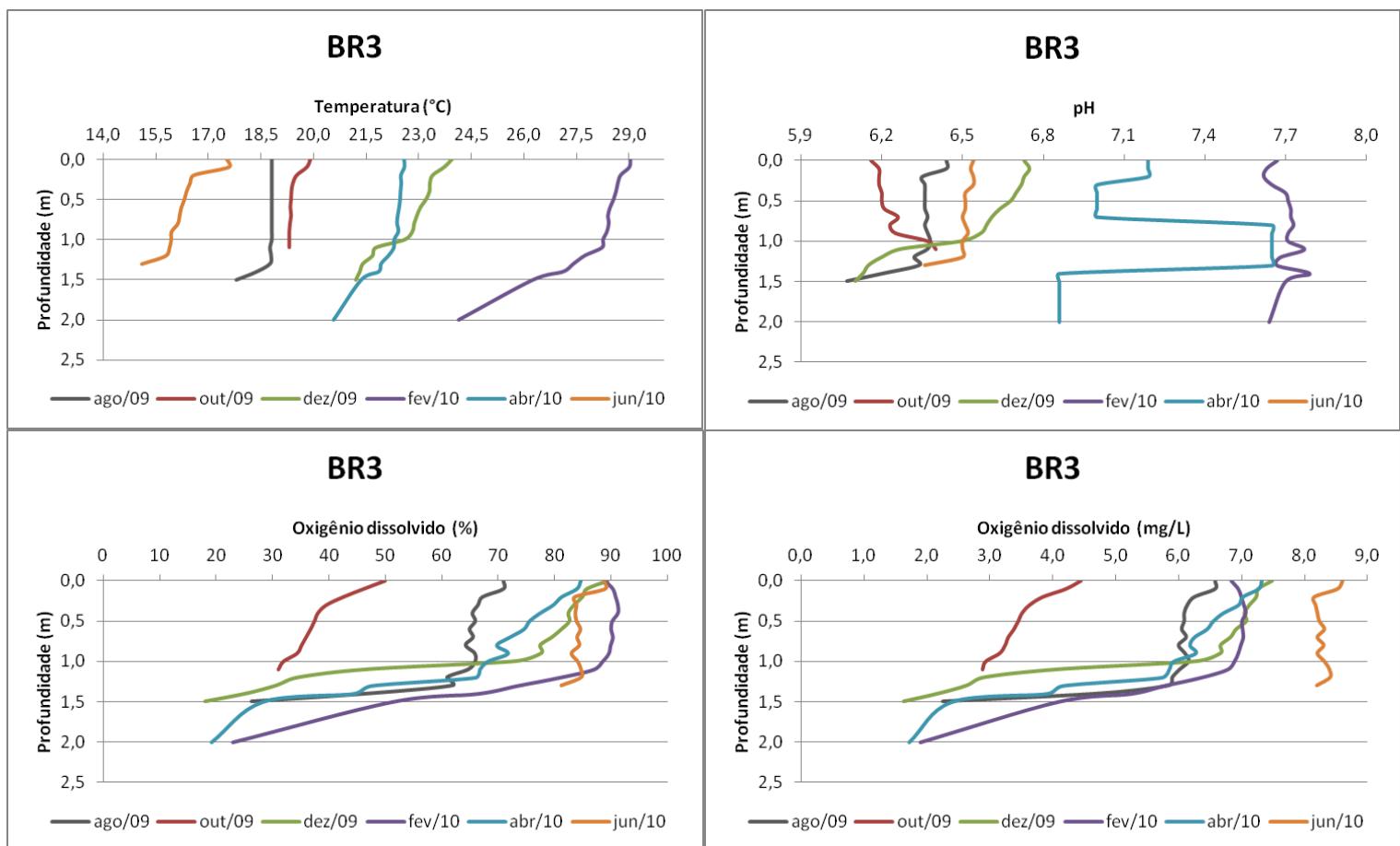
Quanto ao pH, nos meses de agosto e outubro de 2009, e junho de 2010, não houve variação considerável dos valores, com pequeno aumento ou diminuição apenas próximo ao fundo. Já em dezembro de 2009, fevereiro e abril de 2010, a coluna de água mostrou-se estratificada quimicamente em relação ao pH. A acidificação observada, também foi constatada por Monteiro Júnior (2006), para o

reservatório de Ponte Nova (SP), principalmente nos pontos em braços do sistema, que apresentaram menor profundidade.

Além disso, os valores observados nos meses de fevereiro e abril foram mais elevados do que aqueles dos demais meses. Esse aumento do pH deve estar associado à qualidade de água do córrego do Paruru, que pode ter sido ainda mais comprometida durante o período chuvoso (entre novembro e fevereiro), com carreamento de material alóctone para o canal de drenagem.

Essa hipótese foi corroborada pelos perfis de oxigênio dissolvido na coluna de água, uma vez que apresentam valores inferiores àqueles observados em BR1 e BR2. Quanto a essa variável, houve estratificação química em todos os meses amostrados, com valores mínimos no mês de outubro de 2009. Sendo assim, as respostas do sistema aquático aos impactos advindos do uso e ocupação das margens do mesmo se apresentaram mais rapidamente em braços do reservatório, assim como sugeriram Rosa et al. (2008) para o próprio reservatório de Itupararanga.

Ressalta-se, porém, que o fato de a profundidade nessa estação ser baixa, os dados podem ter sido alterados pela movimentação do barco de coleta e pela formação de correntes preferenciais devido à desembocadura do córrego do Paruru, além da coluna de água ser mais suscetível às variáveis climáticas, como velocidade dos ventos e precipitação. Essa maior suscetibilidade das estações em braços do sistema deve-se, principalmente, à morfologia dendrítica do reservatório em estudo, como sugere Thornton et al. (1990) em relação à morfometria de reservatórios, e à profundidade.



**Figura 10:** Perfis de temperatura( $^{\circ}\text{C}$ ) pH e oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ; %), na estação de amostragem BR3 em braço do reservatório de Itupararanga

#### 5.2.4. Estação de amostragem EC3

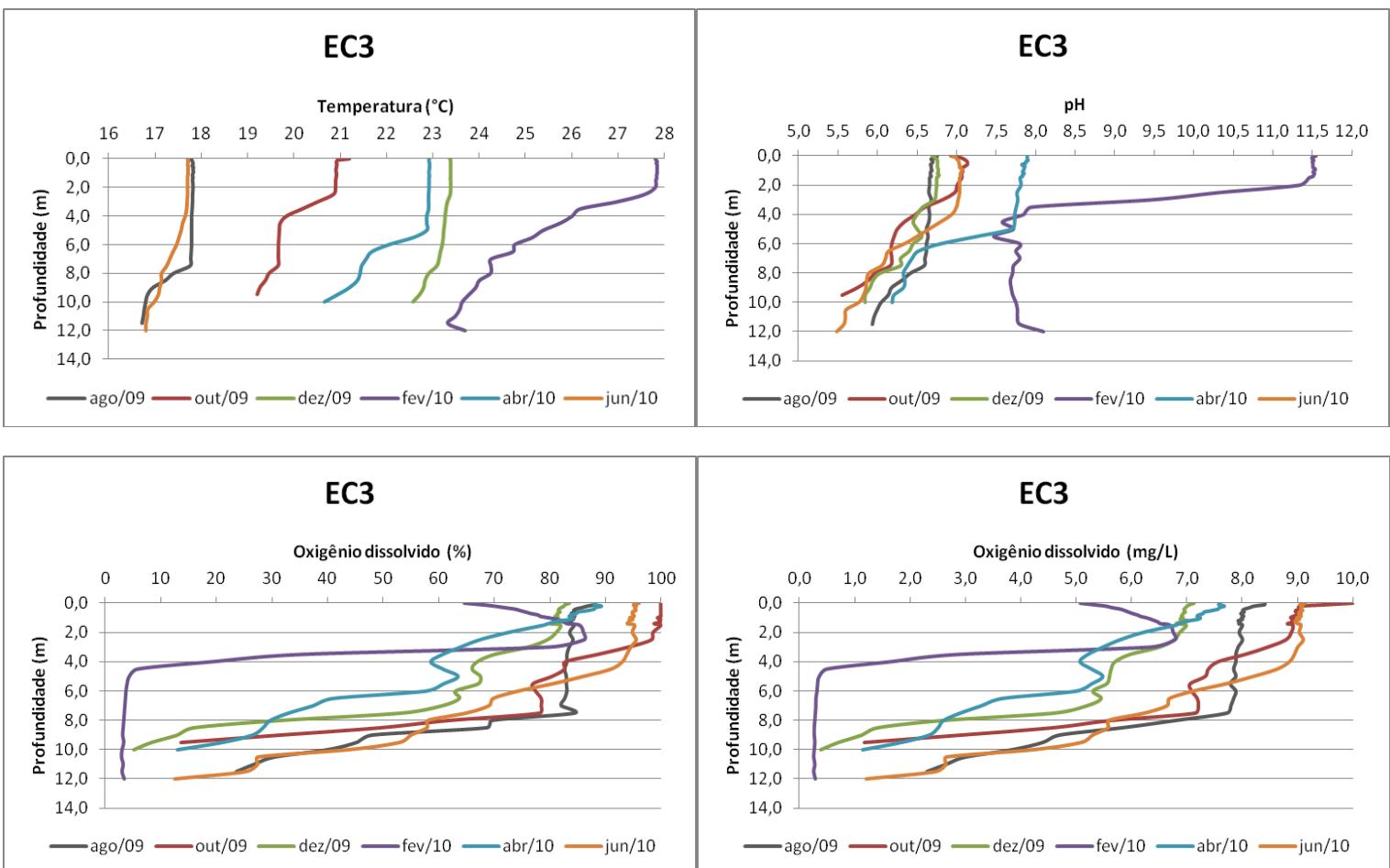
A estação de amostragem EC3, na zona de transição, apresentou perfis distintos durante os seis meses analisados (Figura 11). Os perfis de temperatura seguiram a tendência dos pontos nos braços, quando em dezembro de 2009, fevereiro e abril de 2010 foram obtidos valores mais elevados, com médias acima de  $22^{\circ}\text{C}$ , e mínimas ocorridas em agosto de 2009 e junho de 2010, com médias abaixo de  $18^{\circ}\text{C}$ .

Nos meses de outubro de 2009 e abril de 2010, os perfis tenderam à mesma configuração de estratificação, com termoclina entre 2,0 m e 6,0 m e diferença da superfície ao fundo de, no máximo,  $2,0^{\circ}\text{C}$ . No mês de fevereiro de 2010, a coluna de água também apresentou estratificação térmica, com termoclina mais acentuada e queda constante a partir de 2,0 m até o fundo. Entre os demais meses, apenas agosto mostrou microestratificação entre 8,0 m e 9,0 m. Já em dezembro de 2009 e junho de 2010 não houve estratificação.

Os perfis de pH em EC3 indicaram estratificação química da coluna de água em fevereiro, abril e junho de 2010, mais acentuada em fevereiro, no qual houve queda de cerca de 3,5 entre 2,0 m e 3,8 m. Esse comportamento deve estar associado a uma maior intensidade de radiação, baixa turbulência da coluna de água e alta disponibilidade de nutrientes após os meses chuvosos, que podem ter permitido o desenvolvimento acelerado da comunidade fitoplanctônica na superfície. Assim sendo, níveis maiores de produção primária consomem, proporcionalmente, mais gás carbônico em superfície, que altera o equilíbrio do carbono na coluna de água, aumentando o pH nos primeiros metros da coluna de água, com queda brusca após o metalímnio.

Em decorrência da atividade fotossintética em fevereiro, os perfis de oxigênio dissolvido demonstram concentrações crescentes de oxigênio da superfície até 2,2 m e, após, queda brusca até 4,5 m de profundidade. Níveis de irradiação muito elevados durante o dia podem ocasionar o efeito de fotoinibição da comunidade fitoplanctônica, que se mantém em subsuperfície, onde há níveis favoráveis ao seu desenvolvimento.

Nos demais meses analisados, observou-se estratificação química em relação ao oxigênio dissolvido, atingindo concentrações próximas a zero após 9,0 m de profundidade. Esses valores baixos de oxigênio dissolvido devem estar associados, exclusivamente, à profundidade da coluna de água em EC3, que é de cerca de 14,0 m, o que permite o estabelecimento de condições anóxicas próximas ao fundo. Essa estratificação química pode estar relacionada à estratificação térmica da coluna de água nesse período, que provavelmente impediu a mistura dos estratos do sistema, como sugere Monteiro Júnior (2006), a partir da discussão do conceito de resistência térmica relativa dos pontos analisados no reservatório de Ponte Nova (SP).



**Figura 11: Perfis de temperatura (°C), pH e oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>; %) nos seis meses amostrados na estação EC3**

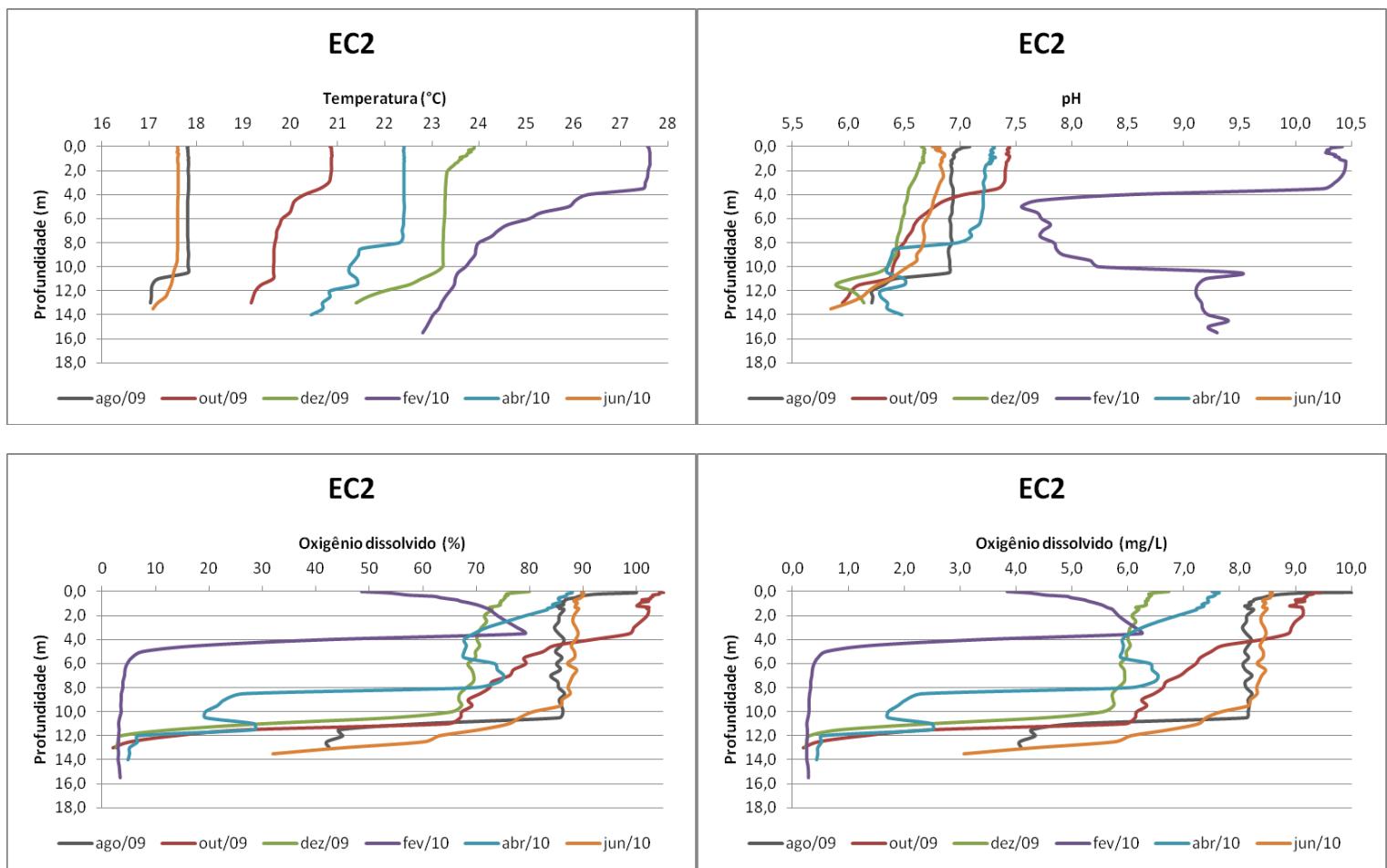
### 5.2.5. Estação de amostragem EC2

Na estação de amostragem EC2 (Figura 12), em zona lacustre, observaram-se perfis com tendências de estratificação próximas àquelas de EC3 (Figura 11). Houve estratificação térmica apenas nos meses de outubro de 2009 e fevereiro de 2010, e microestratificação em dezembro de 2009 e abril de 2010.

