



## RESUMO

Este volume apresenta a síntese dos trabalhos realizados para a avaliação da qualidade das águas do sistema Pinheiros-Billings com a operação do protótipo da estação de tratamento por flotação, implantado para o tratamento das águas do Rio Pinheiros que são transpostas para o Reservatório Billings. Os trabalhos realizados entre 14 de agosto de 2007 e 14 de novembro de 2008 já foram apresentados anteriormente no relatório intitulado *“Avaliação da Qualidade das águas do Sistema Pinheiros-Billings em Função da Operação do Protótipo da Flotação”* em outubro de 2008 <sup>[1]</sup>. Os trabalhos subseqüentes desenvolvidos entre 24 de outubro de 2008 e 24 de abril de 2009 também já foram apresentados anteriormente no relatório intitulado *“Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo do Sistema de Flotação – Estudos Complementares”*. O presente relatório, intitulado *“Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo do Sistema de Flotação – Serviços de Apoio Técnico para os Testes do Protótipo da Flotação no ano 2009”* apresenta os trabalhos desenvolvidos no período entre 25 de junho de 2009 e 25 de março de 2010. Este relatório desenvolvido em três frentes: monitoramento da qualidade das águas, análises estatísticas dos indicadores de qualidade monitorados e avaliação da qualidade das águas do Reservatório Billings em diferentes cenários através de simulações em modelo matemático.

Durante os testes o sistema de tratamento apresentou falhas técnicas intermitentes, o que resultou na sua operação descontínua. Mesmo assim foi possível avaliar seu desempenho através dos resultados das análises da qualidade das águas coletadas, na entrada e na saída do sistema, nos períodos quando a operação foi regular. As análises estatísticas das variáveis de qualidade monitoradas mostraram que a eficiência do protótipo foi próxima à esperada para estações de tratamento desse tipo. Houve significativa remoção de fósforo e redução, em maior ou menor nível, de outros poluentes. Considerando as variáveis de qualidade monitoradas durante os testes não foram detectados, além da zona de mistura, impactos negativos nas águas do Reservatório Billings, que pudessem ser associado diretamente à operação do protótipo, isto é: não houve nenhuma diferença estatisticamente mensurável nas variáveis de qualidade monitoradas antes e durante a operação do sistema. Este resultado foi também confirmado nas avaliações feitas através das simulações em modelo matemático.

Portanto, analisando-se os aspectos estritamente técnicos, sem levar em conta questões relativas à viabilidade econômica e ambiental, e considerando o universo dos indicadores de poluição estudados, o sistema de tratamento por flotação demonstrou possuir capacidade para mitigação dos impactos do bombeamento das águas do Rio Pinheiros para o Reservatório Billings.

## ÍNDICE DO VOLUME 1

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
1.1	Contextualização do Projeto.....	7
1.2	Conteúdo do Projeto.....	7
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>O PROTÓTIPO PARA FLOTAÇÃO DO RIO PINHEIROS .....</b>	<b>11</b>
4.1	Adição Química e Mistura Rápida.....	12
4.2	Processo de Flocculação.....	13
4.3	Flotação por Ar Dissolvido .....	14
4.4	Remoção dos Sólidos Flotados .....	15
4.5	Adensamento e Desidratação do Lodo.....	16
4.6	Disposição do Lodo Desidratado.....	17
<b>5</b>	<b>O SISTEMA DE MONITORAMENTO.....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>HISTÓRICO DA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE FLOTAÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DO RIO PINHEIROS POR FLOTAÇÃO.....</b>	<b>31</b>
7.1	Projeto QAPB .....	31
7.2	CETESB .....	33
<b>8</b>	<b>CARGA LANÇADA NO RESERVATÓRIO BILLINGS POR FLOTAÇÃO E POR CONTROLE DE CHEIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NOS RESERVATÓRIOS BILLINGS E GUARAPIRANGA DURANTE A FLOTAÇÃO .....</b>	<b>41</b>
9.1	Reservatório Billings.....	41
9.2	Reservatório GUARAPIRANGA .....	45
<b>10</b>	<b>MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO RESERVATÓRIO BILLINGS.....</b>	<b>47</b>
10.1	Simulação da Qualidade da Água no Reservatório Billings para Diferentes Cenários.....	49
10.2	Resultados da Modelação Matemática do Reservatório Billings .....	53
10.5	Comparação entre os Cenários Simulados em todas as Etapas do Projeto QAPB .....	64
<b>15</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>16</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>
<b>17</b>	<b>EQUIPE DE PROJETO.....</b>	<b>82</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Diagrama Unifilar do Sistema Pinheiros–Billings.....	11
Figura 1.2 – Esquema do processo de flotação do Rio Pinheiros.....	12
Figura 1.3 – Adição Química e Mistura Rápida .....	13
Figura 1.4 – Processo de floculação .....	14
Figura 1.5 – Injeção de ar dissolvido e flotação .....	15
Figura 1.6 – Pás recolhedoras de lodo a jusante da estação para remoção de sólidos flotados.....	15
Figura 1.7 – Lodo produzido pela flotação.....	16
Figura 1.8 – Equipamento para desidratação do lodo .....	17
Figura 1.9 – Transporte do lodo desidratado para bota fora.....	18
Figura 1.10 – Lançamento do lodo no bota fora .....	18
Figura 1.11 – Localização dos pontos monitorados .....	20
Figura 1.12 – Cronograma das fases da operação do protótipo da flotação .....	25
Figura 1.13 – Volume bombeado para a Billings (hm <sup>3</sup> ) entre 01/09/2007 e 31/12/2009 .....	28
Figura 1.14 - Flotação observada com relação à flotação esperada entre 01/09/2007 e 31/12/2009 .....	29
Figura 1.15 - Gráfico da Operação do Protótipo da Flotação.....	29
Figura 1.16 - Gráfico do Índice de Continuidade da Flotação .....	30
Figura 1.17 – Taxa de bombeamento de poluentes ao Reservatório Billings por Pedreira em operações de flotação e de controle de cheia .....	38
Figura 1.18 – Carga de poluentes bombeada ao Reservatório Billings durante a flotação de 10 m <sup>3</sup> /s e durante o controle de cheias. ....	39
Figura 1.19 – Estimativa da carga de poluentes afluente ao Reservatório Billings com bombeamento de 50 m <sup>3</sup> /s com e sem flotação.....	40
Figura 1.20 – Porcentagens da carga de fósforo total afluentes por cada uma das fontes.....	43
Figura 1.21 – Concentrações médias de DBOc para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008). ....	75
Figura 1.22 – Concentrações médias de DBOc para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB. ....	75
Figura 1.23 – Concentrações médias de Fósforo Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008). ....	76
Figura 1.24 – Concentrações médias de Fósforo Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB. ....	76
Figura 1.25 – Concentrações médias de clorofila-a para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008). ....	77
Figura 1.26 – Concentrações médias de clorofila-a para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB. ....	77
Figura 1.27 – Concentrações médias de OD para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008). ....	78
Figura 1.28 – Concentrações médias de OD para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB.....	78
Figura 1.29 – Concentrações médias de Nitrogênio Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008). ....	79
Figura 1.30 – Concentrações médias de Nitrogênio Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB.....	79

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Volumes bombeados na Elevatória de Pedreira para o Reservatório Billings.....	27
Tabela 1.2 – Eficiência média de remoção de poluentes com operação contínua do protótipo da flotação na 1ª Fase .....	32
Tabela 1.3 – Eficiência média de remoção de poluentes com operação contínua do protótipo da flotação na 3ª Fase .....	32
Tabela 1.4 – Eficiência do sistema de flotação em 2008 segundo os dados do Monitoramento da CETESB <sup>[4]</sup> .....	34
Tabela 1.5 – Taxa média de bombeamento de poluentes ao Reservatório Billings em operações de controle de cheia, flotação de 10 m <sup>3</sup> /s e flotação de 50 m <sup>3</sup> /s.....	38
Tabela 1.6 – Índices de Conformidade das variáveis analisadas no Reservatório Billings, para as três fases do projeto, com o limite estabelecido pela composição judicial .....	42
Tabela 1.7 – Tabela de carga de fósforo total afluente por cada uma das fontes.....	43
Tabela 1.8 – Tabela de concentrações máximas, médias e mínimas dos pontos de monitoramento de águas rasas do Reservatório Billings.....	44
Tabela 1.9 – Índices de Conformidade das variáveis analisadas no Reservatório Guarapiranga, para as três fases do projeto, com o limite estabelecido pela composição judicial.....	46
Tabela 1.10 – Resumo dos cenários simulados que representam o atendimento a Lei Específica da Billings. ....	52
Tabela 1.11 – Resumo dos cenários simulados na primeira etapa do Projeto QAPB. ....	65
Tabela 1.12 – Resumo dos cenários simulados na segunda etapa do Projeto QAPB. ....	66
Tabela 1.13 – Resumo dos cenários simulados na terceira etapa do Projeto QAPB. ....	67
Tabela 1.14 – Concentrações médias para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008).....	72
Tabela 1.15 – Concentrações médias para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2009).....	73
Tabela 1.16 – Concentrações médias para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para este terceiro relatório do Projeto QAPB.....	74

## 1 INTRODUÇÃO

Este volume apresenta a síntese dos trabalhos desenvolvidos pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) para o contrato nº ASE/LEM/6006/01/2009 celebrado entre esta e a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) firmado em junho de 2009.

O contrato, denominado *Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo do Sistema de Flotação – Serviços de Apoio Técnico para os Testes do Protótipo da Flotação no ano 2009*, doravante denominado apenas de Projeto QABP, tem como objetivo continuar os trabalhos desenvolvidos no projeto de Pesquisa & Desenvolvimento - P&D 0061-002/2007 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nos termos do Convênio de Cooperação com a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) firmado em agosto de 2007 e já apresentados no primeiro relatório do Projeto QAPB <sup>[1]</sup>; e no projeto referente ao contrato nº ASE/LEM/6007/01/2008 da EMAE, firmado em outubro de 2008, e já apresentado no segundo relatório do Projeto QAPB <sup>[2]</sup>.

A implantação do sistema de tratamento por flotação parte do princípio de que, despoluindo-se as águas do Rio Pinheiros, será possível voltar a bombeá-las para o Reservatório Billings e, assim, aumentar a disponibilidade hídrica para a produção de energia hidrelétrica no complexo Henry Borden.

O complexo Henry Borden, localizado em Cubatão, é composto por duas usinas que aproveitam a energia produzida pela queda de aproximadamente 720 m existente entre o Reservatório Billings, situado no planalto, e o sopé da Serra do Mar. As usinas possuem capacidade instalada correspondente à vazão 157 m<sup>3</sup>/s derivada do Reservatório Billings. Para produzir uma vazão dessa magnitude, entretanto, o Reservatório Billings depende da reversão de parte da vazão dos rios Tietê e Pinheiros já que apenas a contribuição direta da bacia do reservatório é insuficiente.

Com o passar do tempo a qualidade da água do Reservatório Billings piorou. A ocupação da bacia no entorno do reservatório e o aumento da poluição dos rios Tietê e Pinheiros aumentaram a carga lançada no reservatório. O Artigo 46 do Ato das Disposições Transitórias da Constituição do Estado de São Paulo <sup>[3]</sup> dispõe sobre este assunto ao estabelecer que: *“no prazo de três anos, a contar da promulgação desta Constituição, ficam os Poderes Públicos Estadual e Municipal obrigados a tomar medidas eficazes para impedir o bombeamento de águas servidas, dejetos e de outras substâncias poluentes para a represa Billings.”*

Para cumprir essas disposições constitucionais a Resolução Conjunta SMA/SES 03/92, atualizada pela Resolução SEE-SMA-SRHSO-I de 13/03/96, paralisou o bombeamento contínuo dos rios Pinheiros e Tietê para geração de energia. O bombeamento do Rio Pinheiros para o Reservatório Billings, pela Estação Elevatória de Pedreira, passou então a ser feita somente para o controle de cheias e, com essa medida, a capacidade de produção da usina de Henry Borden foi reduzida em aproximadamente 75 %. Mais recentemente, a partir do ano 2000, no braço do rio Taquacetuba, entrou em operação uma tomada d'água que transfere água do Reservatório Billings para o Reservatório Guarapiranga. Esta transferência tem a finalidade de aumentar a disponibilidade de água para a captação da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - situada na Guarapiranga. Portanto, o Reservatório Billings é hoje empregado para três finalidades principais: geração de energia, controle de cheias e abastecimento.

A viabilidade do sistema de tratamento por flotação, que possibilitaria o bombeamento de maior quantidade de água para o Reservatório Billings, implica em uma série de questões técnicas, econômicas e ambientais. Como mostrado neste volume, o Projeto QAPB se concentra nas questões ambientais ao analisar os impactos da operação do sistema no Reservatório Billings.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

O sistema de tratamento avaliado neste trabalho foi concebido a partir da importância estratégica da usina de Henry Borden para o Sistema Elétrico e da possibilidade de melhorar as condições ambientais das águas do canal do Rio Pinheiros, de forma que possam ser revertidas para o Reservatório Billings, sem comprometer seu uso para abastecimento público atendendo, portanto, às disposições legais.

No futuro, a implantação do sistema completo, aliado a medidas complementares de controle de poluição, permitirá a reversão de 50 m<sup>3</sup>/s para o Reservatório Billings e, conseqüentemente, um aumento médio de 280 MW na produção de energia na usina de Henry Borden. Isto significa que a produção média poderá passar dos 128MW brutos atuais (vazão média de 23m<sup>3</sup>/s) para 408 MW (vazão média de 73m<sup>3</sup>/s).

A primeira fase deste empreendimento consiste na operação do protótipo do sistema de flotação, com capacidade de 10 m<sup>3</sup>/s, instalado no trecho do canal do Rio Pinheiros entre o córrego Zavuvus e a Barragem de Pedreira. O estudo do desempenho do protótipo e de seus impactos ambientais sobre o sistema hídrico subsidiará o projeto do sistema definitivo, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e o processo de licenciamento.

## 1.2 CONTEÚDO DO PROJETO

Para a avaliação dos impactos do sistema de flotação, esta nova etapa do Projeto QAPB foi desenvolvida em três frentes, de modo análogo ao já executado nas duas primeiras etapas do Projeto QAPB <sup>[1][2]</sup>:

- Monitoramento do sistema hídrico composto pelos rios Tietê, Pinheiros e pelos reservatórios Billings e Guarapiranga, envolvendo tanto variáveis de qualidade de água como variáveis operacionais e climatológicas.
- Análises estatísticas das variáveis de qualidade da água monitoradas, abrangendo a análise da eficiência do sistema de tratamento e alterações na qualidade da água dos reservatórios Billings e Guarapiranga.
- Modelação matemática do Reservatório Billings, com análise de diferentes cenários de vazões revertidas e níveis de tratamento.

As novas atividades incluídas nesta nova etapa do Projeto QAPB são:

- Nova concepção do Plano de Monitoramento elaborado pela FCTH em abril de 2009, adequada ao demandado pelo Ministério Público do Estado de São Paulo, incluindo a continuidade do monitoramento de qualidade de água (com e sem a operação do protótipo da flotação), atualizando locais e frequências de coleta, indicadores de qualidade, além da inclusão de novos pontos e do monitoramento de sedimentos.

- Reavaliação das cargas afluentes ao reservatório pelo compartimento de Pedreira, seja pela Estação Elevatória de Pedreira, seja pelas sub-bacias.
- Proposição e análise de novos cenários simulados com o modelo matemático.

As metodologias empregadas, as referências bibliográficas, os dados levantados, os resultados dos estudos com as respectivas análises são apresentados nos demais volumes que compõem o presente trabalho.

O Volume 2, intitulado “*Programa de Monitoramento*”, apresenta o programa de monitoramento realizado durante o período do contrato, indicando as variáveis e pontos monitorado. Por sua vez, o Volume 3, intitulado “*Análises Estatísticas da Qualidade da Água*” reúne as análises estatísticas realizadas ao longo da operação do protótipo da flotação, com vistas a avaliar o desempenho do tratamento bem como seus efeitos nas águas do sistema Pinheiros-Billings e o Volume 4, intitulado “*Modelagem Matemática do Reservatório Billings*”, são apresentados os estudos realizados e os resultados obtidos com o emprego da modelação matemática, que foi a ferramenta utilizada para esta análise.



## 2 OBJETIVOS

Os objetivos gerais desta nova etapa do Projeto QAPB são similares ao das etapas anteriores <sup>[1] [2]</sup>:

- Prosseguir com a avaliação da eficiência do processo de flotação do Rio Pinheiros, verificando sua capacidade de remover os principais poluentes monitorados
- Avaliar o impacto do bombeamento das águas flotadas do Rio Pinheiros no Reservatório Billings e no Reservatório Guarapiranga com o acompanhamento da variação de variáveis de qualidade da água, para posterior análise. O controle de qualidade foi projetado para avaliar os efeitos do protótipo mesmo após a realização dos ensaios.
- Estudar os efeitos do bombeamento das águas flotadas do Rio Pinheiros no Reservatório Billings com a aplicação de modelo matemático de qualidade da água. Este deve permitir analisar a qualidade da água do reservatório diante de diferentes cenários de flotação e de geração de cargas de poluentes afluentes ao lago. Os resultados obtidos irão subsidiar os estudos de avaliação de impactos ambientais do sistema de flotação nos diferentes cenários.

### 3 METODOLOGIA

A avaliação da qualidade da água do sistema Pinheiros-Billings foi desenvolvida a partir de um programa de monitoramento que abrangeu além do Rio Pinheiros e Reservatório Billings, o Rio Tietê e o Reservatório Guarapiranga. O Programa de Monitoramento foi executado em três fases:

- Fase 1: Plano de Monitoramento Inicial, realizado entre 22 de agosto de 2007 e 31 de dezembro de 2008. A operação do protótipo da flotação foi iniciada no dia 30 de agosto de 2007. Dessa forma, entre os dias 22 e 29 de agosto de 2007 foram realizadas coletas e análises a título de pré-teste (branco);
- Fase 2: Plano de Monitoramento de Transição, realizado entre 1 de janeiro de 2009 e 3 de maio de 2009, correspondente ao período com o protótipo da flotação paralisado;
- Fase 3: Plano de Monitoramento Complementar, realizado entre 4 de maio de 2009 e 31 de dezembro de 2009, correspondente ao período de retomada da operação do protótipo da flotação.

Este monitoramento permitiu a avaliação do comportamento da qualidade das águas dos corpos hídricos monitorados em função da operação do protótipo do sistema de flotação.

Os dados coletados foram armazenados no banco de dados desenvolvido durante a primeira etapa do Projeto QAPB <sup>[1]</sup>. Este possui um sistema de acesso que permite ao usuário visualizar e exportar os dados de diferentes formas, facilitando assim os procedimentos de análise.

A avaliação do desempenho do sistema abrangeu basicamente: análise estatística dos padrões de qualidade das águas dos rios Pinheiros e Tietê na entrada e na saída da estação de tratamento; análise estatística da variação dos indicadores de qualidade no Reservatório Billings antes e após o funcionamento do protótipo.

Para o estudo dos impactos do bombeamento das águas flotadas do Rio Pinheiros no Reservatório Billings, foi também utilizado, como ferramenta, um modelo matemático de qualidade que permitiu avaliar o comportamento do sistema quando submetido a cargas e vazões diferentes das observadas nos testes. Desta maneira, foram de relevante interesse a variação no espaço e no tempo da qualidade da água do reservatório, levando em conta as forças hidrodinâmicas, vento e vazões que entram e saem do reservatório, e as cargas de poluentes oriundas do bombeamento do rio e das sub-bacias hidrográficas adjacentes ao reservatório.

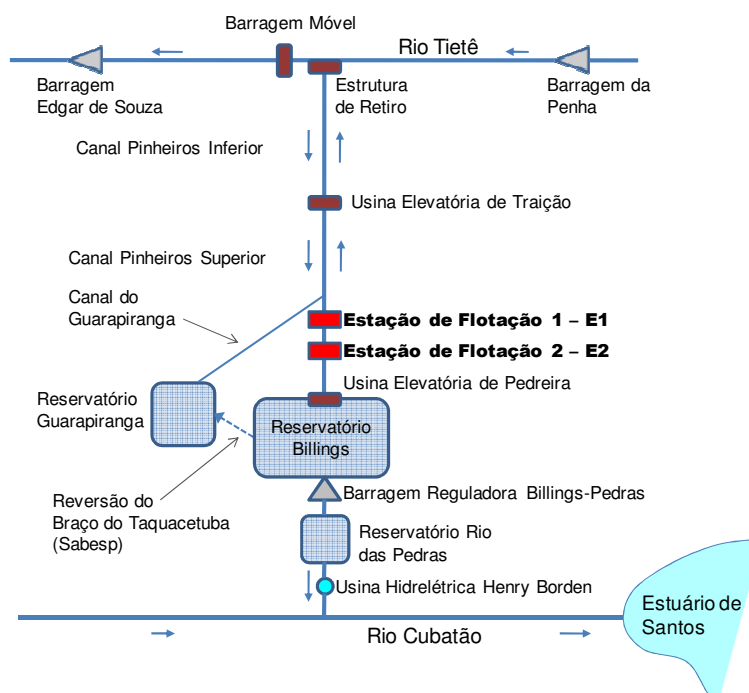
Após a fase 3 e encerramento dos testes do protótipo no dia 31 de dezembro de 2009, as coletas e ensaios de qualidade da água continuaram a ser realizadas até o dia 24 de março de 2010. Os dados coletados neste período não foram considerados nas avaliações presentes neste relatório, mas foram inseridos no Banco de Dados.

## 4 O PROTÓTIPO PARA FLOTAÇÃO DO RIO PINHEIROS

Conceitualmente, o processo de tratamento por flotação tem como objetivo clarificar uma corrente líquida por meio da utilização de ar dissolvido, transportando os sólidos suspensos presentes na corrente líquida para a superfície, de onde são removidos por meio de dispositivos adequados para posterior processamento e destinação final. Para que a separação dos sólidos seja eficiente é necessário utilizar processos e operações unitárias que possibilitem a desestabilização das partículas presentes na água e a sua agregação. Adicionalmente aos sólidos em suspensão, é possível a remoção de contaminantes que reagem com os compostos químicos adicionados e aqueles que estejam aderidos ou adsorvidos aos sólidos em suspensão.

A eficiência do processo varia em função do tipo de poluente, da engenharia do sistema e dos cuidados operacionais. Nos testes do sistema instalado no Rio Pinheiros verificou-se que, como descrito nos itens subseqüentes, nem sempre a eficiência do protótipo foi a esperada, considerando-se tanto a teoria como testes anteriores em menor escala<sup>1</sup>.