O comportamento dos perfis de pH foi próximo ao observado em EC3, porém houve variabilidade diferenciada no mês de fevereiro de 2010. Nessa coleta, também ocorreu uma queda acentuada entre 2,0 m e 5,0 m, porém ocorreu um aumento dos valores a partir dessa profundidade até o fundo. Esse fato pode estar associado a correntes internas no reservatório, que podem ter sido acentuadas pela abertura dos vertedouros em janeiro e fevereiro de 2010.

Os perfis de oxigênio dissolvido indicaram estratificação química da coluna de água em todos os meses de coleta. No mês de fevereiro, assim como em EC3, observou-se o aumento da concentração na subsuperfície, que esteve associado ao máximo de oxigênio no metalímnio. Os valores observados foram inferiores aos de

EC3, especialmente em fevereiro de 2010, o que deve ser reflexo de um nível mais elevado da produtividade primária da comunidade fitoplânctonica.



**Figura 12:** Perfis de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH e oxigênio dissolvido ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ; %) nos seis meses analisados na estação de coleta EC2

### 5.2.6. Estação de amostragem EC1

A estação de amostragem EC1 encontra-se próxima à barragem, em zona lacustre, porém com influência dos procedimentos operacionais da barragem, como vazão vertida e turbinada. Da mesma forma, por apresentar a maior profundidade entre os pontos, o comportamento dos seus perfis é distinto.

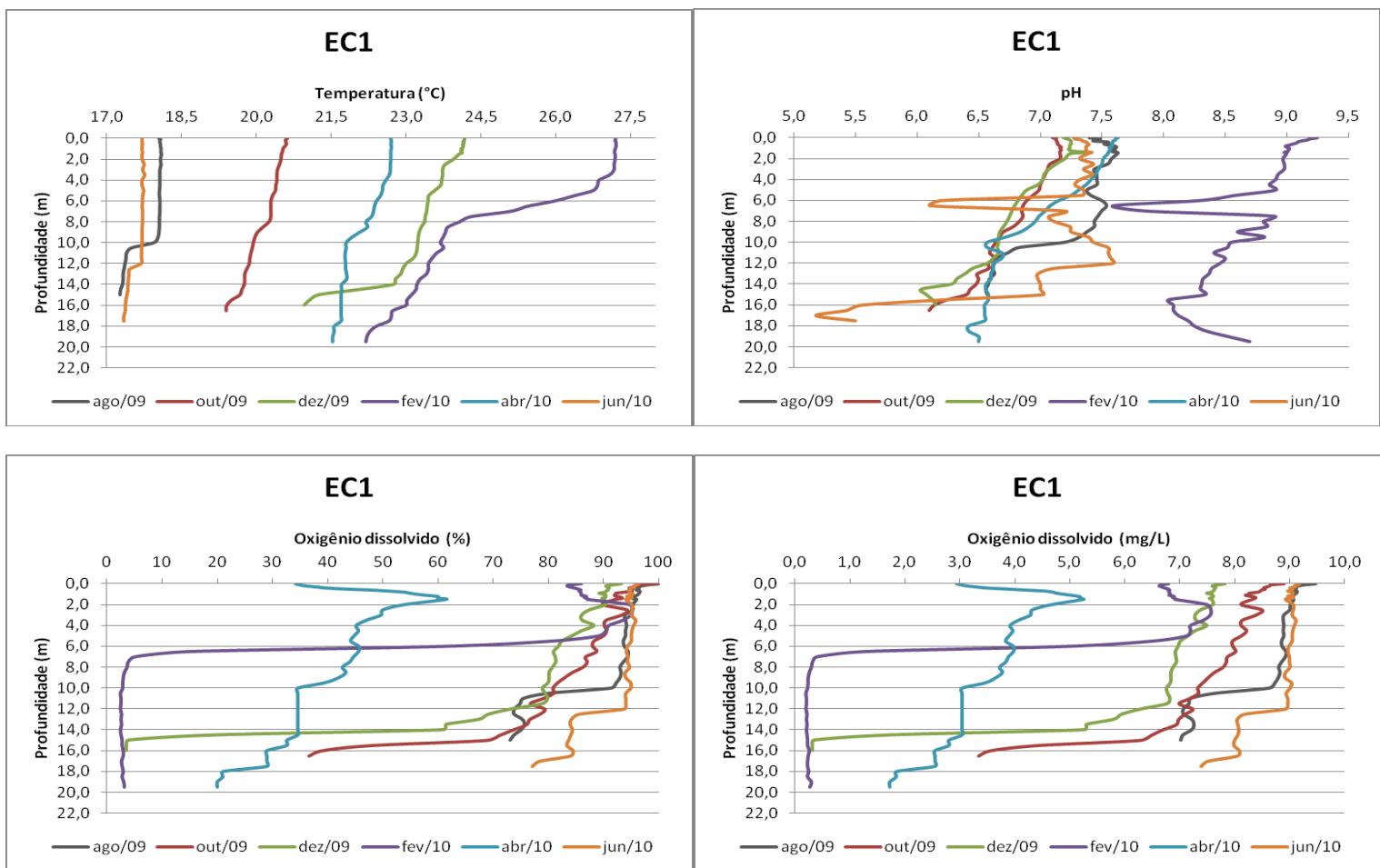
A estratificação térmica da coluna de água foi constatada apenas no mês de fevereiro de 2010, com termoclina entre 3,0 m e 7,5 m, já em agosto e dezembro de 2009 e abril de 2010, os perfis configuraram microestratificação da coluna de água. Dos Santos (2003) obteve, para o mês de outubro de 1999, no reservatório de Salto Grande (SP), perfis de temperatura com pequena tendência de microestratificação térmica apenas próximo à barragem, em zona lacustre.

Assim como nas estações EC3 e EC2, os valores de pH em fevereiro de 2010 foram mais elevados do que nos demais meses. Esse fato deve estar associado aos níveis mais elevados de radiação solar, que permitem uma maior produtividade primária e, portanto, o consumo de gás carbônico, ocasionando o aumento do pH.

Os perfis de oxigênio dissolvido indicam estratificação química em todos os meses, à exceção de junho de 2010, quando houve apenas microestratificação. O pico de oxigênio dissolvido na subsuperfície também ocorreu em EC1, porém de forma mais atenuada, que pode estar associado ao processo fotossintético.

Destacaram-se as menores concentrações de oxigênio dissolvido no mês de abril de 2010. Esse fato deve ter ocorrido por uma provável produtividade primária menor nesse mês, com menor disponibilidade de radiação solar.

No entanto, deve-se ressaltar a importância da temperatura na atividade bacteriana e, consequentemente, nos processos de decomposição de matéria orgânica com consumo de oxigênio dissolvido.



**Figura 13: Perfis de temperatura (°C), pH e oxigênio dissolvido (mg.L<sup>-1</sup>; %) nos seis meses analisados na estação de amostragem EC1**

### 5.3. Nutrientes e clorofila a

#### 5.3.1. Fósforo Total

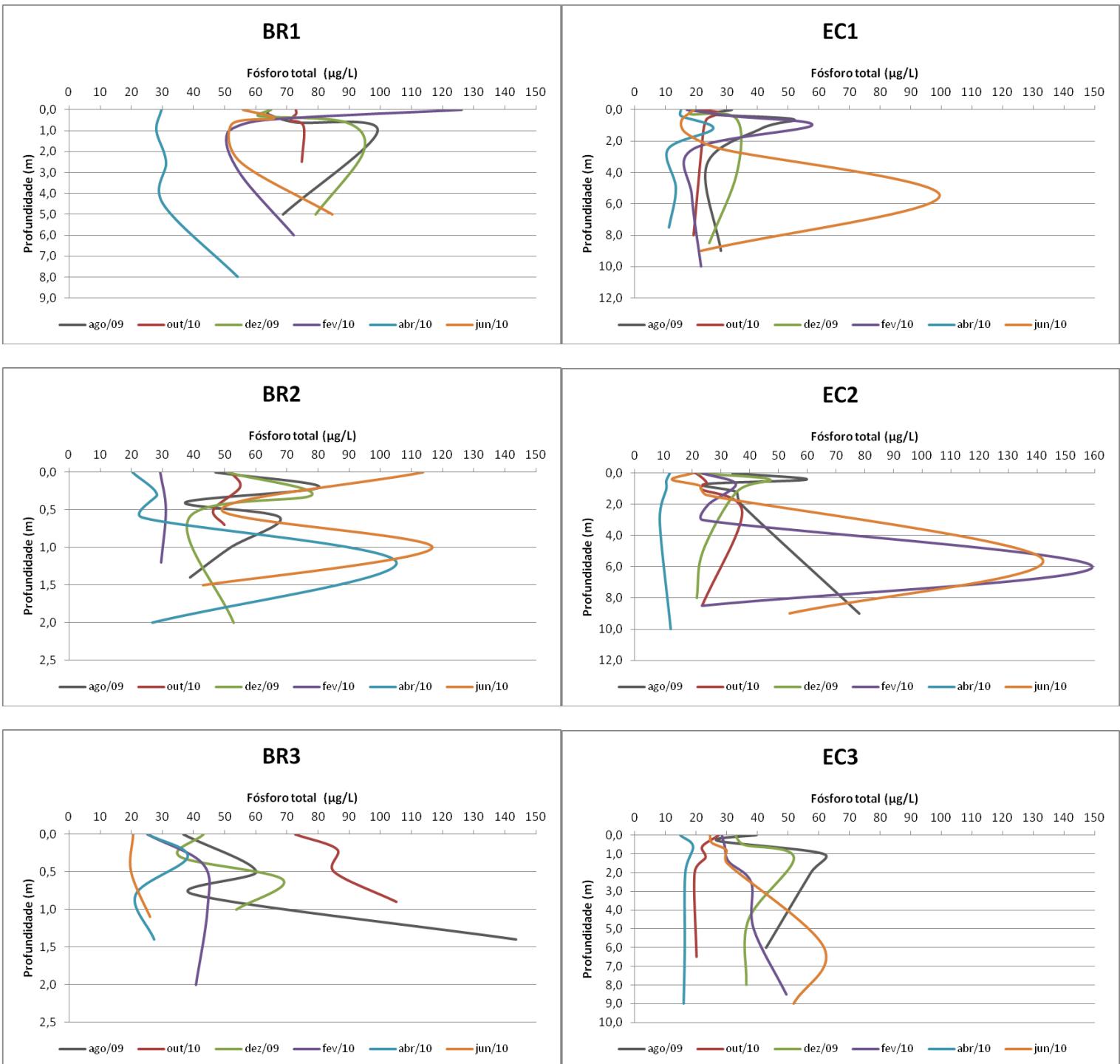
Os perfis de fósforo total apresentaram grande variabilidade (Figura 14), com mínima de 8,6 µg/L em EC2 no mês de abril de 2010 e máxima de 159,3 µg/L nessa mesma estação, no mês de fevereiro de 2010, na profundidade de 6,0 m. Apesar de a mínima concentração ter ocorrido em abril, foi nesse mês que se observou a maior média de concentração de fósforo total entre os meses analisados, correspondente a 87,2 µg/L em BR3. Essa estação e BR1 apresentaram as médias mais elevadas nos meses analisados.

No caso de BR1, os valores foram, geralmente, maiores que 60 µg/L em toda a coluna de água, à exceção do mês de abril de 2010. Essas concentrações elevadas em BR1 estão, provavelmente, associadas à desembocadura dos rios formadores do reservatório próximo à estação (rios Sorocamirim, Sorocabuçu e Una), que possuem margens urbanizadas e recebem efluente da ETE. Além disso, não se deve desprezar

a influência da decomposição de macrófitas aquáticas para o incremento das concentrações de fósforo na água. Essas influências da desembocadura de rio e da decomposição de macrófitas também são válidas para BR3 e BR2, onde havia bancos de macrófitas e a entrada do córrego do Paruru (BR3) e da Ressaca (BR2).

De forma geral, houve diminuição das concentrações de fósforo total no sentido cabeceira-barragem, o que demonstra a sedimentação do fósforo ao longo do eixo central do reservatório. Em dezembro de 2009, por exemplo, as concentrações médias de fósforo total em BR1, EC3, EC2 e EC1 foram, respectivamente, de 77,8 µg/L; 38,8 µg/L; 29,9 µg/L e 25,4 µg/L.

Nos meses de fevereiro e, em especial, de abril de 2010, após os elevados volumes precipitados em dezembro e janeiro, as concentrações de fósforo total decresceram, principalmente na superfície, o que pode indicar perdas pela vazão e sedimentação.

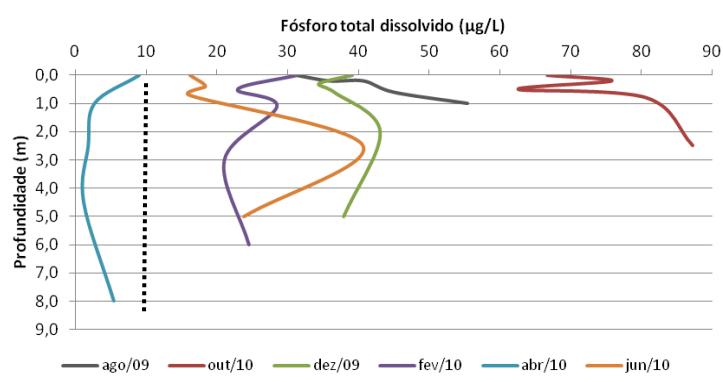
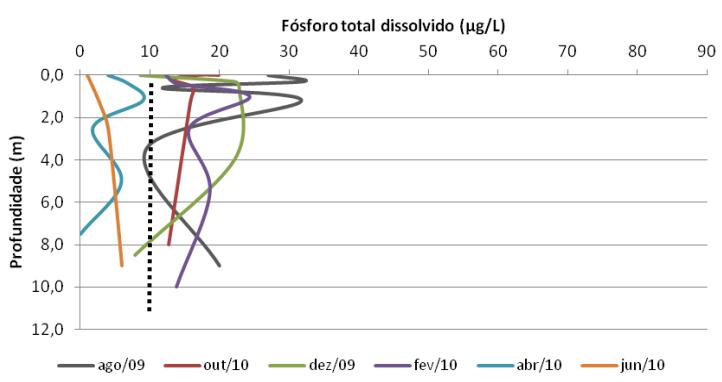
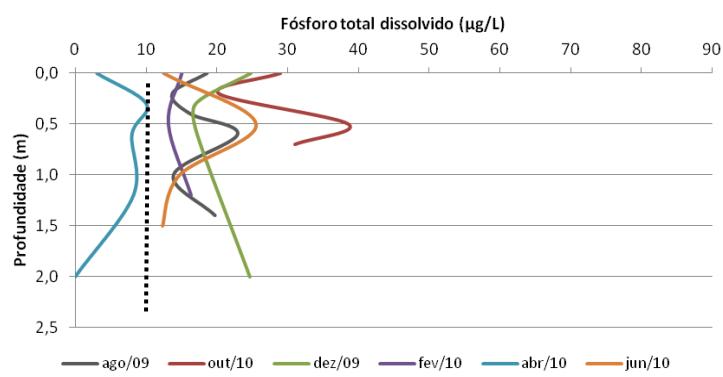
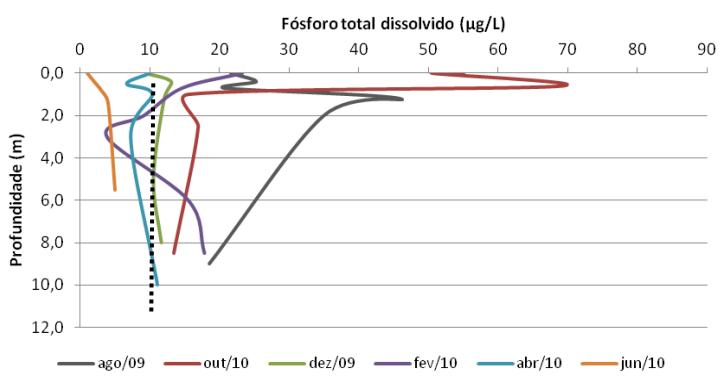
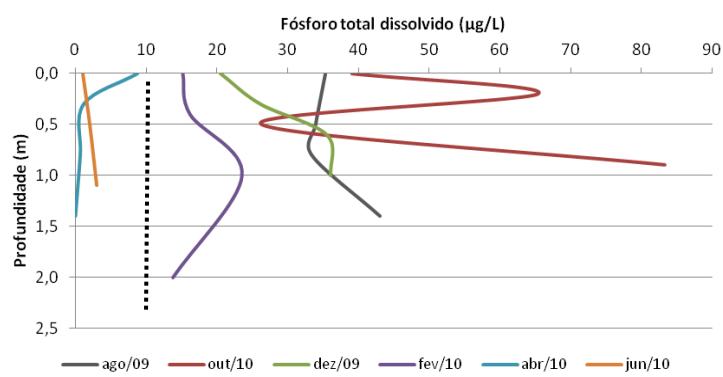
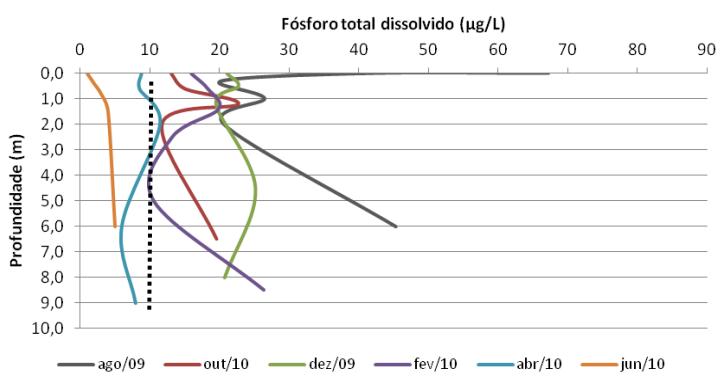


**Figura 14:** Perfis de fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010

### 5.3.2. Fosfato Total Dissolvido

O fosfato total dissolvido (Figura 15) apresentou, de forma geral, tendência de queda da superfície à subsuperfície e de crescimento da subsuperfície ao fundo. Esse comportamento pode estar relacionado ao consumo do fosfato dissolvido pela comunidade fitoplanctônica na superfície. Ressalta-se, ainda, que o limite de detecção do método foi de 10  $\mu\text{g/L}$ .

Em abril de 2010, todas as estações apresentaram valores de fosfato total dissolvido abaixo do limite de detecção. No mês de junho de 2010, os valores também foram menores que 10 µg/L, à exceção de BR1 e BR2. Os perfis do mês de outubro de 2009, no entanto, apresentaram as concentrações mais elevadas de fosfato total dissolvido. Esse fato pode estar associado às chuvas durante os dias de coleta, que ocasionou o carreamento de material alóctone para o corpo de água. Essa hipótese é endossada, uma vez que as estações BR1, BR2 e BR3 apresentaram as concentrações maiores nesse mês, sendo que estas estações podem ser mais influenciadas pelos fenômenos climáticos e atividades antrópicas, pois estão próximas às desembocaduras de rios e córregos.

**BR1****EC1****BR2****EC2****BR3****EC3**

**Figura 15: Perfis de fosfato total dissolvido ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010, com limite de detecção de  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$**

### 5.3.3. Ortofósфato

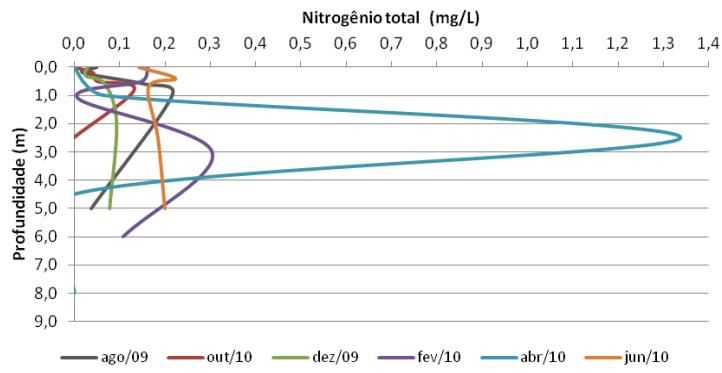
À exceção de BR1 em outubro e dezembro de 2009, todas as demais estações e meses de coleta apresentaram concentrações de ortofósfato inferiores ao limite do método,  $10 \mu\text{g/L}$ . BR1, por ter influência direta da entrada dos rios formadores do reservatório e da cobertura de macrófitas aquáticas à montante, apresentou

concentrações médias de ortofosfato em outubro e dezembro, respectivamente, de 14,4 µg/L e 13,2 µg/L.

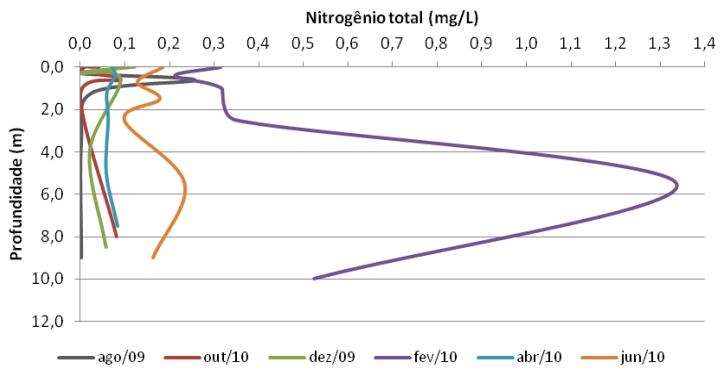
#### **5.3.4. Nitrogênio Kjeldahl Total**

Os perfis de nitrogênio kjeldahl total nas estações de amostragem na Figura 16 mostram as máximas concentrações nos meses de agosto de 2009, fevereiro e abril de 2010, respectivamente em BR3, EC1 e BR1 (1,02 mg/L; 1,34 mg/L; 1,34 mg/L). Os valores médios foram mais elevados no mês de fevereiro de 2010, respectivamente, em BR1, BR2, BR3, EC1, EC2 e EC3, de 0,15 mg/L; 0,39 mg/L; 0,35 mg/L; 0,51 mg/L; 0,09 mg/L e 0,15 mg/L.

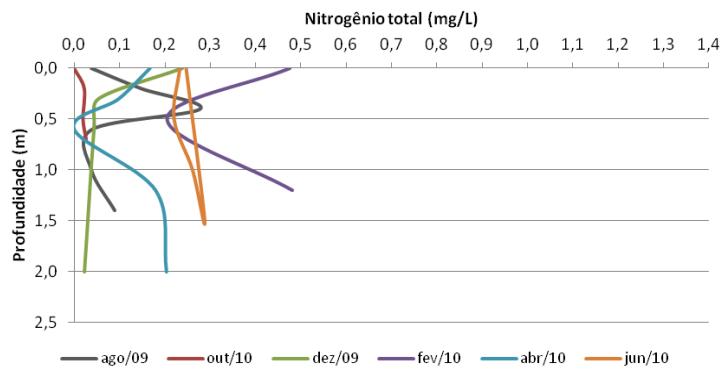
BR1



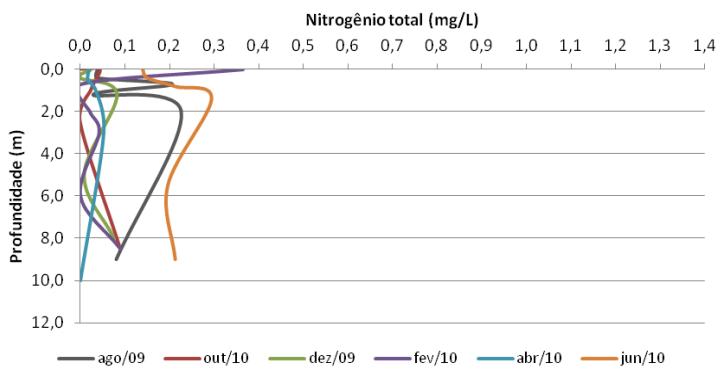
EC1



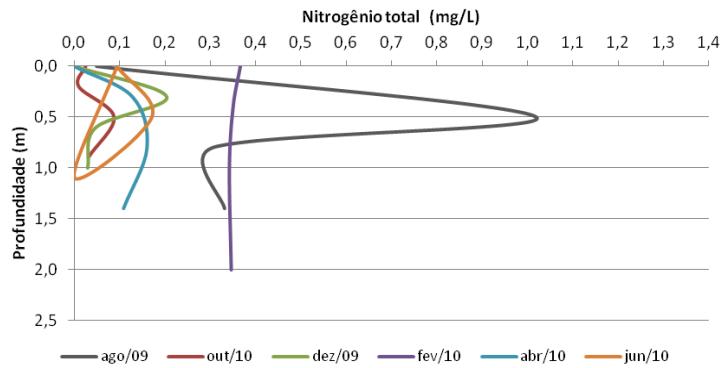
BR2



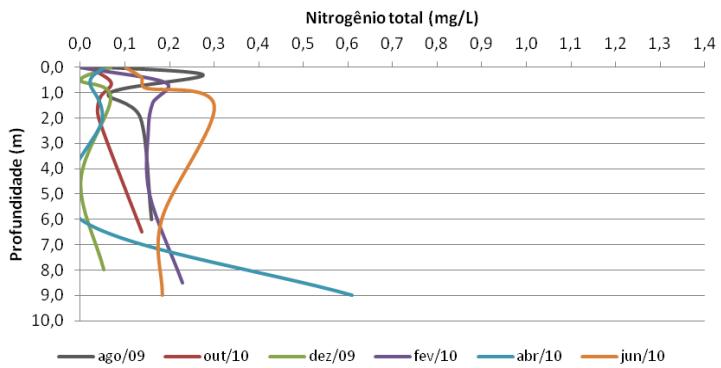
EC2



BR3



EC3



**Figura 16: Perfis de nitrogênio total ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010**

### 5.3.5. Nitrito

As concentrações obtidas de nitrito nos meses amostrados foram, geralmente, inferiores ao limite de detecção do método empregado ( $<0,25 \mu\text{g/L}$ ). Somente BR3 apresentou concentrações acima do limite, à exceção do mês de fevereiro de 2010. A concentração mínima ocorreu em abril de 2010 (0,42  $\mu\text{g/L}$ ) e a máxima em outubro de 2009 (1,26  $\mu\text{g/L}$ ), assim como o menor e o maior valor médio

observado, respectivamente, nesses mesmos meses ( $0,58 \mu\text{g/L}$  e  $1,21 \mu\text{g/L}$ ). As baixas concentrações de nitrito podem estar associadas à sua baixa estabilidade, já que o mesmo é rapidamente oxidado a nitrato.

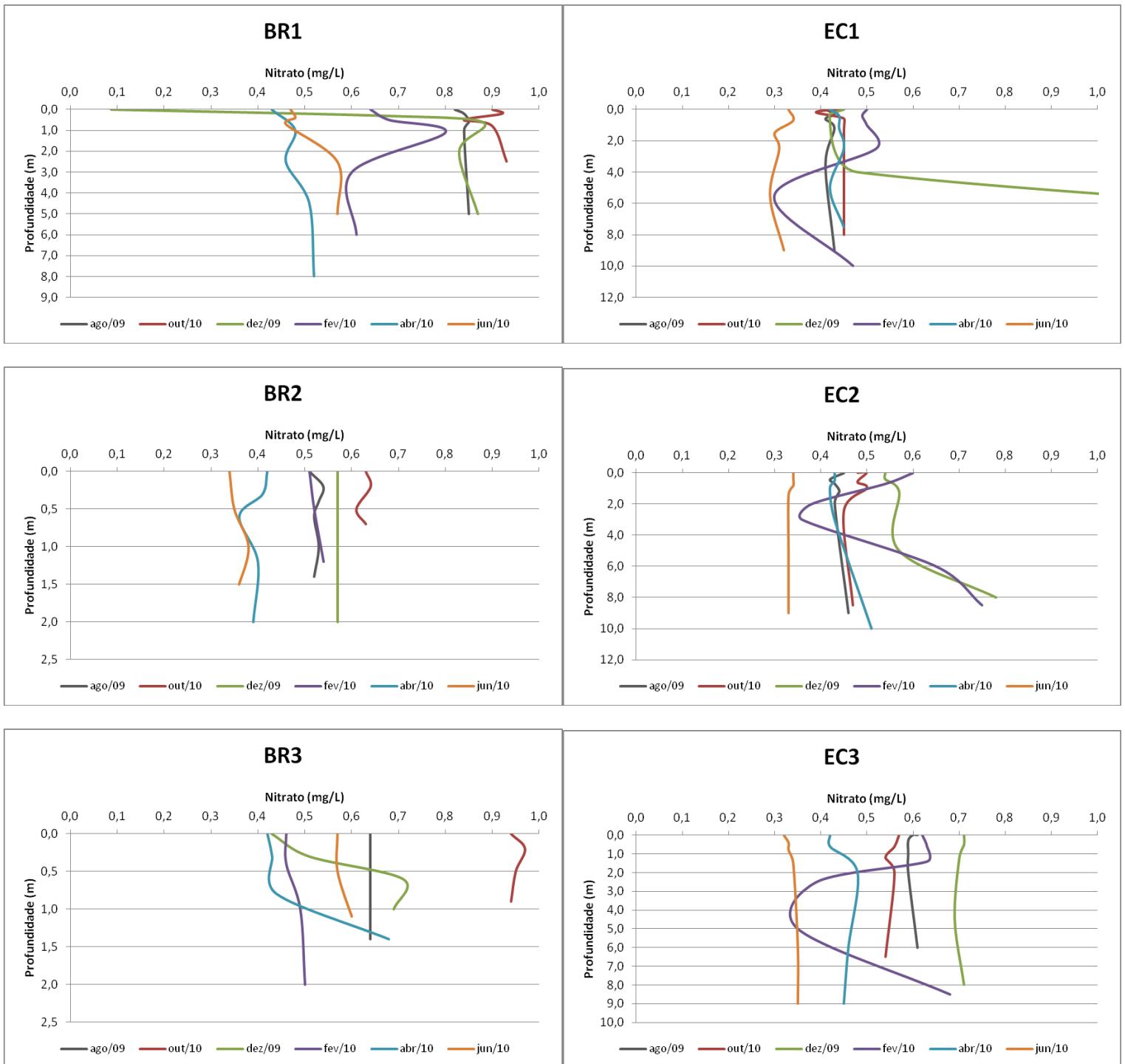
### 5.3.6. Nitrato

Os perfis de concentração de nitrato nas estações de amostragem (Figura 17) não apresentaram variações consideráveis na coluna de água, nos meses analisados. Destaca-se apenas o aumento do valor de nitrato na subsuperfície em BR1, no mês de agosto de 2009, e o pico de concentração de nitrato em EC1 no mesmo mês ( $2,55 \text{ mg/L}$ ).