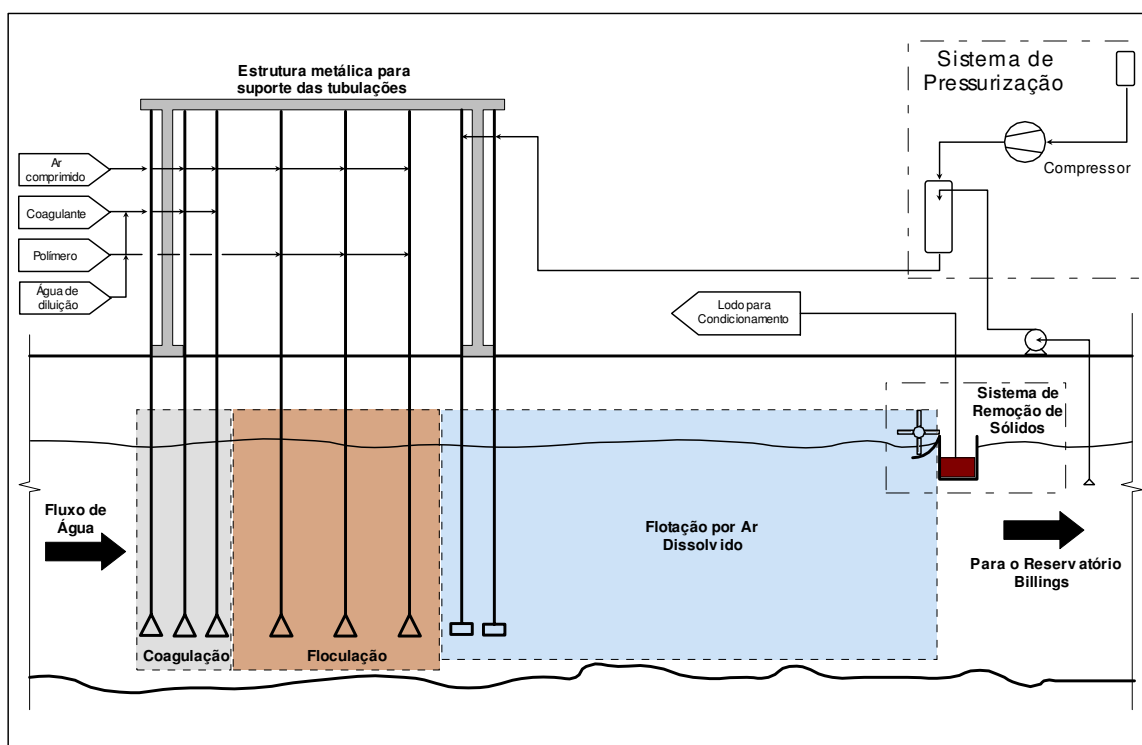
No caso do protótipo de flotação em teste no Rio Pinheiros, são utilizadas duas estações, denominadas E1 e E2, instaladas em dois trechos do canal. A primeira estação da flotação (E1) localiza-se no Rio Pinheiros próxima à foz do córrego Zavuvus, a 4.070 m da Usina Elevatória de Pedreira. A segunda estação (E2) localiza-se a 770 m da Usina Elevatória de Pedreira. A localização das estações pode ser observada esquematicamente na **Figura 1.1**.



**Figura 1.1 – Diagrama Unifilar do Sistema Pinheiros–Billings**

<sup>1</sup> Os trabalhos realizados pela FCTH no âmbito deste projeto não entram no mérito do projeto de engenharia do protótipo e dos equipamentos instalados no Rio Pinheiros. Também não é função da FCTH avaliar os procedimentos operacionais internos ao sistema, mas sim os resultados obtidos através do monitoramento. Por isso o **Item 4** limita-se a uma descrição conceitual do processo.

A descrição do processo pode ser acompanhada em cada uma das suas fases na **Figura 1.2**, apresentada em seguida.



**Figura 1.2 – Esquema do processo de flotação do Rio Pinheiros**

Em cada uma das estações de flotação, o processo de tratamento pode ser resumido nas etapas detalhadas na seqüência.

#### 4.1 ADIÇÃO QUÍMICA E MISTURA RÁPIDA

Em um trecho do rio, na entrada da estação, é feita a adição de coagulante, cujo objetivo é desestabilizar as partículas que se encontram em suspensão. A dispersão do coagulante na massa líquida é feita por meio da injeção de ar comprimido, que produz bolhas grossas. A adição química e a injeção de ar são feitas a uma profundidade de 1,0 m, com a utilização de mangueiras presas a uma estrutura metálica.

Os produtos químicos utilizados são recebidos e estocados em tanques de armazenagem. O ajuste da concentração de dosagem, quando necessária, é feita por diluição com a própria água clarificada no processo, próximo ao ponto de dosagem.

De todas as etapas do processo de flotação, a desestabilização das partículas é a mais crítica, pois caso ela não ocorra de maneira eficiente as demais etapas são comprometidas. Por isso, a dispersão do coagulante na massa líquida exige uma atenção especial, sendo que esta é afetada pelas condições hidráulicas do sistema e climatológicas da região, além das condições operacionais das barragens de Traição e Pedreira.

Ressalta-se que o processo de mistura com a utilização de ar comprimido não é o convencional tendo sido utilizado como alternativa para as condições específicas do sistema implantado no Rio Pinheiros. A **Figura 1.3** apresenta uma imagem desta etapa do processo.



**Figura 1.3 – Adição Química e Mistura Rápida**

## **4.2 PROCESSO DE FLOCULAÇÃO**

Com as partículas desestabilizadas, é necessário fazer com que elas se aglomerem para permitir a sua separação da fase líquida por flotação com ar dissolvido. A aglomeração é obtida mediante uma mistura lenta da massa líquida, permitindo o movimento aleatório e a colisão entre as partículas, resultando na formação de flocos. A mistura lenta também é obtida pela adição de ar comprimido, com menor intensidade que na mistura rápida. Nesta etapa, a velocidade horizontal de escoamento deve respeitar intervalos específicos, para evitar a deposição dos aglomerados formados ou a sua quebra. Outro parâmetro importante no processo de floculação é o tempo, que deve variar entre 20 e 40 minutos. A **Figura 1.4** apresenta uma imagem desta etapa do processo.





**Figura 1.4 – Processo de floculação**

### **4.3 FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO**

O processo de flotação por ar dissolvido ocorre após a etapa de floculação e consiste em se injetar no fundo e ao longo de toda a extensão do canal, uma corrente líquida saturada com ar.

Como a solubilidade do ar atmosférico na água é uma propriedade termodinâmica que depende da pressão e da temperatura, é possível saturar uma corrente líquida através de sua pressurização com o ar atmosférico. Para o processo de flotação do Rio Pinheiros, uma fração da água clarificada, entre 10 % a 15 % da vazão do sistema, é submetida a um processo de pressurização com ar comprimido, pressão entre 4 e 5 atmosferas, no tanque de saturação. Nesta condição, uma parcela do ar acaba sendo dissolvida na massa líquida. Posteriormente, esta corrente saturada é distribuída ao longo da largura do canal do Rio Pinheiros, também por meio de mangueiras, neste caso, dotadas de válvulas redutoras de pressão em suas extremidades.

Quando a pressão da corrente saturada é reduzida para a pressão atmosférica, o ar que estava dissolvido na água dá origem a inúmeras microbolhas com movimento ascendente que ao se deslocarem interceptam e aderem aos flocos formados na etapa de floculação. Nesta condição, a densidade das partículas é reduzida, fazendo com que as partículas flitem para a superfície da água, promovendo assim a clarificação. A **Figura 1.5** apresenta uma imagem desta etapa do processo.



**Figura 1.5 – Injeção de ar dissolvido e flotação**

#### **4.4 REMOÇÃO DOS SÓLIDOS FLOTADOS**

Ao final do trecho da bacia de flotação, os flocos estão basicamente na superfície da água, formando um lodo de superfície, o qual é direcionado à estrutura de remoção, dotada de pás rotativas que conduz o lodo para o sistema de desidratação, para posterior disposição final.

A água clarificada passa sob a estrutura de remoção de lodo para ser bombeada para a represa Billings, parte dessa água é encaminhada para o sistema de pressurização. A **Figura 1.6** e a **Figura 1.7** apresentam imagens desta etapa do processo.



**Figura 1.6 – Pás recolhedoras de lodo a jusante da estação para remoção de sólidos flotados**





**Figura 1.7 – Lodo produzido pela flotação**

#### **4.5 ADENSAMENTO E DESIDRATAÇÃO DO LODO**

O lodo retirado do rio é direcionado à central de adensamento, na margem do rio, cujo objetivo é aumentar a concentração de sólidos antes do processo de desidratação. O lodo adensado é então encaminhado para separadores centrífugos, onde ocorre a injeção de uma solução de polimérica para auxiliar o processo de separação de sólidos. Tipicamente um lodo com cerca de 2% de sólidos em massa entra na centrífuga e o lodo resultante, separado por centrifugação, terá um teor de sólidos em torno de 20 a 25 % em massa. A **Figura 1.8** apresenta uma imagem desta etapa do processo.





Figura 1.8 – Equipamento para desidratação do lodo

#### 4.6 DISPOSIÇÃO DO LODO DESIDRATADO

O lodo desidratado é transportado por caminhões basculantes para um aterro construído próximo a central de adensamento ao lado da E1, para disposição do lodo gerado durante a realização dos ensaios. A área de disposição foi devidamente preparada para recebimento e confinamento do lodo produzido, sendo dotada de impermeabilização por manta de material polimérico, sendo que após os ensaios deverá ser feita a cobertura final do aterro. A **Figura 1.9** e a **Figura 1.10** apresentam imagens desta etapa do processo.



**Figura 1.9 – Transporte do lodo desidratado para bota fora**



**Figura 1.10 – Lançamento do lodo no bota fora**



## 5 O SISTEMA DE MONITORAMENTO

Para o acompanhamento dos testes do protótipo de flotação foi desenvolvido um extenso sistema de monitoramento. Inicialmente, previamente à primeira fase do Projeto QAPB, procedeu-se ao planejamento da campanha com a identificação física dos pontos de amostragem previstos, a verificação e a aquisição de equipamentos, o estabelecimento das variáveis de qualidade a serem monitorados e da rotina de coleta e análise de dados de campo, bem como o treinamento da equipe de campo.

O Plano de Monitoramento abrangeu o monitoramento hidrológico e o monitoramento de qualidade da água em pontos notáveis do sistema compreendido pelo Rio Tietê, Rio Pinheiros, Reservatório Billings e Reservatório Guarapiranga (**Figura 1.11**).

O monitoramento hidrológico foi conduzido a partir de estações existentes e teve por finalidade quantificar as entradas e saídas hídricas no Reservatório Billings durante o teste. As variáveis hidrológicas de interesse foram as vazões afluentes por Pedreira, efluentes pela Barragem Reguladora Billings-Pedras e pela captação da SABESP no braço do Taquacetuba e as variáveis meteorológicas chuva e evaporação. As vazões foram fornecidas pela EMAE, os dados de chuva foram obtidos da estação meteorológica da EMAE instalada em Pedreira, e os dados de evaporação foram obtidos da estação meteorológica operada pelo IAG - Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo - localizada no Parque do Estado.

Além dos registros meteorológicos apontados acima a FCTH mantém uma rede de estações meteorológicas interligadas ao SAISP (Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo), que de interesse para o projeto QAPB possui as estações no braço do Taquacetuba (Billings), na barragem do Reservatório Guarapiranga e no Riacho Grande (São Bernardo do Campo). Especificamente para fornecer dados meteorológicos ao projeto QAPB, a FCTH instalou, ainda, uma estação meteorológica na Usina Elevatória de Pedreira, sobre a torre do elevador.

O Programa de Monitoramento, que buscou fornecer dados para a avaliação da qualidade da água no sistema Pinheiros-Billings, foi executado em 3 fases distintas, conforme já mencionado no item 3 deste relatório.

É importante ressaltar que no decorrer da fase 3, devido ao término do contrato do laboratório responsável pelas coletas de amostras de água e análises laboratoriais, foi realizado pela EMAE um novo processo de contratação por licitação, em que um novo laboratório foi contratado. Portanto, até 21 de junho de 2009 os trabalhos de campo foram realizados pelo consórcio de laboratórios Ambiental – Ecolabor, com a supervisão da FCTH. A partir do dia 22 de junho de 2009, a responsabilidade dos trabalhos de campo e análises passou a ser do laboratório Controle Analítico.

Nas três fases de monitoramento do projeto QAPB foi realizado um monitoramento da qualidade da água através de coletas de amostras nos pontos de monitoramento (seguidas das análises laboratoriais previstas nos Planos de Monitoramento), monitoramento contínuo e em tempo real de algumas variáveis de qualidade da água, coleta e tratamento de dados meteorológicos nos entornos dos corpos d'água de interesse, dados operacionais (vazões e níveis de água do sistema), como também campanhas de medições específicas ao longo do projeto, como campanhas para determinação da estratificação do Reservatório Billings, análises da qualidade da água em eventos de bombeamento para controle de cheias e nas sub-bacias do Reservatório Billings, e outros.

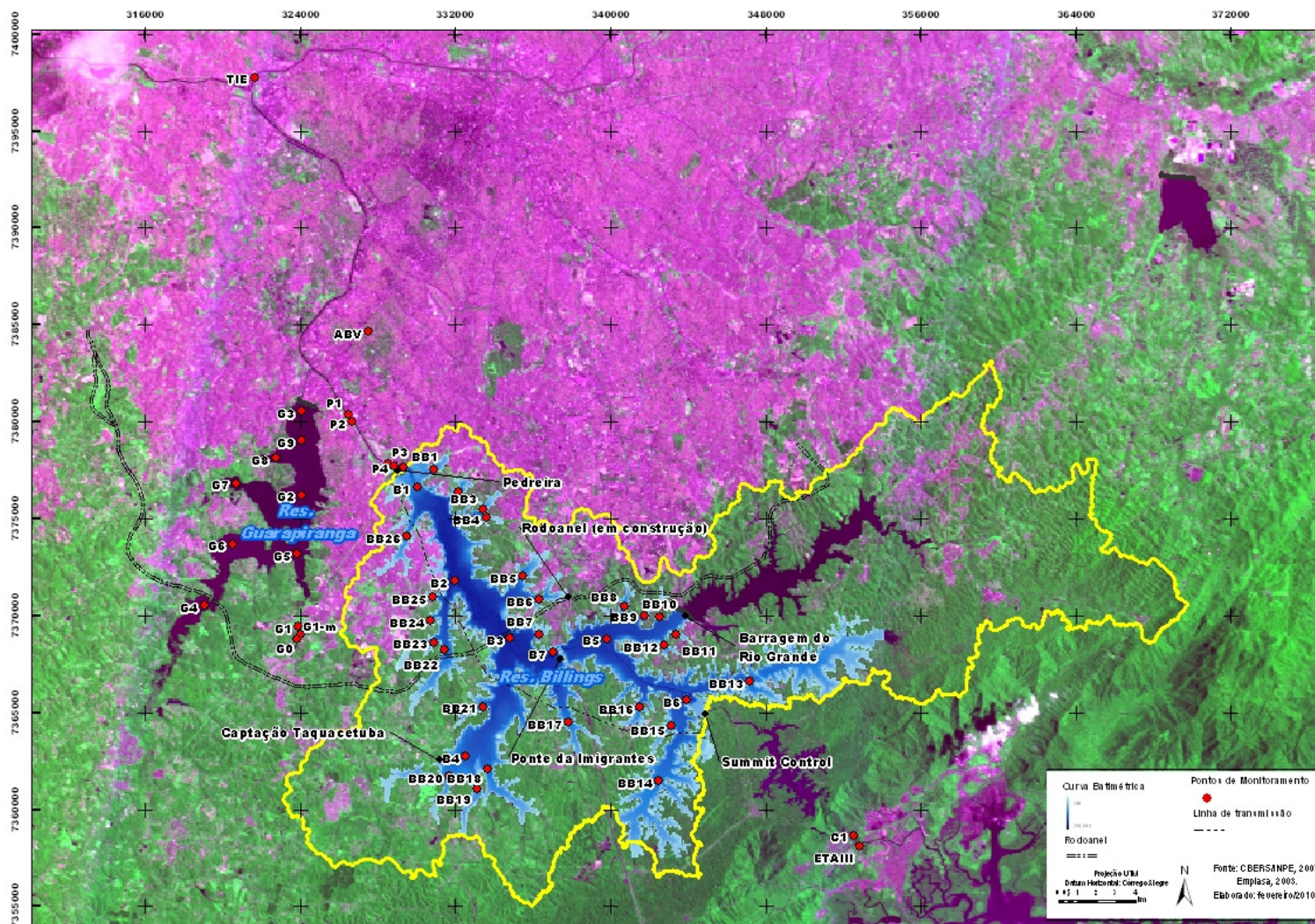


Figura 1.11 – Localização dos pontos monitorados

Para a análise das variações da qualidade da água nos eventos de bombeamentos de controle de cheias do Canal Pinheiros Superior para o Reservatório Billings, foi instalado em janeiro de 2009 um amostrador automático no ponto P4-A, que realiza coletas em intervalos de tempos pré-programados.

No primeiro relatório <sup>[1]</sup> foi abordada a concepção do monitoramento da qualidade da água para o projeto QAPB, assim como os primeiros resultados da fase 1. O segundo relatório <sup>[2]</sup> apresentou os resultados do Programa de Monitoramento da fase 1 e parte da fase 2, como também as atividades desenvolvidas pela equipe de monitoramento e de banco de dados. O Volume 2 do presente relatório apresenta uma visão das atividades relacionadas ao monitoramento e ao banco de dados ocorridas ao longo de todo o período de testes do protótipo da flotação, o que abrange as três fases de monitoramento, de forma que é possível verificar as alterações do monitoramento ao longo do tempo e as motivações que levaram a tais mudanças.

A primeira fase do monitoramento das águas no projeto QAPB, foi iniciada em 22 de agosto de 2007 com base no Acordo Judicial de 27 de junho do mesmo ano. Neste Plano de Monitoramento Inicial foi prevista a análise de 195 variáveis de qualidade da água a serem monitoradas em 17 pontos distribuídos nos corpos hídricos de interesse para a avaliação dos efeitos da operação do protótipo da Flotação.

Além das variáveis relacionadas no Plano de Monitoramento Inicial, ao longo da execução do Plano de Monitoramento foram incluídas as variáveis clorofila-a, cobre solúvel, temperatura do ar e cianobactérias, elevando para 199 o total de variáveis monitorados nesta etapa do projeto.

Para o monitoramento da fase 1 do projeto QAPB, foram realizadas 3.332 coletas de amostras de água nos pontos monitorados, sendo que em cada uma destas foi coletado o volume de água necessário para as análises previstas no Programa de Monitoramento. Para cada coleta, as amostras foram acondicionadas em recipientes específicos, variando para cada tipo de ensaio a ser realizado e técnica de preservação requerida.

Um fato relevante para a avaliação do total de análises laboratoriais de qualidade da água realizado ao longo do projeto, quando comparado com o total de análises inicialmente previsto, é que nos dias em que o protótipo da flotação se encontrava paralisado (devido aos eventos de bombeamento para controle de cheias e manutenção dos equipamentos), não foram realizadas coletas nos pontos P2, P3 e P4, pois estes têm por finalidade avaliar o efeito das estações de flotação (E1 e E2). Outra condição que reduziu o total de análises executadas é o fato que não foram realizadas coletas no ponto G0 em dias sem bombeamento da Sabesp (do braço Taquacetuba para o Reservatório Guarapiranga).

De acordo com o Plano de Monitoramento proposto para a fase 1, foi previsto um total de 110.379 análises, considerando todos os pontos de amostragem (inclusive superfície e fundo, quando assim determinado) e as variáveis de qualidade da água selecionadas no Plano. Neste período foram realizadas 101820 análises para os 17 pontos de monitoramento, que correspondem a 92,2% do total previsto. Considerando as variáveis analisadas, mas que originalmente não estavam previstas no Plano, chega-se a um total de 111.189 resultados, que corresponde a 100,7% do total previsto. Quando desconsideradas as análises previstas e realizadas nos pontos P2, P3, P4 e G0 (pontos cuja coleta está vinculada ao funcionamento da flotação e à captação no Taquacetuba), chega-se a um total de 88.683 análises previstas e 88.552 executadas



(99,9% de atendimento). O Anexo 1 do Volume 2 apresenta, para a fase 1 do monitoramento do projeto QAPB, os totais de análises planejadas, executadas e os percentuais de atendimento ao planejado, para todos os pontos e variáveis consideradas.

Para uma melhor avaliação do protótipo da flotação, foram incluídas no decorrer do projeto, por solicitação da equipe técnica do MP, EMAE e FCTH, algumas análises não previstas no Plano de Monitoramento original.

Mesmo quando considerado o atendimento de 92,2% das análises planejadas para a fase 1 (outubro de 2007 a dezembro de 2008), é um resultado muito significativo se levado em conta todas as dificuldades meteorológicas e logísticas enfrentadas pelas equipes de campo, além de considerar que laboratórios analíticos não estão isentos de falhas que acarretam perdas de amostras.

O monitoramento da fase 2, também denominado Monitoramento de Transição, teve seu início no dia 1 de janeiro de 2009. Embora o Termo de Ajuste de Conduta (TAC), celebrado em 18 de dezembro de 2008 entre EMAE e MP, ter previsto um monitoramento extenso a partir de janeiro de 2009, o monitoramento executado nos primeiros meses de 2009 foi reduzido. Devido à grande quantidade de bombeamentos para controle de cheias previsto para essa época do ano, aliado ao tempo necessário para implementação das modificações previstas no sistema da flotação, optou-se por paralisar a flotação nos primeiros meses do ano.

Com a decisão de paralisar a flotação no início de 2009, a assessoria técnica do MP, em conjunto com a equipe da FCTH, elaborou um Plano de Monitoramento de Transição, com um número reduzido de pontos e de variáveis a serem monitoradas. Este monitoramento, que foi executado até o retorno da operação do protótipo da flotação em 4 de maio de 2009, compreendeu a análise de 54 variáveis, distribuídas em 11 pontos monitorados.

Na fase 2 do monitoramento, foram realizadas 319 coletas de amostras de água nos pontos monitorados, sendo que em cada uma destas foi coletado o volume de água necessário para as análises previstas no Programa de Monitoramento de Transição. Conforme descrito anteriormente, as coletas no ponto P4-A ocorreram somente nos dias em que, no momento da coleta prevista, estava em funcionamento o bombeamento para controle de cheias.

De acordo com o Plano de Monitoramento proposto para o período, foi previsto um total de 10.510 análises, considerando todas as variáveis monitoradas e todos os pontos de amostragem, com exceção dos pontos P4-A (coletado quando coincidente a coleta no ponto e o bombeamento para controle de cheias). Do total de análises previstas, foi realizado 98,5%, totalizando 10.356 análises.

Se desconsideradas as análises previstas e realizadas para o ponto G0, que tem a coleta vinculada ao bombeamento do braço Taquacetuba para o Reservatório Guarapiranga (captação Sabesp), tem-se um total de 10.067 análises previstas e 10.127 executadas (100,6% de atendimento).

Além do total previsto, foram realizadas 60 análises da variável fitoplâncton para os pontos de fundo dos reservatórios Billings e Guarapiranga (48 análises nos pontos B1-F, B2-F, B3-F, B4-F, B5-F e B6-F; e 12 análises nos pontos G2-F e G3-F). Uma vez que a presença de fitoplâncton é esperada apenas próximo à superfície, o Plano de Monitoramento previa a análise desta variável apenas para os pontos de superfície dos reservatórios.



Somado ao total de análises realizadas que foi apresentado acima, foram realizadas 469 análises no ponto P4-A, 232 análises no ponto G0 e 315 análises no ponto P1, que totalizam 11.143 análises realizadas na fase 2 do monitoramento. No Anexo 2 do Volume 2 está apresentado o Plano de Monitoramento da fase 2 em detalhe, com os totais de análises previsto, executado e o percentual de atendimento.

A fase 3 do monitoramento do projeto QAPB corresponde ao Plano de Monitoramento Complementar determinado no Termo de Ajuste de Conduta (TAC) celebrado em 18 de dezembro de 2008 entre EMAE e MP. Este monitoramento foi iniciado no dia 4 de maio de 2009 (data em que foi reiniciada a operação do protótipo da flotação) e finalizado no dia 31 de maio de 2009, data em que foi determinado o encerramento da operação da flotação.

Para o monitoramento da fase 3, além de manter os 17 pontos monitorados na fase 1, foram incluídos mais 27 pontos no Reservatório Billings (BB1 a BB26 e B7), 6 pontos no Reservatório Guarapiranga (G4 a G9), 1 ponto no rio Parelheiros (G1-m), 1 ponto no canal a jusante das turbinas da Usina Hidrelétrica Henry Borden (C1), em Cubatão e 1 ponto na saída da Estação de Tratamento de Água de Cubatão (ETA III), totalizando 53 pontos de monitoramento.

Para esta terceira fase do projeto foram monitoradas 156 variáveis de qualidade da água. Com relação às 199 variáveis monitoradas na primeira fase de testes do protótipo da flotação, foram mantidas 151 e incluídas mais 5 variáveis (carbono orgânico total, fitoplâncton, nitrogênio kjeldahl, sílica e zooplâncton). Para os pontos nos braços do Reservatório Billings, deste total foram selecionadas 44 variáveis para serem monitoradas.

O monitoramento da fase 3 do projeto QAPB resultou em 2.017 coletas de amostras em campo para realização de análises laboratoriais.

Na fase 3 foram realizadas, em média 8,3 coletas por dia, sendo que em cada coleta as amostras foram armazenadas em diferentes frascos, devidamente identificados de acordo com a variável a ser analisada e a preservação requerida. Apesar da redução do número de variáveis monitoradas, o aumento da frequência de coleta e a inclusão de novos pontos de monitoramento resultou em um número elevado de coletas se comparado com o monitoramento da fase 1, quando foi realizado em média 6,7 coletas por dia.

Conforme apresentado anteriormente, no Plano de Monitoramento da fase 3 estava previsto o monitoramento de 36 novos pontos (além dos 17 já monitorados na fase 1). No entanto, a localização da maior parte desses novos pontos foi definida após o início do monitoramento. Assim, para a previsão do número de análises a ser executado nesta etapa do projeto foi considerado a data inicial do monitoramento de cada ponto.

Portanto, considerando a data de início do monitoramento para cada ponto, foram previstas 86.852 análises, considerando todos os pontos de amostragem (superfície e fundo, quando assim determinado) e todas as variáveis monitoradas. Neste período foram realizadas 78.733 análises, que correspondem a 90,7% do total previsto. Quando desconsiderados, nos cálculos das análises previstas e executadas, os pontos G0, P2, P3 e P4 (pontos que dependem de bombeamento da Sabesp no Taquacetuba – para o G0 – e da operação do protótipo da flotação – para os demais pontos), chega-se a um total de 68.026 análises previstas e 68.425 análises executadas, ou seja, 100,6 % de atendimento ao Plano de Monitoramento. O Anexo 3 do Volume 2 contém os totais de



análises planejadas, executadas e os percentuais de análises executadas em relação às planejadas (atendimento), para todos os pontos e variáveis consideradas.

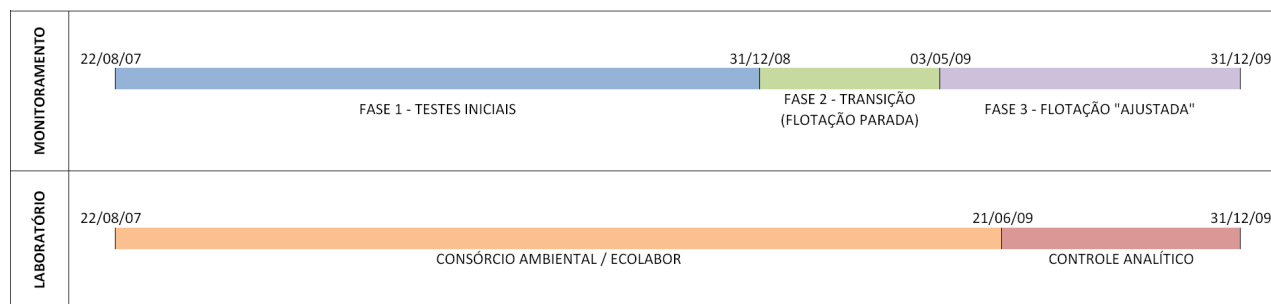
Além das análises realizadas por amostragem nos pontos de monitoramento, foi utilizada uma sonda multiparâmetros automática da FCTH, que opera transmitindo dados em tempo real a cada 5 minutos. Os dados são transmitidos ao Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), operado pela FCTH, onde são arranjados em gráficos e tabelas. No site do SAISP esses dados são disponibilizados em um link de acesso restrito, que pode ser consultado pela equipe do projeto e por outros usuários autorizados pela EMAE. O banco de dados do Projeto QAPB seleciona e armazena os dados de qualidade da água coletados pela sonda a cada uma hora.



## 6 HISTÓRICO DA OPERAÇÃO DO SISTEMA DE FLOTAÇÃO

A operação do protótipo da Flotação obedeceu á três fases, assim como o Plano de Monitoramento, conforme citado no item 3:

- 1ª Fase - Período de teste da flotação: Este grupo inclui as coletas realizadas entre 22/08/2007 a 31/12/2008, primeiro período de teste do protótipo da flotação no Rio Pinheiros.
- 2ª Fase - Período após o teste da flotação: Este grupo inclui as coletas realizadas entre 01/01/2009 e 03/05/2009, período no qual o protótipo da flotação não operou, sendo os bombeamentos realizados pela Usina Elevatória de Pedreira para o Reservatório Billings somente para controle de cheias. Desta forma, este período não será analisado neste capítulo.
- 3ª Fase - Novo período de teste da flotação: Este grupo inclui as coletas realizadas entre 04/05/2009 a 31/12/2009, segundo período de teste do protótipo da flotação no Rio Pinheiros. Este período foi subdividido em outros dois:
  - 04/05/2009 a 21/06/2009 - Análises realizadas pelo consórcio dos laboratórios Ambiental e Ecolabor
  - 22/06/2009 a 31/12/2009 - Análises realizadas pelo laboratório Controle Analítico



**Figura 1.12 – Cronograma das fases da operação do protótipo da flotação**

Procurou-se analisar as falhas operacionais em todas as fases do processo. Os dados para isso foram fornecidos pela EMAE e estão disponíveis no banco de dados do estudo, descrito no Volume 2.

Durante a operação do protótipo da flotação, ocorreram várias interrupções no seu funcionamento, destacando-se, ao longo do período de estudo, os seguintes motivos:

- Interrupção da flotação para operações de controle de cheias no Rio Pinheiros. Esse tipo de interrupção não é considerado falha da flotação, devido ao aumento considerável da vazão do rio, muito superior aos 10 m<sup>3</sup>/s. Ao final de episódios de cheias, há necessidade de limpeza dos dispositivos instalados na calha do rio, o que acarreta prolongamento do período de tempo sem operação da flotação em torno de 48 horas.
- Com relação ao período de 48 horas ao final do controle de cheias, duas condições devem ser verificadas para constatar ou não uma falha de operação do sistema:
  - Se a flotação voltar a ser operada antes desse intervalo de tempo, voltam a ser contabilizadas as horas de flotação.

- Se a flotação não voltar à ativa após 48 horas, então deste ponto em diante considera-se que ocorreu falha de operação da flotação.
- Paradas para manutenção e/ou conserto de equipamentos e dispositivos associados à flotação (vazamentos em tubulações e mangotes, bombas de sucção de lodo, etc.).

A síntese dos dados operacionais, fornecidos pela EMAE, são apresentados na **Tabela 1.1**.

Na 1ª Fase os dois primeiros meses de atividade do protótipo da flotação foram pouco produtivos, por conta de inúmeras interrupções na operação, principalmente devido a problemas eletromecânicos nos equipamentos<sup>2</sup>. Com o início da estação chuvosa, a partir da segunda quinzena de outubro foram realizadas operações de controle de cheia as quais impediram o funcionamento do protótipo da flotação por períodos mais prolongados, situação que perdurou até fevereiro/2008. Durante este período, a parcela do volume bombeado para o Reservatório Billings referente à flotação é muito restrita em comparação com o volume bombeado devido a operações de controle de cheia.

Ressalta-se que o período de testes do protótipo da flotação encerrou-se em dezembro de 2008, sendo por isso que os bombeamentos realizados em Pedreira de janeiro a março de 2009 (2ª Fase) devem-se apenas às operações de controle de cheia.

O teste do protótipo da flotação reiniciou em 17/05/2009. Nos quatro primeiros meses da 3ª Fase (maio a agosto de 2009) a parcela do volume bombeado para o Reservatório Billings referente a operação de controle de cheia é muito restrita em comparação com o volume bombeado devido à flotação. A estação chuvosa em 2009 começou no início de setembro e perdurou até dezembro, o que impediu o pleno funcionamento do protótipo de flotação, devido as operações de controle de cheia.

---

<sup>2</sup> A conclusão das obras do sistema de flotação ocorreu no ano de 2003. Os equipamentos não foram utilizados desde então até o início dos testes. Muitos dos problemas havidos, portanto, devem-se a defeitos decorrentes deste longo tempo de inatividade.

**Tabela 1.1 – Volumes bombeados na Elevatória de Pedreira para o Reservatório Billings**

	Mês	Volumes Bombeados ao Billings (hm <sup>3</sup> )			Porcentagem de água flotada em relação ao total bombeado
		Flotado	Controle de Cheias	Total	
1ª Fase	set/07	2,7	0,0	2,7	100%
	out/07	4,3	14,4	18,7	23%
	nov/07	13,4	20,5	33,9	40%
	dez/07	7,8	33,7	41,5	19%
	jan/08	4,9	53,4	58,3	8%
	fev/08	3,2	32,0	35,3	9%
	mar/08	17,3	13,7	30,9	56%
	abr/08	11,8	17,5	29,2	40%
	mai/08	18,1	13,7	31,8	57%
	jun/08	14,3	9,7	24,0	60%
	jul/08	18,5	0,0	18,5	100%
	ago/08	13,4	6,3	19,7	68%
	set/08	9,6	2,2	11,8	82%
	out/08	15,5	7,7	23,3	67%
nov/08	17,4	4,3	21,7	80%	
dez/08	6,8	35,9	42,8	16%	
2ª Fase	jan/09	0,0	56,1	56,1	0%
	fev/09	0,0	27,6	27,6	0%
	mar/09	0,1	16,5	16,6	1%
	abr/09	0,0	8,3	8,3	0%
3ª Fase	mai/09	10,1	0,0	10,1	100%
	jun/09	16,5	0,0	16,5	100%
	jul/09	12,9	29,3	42,2	31%
	ago/09	15,1	3,8	18,8	80%
	set/09	10,0	38,1	48,1	21%
	out/09	7,3	33,7	40,9	18%
	nov/09	7,7	75,8	83,4	9%
	dez/09	2,7	134,7	137,4	2%

A **Figura 1.13** apresenta o gráfico dos volumes bombeados para o Reservatório Billings em cada mês do período entre 01/09/2007 a 31/12/2009.

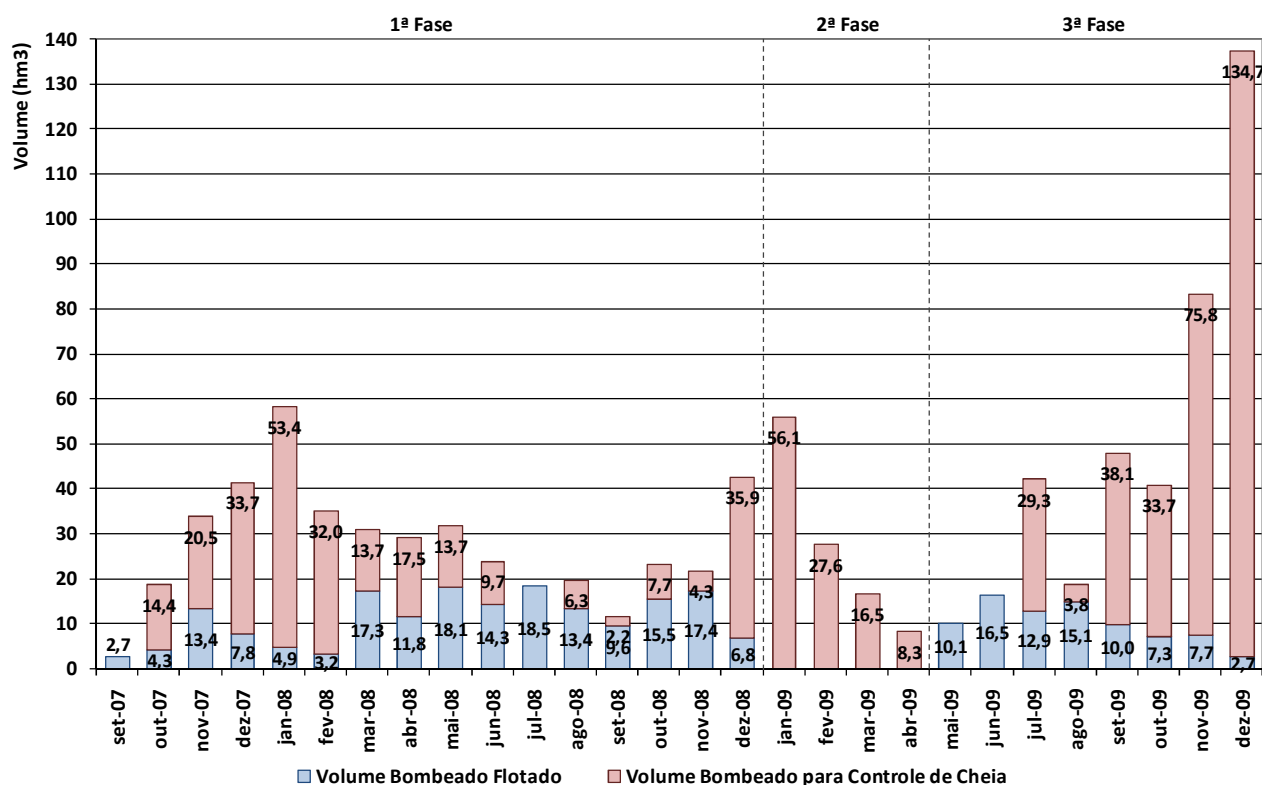
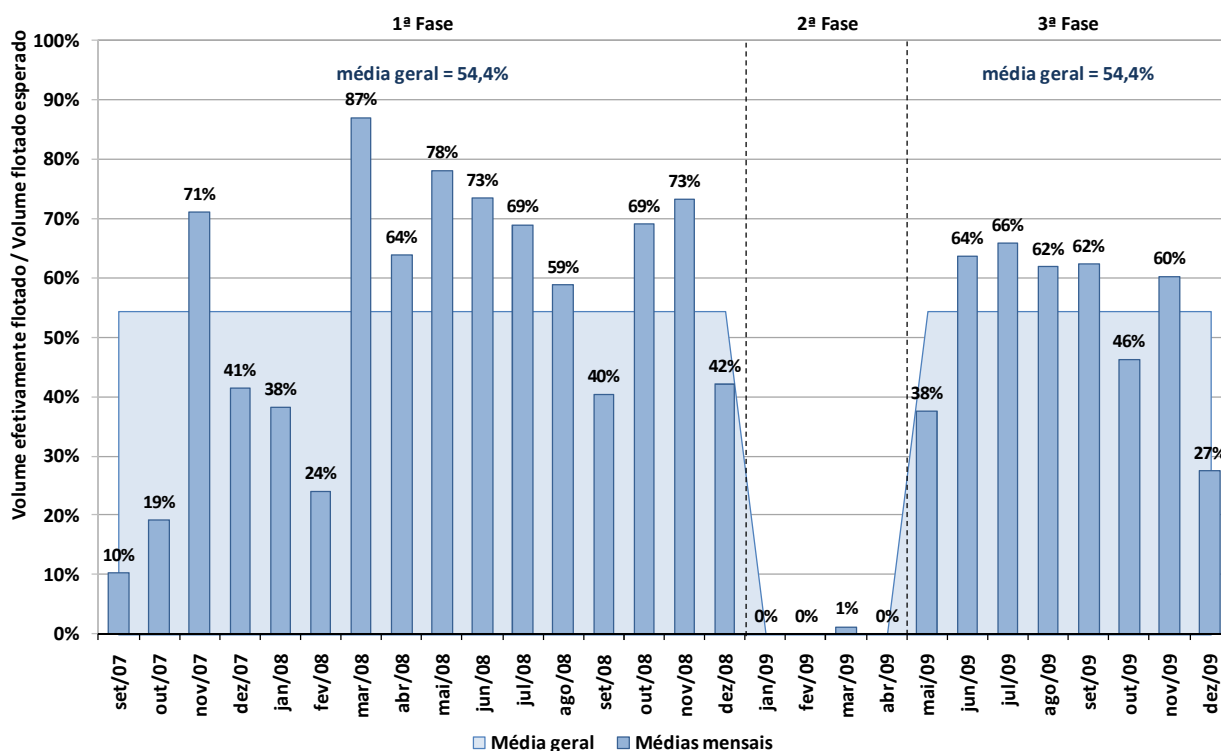


Figura 1.13 – Volume bombeado para a Billings (hm<sup>3</sup>) entre 01/09/2007 e 31/12/2009

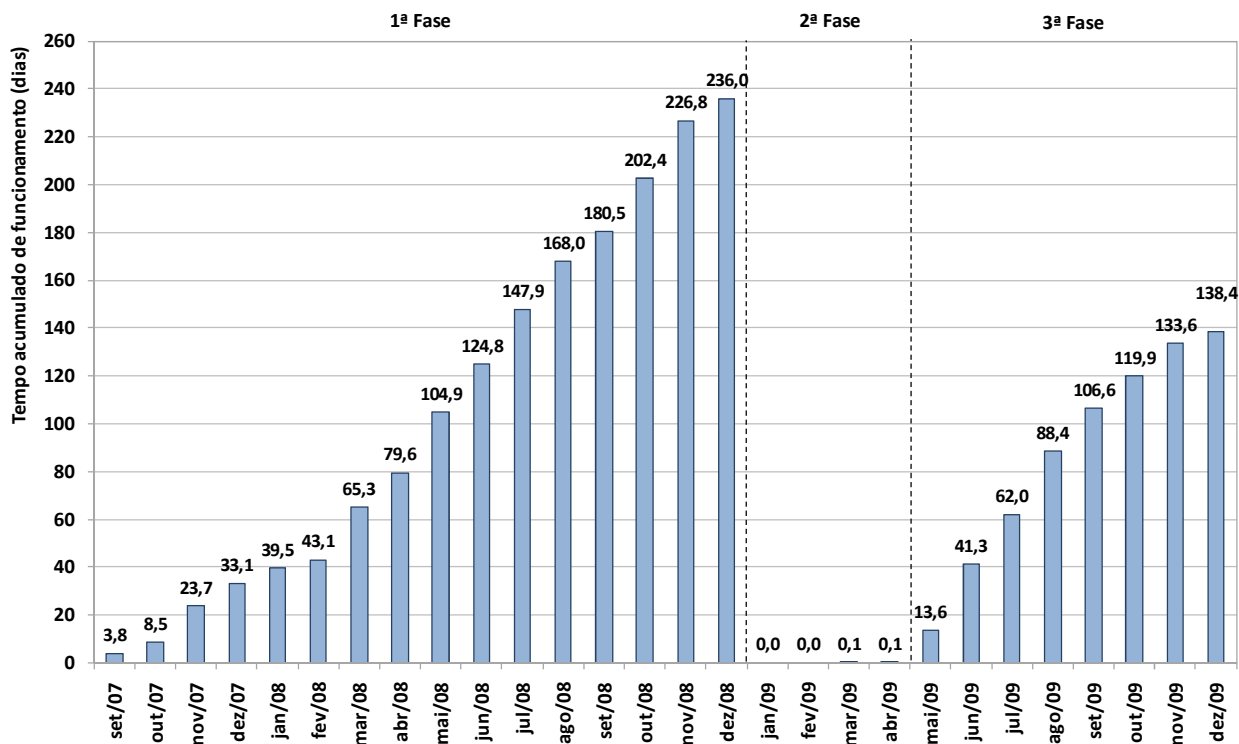
Na 1ª Fase a flotação operou, em média, 54,4% do tempo, ou seja, a operação ficou suspensa por problemas técnicos, em média, 45,6% do tempo. Analisando o tempo de operação da flotação em relação ao tempo esperado de funcionamento, isto é, descontando as paradas para controle de cheias e limpeza do canal, observam-se melhores índices a partir de março/2008, conforme demonstra a **Figura 1.14**.

Na 3ª Fase, assim como na 1ª Fase a flotação operou em média 54,4% do tempo. De junho a novembro/2009 foram os meses com melhores desempenhos de tempo de operação.



**Figura 1.14 - Flotação observada com relação à flotação esperada entre 01/09/2007 e 31/12/2009**

A **Figura 1.15** mostra o tempo acumulado, mês a mês, de operação do protótipo da flotação. Na 1ª Fase a operação do protótipo de flotação foi equivalente à 236 dias, na 3ª Fase foi equivalente à 139 dias.