As estações nos braços do reservatório mostraram-se mais suscetíveis às chuvas, já que no mês de outubro de 2009 as concentrações observadas foram, geralmente, mais elevadas do que nos demais meses, em BR1, BR2 e especialmente em BR3. A influência das margens do ecossistema aquático também foi mais marcante nas estações BR1 e BR3, nas quais se observaram as concentrações mais elevadas de nitrato.

Em BR1 as médias nos seis meses amostrados foram, respectivamente,  $0,84 \text{ mg/L}$ ;  $0,90 \text{ mg/L}$ ;  $0,67 \text{ mg/L}$ ;  $0,67 \text{ mg/L}$ ;  $0,48 \text{ mg/L}$  e  $0,51 \text{ mg/L}$  (agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010). Em BR3, as concentrações médias foram de agosto a junho,  $0,64 \text{ mg/L}$ ;  $0,95 \text{ mg/L}$ ;  $0,59 \text{ mg/L}$ ;  $0,48 \text{ mg/L}$ ;  $0,49 \text{ mg/L}$  e  $0,58 \text{ mg/L}$ . As concentrações máximas de nitrato no período amostrado ocorreram no mês de outubro de 2009 em BR1 e BR2, fato relacionado às chuvas no mês e mesmo durante os dias de coleta. Além disso, essas três estações de amostragem recebem as águas dos rios formadores do reservatório (BR1), do córrego da Ressaca (BR2) e do córrego do Paruru (BR3), nos quais há despejo de esgoto doméstico e águas pluviais oriundas das suas margens urbanizadas.

Observou-se, também, a heterogeneidade espacial nas concentrações de nitrato no sistema, da cabeceira à barragem, tanto em meses secos, como agosto de 2009,  $0,60 \text{ mg/L}$  (EC3);  $0,44 \text{ mg/L}$  (EC2);  $0,42 \text{ mg/L}$  (EC1), quanto nos meses úmidos, como fevereiro de 2010,  $0,56 \text{ mg/L}$  (EC3);  $0,54 \text{ mg/L}$  (EC2);  $0,46 \text{ mg/L}$  (EC1). Essas concentrações foram elevadas quando comparadas aos resultados obtidos no reservatório Paiva Castro (SP), no qual Giatti (2000) observou concentrações máximas de  $0,14 \text{ mg/L}$ .



**Figura 17: Perfis de nitrato (mg.L⁻¹) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010**

### 5.3.7. Clorofila a

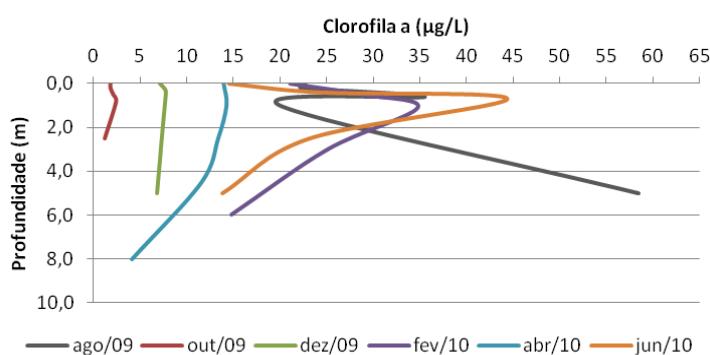
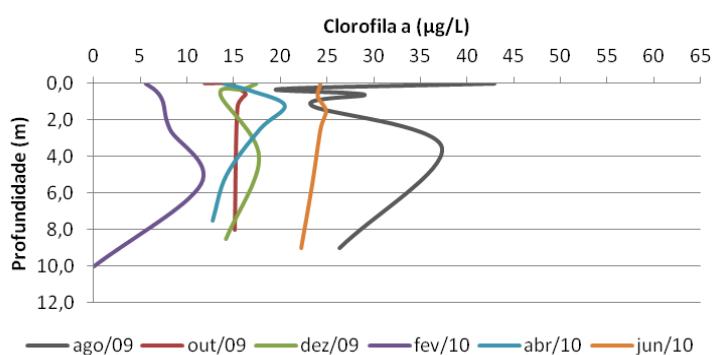
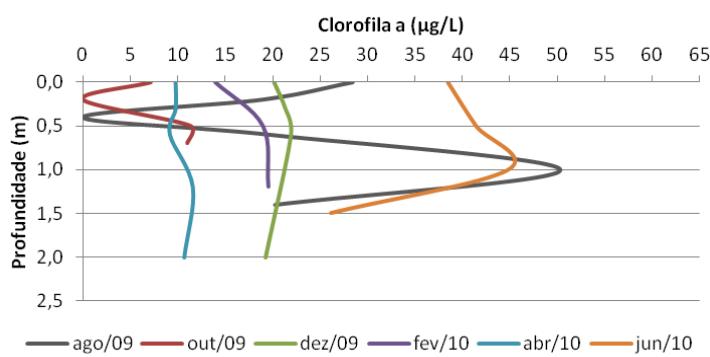
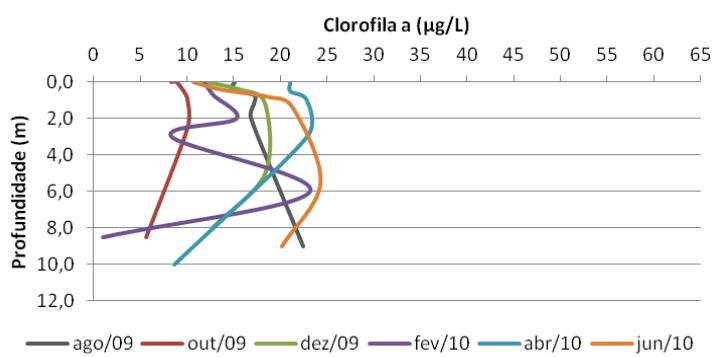
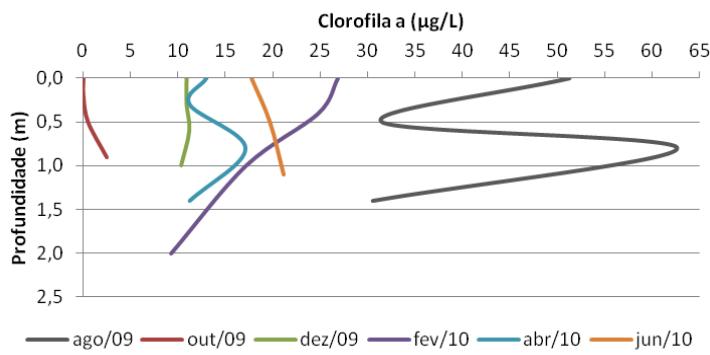
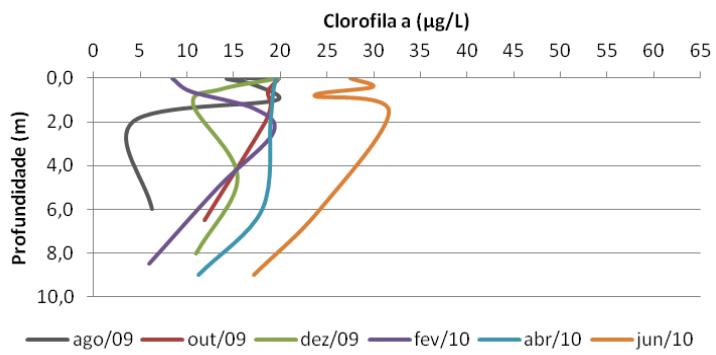
As concentrações de clorofila a nas estações de amostragem são apresentadas na Figura 18. De forma geral, observou-se que tenderam a uma diminuição da superfície ao fundo nas estações do eixo central do reservatório, com aumento na subsuperfície apenas no mês de fevereiro de 2010. Esse fato pode ser

devido ao processo de fotoinibição pela intensidade da radiação solar. Já a tendência à diminuição da superfície ao fundo relaciona-se à penetração de energia luminosa.

As estações nos braços do sistema (BR1, BR2 e BR3) demonstraram comportamento distinto nos meses analisados. As concentrações médias de clorofila *a* foram maiores nos meses secos nos braços do reservatório, como agosto de 2009 (BR1 31,8 µg/L; BR2 22,9 µg/L; 44,0 µg/L) e junho de 2010 (BR1 24,0 µg/L; BR2 37,7 µg/L; BR3 19,6 µg/L), o que deve se relacionar a uma menor turbidez da coluna de água nesses períodos. Da mesma forma, as menores concentrações médias ocorreram nessas mesmas estações, porém nos meses chuvosos, como outubro (BR1 1,8 µg/L; BR2 7,3 µg/L; BR3 0,7 µg/L) e dezembro de 2009 (BR1 7,3 µg/L; BR2 20,6 µg/L; BR3 10,9 µg/L).

Apesar de as concentrações terem decrescido em BR2 nos meses chuvosos, as diminuições foram mais tênuas. Esse comportamento está, provavelmente, associado ao fato de esse braço possuir as margens vegetadas e sofrer apenas com a influência da desembocadura do córrego da Ressaca que recebe o impacto de fontes pontuais de poluição.

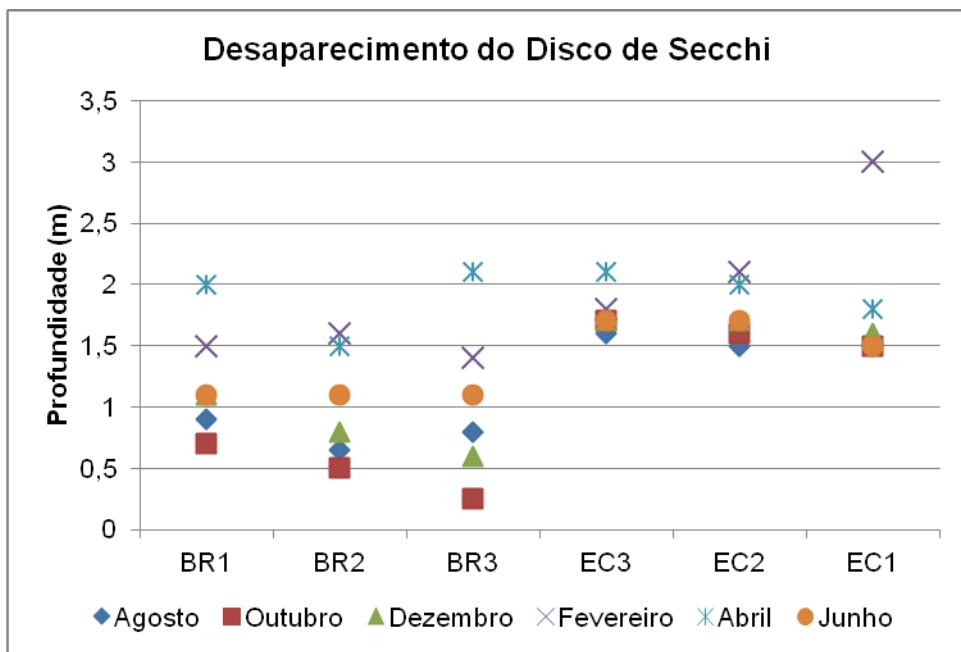
De forma geral, as concentrações médias de clorofila *a* no reservatório de Itupararanga foram mais elevadas do que as apresentadas por Marciano (2005) para o reservatório de Bariri (SP) e por Rosa et al. (2008) para o próprio reservatório de Itupararanga. Os valores obtidos por Marciano (op. cit) não ultrapassaram 6,5 µg/L para coletas realizadas nos meses de setembro e novembro de 2003, já Rosa et al. (op. cit) obtiveram concentração máxima de clorofila de 6,63 µg/L.

**BR1****EC1****BR2****EC2****BR3****EC3**

**Figura18: Perfis de clorofila a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga em agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010**

#### 5.4. Transparência da água

A análise dos valores de profundidade de desaparecimento do disco de Secchi para os pontos amostrados (Figura 19), nos meses de coleta, indica que as estações nos braços do reservatório apresentaram maior variabilidade. Essa observação reforça o fato de esses serem mais suscetíveis às atividades antrópicas e à desembocadura de rios e córregos.



**Figura 19: Profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (m) nas estações de amostragem no reservatório de Itupararanga, nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2009 e fevereiro, abril e junho de 2010**

Nos meses de fevereiro e abril de 2010, obtiveram-se as maiores profundidades do disco de Secchi. Na coleta de fevereiro, obteve-se o aumento progressivo da profundidade no sentido de EC3 à EC1, tendência oposta nos demais meses analisados. Esse comportamento pode estar associado às chuvas intensas nos meses precedentes (dezembro e janeiro), com carreamento de material alóctone ao sistema. Dessa forma, a heterogeneidade espacial do reservatório é ressaltada, uma vez que o mecanismo de sedimentação torna-se preponderante. Além disso, o aumento da cota do nível de água do reservatório nesse período pode ter influenciado para uma maior profundidade do disco de Secchi, como proposto por Shantz et al. (2004).

### 5.5. Sólidos Suspensos Totais, Orgânicos e Inorgânicos

Os perfis de concentração dos sólidos suspensos totais na coluna de água foram diferentes nos braços e no eixo central do reservatório (Figura 20). De forma geral, as concentrações observadas nos braços foram mais elevadas do que as obtidas nos pontos do eixo central do reservatório de Itupararanga. As concentrações nos braços apresentaram valores mínimos de 3,4 mg/L e 5,3 mg/L, respectivamente em BR1 (abril/10) e BR2 (fevereiro/10), e máximos de 61,4 mg/L e 72,7 em BR1 (abril/10) e BR3 (outubro/09).

As concentrações de SST foram maiores em outubro de 2009, em especial nos braços do reservatório de Itupararanga como confirmado pelos valores médios na Tabela 5, o que está relacionado à ocorrência de chuva durante os dias de coleta, propiciando o carreamento de material alóctone para o corpo de água. A desembocadura do Córrego do Paruru em BR3 foi, provavelmente, o fator responsável pelas elevadas concentrações obtidas, uma vez que esse possui as margens urbanizadas e aporte de esgoto doméstico sem tratamento. O material carreado é composto basicamente pela fração inorgânica, como é possível observar nos perfis de concentração de Sólidos Suspensos Inorgânicos (Figura 21). O mesmo foi relatado por An & Jones (2000) para um reservatório sul-coreano e por Freire et al. (2009) para um reservatório brasileiro.