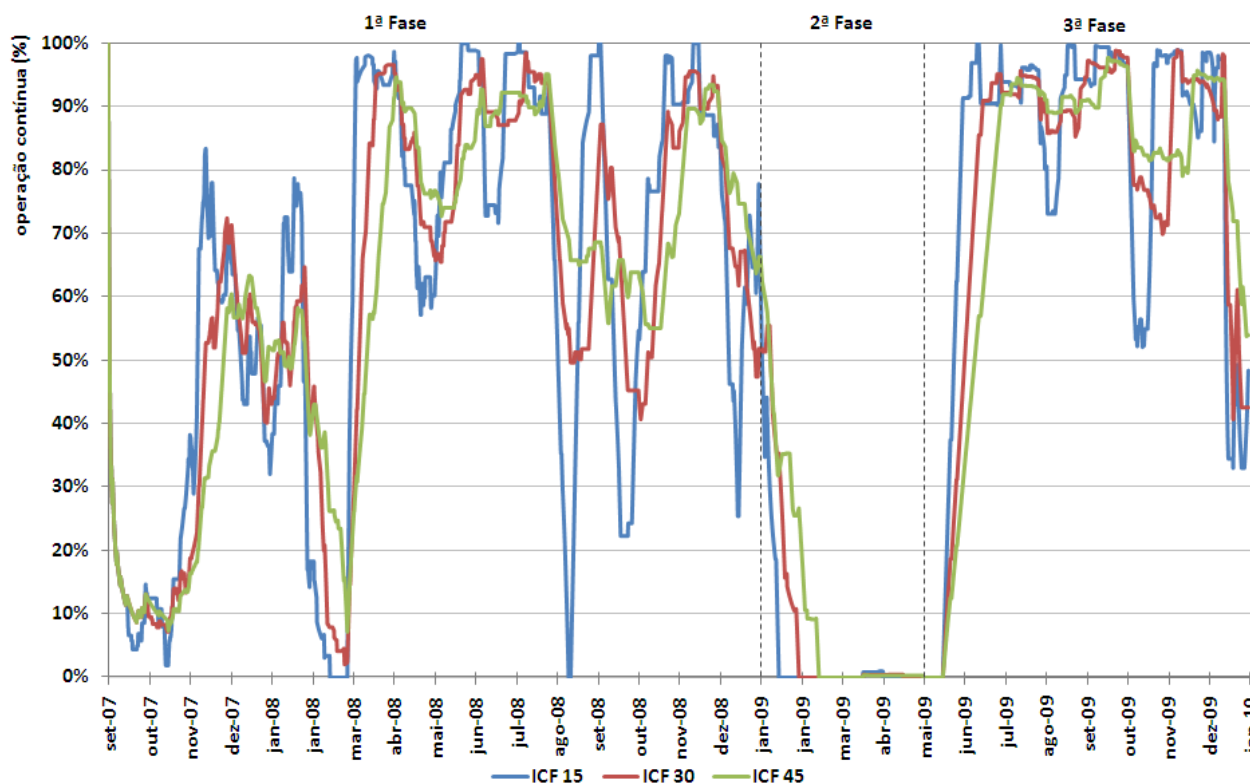


**Figura 1.15 - Gráfico da Operação do Protótipo da Flotação**

A Assessoria Técnica do Ministério Público (ATMP), que acompanhou os testes do protótipo, apresentou em reunião do dia 27/10/2007 uma avaliação da continuidade de operação do sistema de flotação, denominada Índice de Continuidade da Flotação (ICF), calculada com base nos 30 dias antecedentes, ou seja, a média móvel de 30 dias consecutivos antecedentes à data de referência. Tal índice foi tratado como uma média móvel associada a períodos consecutivos de 15, 30 e 45 dias, respectivamente ICF15, ICF30 e ICF45. As interrupções da flotação para controle de cheias afetavam bastante o cálculo dos índices, que, por conta disso, foram então calculados excluindo-se os períodos de parada da flotação para controle de cheias. A evolução dos ICF é apresentada na **Figura 1.16**.

Na 1ª Fase, no mês outubro de 2007 os índices ICF estavam todos em torno de 15% e aumentaram para cerca de 70% (ICF15 e ICF30) e 58% (ICF45) em novembro de 2007. Em dezembro de 2007 os valores de ICF caíram para a faixa de 53% a 62%, atingindo valores muito baixos no primeiro bimestre de 2008 (faixa de 10% a 30%). A partir de março de 2008 o ICF aumentou progressivamente. A tríade (ICF15, ICF30, ICF45) atingiu 94%, 48% e 33% em março, 75%, 85% e 90% em abril, 73%, 90% e 87% em junho, caindo para 15%, 55% e 70% em agosto de 2008 e encerrou o ano com 60%, 52% e 65% em dezembro de 2008.

Na 3ª Fase a tríade (ICF15, ICF30, ICF45) atingiu 91%, 45% e 30% no final de maio, ficou em torno de 93%, 81% e 62% em junho, 94%, 93% e 93% em julho, 89%, 88% e 90% em agosto, 98%, 97% e 94% em setembro, caindo para 77%, 78% e 84% em outubro, 94%, 93% e 87% em novembro e encerrou o ano com 64%, 69% e 80% em dezembro de 2009.



**Figura 1.16 - Gráfico do Índice de Continuidade da Flotação**

## **7 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DO RIO PINHEIROS POR FLOTAÇÃO**

### **7.1 PROJETO QAPB**

Para a análise da eficiência na remoção de poluentes, foram selecionados os períodos em que o sistema de flotação funcionou continuamente por pelo menos seis dias, descontadas as primeiras 48 horas de funcionamento após cada novo acionamento do sistema. Esse critério mostra-se adequado para a análise da eficiência do processo de tratamento, pois é necessário que o sistema de flotação entre em regime, o que demanda um período mínimo de operação contínua.

Considerando esse critério, fazem parte da avaliação dos resultados as análises de amostras coletadas nos seguintes períodos:

- 1ª Fase (22/08/2007 a 31/12/2008)
  - 27/02/2008 a 13/03/2008;
  - 25/03/2008 a 03/04/2008;
  - 07/05/2008 a 31/05/2008;
  - 20/06/2008 a 25/07/2008;
  - 14/08/2008 a 02/09/2008;
  - 25/09/2008 a 01/10/2008;
  - 08/10/2008 a 22/10/2008;
  - 29/10/2008 a 12/11/2008;
  - 18/11/2008 a 29/11/2008.
- 3ª Fase (04/05/2009 a 31/12/2009)
  - 19/05/2009 a 11/07/2009
  - 17/07/2009 a 25/07/2009
  - 05/08/2009 a 21/08/2009
  - 26/08/2009 a 03/09/2009
  - 14/09/2009 a 23/09/2009
  - 31/10/2009 a 08/11/2009

Têm-se, assim, 156 dias de operação para análise comparativa entre água bruta e água flotada no Rio Pinheiros na 1ª Fase e 108 dias na 3ª Fase.

Para adequar a comparação dos resultados das coletas realizadas na entrada do sistema (ponto P1) com as da saída do sistema (ponto P4-A), os dados de P1 foram defasados em um dia em relação aos dados de P4-A. Isso se justifica pois, no processo de flotação, são necessárias cerca de 20 horas para a água bruta em P1 percorrer todo trecho do canal do Pinheiros entre as duas estações de flotação até chegar em P4-A como água flotada.

Para determinar a eficiência do tratamento por flotação, foram analisados cerca de 25 variáveis de qualidade, aqui apresenta-se um resumo dos resultados obtidos para seis desses indicadores de qualidade da água: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, *Escherichia coli* e Turbidez. Os resultados detalhados constam do Volume 3 deste estudo.

A **Tabela 1.2** apresenta um resumo das concentrações médias das variáveis de qualidade analisadas em cada um dos pontos de monitoramento, bem como a variação das concentrações entre P1 e P4-A e os índices de conformidade de cada variável em cada ponto, ou seja, o percentual das leituras que se mostraram em conformidade com o limite estabelecido para a variável para a primeira fase do monitoramento. A **Tabela 1.3** apresenta as mesmas informações para a terceira fase do monitoramento

**Tabela 1.2 – Eficiência média de remoção de poluentes com operação contínua do protótipo da flotação na 1ª Fase**

Variável de qualidade	Valores médios		Intervalo de Confiança 95%		Variação P1-P4-A		Conformidade	
	P1	P4-A	P1	P4-A	Obtida	Esperada	P1	P4-A
Fósforo Total (mg/L)	1,500	0,050	[1,121 ; 1,856]	[0,034 ; 0,073]	-96%	-95%	0%	85%
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	25,05	22,73	[24,14 ; 25,96]	[21,74 ; 23,73]	-9%	-	14%	25%
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	329.554	19.306	[191.047 ; 468.061]	[2.735 ; 35.877]	-94%	-100%	*	*
DBO (mg/L)	66	31	[62 ; 70]	[29 ; 33]	-52%	-71%	47%	97%
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	1,8	2,7	[1,6 ; 1,9]	[2,5 ; 2,8]	+50%	-	1%	3%
Turbidez (UNT)	53	27	[47 ; 58]	[25 ; 30]	-48%	-91%	96%	100%

\*Variáveis sem limite de conformidade definido

**Tabela 1.3 – Eficiência média de remoção de poluentes com operação contínua do protótipo da flotação na 3ª Fase**

Variável de qualidade	Valores médios		Intervalo de Confiança 95%		Variação P1-P4-A		Conformidade	
	P1	P4-A	P1	P4-A	Obtida	Esperada	P1	P4-A
Fósforo Total (mg/L)	2,504	0,23	[2,372 ; 2,636]	[0,186 ; 0,274]	-91%	-95%	0%	18%
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	18,66	17,09	[17,93 ; 19,43]	[16,39 ; 17,79]	-8%	-	58%	79%
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	6.694.891	11.531	[965.411 ; 1.142.437]	[6.186 ; 16.876]	-100%	-100%	*	*
DBO (mg/L)	84	42	[78 ; 90]	[37 ; 48]	-49%	-71%	25%	87%
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	1,4	1,9	[1,1 ; 1,7]	[1,5 ; 2,2]	+34%	-	4%	7%
Turbidez (UNT)	41	36	[37 ; 46]	[31 ; 40]	-14%	-91%	99%	98%

\*Variáveis sem limite de conformidade definido

Um exame mais detalhado da **Tabela 1.2** e da **Tabela 1.3** permite, para cada variável de qualidade, as seguintes considerações:

- Apesar da remoção de fósforo total não ter atingido o percentual esperado (95%) na 3ª fase, observou-se uma eficácia média de remoção significativa (96% na 1ª Fase e 91% na 3ª Fase). O fósforo é um elemento de grande relevância para controle do processo de eutrofização em reservatórios, neste caso, o Reservatório Billings, para onde é bombeada a água tratada do P4A.



- Houve baixa remoção de nitrogênio amoniacal (9% na 1ª Fase e 8% na 3ª Fase) e ocorreu pouca nitrificação (conversão em nitrito/nitrato). Alguns fatores prejudicam a nitrificação no rio: os baixos teores de OD, curto tempo de trânsito entre P1 e P4-A (cerca de 20 horas em situação de escoamento normal do Rio Pinheiros). Bactérias nitrificantes exigem pelo menos 2,0 mg/L de OD e tempo de contato celular de pelo menos 2 a 3 dias.
- A redução das concentrações de *Escherichia coli*, principal indicador da contaminação por esgotos de corpos d'água, foi de 94% na 1ª Fase e 99,8% na 3ª Fase, embora a concentração remanescente ainda permaneça elevada.
- Em relação à remoção de matéria orgânica, baseada na medida da DBO, o processo de flotação apresentou eficiências de 52% para DBO para a 1ª Fase e 49% na 3ª Fase, provavelmente associada aos sólidos em suspensão presentes na água. Esta hipótese pode ser comprovada com base na avaliação da eficiência na redução da turbidez.
- Para a concentração entre os pontos P1 e P4-A da variável OD, os resultados devem ser avaliados com cautela, uma vez que a análise desta variável está sujeita a muitas interferências, além do fato da concentração de matéria biodegradável ainda ser elevada.
- Os resultados para turbidez indicaram uma remoção de 48% na 1ª Fase e 14% na 3ª Fase. A eficiência na redução da turbidez é muito abaixo do previsto, o que dá sustentação à hipótese sobre as condições operacionais da flotação, em especial nas etapas de floculação e separação de sólidos.

Um exame geral da **Tabela 1.2** e da **Tabela 1.3** mostra que remoções (variações) esperadas para diversas variáveis de qualidade não foram obtidas na prática. Isto pode ser atribuído ao fato do protótipo da flotação estar em um trecho de rio, o que implica imediatamente em perdas de eficiência do processo, em comparação com o previsto para uma unidade devidamente projetada e operada para tal fim, ou seja, com condições hidrodinâmicas bem conhecidas e escoamento uniforme. No corpo do Rio Pinheiros, o processo da flotação está sujeito a zonas mortas, zonas de escoamento preferenciais, fenômenos localizados de turbulência e regime não-uniforme de escoamento, dentre outros. Assim sendo, má-formação e cisalhamento anormal de flocos podem ocorrer, com implicação direta em perdas de eficiências de remoção de variáveis de qualidade.

## 7.2 CETESB

Segundo o Relatório de Águas Interiores de CETESB para o ano de 2008 <sup>[4]</sup> a qualidade das águas do Rio Pinheiros, neste ano, foi intimamente afetada pelos testes do Sistema de Flotação.

Como a CETESB monitorou pontos a montante e a jusante das estações de flotação, foi possível fazer uma análise da eficiência do sistema, apresentada na **Tabela 1.4**, para alguns indicadores de qualidade de água segundo os dados obtidos por essa entidade: DBO, Nitrogênio Amoniacal, Oxigênio Dissolvido, Fósforo Total, Turbidez e Toxicidade Aguda (Microtox). Segundo o Relatório da CETESB <sup>[4]</sup> as amostragens realizadas em janeiro, fevereiro, março, abril e setembro ocorreram quando o sistema não estava em operação. Portanto, o cálculo da eficiência média de cada variável de qualidade, foi realizado considerando os dados da estação em operação.

**Tabela 1.4 – Eficiência do sistema de flotação em 2008 segundo os dados do Monitoramento da CETESB <sup>[4]</sup>**

DBO (mg/L)	Antes	Depois	% Remoção
Janeiro	16	9	
Fevereiro	20	16	
Março	20	20	
Abril	33	18	
Maio	57	46	19
Junho	53	21	60
Julho	69	42	39
Agosto	63	24	62
Setembro	93	23	
Outubro	62	20	68
Novembro	42	24	43
Dezembro	52	49	6

Média	57	32	42
-------	----	----	----

NH <sub>2</sub> (mg/L)	Antes	Depois	% Remoção
Janeiro	4,2	4,3	
Fevereiro	10,4	7,0	
Março	2,2	1,4	
Abril	13,9	9,0	
Maio	21,0	17,7	16
Junho	19,2	16,2	16
Julho	23,2	22,4	3
Agosto	11,1	10,2	8
Setembro	27,4	15,4	
Outubro	21,2	16,3	23
Novembro	17,4	20,4	
Dezembro	26,6	23,5	12

Média	20,0	18,1	13
-------	------	------	----

PT (mg/L)	Antes	Depois	% Remoção
Janeiro	0,48	0,45	
Fevereiro	0,74	0,24	
Março	0,65	0,35	
Abril	1,07	1,43	
Maio	2,51	0,02	99
Junho	1,19	0,06	95
Julho	3,5	0,14	96
Agosto	2,53	<0,02	99
Setembro	1,76	1,03	
Outubro	1,71	0,03	98
Novembro	0,63	0,06	90
Dezembro	1,71	0,93	46

Média	1,97	0,18	89
-------	------	------	----

Turbidez (UNT)	Antes	Depois	% Remoção
Janeiro	37,2	29,2	
Fevereiro	76,0	76,0	
Março	18,7	30,4	
Abril	36,0	64,0	
Maio	79,0	2,7	97
Junho	36,0	10,0	72
Julho	38,3	24,3	37
Agosto	52,3	4,5	91
Setembro	74,2	56,6	
Outubro	24,4	4,4	82
Novembro	28,0	10,8	72
Dezembro	51,4	39,7	23

Média	45,6	13,8	68
-------	------	------	----

Microtox	Antes	Depois
Janeiro	N.T.	N.T.
Fevereiro	36	N.T.
Março	N.T.	N.T.
Abril	22	N.T.
Maio	3,8	42,9
Junho	N.T.	35,1
Julho	2,9	17,0
Agosto	3,6	28,4
Setembro	7,5	30,8
Outubro	6,2	25,3
Novembro	12,7	43,4
Dezembro	9,9	22,4

Média	6,5	30,6
-------	-----	------

OD (mg/L)	Antes	Depois
Janeiro	0,37	0,6
Fevereiro	<L.D.	3,8
Março	0,26	0,22
Abril	<L.D.	<L.D.
Maio	0	2,34
Junho	0,31	1,53
Julho	0,17	1,72
Agosto	0,05	3,65
Setembro	0,3	0,6
Outubro	0,4	3,2
Novembro	Não Realizada	
Dezembro	0,11	1,33

Média	0,2	2,3
-------	-----	-----

Conforme análise apresentada no Relatório da CETESB<sup>[4]</sup> os dados apresentados mostraram que a flotação é mais eficiente na redução de DBO, Fósforo Total e Turbidez. Com relação ao Nitrogênio Amoniacal, embora a eficiência de remoção tenha sido de 13 %, os níveis detectados, em torno de 18,1 mg/L, após o sistema, atendem ao padrão de emissão estabelecido pela Resolução Conjunta SEE-SMA-SRHSO 1, de 31-01-2001, que estabelece que as águas afluentes e as do próprio Canal do Rio Pinheiros, após tratamento adequado, poderão ser bombeadas para o Reservatório Billings, para fins de geração de energia elétrica adicional na Usina Henry Borden, desde que atendam aos padrões de emissão preconizados no artigo 18 do Regulamento da Lei 997/76, aprovado pelo Decreto 8.468/76, combinado com o artigo 21 da Resolução CONAMA nº 20/86, prevalecendo o mais restritivo, como também aos limites para os seguintes indicadores de qualidade: Fosfato Total  $\leq 0,025$  mg/L P; Oxigênio Dissolvido  $\geq 5,0$  mg/L; Cor Aparente  $\leq 75$  mg Pt/L e Turbidez  $\leq 100$  UNT.

Em relação ao Oxigênio Dissolvido, apesar de haver aumento dos níveis a jusante do sistema, passando de 0,2 a 2,3 mg/L, ainda não atendem ao mínimo exigido. Com relação à toxicidade aguda (Microtox), observou-se uma melhora após o sistema de flotação, com o seu abrandamento.

Os valores de Oxigênio Dissolvido, obtidos por meio do monitoramento automático, na saída do Sistema de Flotação, confirmaram os dados do monitoramento manual, indicando na maior parte do ano médias horárias em torno de 2,0 mg/L. Foi possível observar a diminuição dos valores de pH quando o sistema de flotação está operando, devido à adição do coagulante que reage com a água liberando íons H<sup>+</sup>. Em 2008, quando o sistema esteve em operação, o pH da água de saída oscilou entre 5,5 e 6,5.

Quando o sistema de flotação está operando, além da redução do pH, a adição do coagulante causa um aumento da condutividade. A adição do coagulante representou um aumento da Condutividade da água de saída do sistema de flotação, propiciando uma oscilação entre 500 e 800  $\mu$ S/cm, atingindo os valores máximos na época de estiagem. Quando ocorre o bombeamento para o controle de cheias, a condutividade cai para valores inferiores a 500  $\mu$ S/cm, devido à diluição.

Os elevados valores de Turbidez foram causados, principalmente, pelas chuvas, que aumentam o carreamento de sólidos para o corpo d'água. As elevações da Turbidez em agosto e outubro devem estar associadas às deficiências na operação do Sistema de Flotação.

Portanto, o teste do sistema de flotação implantado no Rio Pinheiros, bombeando 10 m<sup>3</sup>/s para o Reservatório Billings na maior parte dos meses de 2008, representou uma melhora na qualidade das águas do rio no trecho próximo à Usina de Pedreira. O sistema indicou uma eficiência de remoção de 42 % para DBO (resultando em concentrações em torno de 30 mg/L) e de 89 % para o Fósforo Total (resultando em concentrações em torno de 0,18 mg/L). Para o Nitrogênio Amoniacal, a eficiência foi baixa (em torno de 13 %). A toxicidade, avaliada pelo Sistema Microtox, não foi totalmente removida, quando a água que entrava no sistema se mostrava fortemente tóxica. Também não houve recuperação dos níveis do Oxigênio Dissolvido.



Comparando-se os resultados das eficiências obtidas com os dados da CETESB e os dados da primeira fase do Projeto QAPB podem ser feitas as seguintes observações:

- As porcentagens médias de remoção de fósforo total em ambos os monitoramentos foram elevadas, atingindo 89 % e 96 % nos monitoramentos da CETESB e do Projeto QAPB respectivamente
- As porcentagens médias de remoção de DBO em ambos os monitoramentos foram próximas, atingindo 42 % e 52 % nos monitoramentos da CETESB e do Projeto QAPB respectivamente
- As porcentagens médias de remoção de nitrogênio amoniacal em ambos os monitoramentos foram baixas, atingindo 13 % e 9 % nos monitoramentos da CETESB e do Projeto QAPB respectivamente

## 8 CARGA LANÇADA NO RESERVATÓRIO BILLINGS POR FLOTAÇÃO E POR CONTROLE DE CHEIAS

Este item apresenta o estudo da estimativa da carga média de poluentes bombeada pela Usina Elevatória de Pedreira ao Reservatório Billings. A análise foi feita no ponto P4A, separando-se as amostras analisadas pelo laboratório Controle Analítico em dois agrupamentos:

### ○ Operação da flotação

Este grupo inclui os resultados das amostras coletadas nos maiores períodos de operação contínua da flotação da 3ª Fase. Foram selecionados 69 dias da 3ª Fase, isto é:

- 3ª Fase (04/05/2009 a 31/12/2009)
  - 22/06/2009 a 11/07/2009
  - 17/07/2009 a 25/07/2009
  - 05/08/2009 a 21/08/2009
  - 26/08/2009 a 03/09/2009
  - 14/09/2009 a 23/09/2009
  - 31/10/2009 a 08/11/2009

### ○ Operação de controle de cheias

Este grupo inclui os resultados das coletas realizadas em P4A nos horários em que a Elevatória de Pedreira realizou operações de controle de cheias, bombeando as águas do Rio Pinheiros para o Reservatório Billings. Nesse período, as vazões variaram entre 50 m<sup>3</sup>/s e 350 m<sup>3</sup>/s. Assim, estão reunidos nesta categoria os resultados das coletas realizadas em 32 dias, quais sejam:

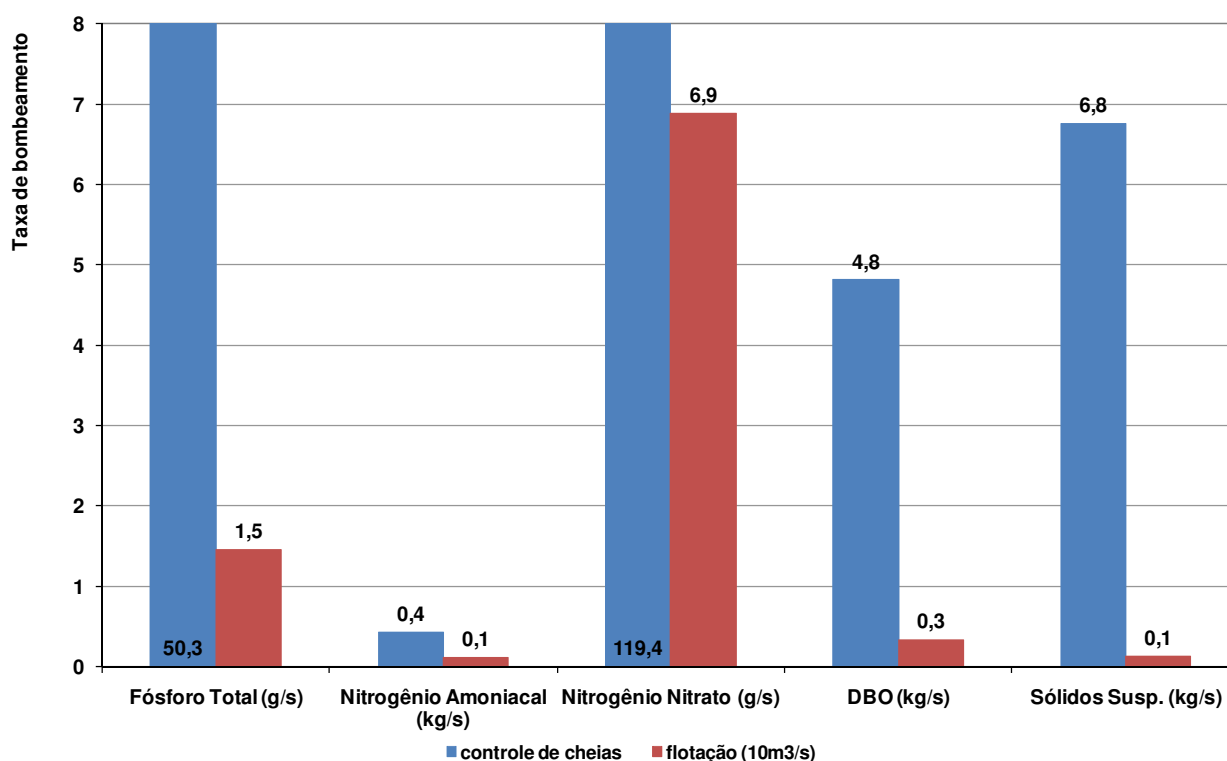
- 3ª Fase (04/05/2009 a 31/12/2009)
  - Julho/2009: dias 11, 25 e 29
  - Agosto/2009: dia 21
  - Setembro/2009: dias 4 e 9
  - Outubro/2009: dias 7, 18, 22, 23 e 27
  - Novembro/2009: dias 9, 16, 25, 26, 27, 28, 29 e 30
  - Dezembro/2009: dias 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 17, 27, 28, 29, 30 e 31

Primeiramente, foi determinada a carga de poluentes bombeada por unidade de tempo ao Reservatório Billings pela Elevatória de Pedreira. Os resultados são apresentados na **Figura 1.17**.

Os resultados das coletas nos 69 dias de flotação foram também empregados no cálculo da taxa média de bombeamento de poluentes na situação de vazão flotada igual a 50 m<sup>3</sup>/s. As taxas médias e desvio padrão obtidos para as condições de controle de cheias, flotação de 10 m<sup>3</sup>/s e flotação de 50 m<sup>3</sup>/s são apresentados na **Tabela 1.5**.

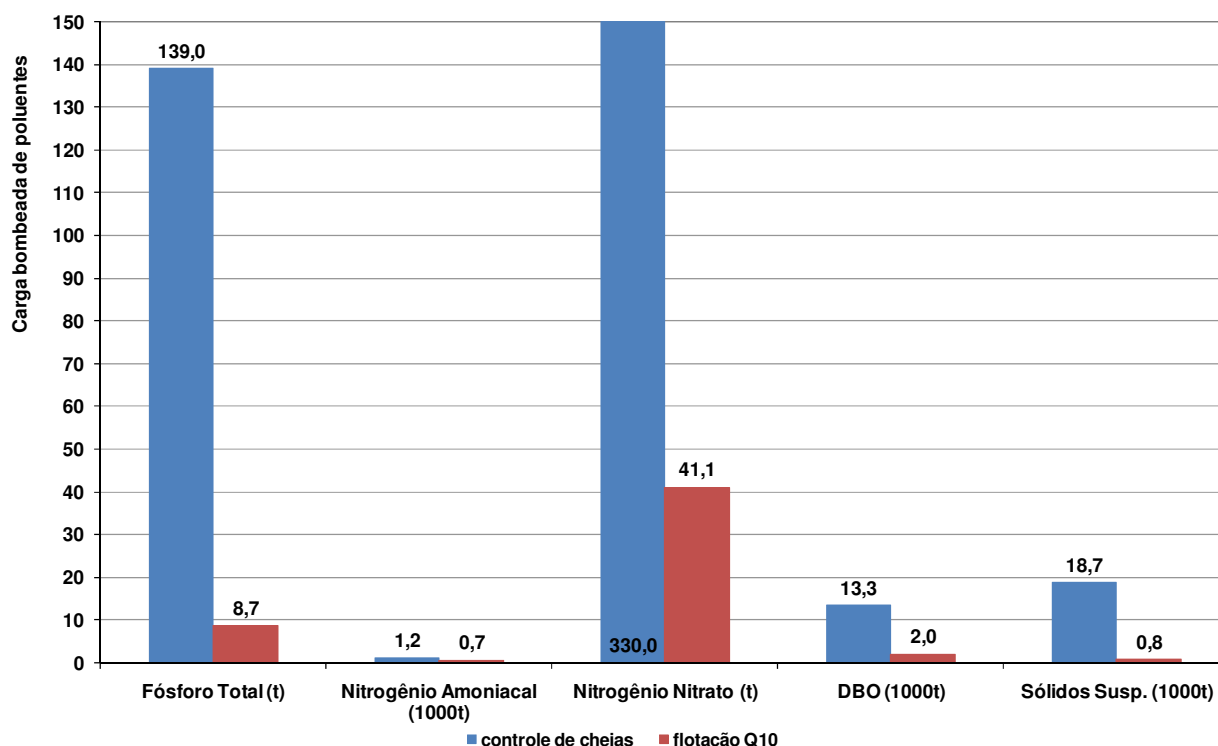
**Tabela 1.5 – Taxa média de bombeamento de poluentes ao Reservatório Billings em operações de controle de cheia, flotação de 10 m<sup>3</sup>/s e flotação de 50 m<sup>3</sup>/s**

Variável	Unidade	Controle de Cheias		Flotação Q10		Flotação Q50	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Fósforo Total	g/s	50,28	68,57	1,46	1,23	10,78	8,84
Nitrogênio Nitrato	g/s	119,38	87,91	6,89	1,82	51,01	11,33
DBO	kg/s	4,81	5,17	0,33	0,22	2,46	1,58
Nitrogênio Amoniacal	kg/s	0,43	0,60	0,11	0,03	0,81	0,18
Sólidos Susp.	kg/s	6,75	11,05	0,13	0,06	0,99	0,52



**Figura 1.17 – Taxa de bombeamento de poluentes ao Reservatório Billings por Pedreira em operações de flotação e de controle de cheia**

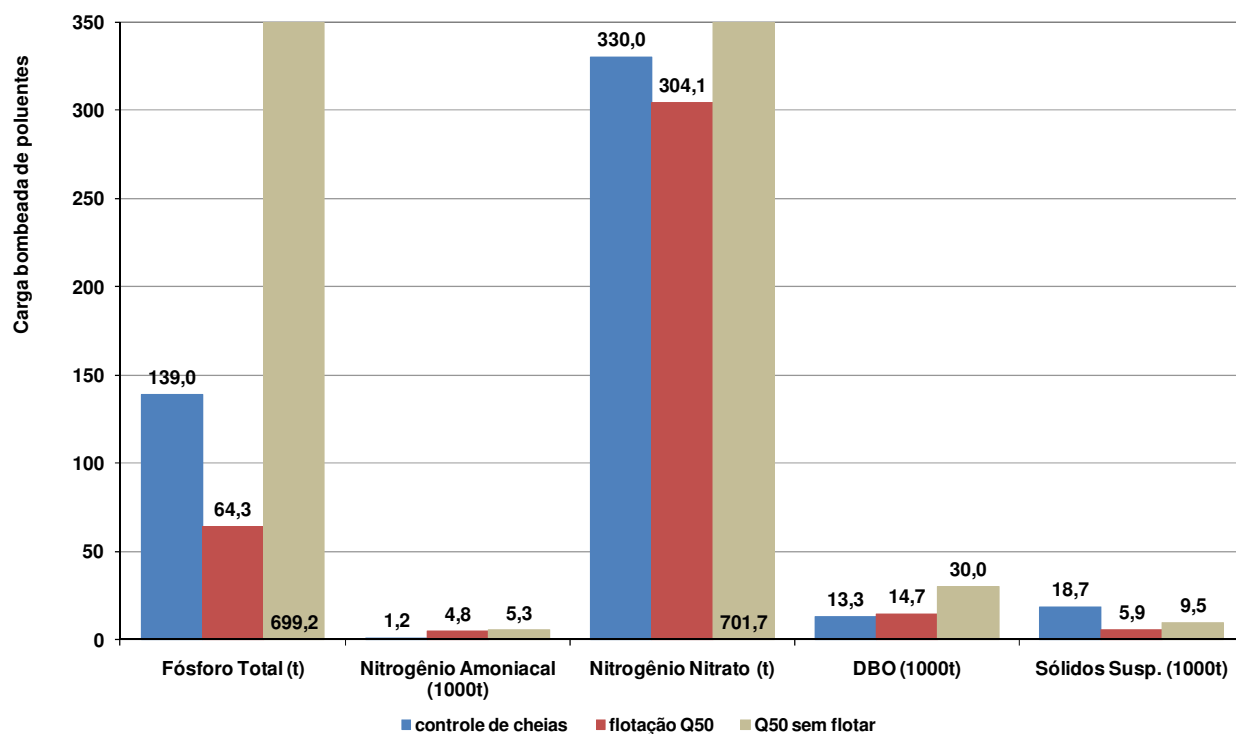
Considerando as taxas apresentadas na **Tabela 1.5**, foi calculada a carga total de poluentes bombeada ao Reservatório Billings nos 69 dias de flotação e nos 32 dias de controle de cheias utilizados nessa análise comparativa. Os resultados são apresentados na **Figura 1.18**.



**Figura 1.18 – Carga de poluentes bombeada ao Reservatório Billings durante a flotação de 10 m<sup>3</sup>/s e durante o controle de cheias.**

Também foi calculada a carga total de poluentes bombeados à Billings em outras duas situações: bombeamento com flotação de 50 m<sup>3</sup>/s e bombeamento de 50 m<sup>3</sup>/s sem flotação. Novamente foram considerados os 69 dias de flotação e os 32 dias de controle de cheias definidos anteriormente.

Nessa comparação, foi utilizada para cada variável a respectiva remoção média obtida entre os pontos P1 e P4-A. Os resultados são mostrados na **Figura 1.19**.



**Figura 1.19 – Estimativa da carga de poluentes afluente ao Reservatório Billings com bombeamento de 50 m<sup>3</sup>/s com e sem flotação**



## 9 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NOS RESERVATÓRIOS BILLINGS E GUARAPIRANGA DURANTE A FLOTAÇÃO

### 9.1 RESERVATÓRIO BILLINGS

A seguir são apresentados os resultados das análises de qualidade da água do Reservatório Billings com base no monitoramento realizado. Os períodos analisados foram separados em três agrupamentos:

- 1ª Fase - Período de teste da flotação

Este grupo inclui as coletas realizadas entre 01/09/2007 a 31/12/2008, primeiro período de teste do protótipo da flotação no Rio Pinheiros. Convém salientar que essas amostras também incorporam os bombeamentos de controle de cheia efetuados durante o período.

- 2ª Fase - Período após o teste da flotação

Este grupo inclui as coletas realizadas entre 01/11/2009 e 03/05/2009, período no qual o protótipo da flotação não operou, sendo os bombeamentos realizados pela Usina Elevatória de Pedreira para o Reservatório Billings somente para controle de cheias.

- 3ª Fase – Novo período de teste da flotação

Este grupo inclui as coletas realizadas entre 04/05/2009 a 31/12/2009, segundo período de teste do protótipo da flotação no Rio Pinheiros, que inclui as análises realizadas pelo consórcio dos laboratórios Ambiental-Ecolabor (04/05/2009 a 21/06/2009) e as análises realizadas pelo laboratório Controle Analítico (22/06/2009 a 31/12/2009). Ressalta-se que neste capítulo a análises desta fase será feita apenas do período global, uma vez que houve poucas coletas analisadas pela Ambiental-Ecolabor impossibilitando análises estatísticas desse período.

A análise dos indicadores de qualidade da água do Reservatório Billings se vale do índice de conformidade das variáveis, ou seja, a porcentagem das coletas cujos resultados atenderam aos limites estabelecidos pelo enquadramento do reservatório, classe 2 para os pontos de coleta B1, B2, B3, B5 e B6 e para o ponto B4, valem os limites definidos para corpos hídricos classe 1, conforme disposto no Decreto Estadual 10.755 de 22/11/1977. A **Tabela 1.6** mostra os índices de conformidade obtidos durante as três fases do projeto para os pontos de monitoramento no Reservatório Billings, considerando as coletas feitas próximas da superfície do lago.

**Tabela 1.6 – Índices de Conformidade das variáveis analisadas no Reservatório Billings, para as três fases do projeto, com o limite estabelecido pela composição judicial**

Parâmetro	Índice de Conformidade (%)																	
	1ª Fase						2ª Fase						3ª Fase					
	B1S	B2S	B3S	B4S	B5S	B6S	B1S	B2S	B3S	B4S	B5S	B6S	B1S	B2S	B3S	B4S	B5S	B6S
Fósforo Total (mg/L)	26	29	50	83	100	100	-	-	-	-	-	-	7	19	29	27	50	64
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	11	31	44	53	65	53	29	100	94	100	100	100	23	59	65	85	86	100
Chumbo Total (mg/L)	92	95	82	88	100	82	100	100	100	100	100	100	97	97	100	100	100	100
DBO (mg/L)	97	97	100	100	100	100	94	100	100	100	100	100	30	38	41	45	45	41
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	30	69	68	72	83	83	35	56	53	41	88	88	38	72	82	82	95	100
Turbidez (UNT)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Avaliando-se os dados apresentados na **Tabela 1.6**, para as amostras coletadas durante a 1ª Fase verifica-se um elevado nível de conformidade para a maioria das variáveis, com exceção do fósforo total, nitrogênio amoniacal e oxigênio dissolvido com valores inferiores a 90% na maioria dos pontos monitorados na 1ª Fase. Analisando os índices de conformidade para a 2ª Fase, observa-se valores de conformidade inferiores a 90% apenas para o nitrogênio amoniacal e oxigênio dissolvido. Para a 3ª Fase as variáveis com menores índices de conformidade foram fósforo total, nitrogênio amoniacal, DBO e oxigênio dissolvido.

Os dados da **Tabela 1.6** confirmam um quadro de comprometimento da qualidade da água do reservatório, com a presença de nutrientes e outros contaminantes, resultante, principalmente, de atividades desenvolvidas no seu entorno.

Na maioria dos pontos monitorados, o padrão de qualidade para fósforo não foi atingido, muito embora se perceba uma redução na sua concentração na direção da cabeceira da bacia, com possível influência do fluxo de água para geração de energia no processo de mistura e decaimento.

De maneira similar ao que ocorre com o fósforo, verifica-se para o nitrogênio amoniacal a redução da concentração desta variável em direção à cabeceira.

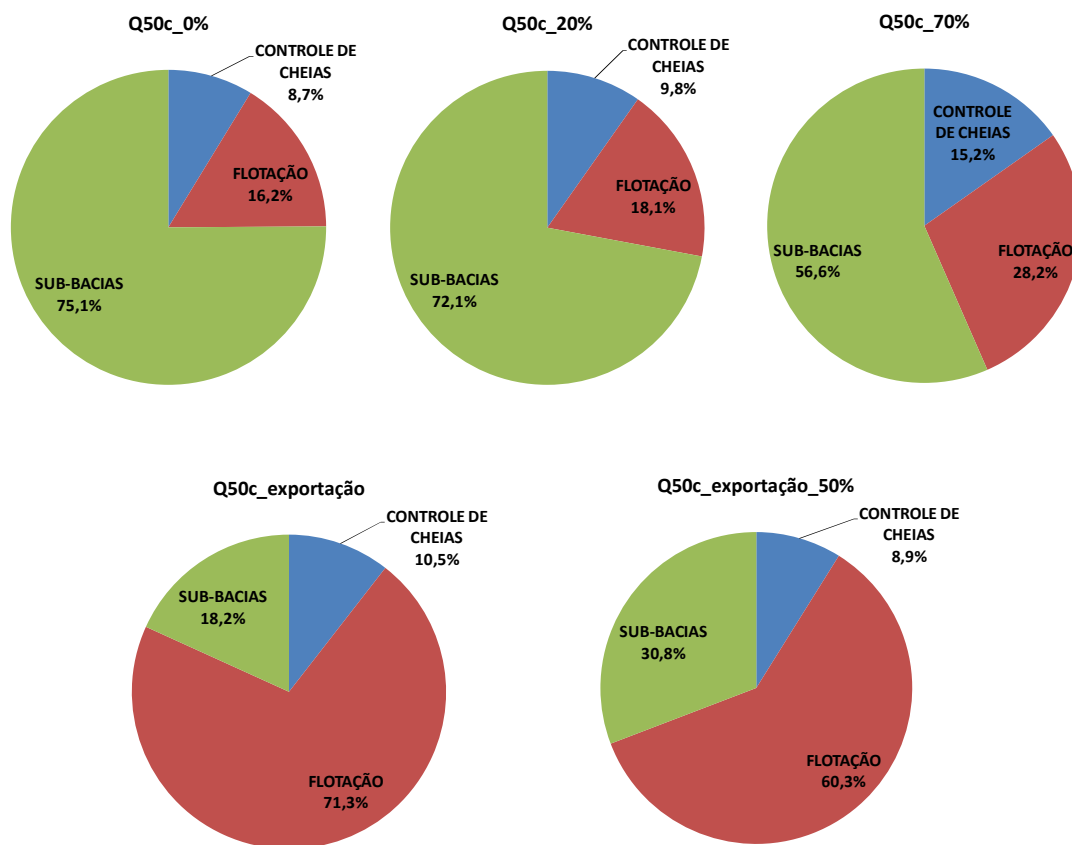
As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram uma queda da ordem de 10 % em média na 2ª Fase se comparadas às observadas na 1ª Fase, acarretando a menor conformidade. Porém na 3ª Fase os índices de conformidade dessa variável voltam a melhorar superando os índices da 1ª Fase em todos os pontos monitorados.

Ressalta-se que os menores índices de conformidade são no ponto B1, próximo à Barragem de Pedreira, como resultado do bombeamento do Rio Pinheiros.

De modo geral, os resultados demonstraram uma possível relação da operação do sistema de flotação com a qualidade da água no reservatório, principalmente nos pontos B1 e B2, ressaltando-se que a carga aportada nos eventos de controle de cheias também pode contribuir para isto. Nos demais pontos monitorados, a causa provável para o não atendimento aos padrões de qualidade estabelecidos é a poluição difusa, através de descargas de esgoto *in natura* e outras fontes de poluição, como ilustra a **Tabela 1.7** e a **Figura 1.20**.

**Tabela 1.7 – Tabela de carga de fósforo total afluyente por cada uma das fontes**

Cenário	Características	Pedreira		Sub-bacias		Carga de Fósforo Total durante 2 anos					
		Vazão característica (m³/s)	Flotação	Redução de carga	Redução de carga	Toneladas			%		
						Controle de Cheias	Flotação	Sub-Bacias	Controle de Cheias	Flotação	Sub-Bacias
Q50c_0%	vazão característica de 50 m³/s com tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	50	sim	0%	0%	60,8	112,8	523,4	8,7	16,2	75,1
Q50c_20%	vazão característica de 50 m³/s com tratamento em Pedreira e 20 % de redução de cargas nas sub-bacias	50	sim	0%	20%	60,8	112,8	448,2	9,8	18,1	72,1
Q50c_70%	vazão característica de 50 m³/s com tratamento em Pedreira e 70 % de redução de cargas nas sub-bacias	50	sim	0%	70%	60,8	112,8	226,0	15,2	28,2	56,6
Q50c_exportação	vazão característica de 50 m³/s com tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluyente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Especifica	50	sim	0%	Variável	76,8	521,0	133,2	10,5	71,3	18,2
Q50c_exportação_50%	vazão característica de 50 m³/s com redução de 50 % das cargas afluentes e tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluyente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Especifica	50	sim	50%	Variável	38,4	260,5	133,2	8,9	60,3	30,8



**Figura 1.20 – Porcentagens da carga de fósforo total afluentes por cada uma das fontes**

Na 3ª Fase, além do monitoramento dos pontos B1 a B6, realizou-se o monitoramento de águas rasas do Reservatório Billings (pontos BB1 a BB26). A **Tabela 1.8** apresenta a concentração máxima, média e mínima para as variável de qualidade nos pontos de águas rasas do Reservatório Billings.