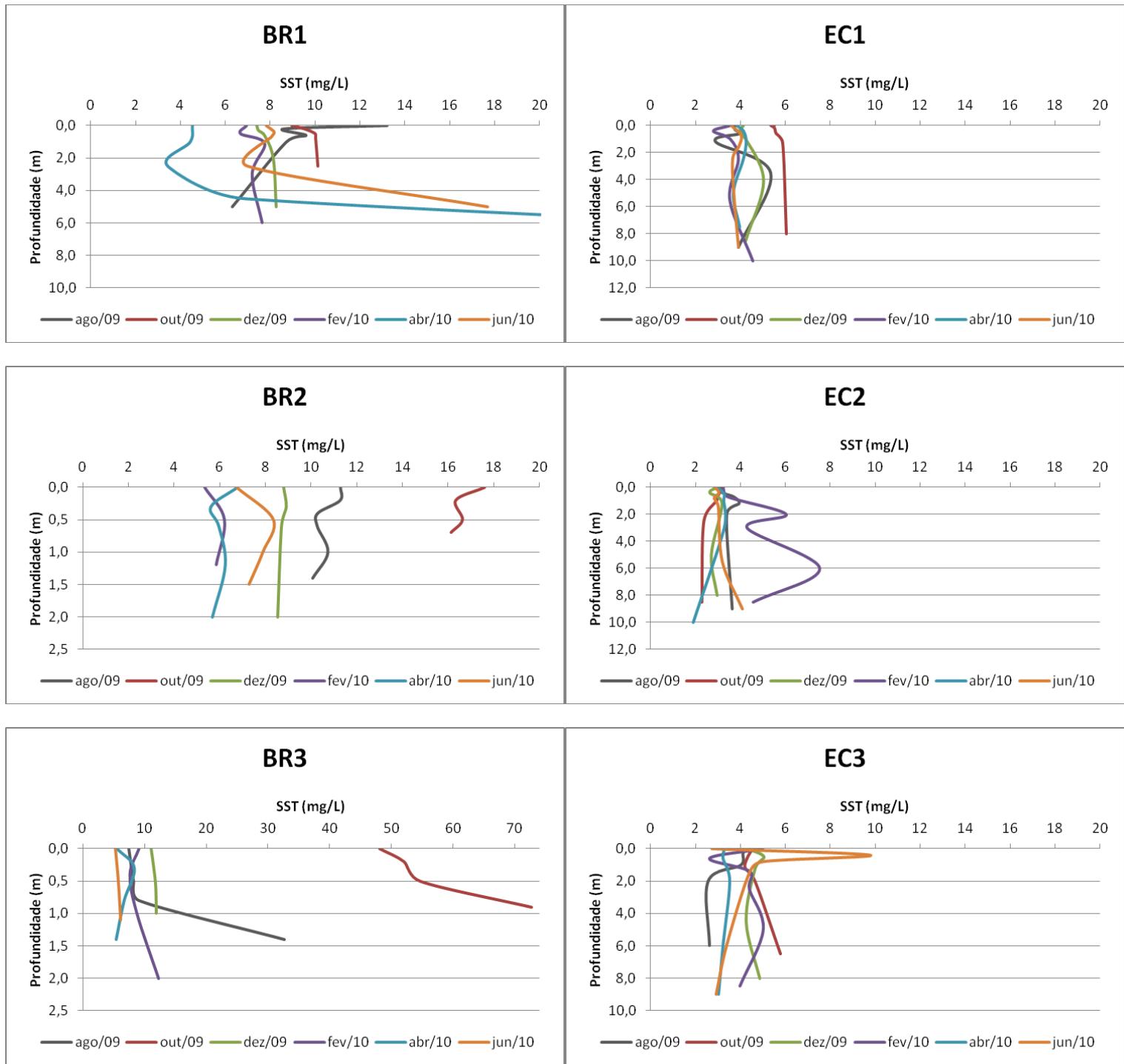
A importância do uso e ocupação das margens do reservatório para a qualidade de água do mesmo é destacada quando se observa o comportamento do perfil de SST na estação BR2. Essa estação também está localizada em um braço do reservatório de baixa profundidade, porém as suas margens são ocupadas por vegetação nativa. Dessa forma, o carreamento de material alóctone durante as chuvas é menor, o que atenuou o efeito sobre as concentrações de SST na coluna de água, dinâmica observada também nos reservatórios estudados por Chua et al. (2009), em Cingapura, e Parinet et al. (2004), na Costa do Marfim durante períodos chuvosos.

Já as concentrações maiores detectadas em BR1 e BR3, em alguns meses, podem refletir as correntes internas ocasionadas pela entrada dos rios e córregos que possuem maior carga de SST, ou mesmo, no caso de BR3, o revolvimento do sedimento pela movimentação do barco de coleta.

As estações no eixo central demonstraram menor variabilidade, com máxima de 9,8 mg/L em EC3 (junho/10) e mínima de 1,9 mg/L em EC2 (abril/10). No entanto, os perfis não apresentaram variação entre os meses analisados, à exceção de outubro de 2009 em EC1 e fevereiro de 2010 em EC2, com valores médios de 5,6 mg/L e 4,8 mg/L, respectivamente. Esses dois casos correspondem ao aumento da concentração de sólidos suspensos orgânicos na coluna de água nessas estações (Figura 22), em especial pela maior profundidade da zona eufótica nesses períodos e, ainda, pela disponibilidade de nutrientes.

As concentrações médias de SST (Tabela 5) sugeriram a heterogeneidade espacial do reservatório de Itupararanga, corroborando com a compartimentalização espacial proposta por Thornton et al. (1990), na qual seria preponderante o mecanismo de sedimentação no sentido da cabeceira à barragem, que propiciaria o aumento progressivo da atividade fotossintética. Nas coletas realizadas, as

concentrações médias de SST na entrada dos rios formadores do reservatório (BR1) foram sempre maiores do que as observadas em EC3 logo à jusante.



**Figura 20: Perfis de concentração de sólidos suspensos totais (SST) na coluna de água das estações de amostragem nos seis meses de coleta no reservatório de Itupararanga**

**Tabela 5: Concentrações médias (mg/L) de sólidos suspensos totais nos seis meses de coleta nas Estações de Amostragem, no reservatório de Itupararanga**

Estações	Ago/09	Out/09	Dez/09	Fev/10	Abr/10	Jun/10
BR1	9,3	9,7	7,8	7,2	16,2	9,8
BR2	10,6	16,7	8,7	5,8	6,0	7,6
BR3	14,3	56,9	11,6	9,4	6,5	5,7
EC3	3,6	4,7	4,6	4,2	3,2	4,7
EC2	3,5	2,8	2,9	4,8	2,9	3,2
EC1	3,9	5,6	4,3	3,6	4,0	3,8

Da mesma forma, os valores médios em EC2 foram menores do que em EC3, à exceção de fevereiro de 2010. Nesse mês, EC2 apresentou comportamento análogo à EC1 no período amostrado, com concentrações médias maiores ou próximas às de EC3, devido à maior profundidade da zona eufótica, pela sedimentação do material em suspensão e radiação solar intensa. Destaca-se que as concentrações médias de sólidos suspensos totais foram próximas, à exceção de BR3, das observadas por Rosa et al. (2008) para o reservatório de Itupararanga, com valores máximos de cerca de 10 mg/L.

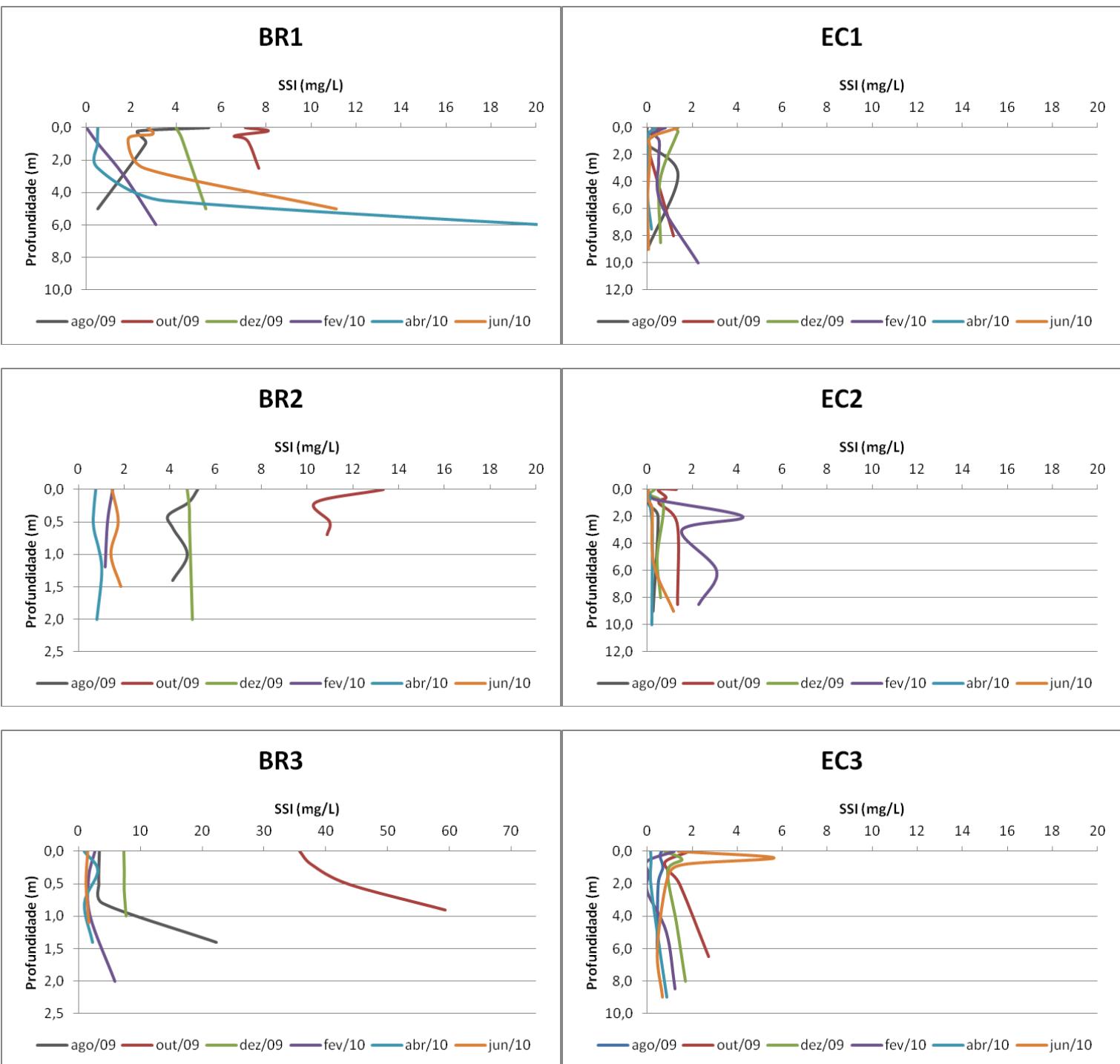
Os perfis de sólidos suspensos inorgânicos (Figura 22) corroboram a compartimentalização observada, uma vez que as concentrações diminuíram progressivamente de BR1 a EC1. O comportamento dos braços do sistema também evidenciou as diferenças desses em relação ao eixo central, uma vez que são mais suscetíveis aos processos que ocorrem no sistema terrestre.

Os perfis de sólidos suspensos orgânicos também ressaltaram a influência dos rios sobre o reservatório. As estações nos braços apresentaram valores mais elevados dessa fração do que as estações no eixo central, o que deve estar relacionado à disponibilidade de nutrientes na coluna de água.

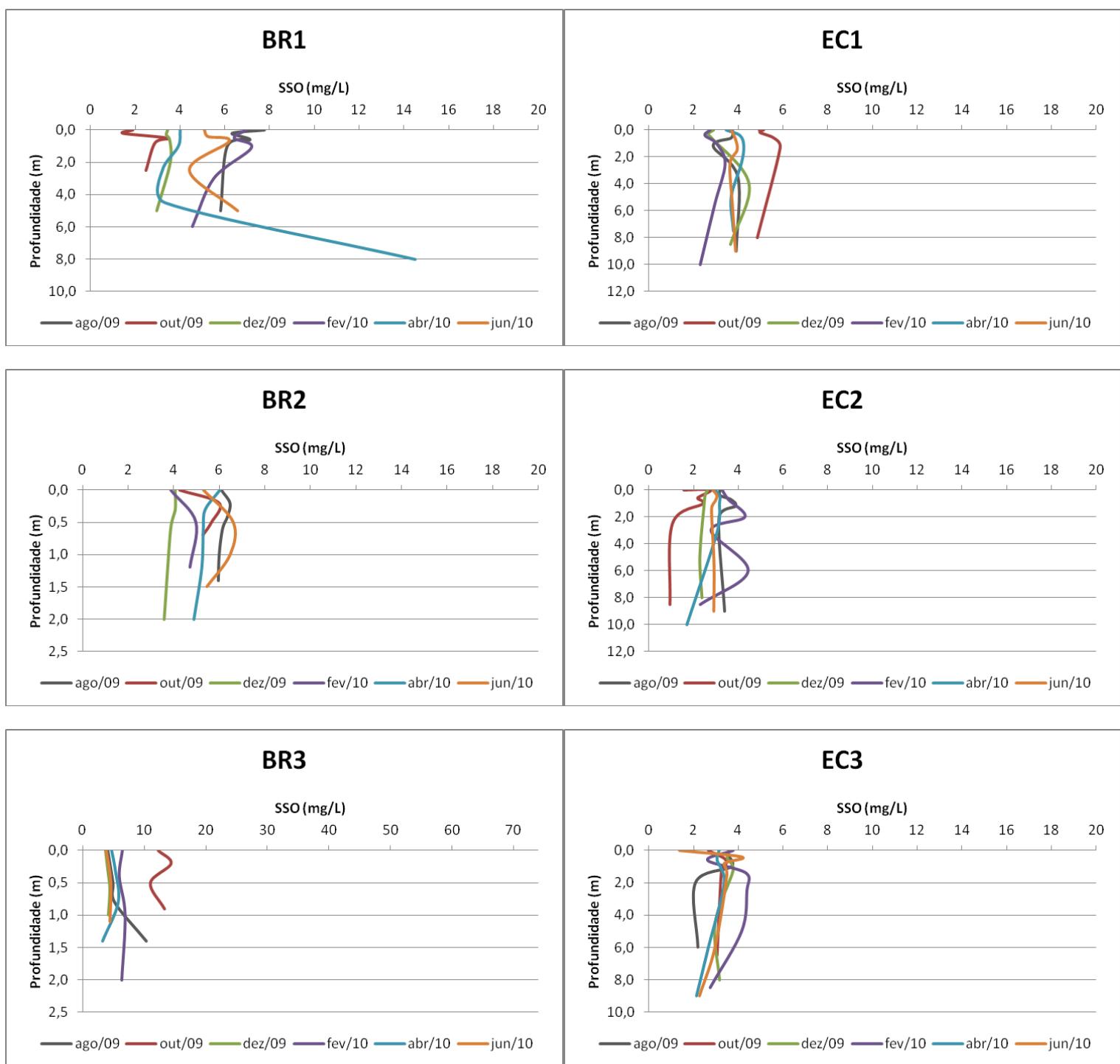
Nas estações do eixo central (EC1, EC2 e EC3), as concentrações máximas de SSO ocorreram, geralmente, na subsuperfície. Tendo em vista que nessas estações a fração orgânica dos SST é basicamente composta por clorofila autóctone, esses valores corroboram com a dinâmica de fotoinibição sugerida por Thornton et al. (1990) e observada através dos perfis de clorofila *a* e oxigênio dissolvido, já que a maior atividade fotossintética na subsuperfície é correspondente ao máximo de oxigênio.

De forma geral, as concentrações obtidas foram significativamente menores do que aquelas obtidas por Mariani (2006) para o reservatório do Rio Grande, Complexo Billings (SP) e por Shantz et al. (2004) para o lago Columbia, Canadá, pois ambos obtiveram concentrações entre 100 e 600 mg/L de sólidos suspensos totais. Já Jones & Knowlton (2005) reportaram concentrações próximas às observadas no reservatório

de Itupararanga, para reservatórios no Missouri, Estados Unidos, com valores médios de cerca de 10 mg/L e máximos de 47 mg/L.



**Figura 21: Perfis de concentração de sólidos suspensos inorgânicos nas estações de amostragem nos seis meses de coleta, reservatório de Itupararanga**

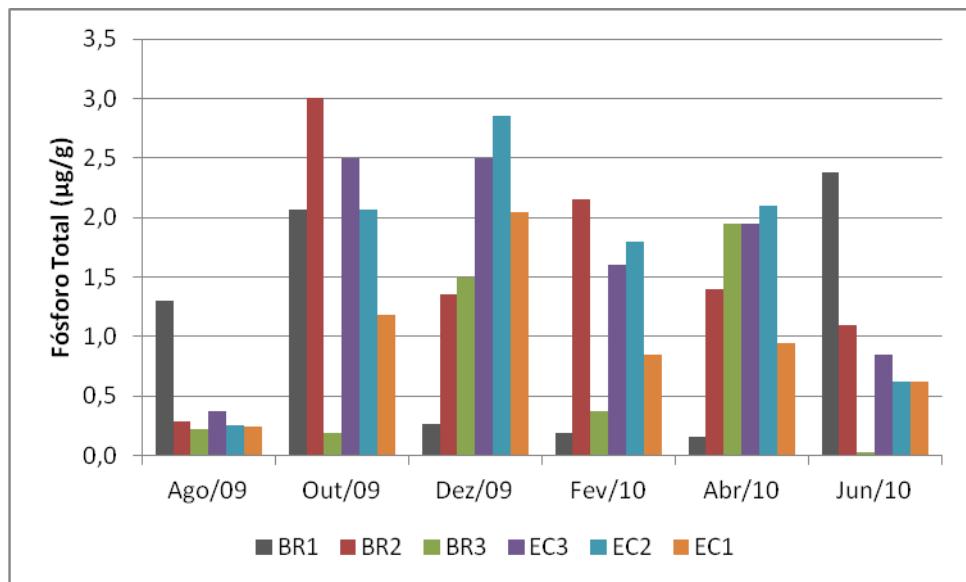


**Figura 22: Perfis de concentração de sólidos suspensos orgânicos nas estações de amostragem nos seis meses de coleta, reservatório de Itupararanga**

## 5.6. Variáveis do sedimento

### 5.6.1. Fósforo Total

A concentração de fósforo total no sedimento (Figura 23) foi maior em BR2, no mês de outubro (3,00 µg/g), seguido por EC2, em dezembro (2,85 µg/g), e os valores mínimos foram obtidos em BR1 e BR3, respectivamente em abril (0,16 µg/g) e junho (0,03 µg/g).



**Figura 23: Fósforo Total no sedimento nas estações amostradas no reservatório de Itupararanga para os seis meses de coleta**

No eixo central do sistema, as concentrações de fósforo total foram decrescentes de EC3 a EC1 nos meses secos (agosto, outubro e junho), porém as máximas concentrações entre esses pontos ocorreram em EC2 nos meses chuvosos (dezembro, fevereiro e abril). Essa distinção entre os períodos de chuvas pode ter ocorrido pelo aumento da carga de entrada de nutrientes pelos rios formadores do reservatório, tornando mais lento o mecanismo de sedimentação da cabeceira à barragem. De qualquer forma, a estação EC1 possuiu os menores valores entre as três estações centrais nos seis meses de coleta.

Os braços do reservatório apresentaram variação significativa entre os seis meses. Os valores em BR2 foram maiores entre outubro de 2009 e abril de 2010, apesar da entrada do córrego da Ressaca nesse ponto. Em BR1 e BR3, os mínimos foram observados.

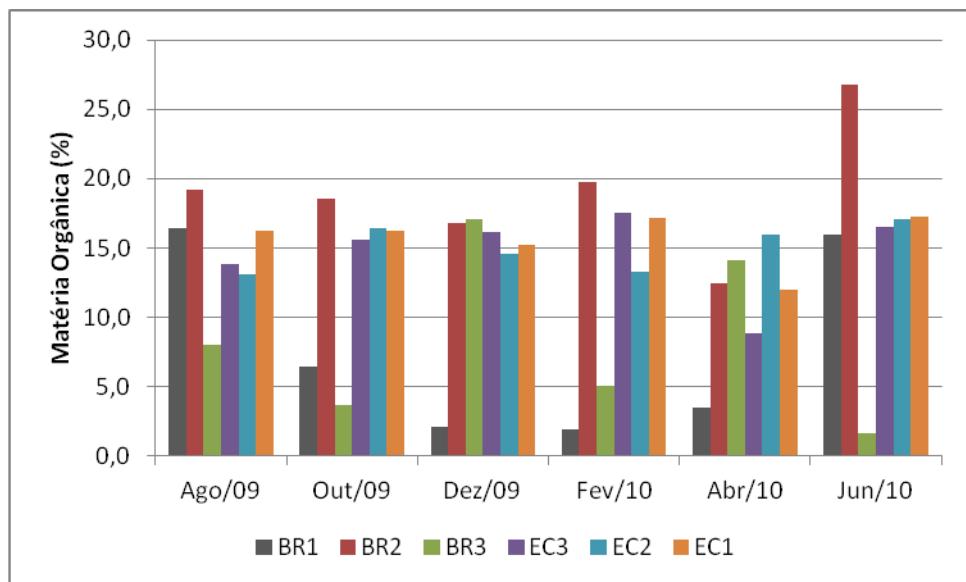
As concentrações elevadas em EC3 e EC2 estão relacionadas aos processos incidentes à montante, em BR1. Entre esses, cita-se o aporte de nutrientes pelos rios formadores do reservatório e a extensa área recoberta por macrófitas aquáticas, que podem aumentar a concentração de fósforo total na coluna de água, como observado por Cunha (2007) em regiões de característica lêntica do rio Pariquera-Açu, Vale do Ribeira de Iguape, SP. O fato de EC3 localizar-se na zona fluvial, próximo ao BR1, indica que a maior concentração de fósforo total no sedimento do primeiro também é consequência do processo incidente no segundo.

Esse comportamento reforça a compartimentalização espacial do reservatório observada para as demais variáveis, na qual EC3 e EC2 foram influenciados significativamente por BR1.

Os menores valores observados, em BR3 e EC1, também corroboraram com o esperado pela compartimentalização espacial, já que o braço em questão recebe as águas do córrego do Paruru, que aumentou a mistura da coluna de água e impediu a sedimentação de material particulado e de nutrientes, e o ponto próximo à barragem (EC1) tem menor aporte destes por estar mais distante das margens e da desembocadura de rios e córregos.

### **5.6.2. Matéria Orgânica**

A exceção de BR1, em agosto e junho, BR3, em dezembro e abril, e EC3, em abril, todos os pontos amostrados apresentaram valores de matéria orgânica acima de 10% (Figura 24), o que caracteriza sedimento orgânico.



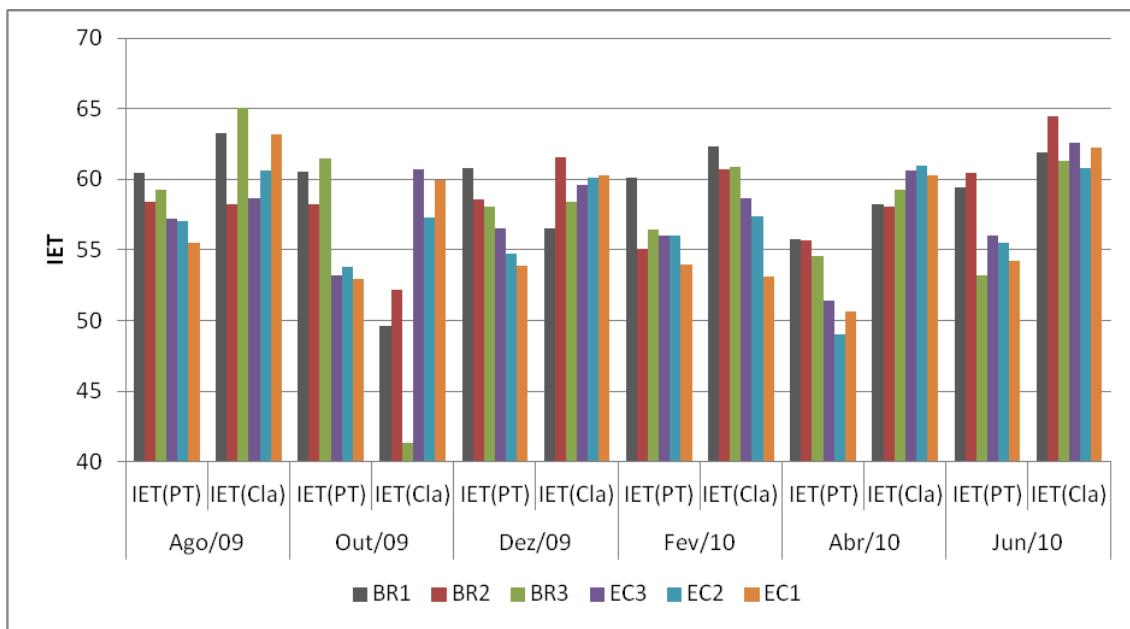
**Figura 24: Matéria Orgânica no sedimento (%) nas estações amostradas no reservatório de Itupararanga nos seis meses de coleta**

Dentre os braços do reservatório, os maiores valores de matéria orgânica foram obtidos em BR1, BR2 e BR3, 16,4% (agosto), 26,1% (junho) e 17,0% (dezembro) respectivamente. A desembocadura dos rios formadores do reservatório de Itupararanga (Sorocamirim e Sorocabuçu) em BR1, a contribuição de material vegetal das margens do reservatório em BR2, e a entrada do córrego do Paruru em BR3, devem ter contribuído para essa maior porcentagem de matéria orgânica, além da presença significativa de macrófitas aquáticas em BR1.

Em relação à baixa concentração de matéria orgânica apresentada em BR3, nos meses de outubro (3,6%), fevereiro (5,0%) e junho (1,7%), pode-se inferir que a desembocadura do córrego do Paruru deve gerar fluxo preferencial interno nesse braço, aumentando a mistura da coluna de água e impedindo o processo de sedimentação de matéria orgânica nesse, assim como foi observado para a concentração de fósforo total no sedimento.

## 5.7. Índice de Estado Trófico (IET)

Os IET(PT) e o IET (Cla) são apresentados na Figura 25 para cada estação de amostragem. Os limites inferiores de cada nível de trofia são representados de acordo com as cores propostas na Tabela 6.



**Figura 25:** Índice de Estado Trófico (Fósforo Total e Clorofila a), conforme metodologia proposta por Lamparelli (2004), nas seis estações de amostragem para o período de análise

**Tabela 6:** Classificação do Índice de Estado Trófico de acordo com Lamparelli (op. cit) e a cor representativa

Nível Trófico	IETm	Cor
Ultraoligotrófico	$\leq 47$	Verde
Oligotrófico	$47 < IETm \leq 52$	Verde escuro
Mesotrófico	$52 < IETm \leq 59$	Amarelo
Eutrófico	$59 < IETm \leq 63$	Amarelo laranja
Supereutrófico	$63 < IETm \leq 67$	Laranja
Hipereutrófico	$> 67$	Preto

De maneira geral, os valores do IET(PT) foram mais elevados nos braços do sistema, nos quais as máximas ocorreram no mês de outubro de 2009, alcançando 63 em BR3, o que corrobora com o comportamento observado para as demais variáveis nessa mesma estação. Além disso, os valores de IET(Cla) foram maiores do que os de IET(PT) e as mínimas e máximas foram observadas nas estações nos braços do reservatório, como esperado.

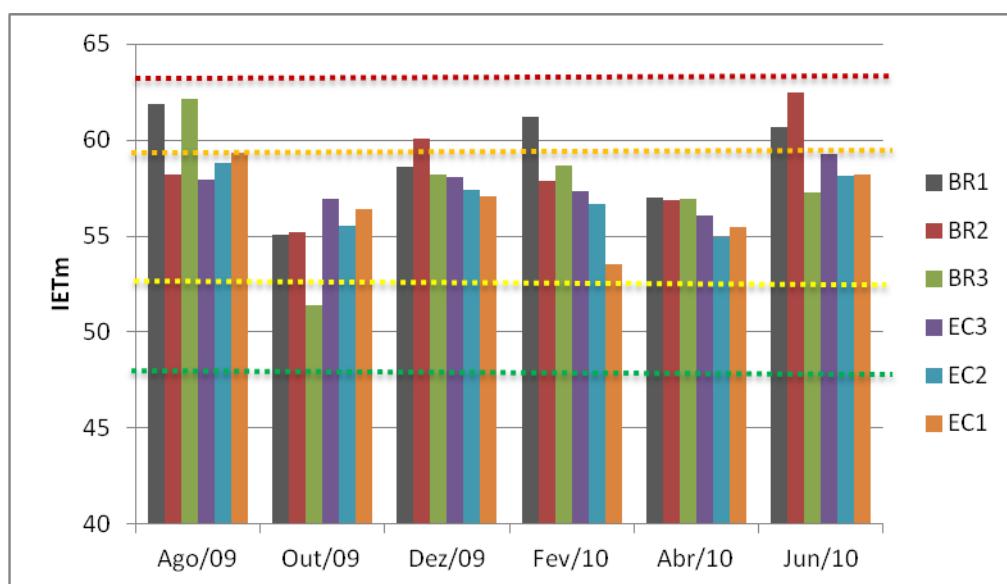
A partir desses valores de IET(PT) e IET(Cla), calculou-se o IETm para cada estação nos seis meses de coleta (Tabela 7).

**Tabela 7: Índice de Estado Trófico médio, calculado a partir do IET(PT) e do IET(Cla). As cores classificatórias seguem os níveis propostos na Tabela 6**

ESTAÇÕES	Ago/09	Out/09	Dez/09	Fev/10	Abr/10	Jun/10
BR1	62	55	59	61	57	61
BR2	58	55	60	58	57	62
BR3	62	51	58	59	57	57
EC3	58	57	58	57	56	59
EC2	59	56	57	57	55	58
EC1	59	56	57	54	55	58

Nos seis meses amostrados, as estações apresentaram classificação mesotrófica, à exceção de BR1 (agosto, dezembro e junho), BR2 (dezembro e junho) e BR3 (agosto e outubro) (Figura 26). Desses exceções, apenas BR3 em outubro de 2009 foi classificado como oligotrófico, os demais se enquadram como eutróficos.

No mês de outubro de 2009, BR3 apresentou o valor máximo de IET(PT) e o mínimo de IET(Cla). Esse comportamento esteve, provavelmente, relacionado à precipitação ocorrida nos dias de coleta, com aumento dos sólidos em suspensão na coluna de água, o que é confirmado pelas concentrações de SSI obtidas, as quais também foram as máximas no período amostrado. Sendo assim, a discrepância entre os valores de IET(PT) e IET(Cla) impossibilitam uma representação próxima à realidade do IETm. A disponibilidade de fósforo não é suficiente para o crescimento fitoplânctônico, ou seja, a elevada concentração de fósforo, por si só, não necessariamente caracteriza um ambiente eutrofizado.