**Tabela 1.8 – Tabela de concentrações máximas, médias e mínimas dos pontos de monitoramento de águas rasas do Reservatório Billings**

PONTO BB	Fósforo Total (mg/L)			Nitrogênio Amoniacal (mg/L)			DBO (mg/L)			Oxigênio Dissolvido (mg/L)			Turbidez (NTU)		
	Concentração			Concentração			Concentração			Concentração			Concentração		
	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
1	0,740	0,359	0,135	3,7	2,01	1,1	63	34	17	9,81	4,48	1,52	36,50	21,07	10,30
2	0,617	0,225	0,087	4,1	2,08	1,2	40	26	5	10,10	5,75	2,50	43,90	13,12	4,17
3	0,570	0,270	0,097	2,6	1,86	1,4	47	27	12	10,49	6,72	3,14	36,70	13,35	6,65
4	0,441	0,211	0,121	3,1	1,80	1,3	52	23	13	10,13	6,86	3,90	13,60	9,50	5,96
5	0,792	0,242	0,053	2,1	1,62	1,1	40	28	17	10,16	6,91	4,55	16,80	9,43	5,03
6	0,486	0,172	0,045	2,8	1,83	1,3	64	30	5	11,22	7,17	4,02	16,70	8,63	4,44
7	0,405	0,126	0,02	2,6	1,83	1,0	42	21	5	9,70	7,85	5,77	10,50	8,13	3,40
8	0,400	0,108	0,033	1,9	1,27	1,0	51	21	10	9,95	8,81	7,88	9,60	8,13	5,25
9	0,476	0,134	0,03	1,7	1,48	1,3	57	19	5	9,78	8,75	7,87	12,20	7,74	4,90
10	0,333	0,093	0,024	2,0	1,69	1,4	45	22	5	9,72	8,55	7,47	10,20	7,26	4,90
11	0,250	0,079	0,03	1,5	1,16	1,0	42	22	11	9,49	8,25	5,50	11,40	7,05	4,12
12	0,505	0,131	0,023	1,6	1,31	1,1	40	15	3	9,74	8,59	6,97	12,10	7,61	4,97
13							43	20	6	9,29	8,75	8,15	17,50	13,29	9,72
14	0,146	0,072	0,035				50	26	3	10,22	9,16	8,15	20,70	14,43	8,59
15	0,077	0,035	0,009	1,4	1,22	1,0	50	22	5	9,81	8,72	7,34	15,10	11,89	6,75
16	0,070	0,044	0,027	2,1	1,43	1,0	30	19	11	9,54	8,52	6,07	12,20	9,04	5,77
17				2,3	1,75	1,1	52	24	5	8,66	6,70	1,35	7,38	5,32	2,40
18	0,069	0,044	0,024	1,8	1,46	1,3	53	25	5	10,87	8,04	6,74	11,30	6,44	2,20
19	0,118	0,049	0,022	2,7	1,61	1,1	55	23	11	10,43	7,93	6,50	9,89	5,24	1,75
20	0,126	0,059	0,033	1,8	1,40	1,0	40	23	13	10,58	8,40	7,29	9,08	5,84	1,89
21	0,083	0,048	0,026	2,0	1,56	1,3	49	21	9	10,35	8,36	6,75	13,30	6,14	2,50
22	0,420	0,099	0,034	2,8	1,72	1,0	44	24	5	9,32	7,26	2,88	14,60	7,28	2,88
23	0,110	0,065	0,03	2,5	1,67	1,0	50	22	4	10,32	8,46	6,02	20,10	9,73	4,40
24	0,284	0,114	0,06	3,8	2,19	1,1	65	23	5	10,42	8,88	6,94	9,95	7,18	3,53
25	0,099	0,067	0,022	2,2	1,71	1,2	45	20	6	9,65	8,16	6,11	15,70	10,71	5,91
26	0,266	0,157	0,064	5,2	1,82	1,0	39	21	5	9,44	5,65	2,46	37,60	13,06	6,30

## 9.2 RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA

A seguir são apresentadas as análises de qualidade da água do Reservatório Guarapiranga com base no monitoramento realizado. Os períodos analisados foram separados em dois agrupamentos:

- 1ª Fase - Período de teste da flotação

Este grupo inclui as coletas realizadas entre 01/09/2007 a 31/12/2008, primeiro período de teste do protótipo da flotação no Rio Pinheiros. Neste período, foram realizadas coletas nos pontos G0, G1, G2 e G3.

- 2ª Fase - Período após o teste da flotação

Este grupo inclui as coletas realizadas entre 01/11/2009 e 03/05/2009, período no qual o protótipo da flotação não operou, sendo os bombeamentos realizados pela Usina Elevatória de Pedreira para o Reservatório Billings somente para controle de cheias. Neste período, não houve coletas no ponto G1, sendo mantidos os demais pontos de amostragem da fase anterior.

- 3ª Fase – Novo período de teste da flotação

Este grupo inclui as coletas realizadas entre 04/05/2009 a 31/12/2009, segundo período de teste do protótipo da flotação no Rio Pinheiros, que inclui as análises realizadas pelo consórcio dos laboratórios Ambiental-Ecolabor (04/05/2009 a 21/06/2009) e as análises realizadas pelo laboratório Controle Analítico (22/06/2009 a 31/12/2009). Neste período, houve apenas quatro coletas no ponto G0 e seis coletas no ponto G1, sendo mantidos os demais pontos de amostragem das fases anteriores.

A análise dos indicadores de qualidade da água do Reservatório Guarapiranga se vale do índice de conformidade das variáveis, ou seja, a porcentagem das coletas cujos resultados atenderam aos limites estabelecidos pelo enquadramento do reservatório, classe 1 para os pontos de coleta G0, G1, G2 e G3, conforme disposto no Decreto Estadual 10.755 de 22/11/1977. A **Tabela 1.9** mostra os índices de conformidade obtidos durante as três fases do projeto para os pontos de monitoramento no Reservatório Guarapiranga, considerando as coletas feitas próximas da superfície do lago.

**Tabela 1.9 – Índices de Conformidade das variáveis analisadas no Reservatório Guarapiranga, para as três fases do projeto, com o limite estabelecido pela composição judicial**

Parâmetro	Índice de Conformidade (%)											
	1ª Fase				2ª Fase				3ª Fase			
	G0	G1	G2S	G3S	G0	G1	G2S	G3S	G0	G1	G2S	G3S
Fósforo Total (mg/L)	83	15	63	69	-	-	-	-	100	17	21	7
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	67	23	50	77	100	-	88	94	100	17	100	94
Chumbo Total (mg/L)	100	83	100	92	100	-	100	100	100	83	94	88
DBO (mg/L)	100	93	100	100	100	-	100	100	25	17	18	29
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	69	21	65	71	14	-	35	53	100	0	82	82
Turbidez (UNT)	100	100	100	100	100	-	100	100	100	83	100	100

A **Tabela 1.9** resume a situação do Reservatório Guarapiranga. Os resultados mostram que o reservatório está com problemas relativos a excesso de nutrientes e, possivelmente, aporte de esgotos, este último considerando a elevada concentração de nitrogênio amoniacal observada. Preocupam também os valores encontrados para chumbo, acima dos limites legais. O oxigênio dissolvido também apresenta concentrações abaixo da Classe 1. Há evidentemente sinais importantes que indicam elevado potencial de eutrofização, considerando principalmente os índices de nutrientes existentes no reservatório.

Pela análise dos resultados, não é possível detectar na Guarapiranga qualquer impacto direto decorrente da operação do protótipo da flotação para o bombeamento de 10 m<sup>3</sup>/s do Rio Pinheiros, embora a reversão do braço do Taquacetuba, caracterizada pela qualidade da água no ponto G0, afete a qualidade da água do reservatório.

Os resultados demonstraram as variáveis fósforo total, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido e chumbo apresentaram valores de conformidade inferiores a 90% nas três fases.



## 10 MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO RESERVATÓRIO BILLINGS

A modelação de corpos hídricos com vistas à projeção do comportamento dos poluentes é uma ferramenta fundamental na tomada de decisão quanto às políticas de gestão e aproveitamento dos recursos hídrico. No caso específico do Reservatório Billings, importante manancial da região metropolitana de São Paulo, o efeito do aporte de cargas difusas bem como da reversão para o mesmo das águas dos rios Tietê e Pinheiros para aproveitamento energético e controle de cheias, exige a projeção do comportamento da qualidade das águas em função de diferentes cenários, que podem variar desde o controle das cargas poluidoras geradas até a avaliação do efeito de sistemas de tratamentos alternativos, como por exemplo, a flotação das águas do Rio Pinheiros.

Para avaliação do comportamento do Reservatório Billings, que tem acumulação de cerca de 1.000 hm<sup>3</sup>, foi adaptado um modelo hidrodinâmico bidimensional horizontal, para simulação dos processos de decaimento e mistura de poluentes.

Nas etapas anteriores do Projeto QAPB, o modelo numérico bidimensional horizontal (IPH-ECO), aplicado no reservatório Billings, foi calibrado com os dados do período compreendido entre 01/07/2006 a 31/12/2007 (primeiro relatório <sup>[1]</sup>) e validado e recalibrado com os dados do período de 01/10/2007 a 31/10/2008 (segundo relatório <sup>[2]</sup>).

Nos cenários simulados para o primeiro relatório <sup>[1]</sup>, o ano de 2006 foi utilizado como base. Logo, dados provenientes do extenso monitoramento realizado durante o projeto QAPB foram pouco utilizados, pois este somente foi iniciado no final de agosto de 2007. Por este motivo, para o segundo relatório, a calibração foi validada, utilizando-se os dados de outubro de 2007 a novembro de 2008.

Nesta validação, realizada para o segundo relatório <sup>[2]</sup>, o modelo, de maneira geral, não representou de forma razoável as concentrações observadas *in situ* para os aspectos simulados de qualidade da água, durante este novo período, principalmente para a variável fósforo total. Apesar dos valores das concentrações, obtidas através da modelação matemática, estarem dentro da faixa de variação que ocorre em corpos hídricos localizados em regiões urbanas, ou seja, não havendo valores irreais de concentrações resultantes da modelação, os resultados do modelo diferiram bastante dos observados em campo. Assim, foi necessário verificar quais parâmetros teriam maior influência na variação dos resultados do modelo.

Uma maneira de verificar quais são os parâmetros importantes é com uma análise de sensibilidade do modelo. Em sua forma mais simples uma análise de sensibilidade consiste em simplesmente variar, certa porcentagem, cada um dos parâmetros e observar como as previsões variam.

Assim, foram variados diversos parâmetros para verificar qual destes tem a maior influência nos resultados do modelo. Ao mesmo tempo, essa variação de parâmetros buscou a minimização da diferença entre os dados observados e calculados.

A análise de sensibilidade demonstrou que as alterações dos parâmetros condições iniciais, condições de contorno e coeficiente de decaimento de fósforo total por sedimentação têm pouca, ou nenhuma, influência na diminuição das diferenças entre os resultados das simulações e os dados observados em campo durante o período utilizado para a validação do modelo. Este fato levou à formulação da hipótese de que as cargas afluentes ao reservatório estivessem superestimadas.

Como os dados das concentrações das variáveis de interesse no Rio Pinheiros, ou seja, afluentes ao reservatório por Pedreira, foram coletados com frequência diária ou semanal pela própria equipe do Projeto QAPB, estes são muito mais precisos do que as estimativas de cargas afluentes pelas sub-bacias através da utilização do modelo MQUAL, que é o modelo de geração de cargas afluentes pelas sub-bacias. Um explicação detalhada deste modelo encontra-se apresentada no Anexo 2 do Volume 4 deste relatório.

Portanto, a análise de sensibilidade seguiu com a avaliação das alterações dos limites máximos das concentrações de fósforo total afluentes pelas sub-bacias. A alteração destes limites ocasiona uma alteração da carga afluente pelas sub-bacias. Como, para a estimativa da geração de tais cargas, foi utilizado o modelo MQUAL, caso uma alteração das cargas afluentes diminua diferenças entre os resultados do modelo e os dados observados em campo, tal fato demonstraria uma incompatibilidade do Modelo MQUAL com a realidade

A necessidade de tal redução das cargas de fósforo total para melhorar a aderência entre os dados simulados e observados em campo representa uma superestimativa das cargas afluentes pelas sub-bacias, geradas pelo modelo MQUAL. Este fato indica que o modelo de geração de cargas afluentes pelas sub-bacias não se encontra corretamente calibrado para a variável fósforo total, o que traria a necessidade de novos estudos que fogem do escopo do atual trabalho realizado pelo Projeto QAPB.

Por outro lado, durante as simulações realizadas na análise de sensibilidade foi possível calibrar estas cargas de fósforo total afluentes pelas sub-bacias através do modelo matemático do reservatório, pois se alterando tais cargas conseguiu-se minimizar o erro entre os dados observados em campo e os simulados.

Com relação aos cenários, para o primeiro relatório <sup>[1]</sup> foram simulados cenários baseados nos dados do ano de 2006, variando-se a vazão característica afluente por Pedreira, sendo esta considerada como 0, 10, 30, 40 e 50 m<sup>3</sup>/s. Já para o segundo relatório <sup>[2]</sup>, foram simulados cenários baseados nos dados do período compreendido entre 01/11/2007 e 31/10/2008, fixando-se a vazão característica afluente por Pedreira em 50 m<sup>3</sup>/s, que representa a capacidade máxima do sistema de flotação, mas variando-se a carga afluente pelas sub-bacias. Foram consideradas reduções de 0, 20 e 70 % destas cargas.

Para este novo relatório do Projeto QAPB, o modelo calibrado e validado nas etapas anteriores foi utilizado para simular casos em que as metas estabelecidas pela Lei Específica do Reservatório Billings, que define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Represa Billings (APRM-B), sejam cumpridas. O período utilizado como base para a formação destes novos cenários foi o mesmo período utilizado para a formação dos cenários simulados para o segundo relatório <sup>[2]</sup>, compreendido entre 01/11/2007 e 31/10/2008.

Para situar o intervalo de tempo utilizado nas simulações no contexto histórico da hidrologia da bacia, no segundo relatório <sup>[2]</sup> foram apresentados os aspectos hidrológicos que caracterizaram o ano compreendido entre 01/11/2007 e 31/10/2008, que serviu de base para formação dos cenários, e o insere no registro histórico hidrológico.

## 10.1 SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RESERVATÓRIO BILLINGS PARA DIFERENTES CENÁRIOS

De posse do modelo calibrado, cuja calibração está apresentada no segundo relatório do Projeto QAPB <sup>[2]</sup>, e de outras informações foi possível a formação dos novos cenários desenvolvidos para este terceiro relatório do Projeto QAPB.

Para este terceiro relatório do Projeto QAPB, a maioria dos cenários propostos simulou casos em que as metas estabelecidas pela Lei Específica do Reservatório Billings, que define a Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Represa Billings (APRM-B), sejam cumpridas.

O objetivo principal desta lei é garantir a proteção e a recuperação do manancial, preservando o caráter produtor de água da região. Para isso, cria-se um sistema de gestão, envolvendo o Estado e os municípios, que assegura a preservação dos 80 % de área com cobertura vegetal da bacia e permite a implantação de infra-estrutura adequada nas áreas urbanizadas.

A lei ainda divide a bacia de contribuição do reservatório em compartimentos ambientais e estabelece como meta a redução da carga de fósforo gerada em cada compartimento que aflui para o reservatório. No total a lei estabelece uma carga máxima de 281 kg/dia de fósforo afluente aos reservatórios Billings e Rio Grande.

Além disto, para este terceiro relatório foi simulado um cenário longo, de cinco anos consecutivos, com hidrologia variável. Como os cenários simulados nos dois primeiros relatórios apresentados <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup> foram formados tomando como base um ano específico (2006 para o primeiro relatório e o período entre 01/11/2007 e 31/10/2008 para o segundo relatório), que foi repetido para a formação dos cenários, foi desenvolvido um cenário de 5 anos em que as variações hidrológicas sejam as mesmas que as apresentadas entre os anos de 2001 e 2005.

Será tratado detalhadamente, neste item como foram formados cada um dos cenários, mostrando os dados de entrada utilizados para as simulações, sendo que estes decorrem desta estruturação, como já indicado. A base do modelo utilizada já foi discutida nas partes de validação e recalibração apresentadas no segundo relatório do Projeto QAPB <sup>[2]</sup>. Uma explicação detalhada do tratamento realizado sobre os dados georreferenciados encontra-se apresentada no Anexo 1 do Volume 4 deste relatório.

Assim como no segundo relatório do Projeto QAPB <sup>[2]</sup>, os cenários simulados para este terceiro relatório, com exceção do cenário longo, foram baseados nos dados obtidos durante o período compreendido entre 01/11/2007 e 31/10/2008. Como existia um conjunto de dados cujos valores eram de interesse, por servirem de entrada para as simulações, optou-se por classificá-los da seguinte forma:

- Passíveis de controle: vazões afluentes por Pedreira que dependem, logicamente, da capacidade de bombeamento instalada e dos valores outorgados; vazões efluentes pela Barragem Reguladora Billings-Pedras que dependem da capacidade das comportas instaladas e dos valores outorgados; vazões afluentes pelas sub-bacias obtidas através do balanço hídrico dos dados do ano compreendido entre 01/11/2007 e 31/10/2008, que podem considerar ou não as exportações dos esgotos para outra bacia que não aflui ao reservatório; cargas e concentrações afluentes por Pedreira, que dependem das concentrações presentes no Rio Pinheiros nos pontos P1, para os cenários sem flotação, e P4-A, para os cenários com flotação;

e cargas e concentrações afluentes pelas sub-bacias, que dependem do crescimento populacional, do tipo de esgotamento sanitário, do uso e ocupação do solo, da rede de drenagem, entre outros, que foram alteradas para a simulação de cenários onde há melhoria na coleta, transporte e tratamento do esgoto proveniente das sub-bacias no entorno do reservatório;

- Não passíveis de controle: vazões efluentes pelo Taquacetuba, que, para fins deste projeto, foram adotadas como sendo as que efetivamente ocorreram no período escolhido; e os dados meteorológicos baseados no ano compreendido entre 01/11/2007 e 31/10/2008.

Os dados passíveis de controle foram variados de um cenário para o outro e os dados não passíveis de controle foram os mesmos para todos os cenários simulados. Desta maneira é possível observar que houve variação entre os cenários tanto das cargas e concentrações quanto dos dados hidrológicos e hidrodinâmicos.

Os cenários desenvolvidos para este terceiro relatório, com exceção do cenário longo, deveriam simular o comportamento do reservatório com um padrão de aporte de cargas provenientes das sub-bacias que seja condizente com a Lei Específica. Portanto, estes novos cenários foram simulados com as cargas de fósforo total afluentes pelas sub-bacias reduzidas ao valor-meta estabelecido (281 kg/dia).

Desta maneira, dois grupos de cenários foram desenvolvidos: cenários que consideram o tratamento de esgotos nas próprias sub-bacias da Billings, lançando o efluente tratado no reservatório, denominados de cenários de tratamento; e cenários considerando a exportação do esgoto para tratamento em outra sub-bacia, denominados de exportação.

Inicialmente, foram criados dois cenários, um para cada grupo, que serviram de base para comparação com todos os outros cenários daquele grupo e representam o comportamento do reservatório caso houvesse bombeamento por Pedreira apenas em casos de cheia.

Para todos os demais cenários considerou-se que havia uma vazão característica afluente por Pedreira de 50 m<sup>3</sup>/s, exceto em períodos de controle de cheias e paradas para manutenção do sistema. Tal vazão é representativa da capacidade máxima do sistema de flotação a ser implantado caso o protótipo seja aprovado. Considerou-se ainda, em todos os cenários, que durante o período simulado priorizar-se-ia a geração de energia do reservatório, de modo que este iniciasse e terminasse o período de simulação com a mesma cota de nível d'água.

Para cada um dos grupos (tratamento e exportação), além do cenário-base, foram criados dois cenários, variando-se as cargas afluentes por Pedreira. O primeiro cenário considera que há bombeamento do Rio Pinheiros para a Billings com a finalidade de geração de energia, mas que não existe tratamento desta água, ou seja, considera que o reservatório opera como operava anteriormente ao Artigo 46 das Disposições Transitórias da Constituição do Estado de São Paulo, com a vazão característica já mencionada de bombeamento em Pedreira. O segundo cenário é similar ao primeiro cenário, mas considera o funcionamento do sistema de tratamento, com as reduções de concentração devidas a flotação, caso essa fosse implementada.

A divisão nesses dois cenários (com e sem flotação) para cada grupo (tratamento e exportação) permite que se verifique, através da comparação entre eles, a influência na qualidade da água do

reservatório Billings do tratamento por flotação realizado nas águas do Rio Pinheiros antes do bombeamento para o reservatório.

Portanto, resumindo, para cada um dos dois grupos de cenários (tratamento e exportação), foram desenvolvidos três cenários. O primeiro cenário, chamado de cenário-base (CB), representa o funcionamento do reservatório caso o bombeamento em Pedreira ocorresse somente em casos de cheias. Foram simulados também dois cenários com vazão característica em Pedreira de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , um considerando o tratamento de flotação (Q50c) e outro considerando o bombeamento da água bruta do Rio Pinheiros, sem nenhum tratamento (Q50s).

Ainda foi simulado um cenário similar ao Q50c com exportação das cargas de esgoto, porém com uma redução de 50 % das cargas afluentes por Pedreira de todas as variáveis de qualidade. Este cenário foi simulado pois é coerente considerar que, se houver uma redução das cargas afluentes pelas sub-bacias devido a uma melhoria das condições de infra-estrutura sanitária nestas sub-bacias, haverá uma melhoria nas condições das bacias dos rios Pinheiros e Tietê, reduzindo a carga afluente por Pedreira.

A **Tabela 1.10** apresenta os cenários simulados que representam o atendimento a Lei Específica da Billings e a suas características.

**Tabela 1.10 – Resumo dos cenários simulados que representam o atendimento a Lei Específica da Billings.**

Cenário	Características	Pedreira			Sub-bacias
		Vazão característica	Flotação	Redução de carga (*)	Redução de carga
Q50c_exportação	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	sim	0%	Variável
Q50s_exportação	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	não	0%	Variável
CB_exportação	bombeamento em Pedreira somente em casos de cheia e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	0	não	0%	Variável
Q50c_tratamento	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e com tratamento dos esgotos e das cargas difusas afluentes pelas sub-bacias de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	sim	0%	Variável
Q50s_tratamento	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e com tratamento dos esgotos e das cargas difusas afluentes pelas sub-bacias de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	não	0%	Variável
CB_tratamento	bombeamento em Pedreira somente em casos de cheia e e com tratamento dos esgotos e das cargas difusas afluentes pelas sub-bacias de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	0	não	0%	Variável
Q50c_exportação_50%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com redução de 50 % das cargas afluentes e tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	sim	50%	Variável

(\*) Redução da carga do Rio Pinheiros a montante do sistema de flotação.



## 10.2 RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO RESERVATÓRIO BILLINGS

Analisando-se os polutogramas apresentados para o conjunto de cenários que consideram o tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias (Q50c\_tratamento, Q50s\_tratamento e CB\_tratamento), observou-se, com relação a DBOc no ponto B1, que o cenário-base apresentou concentrações menores que o cenário Q50c\_tratamento, que por sua vez apresentou concentrações menores que o cenário Q50s\_tratamento. Estas diferenças são maiores no período de inverno (abril a setembro) e diminuem consideravelmente durante o verão (outubro a março).

No ponto B2, as concentrações de DBOc para os três cenários são inferiores as do B1 e as diferenças entre as concentrações dos três cenários também são menores. As diferenças entre os cenários Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento são quase imperceptíveis, porém o cenário com flotação apresentou concentrações um pouco inferiores do que as do cenário sem flotação. As concentrações do cenário-base são ligeiramente superiores a dos outros dois cenários durante o período de verão e ligeiramente inferior no período de inverno.

A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de DBOc muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_tratamento), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_tratamento). No ponto B3 o cenário-base apresenta concentrações ligeiramente superiores aos outros dois cenários, que são coincidentes, durante o período de janeiro a agosto e entre os meses de setembro e dezembro as concentrações de DBOc do cenário-base são ligeiramente menores que as concentrações dos outros dois cenários.

Nos pontos B4 e B5 as concentrações de DBOc do cenário-base são ligeiramente superiores as concentrações dos outros dois cenários, que são coincidentes, durante quase todo o período de simulação. Somente durante os meses de outubro e novembro que a situação se inverte e o cenário-base apresenta concentrações ligeiramente inferiores aos outros dois cenários.

No ponto B6, as concentrações as concentrações de DBOc do cenário-base são ligeiramente superiores as concentrações dos outros dois cenários, que são coincidentes, durante os períodos de janeiro a julho de 2008 e de janeiro a setembro de 2009. No restante do período de simulação a situação se inverte e o cenário-base apresenta concentrações ligeiramente inferiores aos outros dois cenários.

Com relação ao fósforo total, no ponto B1 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_tratamento) apresentou concentrações superiores ao cenário-base, que por sua vez apresentou concentrações maiores que o cenário que considera a flotação (Q50c\_tratamento) durante todo o período de simulação.

No ponto B2 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_tratamento) apresentou concentrações de fósforo total superiores às concentrações dos outros dois cenários durante todo o período de simulação. O cenário-base e o cenário que considera a flotação apresentam concentrações muito próximas durante todo o período de simulação, somente durante os meses de março a maio que as concentrações do cenário Q50c\_tratamento são ligeiramente superiores as concentrações do cenário-base.

A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de fósforo total muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a

linha azul (Q50c\_tratamento), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_tratamento), indicando que não existe mais influencia da flotação na qualidade das águas do reservatório a partir deste ponto. O cenário-base apresentou concentrações ligeiramente inferiores aos outros dois cenários durante todo o período de simulação.

Nos pontos B4, B5 e B6 as concentrações de fósforo total para o cenário-base são ligeiramente inferiores que as concentrações para os outros dois cenários, que são coincidentes.

Com relação ao nitrogênio total, no ponto B1 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_tratamento) apresentou concentrações superiores ao cenário que considera a flotação (Q50c\_tratamento), que por sua vez apresentou concentrações maiores que o cenário-base durante todo o período de simulação.

No ponto B2 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_tratamento) apresentou concentrações de nitrogênio total ligeiramente superiores as concentrações do cenário que considera a flotação (Q50c\_tratamento) durante todo o período de simulação. O cenário-base apresentou concentrações inferiores as concentrações dos outros dois cenários durante todo o período de simulação.

A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de nitrogênio total muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_tratamento), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_tratamento), indicando que não existe mais influencia da flotação na qualidade das águas do reservatório a partir deste ponto. O cenário-base apresentou concentrações inferiores aos outros dois cenários, que são coincidentes, durante todo o período de simulação.

Nos pontos B4 e B6 as concentrações de nitrogênio total dos três cenários são muito próximas ou coincidentes durante todo o período de simulação.

No ponto B5 as concentrações de nitrogênio total dos cenários com vazão característica de 50 m<sup>3</sup>/s (Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento) são ligeiramente superiores que as concentrações do cenário-base durante todo o período de simulação.

Com relação ao oxigênio dissolvido, no ponto B1 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_tratamento) apresentou concentrações inferiores ao cenário que considera a flotação (Q50c\_tratamento), que por sua vez apresentou concentrações menores que o cenário-base durante todo o período de simulação.

No ponto B2 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_tratamento) apresentou concentrações de oxigênio dissolvido ligeiramente inferiores as concentrações do cenário que considera a flotação (Q50c\_tratamento) durante todo o período de simulação. O cenário-base apresentou concentrações inferiores às concentrações dos outros dois cenários durante todo o período de simulação.

A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de oxigênio dissolvido muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_tratamento), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_tratamento), indicando que não existe mais influencia da flotação na qualidade das águas do reservatório a partir deste ponto.

Nos pontos B3, B4, B5 e B6 o cenário-base apresentou concentrações de oxigênio dissolvido inferiores aos outros dois cenários, que são coincidentes, durante todo o período de simulação

Com relação à clorofila-a, o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de nitrogênio total muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_tratamento), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_tratamento), para todos os pontos monitorados pelo Projeto QAPB (B1 a B6).

No ponto B1 as concentrações de clorofila-a para o cenário-base são superiores as concentrações dos outros dois cenários, que são coincidentes. A partir do ponto B2 esta situação se inverte e as concentrações de clorofila-a do cenário-base são inferiores às concentrações dos outros dois cenários.

Tratando-se das tabelas e gráficos onde foram apresentados os dados de índices de conformidade, pode-se dizer que, com relação à DBOc nos pontos do Projeto QAPB pertencentes a classe 2 (B1 a B3, B5 e B6), o cenário-base (CB\_tratamento) atende ao limite estabelecido por cerca de 23,2 % do tempo para o ponto B1, o cenário Q50c\_tratamento atende a esse limite durante 4,2 % do tempo e o cenário Q50s\_tratamento durante 0,2 % do tempo para este ponto. Todos os cenários atendem ao limite estabelecido para DBOc em 100% do tempo para os pontos B2 a B6.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 2 em 10 % para a DBOc, verificou-se que houve alguma melhoria para os três cenários no ponto B1. Novamente, para a situação de flexibilização de 20 %, houve ligeira melhora dos índices de conformidade para os três cenários no ponto B1, atingindo os valores máximos de 28,0 %, 8,6 % e 0,4 % para os cenários CB\_tratamento, Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento respectivamente.

Para o ponto B4, pertencente a classe 1, todos os cenários apresentaram índices de conformidade de 100 % com relação a DBOc.

Com relação ao fósforo total (P<sub>tot</sub>), nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário Q50c\_tratamento apresentou, para o ponto B1, os maiores índices de conformidade entre os três cenários, atingindo 0,5 %. Os outros dois cenários apresentaram o mesmo índice de conformidade para B1, igual a 0,1 %. Do ponto B2 ao ponto B5, o cenário que apresentou os maiores índices de conformidade foi o cenário-base (CB\_tratamento), seguido pelo cenário que considera a flotação (Q50c\_tratamento) e finalmente pelo cenário sem flotação (Q50s\_tratamento). Nos pontos B3 e B5, o cenário-base apresentou índices de conformidade superiores a 95,0 %, sendo que para os outros dois cenários o maior valor de índice de conformidade foi de 66,0 % do cenário Q50c\_tratamento no ponto B5. Para os cenários Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento, o aumento da distância de Pedreira é correspondido por um aumento nos índices de conformidade. No ponto B6 todos os cenários apresentaram índices de conformidade de 100 %.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 2 em 10 % para a P<sub>tot</sub>, verificou-se que houve alguma melhoria apenas para o cenário Q50c\_tratamento no ponto B1. Para os demais pontos, a flexibilização do limite em 10 % causa um aumento do índice de conformidade para todos os cenários simulados. Novamente, para a situação de flexibilização de 20 %, houve ligeira melhora dos índices de conformidade apenas para o cenário Q50c\_tratamento no ponto B1. Para os demais pontos a flexibilização causa um aumento do índice de conformidade atingindo os

valores máximos de 100,0 %, 94,3 % e 91,8 % para os cenários CB\_tratamento, Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento respectivamente, no ponto B5.

Para o ponto B4, pertencente à classe 1, com relação ao fósforo total, o cenário-base apresentou um índice de conformidade de 96,4 %, enquanto os outros dois cenários apresentaram índices muito próximos e em torno de 13,6 %. Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 1 em 10 %, para o fósforo total, observou-se uma melhora nos índices de conformidade no ponto B4 para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização do limite em 20 %, o cenário-base, o cenário Q50c\_tratamento e o cenário Q50s\_tratamento apresentaram índices de conformidade de 100 %, 82,5 % e 81,0 %, respectivamente, para o B4.

Com relação à clorofila-a, nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário Q50c\_tratamento apresentou, para o ponto B1, os maiores índices de conformidade entre os três cenários, atingindo 45,4 %. O cenário Q50s\_tratamento apresentou um índice de conformidade para B1 igual a 42,6 % e o cenário-base (CB\_tratamento) apresentou um índice de apenas 6,6 %. Como nos cenários com vazão característica de 50 m<sup>3</sup>/s (Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento) o aporte de matéria orgânica por Pedreira é maior que no cenário-base, existe um maior consumo de oxigênio dissolvido para a decomposição desta matéria orgânica nestes cenários, desta maneira a proliferação de algas no trecho inicial do reservatório fica prejudicada devido à baixa disponibilidade de oxigênio, e portanto os índices de conformidade destes cenários para a clorofila-a são superiores ao do cenário-base para o ponto B1. Do ponto B2 ao ponto B6, o cenário que apresentou os maiores índices de conformidade foi o cenário-base (CB\_tratamento), seguido pelo cenário que considera a flotação (Q50c\_tratamento) e finalmente pelo cenário sem flotação (Q50s\_tratamento). O cenário-base apresentou índices de conformidade entre 5,1 % para o ponto B5 e 15,6 % para o ponto B3, já os outros cenários apresentaram índices de conformidade muito próximos entre si para os pontos B2, B3, B5 e B6, atingindo um máximo de apenas 2,7 % para os pontos B3 e B5.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para as classes em 10 %, para a clorofila-a, observou-se uma melhora nos índices de conformidade para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização de 20% o cenário Q50c\_tratamento apresentou um índice de conformidade para o B1 de 69,2 %. Ainda com a flexibilização de 20%, para os demais pontos, o cenário-base apresentou os maiores índices de conformidade, atingindo um máximo de 70,5 % para o ponto B2.

Para o ponto B4, pertencente a classe 1, com relação à clorofila-a, todos os cenários apresentaram índices de conformidade de 0,0 %. Mesmo com a flexibilização de 20 % do limite desta variável para classe 1 os índices de conformidade de todos os cenários para o ponto B4 continuam nulos, indicando que a região no entorno deste ponto é sujeita a eutrofização constante.

Com relação ao OD, nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário-base apresentou, para o ponto B1, os maiores índices de conformidade entre os três cenários, atingindo 12,2 %. O cenário Q50c\_tratamento apresentou um índice de conformidade para B1 igual a 1,6 % e o Q50s\_tratamento apresentou um índice de apenas 0,1 %. Do ponto B2 ao ponto B6, os cenários Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento apresentaram índices de conformidade muito próximos e maiores que os do cenário-base,. O cenário-base apresentou



índices de conformidade entre 9,3 % para o ponto B2 e 78,3 % para o ponto B5, já os outros cenários apresentaram índices de conformidade atingindo um máximo de 98,0 % para o ponto B6.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para as classes em 10 %, para OD, observou-se uma melhora nos índices de conformidade para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização de 20% os cenários Q50c\_tratamento e Q50s\_tratamento apresentaram índices de conformidade próximos a 100 % para os pontos B3, B5 e B6.

Para o ponto B4, pertencente à classe 1, com relação ao oxigênio dissolvido, o cenário-base apresentou um índice de conformidade de 38,7 %, enquanto os outros dois cenários apresentaram índices muito próximos e em torno de 96,9 %. Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 1 em 10 %, para o oxigênio dissolvido, observou-se uma melhora nos índices de conformidade no ponto B4 para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização do limite em 20 %, o cenário-base, o cenário Q50c\_tratamento e o cenário Q50s\_tratamento apresentaram índices de conformidade de 72,9 %, 99,1 % e 99,1 %, respectivamente, para o B4.

Analisando-se os polutogramas apresentados para o conjunto de cenários que consideram a exportação das cargas afluentes pelas sub-bacias (Q50c\_exportação, Q50s\_exportação e CB\_exportação), observou-se, com relação a DBOc no ponto B1, que o cenário-base apresentou concentrações menores que o cenário Q50c\_exportação, que por sua vez apresentou concentrações menores que o cenário Q50s\_exportação. Estas diferenças são maiores no período de inverno (abril a setembro) e diminuem consideravelmente durante o verão (outubro a março).

No ponto B2, as concentrações de DBOc para os três cenários são inferiores as do B1 e as diferenças entre as concentrações dos três cenários também são menores. As diferenças entre os cenários Q50c\_exportação e Q50s\_exportação são quase imperceptíveis, porém o cenário com flotação apresentou concentrações um pouco inferiores do que as do cenário sem flotação. As concentrações do cenário-base são ligeiramente superiores a dos outros dois cenários durante o período de verão e muito próximas no período de inverno.

A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de DBOc muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_exportação), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_exportação). No ponto B3 o cenário-base apresenta concentrações ligeiramente superiores aos outros dois cenários, que são coincidentes, durante o período de janeiro a agosto e entre os meses de setembro e dezembro as concentrações de DBOc do cenário-base são ligeiramente menores que as concentrações dos outros dois cenários.

Nos pontos B4, B5 e B6 as concentrações de DBOc do cenário-base são ligeiramente superiores as concentrações dos outros dois cenários, que são coincidentes, durante quase todo o período de simulação. Somente durante os meses de outubro e novembro que a situação se inverte e o cenário-base apresenta concentrações ligeiramente inferiores aos outros dois cenários.

Com relação ao fósforo total, no ponto B1 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_exportação) apresentou concentrações superiores ao cenário-base, que por sua vez apresentou concentrações maiores que o cenário que considera a flotação (Q50c\_exportação) durante todo o período de simulação.

No ponto B2 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_exportação) apresentou concentrações de fósforo total superiores às concentrações dos outros dois cenários durante todo o período de simulação. Nos meses de janeiro a maio o cenário Q50c\_exportação apresenta concentrações ligeiramente superiores que as concentrações do cenário-base, e essa situação se inverte para os outros meses, ou seja, o cenário-base apresenta concentrações maiores que o cenário Q50c\_exportação.

A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de fósforo total muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_exportação), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_exportação), indicando que não existe mais influência da flotação na qualidade das águas do reservatório a partir deste ponto. O cenário-base apresentou concentrações ligeiramente inferiores aos outros dois cenários durante todo o período de simulação.

Nos pontos B4, B5 e B6 as concentrações de fósforo total para o cenário-base são ligeiramente inferiores que as concentrações para os outros dois cenários, que são coincidentes.

Com relação ao nitrogênio total, no ponto B1 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_exportação) apresentou concentrações superiores ao cenário que considera a flotação (Q50c\_exportação), que por sua vez apresentou concentrações maiores que o cenário-base durante todo o período de simulação.

No ponto B2 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_exportação) apresentou concentrações de nitrogênio total ligeiramente superiores as concentrações do cenário que considera a flotação (Q50c\_exportação) durante todo o período de simulação. O cenário-base apresentou concentrações inferiores as concentrações dos outros dois cenários durante todo o período de simulação.

A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de nitrogênio total muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_exportação), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_exportação), indicando que não existe mais influência da flotação na qualidade das águas do reservatório a partir deste ponto. O cenário-base apresentou concentrações ligeiramente inferiores aos outros dois cenários, que são coincidentes, durante todo o período de simulação.

Nos pontos B4, B5 e B6 as concentrações de nitrogênio total dos três cenários são muito próximas ou coincidentes durante todo o período de simulação.

Com relação ao oxigênio dissolvido, no ponto B1 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_exportação) apresentou concentrações inferiores ao cenário que considera a flotação (Q50c\_exportação), que por sua vez apresentou concentrações menores que o cenário-base durante todo o período de simulação.

No ponto B2 o cenário que não considera a flotação (Q50s\_exportação) apresentou concentrações de oxigênio dissolvido ligeiramente inferiores as concentrações do cenário que considera a flotação (Q50c\_exportação) durante todo o período de simulação. O cenário-base apresentou concentrações inferiores às concentrações dos outros dois cenários durante todo o período de simulação.



A partir do ponto B3 o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de oxigênio dissolvido muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_exportação), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_exportação), indicando que não existe mais influência da flotação na qualidade das águas do reservatório a partir deste ponto.

Nos pontos B3, B4, B5 e B6 o cenário-base apresentou concentrações de oxigênio dissolvido inferiores aos outros dois cenários, que são coincidentes, durante quase todo o período de simulação

Com relação à clorofila-a, o cenário com flotação apresentou concentrações instantâneas de nitrogênio total muito próximas ou coincidentes com as apresentadas no cenário sem flotação, ou seja, a linha azul (Q50c\_exportação), nos polutogramas, se encontra sob a linha verde (Q50s\_exportação), para todos os pontos monitorados pelo Projeto QAPB (B1 a B6).

No ponto B1 as concentrações de clorofila-a para o cenário-base são superiores as concentrações dos outros dois cenários, que são coincidentes. A partir do ponto B2 esta situação se inverte e as concentrações de clorofila-a do cenário-base são inferiores às concentrações dos outros dois cenários.

Tratando-se das tabelas e gráficos onde foram apresentados os dados de índices de conformidade, pode-se dizer que, com relação à DBOc nos pontos do Projeto QAPB pertencentes a classe 2 (B1 a B3, B5 e B6), o cenário-base (CB\_exportação) atende ao limite estabelecido por cerca de 25,5 % do tempo para o ponto B1, o cenário Q50c\_exportação atende a esse limite durante 4,3 % do tempo e o cenário Q50s\_exportação durante 0,2 % do tempo para este ponto. Todos os cenários atendem ao limite estabelecido para DBOc em 100% do tempo para os pontos B2 a B6.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 2 em 10 % para a DBOc, verificou-se que houve alguma melhoria para os três cenários no ponto B1. Novamente, para a situação de flexibilização de 20 %, houve ligeira melhora dos índices de conformidade para os três cenários no ponto B1, atingindo os valores máximos de 31,9 %, 9,0 % e 0,3 % para os cenários CB\_exportação, Q50c\_exportação e Q50s\_exportação respectivamente.

Para o ponto B4, pertencente a classe 1, todos os cenários apresentaram índices de conformidade de 100 % com relação a DBOc.

Com relação ao fósforo total (P<sub>tot</sub>), nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário Q50c\_exportação apresentou, para o ponto B1, os maiores índices de conformidade entre os três cenários, atingindo 0,3 %. Os outros dois cenários apresentaram o mesmo índice de conformidade para B1, igual a 0,1 %. Do ponto B2 ao ponto B5, o cenário que apresentou os maiores índices de conformidade foi o cenário-base (CB\_exportação), seguido pelo cenário que considera a flotação (Q50c\_exportação) e finalmente pelo cenário sem flotação (Q50s\_exportação). Nos pontos B3 e B5, o cenário-base apresentou índices de conformidade superiores a 75,0 %, sendo que para os outros dois cenários o maior valor de índice de conformidade foi de 44,8 % do cenário Q50c\_exportação no ponto B5. Para os cenários Q50c\_exportação e Q50s\_exportação, o aumento da distância de Pedreira é correspondido por um aumento nos índices de conformidade. No ponto B6 todos os cenários apresentaram índices de conformidade de 100 %.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 2 em 10 % para a  $P_{tot}$ , verificou-se que houve alguma melhoria apenas para o cenário Q50c\_exportação no ponto B1. Para os demais pontos, a flexibilização do limite em 10 % causa um aumento do índice de conformidade para todos os cenários simulados. Novamente, para a situação de flexibilização de 20 %, houve ligeira melhora dos índices de conformidade apenas para o cenário Q50c\_exportação no ponto B1. Para os demais pontos a flexibilização causa um aumento do índice de conformidade atingindo os valores máximos de 96,5 %, 72,2 % e 70,8 % para os cenários CB\_exportação, Q50c\_exportação e Q50s\_exportação respectivamente, no ponto B5.

Para o ponto B4, pertencente à classe 1, com relação ao fósforo total, o cenário-base apresentou um índice de conformidade de 74,0 %, enquanto os outros dois cenários apresentaram índices muito próximos e em torno de 10,6 %. Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 1 em 10 %, para o fósforo total, observou-se uma melhora nos índices de conformidade no ponto B4 para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização do limite em 20 %, o cenário-base, o cenário Q50c\_exportação e o cenário Q50s\_exportação apresentaram índices de conformidade de 100 %, 14,4 % e 14,3 %, respectivamente, para o B4.

Com relação à clorofila-a, nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário Q50c\_exportação apresentou, para o ponto B1, os maiores índices de conformidade entre os três cenários, atingindo 48,9 %. O cenário Q50s\_exportação apresentou um índice de conformidade para B1 igual a 45,7 % e o cenário-base (CB\_exportação) apresentou um índice de apenas 5,9 %. Como nos cenários com vazão característica de 50 m<sup>3</sup>/s (Q50c\_exportação e Q50s\_exportação) o aporte de matéria orgânica por Pedreira é maior que no cenário-base, existe um maior consumo de oxigênio dissolvido para a decomposição desta matéria orgânica nestes cenários, desta maneira a proliferação de algas no trecho inicial do reservatório fica prejudicada devido à baixa disponibilidade de oxigênio, e portanto os índices de conformidade destes cenários para a clorofila-a são superiores ao do cenário-base para o ponto B1. Do ponto B2 ao ponto B6, o cenário que apresentou os maiores índices de conformidade foi o cenário-base (CB\_exportação), seguido pelo cenário que considera a flotação (Q50c\_exportação) e finalmente pelo cenário sem flotação (Q50s\_exportação). O cenário-base apresentou índices de conformidade entre 4,7 % para o ponto B5 e 12,9 % para o ponto B3, já os outros cenários apresentaram índices de conformidade muito próximos entre si para os pontos B2, B3, B5 e B6, atingindo um máximo de apenas 2,7 % para o ponto B3.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para as classes em 10 %, para a clorofila-a, observou-se uma melhora nos índices de conformidade para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização de 20% o cenário Q50c\_exportação apresentou um índice de conformidade para o B1 de 71,5 %. Ainda com a flexibilização de 20%, para os demais pontos, o cenário-base apresentou os maiores índices de conformidade, atingindo um máximo de 66,8 % para o ponto B3.

Para o ponto B4, pertencente a classe 1, com relação à clorofila-a, todos os cenários apresentaram índices de conformidade de 0,0 %. Mesmo com a flexibilização de 20 % do limite desta variável para classe 1 os índices de conformidade de todos os cenários para o ponto B4 continuam nulos, indicando que a região no entorno deste ponto é sujeita a eutrofização constante.



Com relação ao OD, nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário-base apresentou, para o ponto B1, os maiores índices de conformidade entre os três cenários, atingindo 13,0 %. O cenário Q50c\_exportação apresentou um índice de conformidade para B1 igual a 1,6 % e o Q50s\_exportação apresentou um índice de apenas 0,1 %. No ponto B2 o cenário Q50c\_exportação apresentou os maiores índices de conformidade, chegando a 29,7 %, seguido pelo cenário Q50s\_exportação, com 25,9 %, e finalmente o cenário-base, com apenas 2,9 %. Do ponto B3 ao ponto B6, os cenários Q50c\_exportação e Q50s\_exportação apresentaram índices de conformidade muito próximos e maiores que os do cenário-base. O cenário-base apresentou índices de conformidade entre 2,9 % para o ponto B2 e 69,6 % para o ponto B5, já os outros cenários apresentaram índices de conformidade atingindo um máximo de 98,1 % para o ponto B6.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para as classes em 10 %, para OD, observou-se uma melhora nos índices de conformidade para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização de 20% os cenários Q50c\_exportação e Q50s\_exportação apresentaram índices de conformidade próximos a 100 % para os pontos B3, B5 e B6.