**Figura 26: Índice de Estado Trófico médio nas estações de amostragem nos seis meses de estudo. Os limites inferiores dos níveis de trofia seguem classificação estabelecida na tabela 6**

A maior variação do IETm ocorreu nos braços amostrados. Já as estações de amostragem do eixo central do reservatório apresentaram estabilidade, principalmente EC3 e EC2. Além disso, houve tendência de diminuição dos valores do IETm de EC3 a EC1 na maioria das coletas. Essa tendência confirma a compartmentalização espacial esperada para o reservatório de Itupararanga.

### 5.8. Análise de dados

A Tabela 8 apresenta a matriz de correlação, considerando todo o grupo de dados definido, sem distinção de períodos ou compartimentos.

**Tabela 8: Matriz de correlação Log Pearson entre as oito variáveis determinadas nos seis meses e estações amostrados**

	SST (mg/L)	PT (µg/L)	Chl a (µg/L)	SSI (mg/L)	SSO (mg/L)	IETm	IET (Cla)	IET (PT)
<b>SST (mg/L)</b>	1,00							
<b>PT (µg/L)</b>	0,53	1,00						
<b>Chl a (µg/L)</b>	-0,24	0,15	1,00					
<b>SSI (mg/L)</b>	0,99	0,50	-0,32	1,00				
<b>SSO (mg/L)</b>	0,86	0,55	0,08	0,78	1,00			
<b>IETm</b>	-0,33	0,38	0,82	-0,40	-0,01	1,00		
<b>IET (Cla)</b>	-0,69	-0,26	0,80	-0,74	-0,35	0,78	1,00	
<b>IET (PT)</b>	0,49	0,96	0,10	0,47	0,51	0,41	-0,25	1,00

A matriz de correlação sem distinção dos períodos hidrológicos demonstrou correlação diretamente proporcional de SST, SSI e SSO com PT, respectivamente (0,53); (0,50) e (0,55). Em relação aos Índices de Estado Trófico, SST e SSI apresentaram correlação inversa com IET (Cla) de (-0,69) e (-0,74), uma vez que os sólidos inorgânicos limitam a zona eufótica, o que era esperado pelas hipóteses do presente trabalho. Além disso, SST e SSO resultaram em  $R^2$  de (0,49) e (0,51) quando relacionados ao IET (PT), porém não foi obtido coeficiente significativo entre SSO e Clorofila a, conforme esperado.

As Tabelas 9 e 10 apresentam os valores dos coeficientes obtidos para a mesma análise de correlação Log Pearson, porém separadamente para os meses secos (agosto de 2009, abril e junho de 2010) e para os meses chuvosos (outubro e dezembro de 2009 e fevereiro de 2010).

**Tabela 9: Matriz de coeficientes de correlação Log Pearson nos meses secos (agosto de 2009, abril e junho de 2010) para todas as estações de amostragem**

	SST (mg/L)	PT (µg/L)	Chl a (µg/L)	SSI (mg/L)	SSO (mg/L)	IETm	IET (Cla)	IET (PT)
<b>SST (mg/L)</b>	1,00							
<b>PT (µg/L)</b>	0,51	1,00						
<b>Chl a (µg/L)</b>	0,31	0,65	1,00					
<b>SSI (mg/L)</b>	0,97	0,37	0,23	1,00				
<b>SSO (mg/L)</b>	0,83	0,69	0,40	0,66	1,00			
<b>IETm</b>	0,42	0,92	0,83	0,31	0,55	1,00		
<b>IET (Cla)</b>	0,05	0,46	0,90	0,01	0,13	0,72	1,00	
<b>IET (PT)</b>	0,54	0,96	0,54	0,42	0,67	0,89	0,33	1,00

**Tabela 10: Matriz de coeficientes de correlação Log Pearson nos meses chuvosos (outubro e dezembro de 2009 e fevereiro de 2010) para todas as estações de amostragem**

	SST (mg/L)	PT (µg/L)	Chl a (µg/L)	SSI (mg/L)	SSO (mg/L)	IETm	IET (Cla)	IET (PT)
<b>SST (mg/L)</b>	1,00							
<b>PT (µg/L)</b>	0,61	1,00						
<b>Chl a (µg/L)</b>	-0,49	-0,35	1,00					
<b>SSI (mg/L)</b>	0,99	0,62	-0,56	1,00				
<b>SSO (mg/L)</b>	0,90	0,51	-0,15	0,85	1,00			
<b>IETm</b>	-0,56	-0,04	0,83	-0,60	-0,32	1,00		
<b>IET (Cla)</b>	-0,79	-0,55	0,88	-0,83	-0,53	0,85	1,00	
<b>IET (PT)</b>	0,57	0,98	-0,31	0,58	0,48	0,04	-0,49	1,00

A delimitação entre os dados dos meses secos e dos meses úmidos demonstrou comportamento distinto das correlações entre as variáveis nesses períodos. De maneira geral, os coeficientes obtidos para os meses chuvosos (Tabela 10) foram maiores do que aqueles determinados para os meses secos (Tabela 9) e até para a análise sem distinção de períodos (Tabela 8).

Nos meses secos, SST apresentou correlação significativa apenas com PT (0,51) e IET(PT) (0,54), SSO obteve coeficiente de (0,69) com PT, (0,55) com IETm e (0,67) com IET(PT), mas SSI não demonstrou correlação significativa com nenhuma das variáveis analisadas. Presume-se, assim, que durante os meses secos, os processos autóctones, como produtividade primária e fotossíntese, são mais determinantes para o nível trófico do reservatório.

Nos meses úmidos, no entanto, os sólidos em suspensão apresentaram os maiores coeficientes dentre as análises executadas, destacando-se os coeficientes de SST e SSI com IETm, IET(Cla) e IET(PT). Os coeficientes de correlação entre SST e

IETm e IET(Cla) foram negativos, respectivamente (-0,56) e (-0,79), já em relação ao IET(PT) o  $R^2$  foi positivo de (0,57). A mesma inversão de sinais foi observada, para as mesmas variáveis (IETm, IET(Cla) e IET(PT)), na correlação de SSI, com valores respectivos de (-0,60), (-0,83) e (0,58).

Esse comportamento de correlação inversa para IET(Cla) e correlação direta para IET(PT) confirma as hipóteses do trabalho, uma vez que se esperava que os sólidos em suspensão influenciariam a produtividade primária, negativamente pela limitação da penetração de luz e positivamente pelo carreamento de nutrientes para a coluna de água, o que ocorreu durante os meses chuvosos devido ao escoamento superficial na bacia de drenagem do reservatório.

Entre SSO e IET(Cla) e IET(PT), nos meses úmidos, também houve coeficiente significativo (-0,53 e 0,48), porém com menor significância do que para SST e SSI, tanto que o  $R^2$  obtido entre SSO e IETm foi de apenas (-0,32).

Tendo em vista analisar as diferenças de correlação dessas variáveis quanto à compartmentalização espacial do reservatório, como observada pelo comportamento das variáveis físicas e químicas da coluna de água, a análise de correlação Log Pearson foi realizada, separadamente, para as estações nos braços do reservatório de Itupararanga (BR1, BR2 e BR3) (Tabela 11) e para as estações no eixo central do mesmo (EC1, EC2 e EC3) (Tabela 12).

**Tabela 11: Matriz de coeficientes da correlação Log Pearson para as estações de amostragem nos braços do reservatório de Itupararanga, nos seis meses de coleta**

	SST (mg/L)	PT ( $\mu$ g/L)	Chl a ( $\mu$ g/L)	SSI (mg/L)	SSO (mg/L)	IETm	IET (Cla)	IET (PT)
<b>SST (mg/L)</b>	1,00							
<b>PT (<math>\mu</math>g/L)</b>	0,40	1,00						
<b>Chl a (<math>\mu</math>g/L)</b>	-0,36	0,15	1,00					
<b>SSI (mg/L)</b>	0,99	0,40	-0,43	1,00				
<b>SSO (mg/L)</b>	0,84	0,35	0,01	0,77	1,00			
<b>IETm</b>	<b>-0,61</b>	0,17	0,88	<b>-0,66</b>	-0,29	1,00		
<b>IET (Cla)</b>	<b>-0,76</b>	-0,25	0,81	<b>-0,80</b>	-0,41	0,91	1,00	
<b>IET (PT)</b>	0,38	0,98	0,10	0,38	0,30	0,16	-0,27	1,00

**Tabela 12: Matriz de coeficientes da correlação Log Pearson para as estações de amostragem no eixo central do reservatório de Itupararanga, nos seis meses de coleta**

	SST (mg/L)	PT (µg/L)	Chl a (µg/L)	SSI (mg/L)	SSO (mg/L)	IETm	IET (Cla)	IET (PT)
<b>SST (mg/L)</b>	1,00							
<b>PT (µg/L)</b>	0,12	1,00						
<b>Chl a (µg/L)</b>	0,07	0,02	1,00					
<b>SSI (mg/L)</b>	0,51	0,29	-0,16	1,00				
<b>SSO (mg/L)</b>	0,74	-0,01	0,21	-0,19	1,00			
<b>IETm</b>	0,19	0,63	0,66	0,07	0,17	1,00		
<b>IET (Cla)</b>	0,07	-0,05	0,91	-0,23	0,24	0,69	1,00	
<b>IET (PT)</b>	0,20	0,93	-0,01	0,33	-0,01	0,68	-0,06	1,00

A matriz delimitada aos coeficientes das estações amostradas em braços do reservatório (Tabela 11) demonstra que SST e SSI apresentaram coeficientes significantes em relação ao IETm (-0,61; -0,66) e ao IET(Cla) (-0,76; -0,80), porém com significância inversa, conforme observado na análise executada para os meses chuvosos (Tabela 10). Para essas estações, SSO demonstrou valor próximo à significância (-0,41) em relação ao IET(Cla), também com caráter inverso.

A correlação Log Pearson para as estações do eixo central do sistema (Tabela 12), por sua vez, não apresentou valores significativos quanto às correlações dos sólidos em suspensão com os Índices de Estado Trófico ou com as concentrações de Fósforo Total e Clorofila a. A maior correlação para essas estações foi obtida para SSI em relação ao IET(PT), com coeficiente de (0,33).

A partir da análise com delimitação espacial das variáveis correlacionadas, é possível inferir que as estações nos braços do reservatório foram mais influenciadas pelos sólidos em suspensão, quanto à produtividade primária e ao enriquecimento por nutrientes. Essa dinâmica de maior impacto dos processos alóctones sobre os braços era esperada, além de ter sido observada e descrita por outros autores, dentre eles Parinet et al. (2004) para um reservatório marfinense e Chua et al. (2009) para um reservatório em Cingapura.

A influência distinta dos processos alóctones sobre os braços do sistema também é destacada por Thornton et al. (1990) e Lamparelli (2004) como uma dinâmica que torna os processos ecossistêmicos de reservatórios dendríticos diferentes daqueles observados em sistemas circulares.

## 6. CONCLUSÕES

A interpretação dos resultados obtidos a partir da caracterização física e química do reservatório de Itupararanga, bacia do Sorocaba, São Paulo (SP), nos meses de agosto, outubro e dezembro de 2009, fevereiro, abril e junho de 2010 permitiu que fossem estabelecidas as seguintes conclusões:

- O aumento da fração inorgânica e a diminuição da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi nos braços do sistema ocorreram no mês mais chuvoso (dezembro) e no mês de outubro. Além disso, os valores de ambas as variáveis não sofreram alterações significativas nas estações do eixo central entre os meses analisados, à exceção de fevereiro e abril de 2010, que apresentaram a maior cota média do nível de água do reservatório. Isso mostra que os braços estão mais sujeitos aos processos alóctones e à influência dos corpos de água que neles deságum;

- Os sólidos suspensos foram determinantes para a compreensão da dinâmica física, química e biológica do reservatório de Itupararanga, principalmente quanto à compartmentalização espacial do sistema e às relações entre esse ecossistema aquático e os processos naturais e antrópicos nas áreas contíguas. Os padrões distintos de precipitação nos meses analisados contribuíram para a individualização dos compartimentos;

- A hipótese inicial do trabalho, de predominância da fração orgânica na superfície da coluna de água e da fração inorgânica próximo ao sedimento do sistema não foi confirmada para todos os meses analisados. As estações amostradas em braços do reservatório (BR1, BR2 e BR3) apresentaram, em geral, coluna de água homogênea e preponderância da fração orgânica durante os meses secos e da fração inorgânica nos meses chuvosos. Isso provavelmente foi resultado da menor profundidade nessas estações, que dificultou o estabelecimento de estratificação térmica. Nas estações localizadas no eixo central do reservatório, a fração orgânica dos sólidos em suspensão foi preponderante ao longo da coluna de água em todos os meses amostrados;

- A análise das concentrações de nutrientes na coluna de água foi decisiva para compreensão do processo de eutrofização do reservatório de Itupararanga. De maneira geral, as concentrações mais elevadas de fósforo e nitrogênio foram obtidas nos meses chuvosos, tanto em estações nos braços do sistema (BR1, BR2 e BR3), quanto no eixo central (EC1, EC2 e EC3). Porém, as maiores variações foram observadas nas estações à jusante da desembocadura dos rios formadores do reservatório (BR1), do córrego da Ressaca (BR2) e do córrego do Paruru (BR3),

demonstrando a contribuição do uso e da cobertura vegetal das margens do reservatório e das fontes pontuais de poluição para a qualidade de água;

- A influência diferenciada do aporte alóctone de nutrientes sobre as estações BR1, BR2 e BR3 se refletiu no Índice de Estado Trófico do reservatório. Nessas estações foram observados os maiores valores, classificando-as como eutróficas em alguns meses de coleta. Porém, na maior parte do período analisado o reservatório foi classificado como mesotrófico, nível de trofia que foi constante em todos os meses nas estações do eixo central do reservatório;

- O cálculo do IETm permitiu, também, identificar uma desvantagem no uso desse método de cálculo para avaliar a qualidade de água de sistemas lênticos, uma vez que BR3 foi classificado como oligotrófico em outubro de 2010, apesar do comprometimento da qualidade da água nessa estação (baixa concentração de oxigênio e elevada concentração de nutrientes). Isso ocorreu, pois o aporte de material em suspensão impediu a produtividade primária, resultando em um baixo valor de IET(Cla) e um alto valor de IET(PT), que originaram um valor médio que subestimou o comprometimento da qualidade de água naquele contexto;

- A análise de correlação de Log Pearson sugeriu que os sólidos suspensos totais e as suas respectivas frações orgânica e inorgânica possuem potencial para predição do Índice de Estado Trófico do reservatório de Itupararanga. No entanto, esse potencial de predição apresentou variabilidade de acordo com o período hidrológico estudado e com a localização das estações de amostragem consideradas na análise. De forma geral, pode-se afirmar que os sólidos suspensos orgânicos apresentaram maior potencial de predição do Índice de Estado Trófico durante os meses secos, enquanto os sólidos suspensos inorgânicos tiveram maior potencial nos meses chuvosos. Já os sólidos suspensos totais demonstraram potencial de predição para ambos os períodos, porém com maior correlação nos meses chuvosos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AN, K.G.; JONES, J.R. Temporal and spatial patterns in salinity and suspended solids in a reservoir influenced by the Asian monsoon. *Hydrobiologia*, v. 436, p. 179-189, 2000.
- ANDERSEN, J.M. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water Resources*, v. 10, p. 329-331, 1976.
- ANDREOLI, C.V. *Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão*. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2003, 494 p.
- ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, C (Eds.) *Gestão Integrada de Mananciais de abastecimento Eutrofizados*. Curitiba: SANEPAR, Finep, 2005.
- APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 25<sup>th</sup> Edition, Washington, APHA, 2005.
- BEZERRA-NETO, J.F.; PINTO-COELHO, R.M. A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. *Acta Scientarium*, v. 24, n. 2, p. 285-290, 2002.
- BILOTTA, G.S.; BRAZIER, R.E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *MAGAZINE*, VOL, PAGS, 2008.
- BOEHRER, B.; SCHULTZ, M. Stratification of lakes. *Reviews of Geophysics*, v. 46, p. 1-27, 2008.
- BRAMORSKY, J. *Avaliação da qualidade de sedimentos dos rios Tietê e Piracicaba nos seus compartimentos de entrada no reservatório de Barra Bonita, SP*. 2004. 135p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- CAPUTO, L., NASELLI-FLORES, L., ORDONEZ, J., ARMENGOL, J. Phytoplankton distribution along trophic gradients within and among reservoirs in Catalonia (Spain). *Freshwater Biol.* v.53, p. 2543-2556, 2008.
- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.
- CASALÍ, J.; GASTESI, R.; ÁLVAREZ-MOZOS, J.; DE SANTISTEBAN, L.M.; DEL VALLE DE LERSUNDI, J.; GIMÉNEZ, R.; LARRAÑAGA, A.; GOÑI, M.; AGIRRE, U.; CAMPO, M.A.; LÓPEZ, J.J.; DONÉZAR, M. Runoff, erosion, and water quality of agricultural watersheds in central Navarre (Spain). *Agricultural Water Management*, v.95, p. 1111-1128, 2008.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2010). Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Disponível em: <[www.cetesb.gov.br/agua/rios/publicacoes.asp](http://www.cetesb.gov.br/agua/rios/publicacoes.asp)>. Acesso: 02/03/2012.

CHELLAPPA, N.T.; CHELLAPPA, T.; CÂMARA, F.R.A.; ROCHA, O.; CHELLAPPA, S. Impact of stress and disturbance factors on the phytoplankton communities in Northeastern Brazil reservoir. *Limnologica*. v.39, p. 273-282, 2009.

CHUA, L.H.C.; LO, E.Y.M.; SHUY, E.B.; TAN, S.B.K. Nutrients and suspended solids in dry weather and storm flows from a tropical catchment with various proportions of rural and urban land use. *Journal of Environmental Management*, v.90, p.3635-3642, 2009.

COLE; J.J.; PRAIRIE, Y.T.; CARACO, N.F.; McDOWELL, W.H.; TRANVIK, L.J.; STRIEGL, R.G.; DUARTE, C.M.; KORTELAINEN, P.; DOWNING, J.A.; MIDDELBURG, J.J.; MELACK, J. Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems*, v. 10, p. 171-184, 2007.

CUNHA, D.G.F. *Avaliação do estado trófico do rio Parqueira-Açu, Vale do Ribeira de Iguape, SP, em diferentes períodos hidrológicos*. 2007. 71 p. Tese (Monografia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos, 2007.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. Comparação entre os teores de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes e metais pesados no sedimento de dois sistemas lóticos do Vale do Ribeira de Iguape, SP. *Engenharia Ambiental (UNIPINHAL)*, v. 5, p. 24-40, 2008.

DODDS, W.K.; CARNEY, E.; ANGELO, R.T. Determining ecoregional reference conditions for nutrients, secchi depth and chlorophyll a in Kansas Lakes and Reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, v.22 (2), p. 151-159, 2006.

DOMAGALSKI, J.; LIN, C.; LUO, Y.; KANG, J.; WANG, S.; BROWN, L.R.; MUNN, M.D. Eutrophication study at the Panjiakou-Daheiting Reservoir system, northern Hebei Province, People's Republic of China: Chlorophyll-a models and sources of phosphorus and nitrogen. *Agricultural Water Management*, v.94, p. 43-53, 2007.

FIGUEIREDO, D.M.; BIANCHINI JÚNIOR, I. Limnological patterns of the filling and stabilization phases in the Manso multiple-use reservoir (MT). *Acta Limnol.Bras.* v.20 (4), p. 277-290, 2008.

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

GIATTI, L.L. *Reservatório Paiva Castro – Mairiporã – SP: avaliação da qualidade da água sobre alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos*. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GLIBERT, P.M; KELLY, V.; ALEXANDER, J.; CODISPOTI, L.A.; BOICOURT, W.C.; TRICE, T.M.; MICHAEL, B. *In Situ* nutrient monitoring: A tool for capturing nutrient variability and the antecedent conditions that support algal blooms. *Harmful Algae*, v.8, p. 175-181, 2008.

GLIBERT, P.M.; MAYORGA, E.; SEITZINGER, S. *Prorocentrum minimum* tracks anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs on global basis: Application of spatially explicit nutrient export models. *Harmful Algae*, v.8, p. 33-38, 2008.

GUBIANI, E.A.; ANGELINI, R.; VIEIRA, L.C.G.; GOMES, L.C.; AGOSTINHO, A.A. Trophic models in neotropical reservoirs: Testing hypotheses on the relationship between aging and maturity. *Ecological Modelling*, v.222, p.3838-3848, 2011.

HART, B.T.; DOK, W.V.; DJUANGSIH, N. Nutrient budget for Saguling Reservoir, West Java, Indonesia. *Water Research*, v.36, p. 2152-2160, 2002.

HEISLER, J.; GLIBERT, P.M.; BURKHOLDER, J.M.; ANDERSON, D.M.; COCHLAN, W.; DENNISON, W.C.; DORTCH, Q.; GOBLER, C.J.; HEIL, C.A.; HUMPHRIES, E.; LEWITUS, A.; MAGNIEN, R.; MARSHALL, H.G.; SELLNER, K.; STOCKWELL, D.A.; STOECKER, D.K.; SUDDLESON, M. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*, v.8, p. 3-13, 2008.

HONTI, M.; ISTVANOVICS, V.; KOVACS, A.S. Balancing between retention and flushing in river networks – optimizing nutrient management to improve trophic state. *Science of the Total Environment*, v.408, p. 4712-4721, 2010.

HUSZAR, V.L.M.; CARACO, N.F.; ROLAND, F.; COLE, J. Nutrient-chlorophyll relationships in tropical-subtropical lakes: do temperate models fit? *Biogeochemistry*, v. 79, p. 239-250, 2006.

IMOUBE, T.O.T.; ADEYINKA, M.L. Zooplankton-based assessment of the trophic state of a tropical forest river in Nigeria. *Arch. Biol. Sci.* V.61(4), p. 733-740, 2009.

ISTVÁNOVICS, V.; SOMLYÓDY, L. Factors influencing lake recovery from eutrophication – the case of basin 1 of lake Balaton. *Water Research*, v.35, n. 3, p. 729-735, 2001.

JANJUA, M.Y., AHMAD, T., AKHTAR, N. Limnology and trophic status of Shahpur Dam Reservoir, Pakistan. *Journal of Animal and Plant Sciences*, v. 19, p. 217-223, 2009.

JANSE, J.H.; DOMIS, L.N.S.; SCHEFFER, M.; LIJKLEMA, L.; VAN LIERE, L.; KLINGE, M.; MOOIJ, W.M. Critical phosphorus loading of different types of shallow lakes and the consequences for management estimated with the ecosystem model PCLake. *Limnologica*, v. 38, p. 203-219, 2008.

JONES, J.R.; KNOWLTON, M.F. Suspended solids in Missouri reservoirs in relation to catchment features and internal processes. *Water Research*, v.39, p. 3629-3635, 2005.

LAMPARELLI, M.C. *Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento*. 2004. 295p. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEONE, A.; RIPA, M.N.; BOCCIA, L.; LO PORTO, A. Phosphorus export from agricultural land: a simple approach. *Biosystems Engineering*, v.101, p. 270-280, 2008.

LIU, Y.; GUO, H.; YU, Y.; DAI, Y.; ZHOU, F. Ecological-economic modeling as a tool for watershed management: A case study of Lake Qionghai watershed, China. *Limnologica*, v.38, p. 89-104, 2008.

LUZIA, A.P. *Limnologia e grau de trofia dos reservatórios em cascata do Rio Tietê (médio e baixo Tietê, São Paulo)*. 2004. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

MARCIANO, F.T. *Estudo limnológico da bacia do rio Sorocaba (SP) e utilização do índice de integridade biótica da comunidade de peixes para avaliação ambiental*. 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MARCIANO, F.T. *Composição, abundância e aspectos reprodutivos das espécies de peixes do reservatório Álvaro Souza Lima (Bariri, SP) e sua relação com as características ambientais do sistema*. 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MARIANI, C.F. *Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MATSUDA, Y. *Avaliação da contribuição de sólidos suspensos de sistemas lóticos para o reservatório de Itupararanga, Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba (SP)*. 2010. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MONTEIRO JÚNIOR, A.J. *Caracterização limnológica e compartimentalização do reservatório de Ponte Nova, Alto Tietê, SP – uma contribuição ao seu manejo*. 2006. 91 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MOSCA, V.P. *Eutrofização do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte: implicações para o abastecimento público e para a piscicultura intensiva em tanques-rede*. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

NEDOVIC, J.R.; HOLLERT, H. Phytoplankton community and chlorophyll a as trophic state indices of Lake Skadar (Montenegro, Balkan). *Environmental Science and Pollution Research* v.12, p. 146-152, 2005.

NEN – Nederlandse Norm. NEN 6520. *Norma holandesa sobre determinação de clorofila-a pelo método do etanol*, 1981.

NUSCH, E.A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiologia*, v. 14, p. 14-36, 1980.

OWENS, P.N., BATALLA, R. J.; COLLINS, A. J.; GOMEZ, B.; HICKS, D. M.; HOROWITZ, A. J.; KONDOLF, G. M.; MARDEN, M.; PAGE, M. J.; PEACOCK, D. H.; PETTICREW, E. L.; SALOMONS W.; TRUSTRUM N. A. Finegrained sediment in river systems: environmental significance and management issues. *River Research and Applications*, v. 21, p. 693–717, 2005.

PANIKKAR, P.; KHAN, M.F. Comparative mass-balanced trophic models to assess the impact of environmental management measures in a tropical reservoir ecosystem. *Ecological Modelling*, v. 212, p.280-291, 2008.

PARINET, B.; LHOTE, A.; LEGUBE, B. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management – application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, v. 178, p. 295-311, 2004.

PEDRAZZI, F.J.M.; CONCEIÇÃO, F.T.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÉO, M.L.M. Qualidade da água do reservatório de Itupararanga (Bacia do Alto Sorocaba – SP). Gradiente espacial hotizontal. In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23-28 de setembro de 2007, Caxambu-MG.

QUEIROZ, R.P.; IMAI, N.N. Mapeamento das atividades antrópicas na área de entorno do reservatório de Itupararanga – SP: uma abordagem baseada na diminuição gradativa do grau de complexidade da cena interpretada. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 de abril de 2007, INPE, p. 1039-1045.

RIBEIRO FILHO, R.A. *Relações tróficas e limnológicas no reservatório de Itaipu: uma análise do impacto da biomassa pesqueira nas comunidades planctônicas*. São Carlos: Universidade de São Paulo. 139 p. Tese (Doutorado) em Ciências da Engenharia Ambiental, 2006.

RODRIGUES, L.M. *Alterações de características limnológicas resultantes da transformação rio-reservatório (Usina Hidrelétrica Dona Francisca, RS, Brasil)*. 2002. 100p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

ROSA, A.H.; LOURENÇO, R.W.; COSTA, S.B; DUARTE, J.G.C; MORETTI, J.P.; SILVA, A.A.M.J.; MOSCHINI-CARLOS, V.; GUANDIQUE, M.E.; PEÇANHA, M.P.;

PENTEADO, N.F. GIS approach to analysing water quality along with land use in reservoirs surrounding São Paulo, Brazil. In: Indo-Korean Joint International Symposium on Geoscience & Technology, 12-14 de fevereiro de 2008.

SALLAS, H.J.; MARTINO, P. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Water Research*, v. 25, n. 3, p. 1341-1350, 1991.

SALLES, M.H.D.; CONCEIÇÃO, F.T.; ANGELUCCI, V.A.; SIA, R.; PEDRAZZI, F.J.M.; CARRA, T.A.; MONTEIRO, G.F.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba (SP). *Revista de Estudos Ambientais*, v. 10, n. 1, p. 6-20, 2008.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. (1984) – *Metals in the hidrocycle*. Springer-Verlag, Belin. 349p.

SANTOS, S.C.D. *Alguns aspectos do ciclo do fósforo e eutrofização na Represa de Barra Bonita, SP*. 1996. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SANTOS, A.C.A. *Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal de dois reservatórios com diferentes graus de trofia, no estado de São Paulo*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SARDINHA, D.S. *Avaliação do intemperismo químico e influências antropogênicas na bacia do Alto Sorocaba (SP)*. 2008. 119p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2008.

SCHUSSLER, J.; BAKER, L.A.; CHESTER-JONES, H. Whole-system phosphorus balances as a practical tool for lake management. *Ecological Engineering*, v.29, p. 294-304, 2007.

SEADE (2010) – *Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Secretaria de Economia e Planejamento, Governo do estado de São Paulo. População e Estatísticas Vitais*. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso: 20/03/2012.

SHANTZ, M.; DOWSETT, E.; CANHAM, E.; TAVERNIER, G; STONE, M.; PRICE, J. The effect of drawdown on suspended solids and phosphorus export from Columbia Lake, Waterloo, Canada. *Hydrological Processes*, v. 18, p. 865-878, 2004.

SMITH, V.H.; SCHINDLER, D.W. Eutrophication science: Where do we go from here?. *Trends in Ecology and Evolution*. v.24, p. 202-207, 2009.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. *Gerenciamento da qualidade da água de represas*. São Carlos: ILEC; IIE, 2000. 280 p.

SZELAG-WASIELEWSKA, E. Trophic state assessment based on late summer phytoplankton community structure: a case study for epilimnetic lake water. *Oceanological Hydrobiological Studies*, v.36, p. 53-63, 2007.

THOMAZ, S.M. Considerações sobre monitoramento da qualidade da água em reservatórios. In: *Workshop sobre Gestão de Reservatórios Hidrelétricos: Monitoramento e Avaliação da Qualidade Ambiental das Águas em Reservatórios* – 1998. Salto Grande, São Paulo: CESP, p. 13-24, 2000.

THORNTON ET AL., K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives*. New York, 1990.

TOLEDO JR., A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. Camboriú, ABES, 34p., 1983.

TRINDADE, M. *Nutrientes em sedimento da represa do Lobo (Brotas-Itirapina/SP)*. 1980. 219p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, 1980.

VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R.; CUSHING, C.E. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 37, p. 130-137, 1980.

VON SPERLING, E.; FERREIRA, A.C.S.; GOMES, L.N.L. Comparative eutrophication development in two Brazilians water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth. *Desalination*, v. 226, p. 169-174, 2008.

WANG, S.; JIN, X.; ZHAO, H.; WU, F. Phosphorus release characteristics of different trophic lake sediments under simulative disturbing conditions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 161, p. 1551-1559, 2009.

XU, K.; MILLIMAN, J.D. Seasonal variations of sediment discharge from the Yangtze River before and after impoundment of the Three Gorges Dam. *Geomorphology*, v.104, p. 276-283, 2009.

ZAGATTO, P.A.; LORENZETTI, M.L.; LAMPARELLI, M.C.; SALVADOR, M.E.P.; MENEGON JR., N.; BERTOLETTI, E. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas. *Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 11, p. 111-126, 1999.