Para o ponto B4, pertencente à classe 1, com relação ao oxigênio dissolvido, o cenário-base apresentou um índice de conformidade de 44,2 %, enquanto os outros dois cenários apresentaram índices muito próximos e em torno de 96,6 %. Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 1 em 10 %, para o oxigênio dissolvido, observou-se uma melhora nos índices de conformidade no ponto B4 para esta variável em todos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização do limite em 20 %, o cenário-base, o cenário Q50c\_exportação e o cenário Q50s\_exportação apresentaram índices de conformidade de 79,8 %, 99,1 % e 99,1 %, respectivamente, para o B4.

O cenário Q50c\_exportação\_50% é similar ao cenário Q50c\_exportação, porém com uma redução de 50 % das concentrações de todas as variáveis simuladas afluentes por Pedreira.

Como as vazões afluentes por Pedreira foram as mesmas para ambas as simulações, a diferença entre as cargas afluentes por Pedreira destas duas simulações depende apenas das concentrações do Rio Pinheiros. Desta maneira, pode-se observar que entre estes dois cenários houve uma redução de 50 % das cargas afluentes por Pedreira

É possível observar que, mesmo com grande diminuição das cargas afluente por Pedreira, os efeitos desta redução no reservatório são mínimos. Houve alterações significativas apenas nos pontos B1 e B2, sendo que neste último, as alterações foram inferiores do que as resultantes em B1.

No ponto B1 podem ser observadas reduções de concentrações entre os cenários Q50c\_exportação e Q50c\_exportação\_50% para as variáveis DBOc, fósforo total e nitrogênio total. Apesar da redução de 50 % da carga de OD afluente por Pedreira, o cenário Q50c\_exportação\_50% apresenta concentrações de OD maiores que o cenário Q50c\_exportação no ponto B1. Isso ocorre devido à redução do aporte de matéria orgânica no cenário Q50c\_exportação\_50%, que deixa de consumir oxigênio para sua decomposição, resultando em concentrações mais altas de OD do que no cenário Q50c\_exportação. Com relação à clorofila-a, não é observada nenhuma diferença perceptível entre os dois cenários para o ponto B1

No ponto B2 ainda podem ser observadas reduções de concentrações entre os cenários Q50c\_exportação e Q50c\_exportação\_50% para as variáveis fósforo total e nitrogênio total. Para as demais variáveis e outros pontos, os cenários Q50c\_exportação e Q50c\_exportação\_50% apresentaram concentrações muito próximas ou coincidentes.

Tratando-se das tabelas e gráficos onde foram apresentados os dados de índices de conformidade, pode-se dizer que, com relação à DBOc nos pontos do Projeto QAPB pertencentes a classe 2 (B1 a B3, B5 e B6), o cenário Q50c\_exportação\_50% atende ao limite estabelecido por cerca de 34,2 % do tempo para o ponto B1, enquanto que o cenário Q50c\_exportação atende 4,3 % do tempo para este ponto. Ambos os cenários atendem ao limite estabelecido em 100% do tempo para os pontos B2 a B6.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 2 em 10 % para a DBOc, verificou-se que houve alguma melhoria para os dois cenários no ponto B1. Novamente, para a situação de flexibilização de 20 %, houve ligeira melhora dos índices de conformidade para os dois cenários no ponto B1, atingindo os valores máximos de 49,0 % e 9,0 % para os cenários Q50c\_exportação\_50% e Q50c\_exportação respectivamente.

Para o ponto B4, pertencente a classe 1, ambos os cenários apresentaram índices de conformidade de 100 % com relação a DBOc.

Com relação ao fósforo total (Ptot), nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário Q50c\_exportação\_50% atende, para o ponto B1, ao limite estabelecido por cerca de 4,8 % do tempo enquanto que o cenário Q50c\_exportação atende 0,8 % do tempo para este ponto. Do ponto B2 ao ponto B6, os dois cenários apresentaram índices de conformidade muito próximos ou coincidentes. Para o ponto B2 este índice foi de aproximadamente 2,4%, para o B3 foi de 20,2 %, para o B5 foi de 44,8 % e para o B6 foi de 100 %.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 2 em 10 % para a Ptot, verificou-se que houve alguma melhoria para ambos os cenários para os pontos B1 a B5. Novamente, para a situação de flexibilização de 20 %, houve ligeira melhora dos índices de conformidade para ambos cenários para os pontos de B1 a B5 atingindo o valor máximo de 72,2 % no ponto B5.

Para o ponto B4, pertencente à classe 1, com relação ao fósforo total, ambos os cenários apresentaram um índice de conformidade de 10,6 %. Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 1 em 10 %, para o fósforo total, observou-se uma melhora nos índices de conformidade no ponto B4 para esta variável em ambos cenários e uma melhora adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização do limite em 20 %, ambos cenários apresentaram índices de conformidade muito próximos de aproximadamente 14,4 %, para o B4.

Com relação à clorofila-a, nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário Q50c\_exportação\_50% apresentou, para o ponto B1, um índice de conformidade de 52,4 %, enquanto o cenário Q50c\_exportação apresentou um índice de conformidade de 48,9 %. Do ponto B2 ao ponto B6, ambos cenários apresentaram índices de conformidade muito próximos ou coincidentes. Para o B2 este índice de conformidade foi de 1,0 %, para o ponto B3 este índice foi de 2,7 %, para o B5 este índice foi de 2,6 % e para o B6 este índice foi de 0,0 %.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para as classes em 10 %, para a clorofila-a, observou-se uma melhora nos índices de conformidade para esta variável em ambos os cenários e uma

melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização de 20% o cenário Q50c\_exportação apresentou um índice de conformidade para o B1 de 71,5 %, enquanto o cenário Q50c\_exportação\_50% apresentou um índice de 73,5%. Para o ponto B2 os índices de conformidade foram de 37,5 % e 39,1 % para os cenários Q50c\_exportação e Q50c\_exportação\_50%, respectivamente. Ainda com a flexibilização de 20%, os índices de conformidade para ambos os cenários foram de 27,3 %, 26,3 % e 10,5 % para os pontos B3, B5 e B6 respectivamente.

Para o ponto B4, pertencente a classe 1, com relação à clorofila-a, ambos os cenários apresentaram índices de conformidade de 0,0 %. Mesmo com a flexibilização de 20 % do limite desta variável para classe 1 os índices de conformidade de todos os cenários para o ponto B4 continuam nulos, indicando que a região no entorno deste ponto é sujeita a eutrofização constante.

Com relação ao OD, nos pontos do Projeto QAPB pertencentes à classe 2 (B1 a B3, B5 e B6) o cenário Q50c\_exportação\_50 % apresentou, para o ponto B1, um índice de conformidade de 5,3 %, enquanto o cenário Q50c\_exportação, apresentou um índice de conformidade de 1,6 %. Apesar da redução de 50 % da carga de oxigênio dissolvido afluente por Pedreira, o cenário Q50c\_exportação\_50% apresentou um índice maior que o do cenário Q50c\_exportação. Isto ocorre, pois também houve uma redução de 50 % da carga de DBOc afluente por Pedreira no cenário Q50c\_exportação\_50%, e desta maneira há um menor consumo de oxigênio para a decomposição desta matéria orgânica. O cenário Q50c\_exportação\_50% apresentou um índice de conformidade para B2 igual a 37,9 % e o Q50c\_exportação apresentou um índice de 29,7 %. Do ponto B3 ao ponto B6, os cenários Q50c\_exportação e Q50c\_exportação\_50% apresentaram índices de conformidade muito próximos. Estes cenários apresentaram índices de conformidade entre 95,3 % para o ponto B3 e 98,1 % para o ponto B6.

Flexibilizando-se os limites estabelecidos para as classes em 10 %, para OD, observou-se uma melhora nos índices de conformidade para esta variável em ambos os cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização de 20% ambos cenários apresentaram índices de conformidade próximos a 100 % para os pontos B3, B5 e B6.

Para o ponto B4, pertencente à classe 1, com relação ao oxigênio dissolvido, ambos cenários apresentaram índices de conformidade de 96,6 %, Flexibilizando-se os limites estabelecidos para a classe 1 em 10 %, para o oxigênio dissolvido, observou-se uma melhora nos índices de conformidade no ponto B4 para esta variável em ambos cenários e uma melhoria adicional quando flexibilizado o limite em 20 %. Com a flexibilização do limite em 20 %, ambos cenários apresentaram índices de conformidade de 99,1 %, para o B4.

Com relação ao cenário longo, é possível observar que, mesmo com um longo período de simulação com hidrologia variável, não ocorre um acúmulo de cargas no interior do reservatório.. Isto ocorre pois a matéria orgânica acaba sendo decomposta, dando lugar a nutrientes; e, ainda, pois as vazões efluentes do reservatório, principalmente pela Barragem Reguladora Billings-Pedras, são consideráveis, resultando em baixos tempos de detenção da água no reservatório.



## 10.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS SIMULADOS EM TODAS AS ETAPAS DO PROJETO QAPB

A **Tabela 1.11** apresenta as características dos cenários simulados na primeira etapa do Projeto QAPB <sup>[1]</sup>. A **Tabela 1.12** apresenta as características de cada cenário simulado na segunda etapa do Projeto QAPB. A **Tabela 1.13** apresenta as características de cada cenário simulado na segunda etapa do Projeto QAPB.



**Tabela 1.11 – Resumo dos cenários simulados na primeira etapa do Projeto QAPB.**

Cenário	Características	Pedreira			Sub-bacias
		Vazão característica	Flotação	Redução de carga	Redução de carga
CB – 5 anos sem flotação	bombeamento somente em casos de cheia e sem redução de cargas nas sub-bacias	0	não	0%	0%
Q10c	vazão característica de 10 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	10	sim	0%	0%
Q10s	vazão característica de 10 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	10	não	0%	0%
Q30c	vazão característica de 30 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	30	sim	0%	0%
Q30s	vazão característica de 30 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	30	não	0%	0%
Q40c	vazão característica de 40 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	40	sim	0%	0%
Q40s	vazão característica de 40 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	40	não	0%	0%
Q50c	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	50	sim	0%	0%
Q50s	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	50	não	0%	0%

**Tabela 1.12 – Resumo dos cenários simulados na segunda etapa do Projeto QAPB.**

Cenário	Características	Pedreira			Sub-bacias
		Vazão característica	Flotação	Redução de carga	Redução de carga
Q50c_0%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	50	sim	0%	0%
Q50s_0%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e sem redução de cargas nas sub-bacias	50	não	0%	0%
Q50c_20%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e 20 % de redução de cargas nas sub-bacias	50	sim	0%	20%
Q50s_20%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e 20 % de redução de cargas nas sub-bacias	50	não	0%	20%
Q50c_70%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e 70 % de redução de cargas nas sub-bacias	50	sim	0%	70%
Q50s_70%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e 70 % de redução de cargas nas sub-bacias	50	não	0%	70%
Q50c_0%_CETESB	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira, sem redução de cargas nas sub-bacias e utilizando os dados de fósforo total afluentes por Pedreira baseados no monitoramento bimestral realizado pela CETESB	50	sim	0%	0%

**Tabela 1.13 – Resumo dos cenários simulados na terceira etapa do Projeto QAPB.**

Cenário	Características	Pedreira			Sub-bacias
		Vazão característica	Flotação	Redução de carga	Redução de carga
Q50c_exportação	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	sim	0%	Variável
Q50s_exportação	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	não	0%	Variável
CB_exportação	bombeamento em Pedreira somente em casos de cheia e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	0	não	0%	Variável
Q50c_tratamento	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e com tratamento dos esgotos e das cargas difusas afluentes pelas sub-bacias de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	sim	0%	Variável
Q50s_tratamento	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s sem tratamento em Pedreira e com tratamento dos esgotos e das cargas difusas afluentes pelas sub-bacias de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	não	0%	Variável
CB_tratamento	bombeamento em Pedreira somente em casos de cheia e e com tratamento dos esgotos e das cargas difusas afluentes pelas sub-bacias de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	0	não	0%	Variável
Q50c_exportação_50%	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com redução de 50 % das cargas afluentes e tratamento em Pedreira e com exportação dos esgotos afluentes pelas sub-bacias e tratamento das cargas difusas de modo que a carga de fósforo total afluente pelas sub-bacias seja aquela estabelecida pela Lei Específica	50	sim	50%	Variável
Cenário_longo	vazão característica de 50 m <sup>3</sup> /s com tratamento em Pedreira e com hidrologia variável e correspondente àquela que ocorreu entre os anos de 2001 e 2005.				

Para realizar a análise comparativa entre todos os cenários simulados ao longo de todo o Projeto QAPB foram utilizadas as concentrações médias de cada variável de interesse (DBO<sub>c</sub>, OD, clorofila-a, fósforo total e nitrogênio total) em cada ponto monitorado pelo Projeto QAPB (B1 a B6) de cada cenário simulado. A **Tabela 1.14** apresenta estas concentrações para os cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008). A **Tabela 1.15** apresenta as concentrações médias para os cenários simulados para o segundo relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2009). Já a **Tabela 1.16** apresenta estas concentrações para os cenários simulados para esta terceira etapa do Projeto QAPB.

Os cenários para o primeiro relatório do Projeto QAPB foram simulados baseados na primeira calibração do modelo, que utilizou dados de julho de 2006 a dezembro 2007, sendo que a maior parte destes dados relativos às variáveis de qualidade foi obtida do monitoramento bimestral realizado pela CETESB. Já os cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB foram baseados na segunda calibração do modelo, que utilizou dados de outubro de 2007 a novembro de 2008, sendo que todos os dados utilizados foram obtidos do monitoramento realizado pela FCTH, que tem frequência muito maior que os dados obtidos da CETESB utilizados no primeiro relatório. Desta maneira, é possível agrupar os cenários do segundo e do terceiro relatório, já que ambos foram baseados na segunda calibração do modelo. Portanto, a **Figura 1.21**, a **Figura 1.23**, a **Figura 1.25**, a **Figura 1.27** e a **Figura 1.29** apresentam os resultados das concentrações médias de cada uma das variáveis de qualidade para os cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB; e a **Figura 1.22**, a **Figura 1.24**, a **Figura 1.26**, a **Figura 1.28** e a **Figura 1.30** são apresentados os resultados das concentrações médias para os cenários simulados para o segundo e o terceiro relatórios do Projeto QAPB.

A principal diferença entre os cenários simulados para o segundo e para o terceiro relatórios do Projeto QAPB são as concentrações de fósforo total afluentes por Pedreira. Enquanto os cenários simulados para o segundo relatório (CESP, EMAE e FCTH, 2009) utilizaram dados provenientes do Projeto QAPB, os cenários simulados para este terceiro relatório utilizaram dados provenientes tanto do Projeto QAPB como do monitoramento realizado pela CETESB. Isso ocorre pois ao final da segunda etapa do Projeto QAPB foi constatada uma inconsistência com relação aos dados de concentrações de fósforo monitorado no âmbito deste projeto. Desta maneira, a parte da série de concentrações afluentes por Pedreira que apresentou tal inconsistência foi substituída pelos dados correspondentes provenientes do monitoramento bimestral da CETESB. Portanto, as cargas afluentes por Pedreira utilizadas neste terceiro relatório são superiores às cargas afluentes utilizadas no segundo relatório. Como as cargas afluentes por Pedreira tem influência apenas no trecho inicial do reservatório, principalmente no pontos B1 e B2, sendo esta muito mais significativa no ponto B1, os resultados dos cenários simulados para estes dois relatórios podem ser comparados sem maiores problemas.

Uma extensa e detalhada análise comparativa para os cenários simulados com a primeira calibração já foi apresentada no primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008), onde foi observado que um aumento da vazão característica afluente por Pedreira, e um conseqüente aumento da vazão utilizada para a geração de energia na Usina Henry Borden, causa um decréscimo do tempo de detenção da água no interior do reservatório e melhora a qualidade da água neste. Também pode ser observado que os cenários com vazões entre 30 e 40 m<sup>3</sup>/s apresentam as menores concentrações para todas as variáveis (exceto OD que apresentam as

maiores concentrações) entre todos os cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB.

Da mesma maneira, uma extensa e detalhada análise comparativa para os cenários simulados com a segunda calibração e simulados para o segundo relatório já foi apresentada naquele relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2009), onde foi observado que a redução da carga afluyente pelas sub-bacias tem um efeito benéfico para as águas no interior do reservatório para todas as variáveis nos pontos de B2 a B6, mas esse efeito é maior nos pontos B2 e B3, pois estes se localizam em regiões altamente urbanizadas com altas cargas afluentes pelas sub-bacias próximas a eles. Também pode ser observado que o ponto B1 não sofre influência da redução das cargas afluentes pelas sub-bacias, demonstrando que este ponto é diretamente e unicamente influenciado pelo aporte de cargas provenientes do Rio Pinheiros.

Nas figuras apresentadas fica evidente a diferença entre os cenários simulados com a primeira e com a segunda calibração. Com relação à DBOc no ponto B1, pode-se observar que as concentrações, para os cenários simulados com a segunda calibração, são consideravelmente maiores que as concentrações resultantes para os cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB. O mesmo ocorre para o nitrogênio total.

Para todos os cenários que utilizaram a segunda calibração, o ponto B1 apresentou as maiores concentrações de DBOc e nitrogênio total entre todos os pontos. Ainda para o ponto B1, os cenários que utilizaram a segunda calibração apresentaram as menores concentrações de oxigênio dissolvido e de clorofila-a (com exceção dos cenários-base), demonstrando que a região no entorno deste ponto é altamente influenciada pelas altas concentrações de matéria orgânica e pelas baixas concentrações de OD afluentes por Pedreira. Já no ponto B2 ocorre uma grande redução das concentrações de nitrogênio total, fósforo total e DBOc e um aumento das concentrações de clorofila-a e OD, demonstrando que as cargas afluentes por Pedreira tem uma grande influencia apenas no ponto B1.

Com relação aos cenários simulados com a segunda calibração, é possível afirmar que a região próxima ao ponto B4 é sujeita a eutrofização, como pode ser observado através das altas concentrações de clorofila-a e oxigênio dissolvido neste ponto.

Analisando-se apenas os cenários simulados para o terceiro relatório é possível verificar que, para os cenários-base (CB\_exportação e CB\_tratamento) o cenário que considera o tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresenta qualidade melhor que o cenário que considera a exportação de tais cargas para o ponto B1 apenas para a clorofila-a, e mesmo assim a diferença entre as concentrações dos dois cenários para essa variável é de aproximadamente 1 %. Para todas as outras variáveis o cenário com exportação das cargas apresentou condições melhores para este ponto, sendo que a máxima diferença foi para o fósforo total, com uma concentração aproximadamente 23 % menor do que a do cenário com tratamento das cargas difusas.

Ainda para os cenários-base, para os pontos B2, B3 e B5 o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou condições de qualidade melhores que o cenário com exportação das cargas difusas para todas as variáveis, exceto nitrogênio total, sendo que as maiores diferenças entre as concentrações dos dois cenários ocorreram no ponto B2 para as variáveis DBOc e fósforo total, onde o cenário com tratamento das cargas difusas uma concentração aproximadamente 23 % menor que o cenário com exportação das cargas difusas.

Para os cenários-base, no ponto B6, o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou melhores condições de qualidade que o cenário com exportação destas cargas para as variáveis DBOc, fósforo total e OD, sendo que as maiores diferenças ocorreram para a DBOc, para a qual o cenário com tratamento apresentou concentrações 10 % menores que as concentrações do cenário com exportação. Para a clorofila-a o cenário com exportação das cargas difusas apresentou condições ligeiramente melhores que o cenário com tratamento destas cargas.

Com relação ao ponto B4, ainda tratando-se dos cenários-base, o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou melhores condições de qualidade para as variáveis DBOc, fósforo total e clorofila-a, sendo que as maiores diferenças ocorreram para a o fósforo total, para a qual o cenário com tratamento apresentou concentrações 13 % menores que as concentrações do cenário com exportação. Para OD o cenário com exportação apresentou concentrações cerca de 1 % maiores que as do cenário com tratamento.

Finalmente, para os cenários-base, para o nitrogênio total, independente do ponto, o cenário com exportação das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou condições melhores que o cenário com tratamento destas cargas, sendo que as maiores diferenças ocorreram no ponto B2, onde as concentrações do cenário com tratamento foram 65 % maiores que as do cenário com exportação.

Da mesma maneira, analisando-se apenas os cenários simulados para o terceiro relatório é possível verificar que, para os que consideram a flotação das águas do Rio Pinheiros (Q50c\_exportação e Q50c\_tratamento) o cenário que considera o tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresenta qualidade melhor que o cenário que considera a exportação de tais cargas para o ponto B1 apenas para o fósforo total e OD, e mesmo assim as diferença entre as concentrações dos dois cenários são muito pequenas, atingindo 3 % para o fósforo total e apenas 1 % para o OD. Para todas as outras variáveis o cenário com exportação das cargas apresentou condições melhores para este ponto, sendo que a máxima diferença foi para a clorofila-a, com uma concentração aproximadamente 3 % menor do que a do cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias.

Ainda para os cenários com flotação, para os pontos B2, B3, B5 e B6 o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou condições de qualidade melhores que o cenário com exportação das cargas difusas para todas as variáveis, exceto nitrogênio total, sendo que as maiores diferenças entre as concentrações dos dois cenários ocorreram no ponto B2 para a variável DBOc, onde o cenário com tratamento das cargas difusas uma concentração aproximadamente 20 % menor que o cenário com exportação das cargas difusas.

Com relação ao ponto B4, ainda tratando-se dos cenários com flotação, o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou melhores condições de qualidade para as variáveis DBOc, fósforo total e clorofila-a, sendo que as maiores diferenças ocorreram para a o fósforo total, para a qual o cenário com tratamento apresentou concentrações 19 % menores que as concentrações do cenário com exportação. Para OD o cenário com exportação apresentou concentrações cerca de 4 % maiores que as do cenário com tratamento.

Finalmente, para os cenários com flotação, para o nitrogênio total, independente do ponto, o cenário com exportação das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou condições melhores que o cenário com tratamento destas cargas, sendo que as maiores diferenças ocorreram no ponto B3,



onde as concentrações do cenário com tratamento foram 68 % maiores que as do cenário com exportação.

Analisando-se apenas os cenários simulados para o terceiro relatório é possível verificar que, para os cenários sem flotação (Q50s\_exportação e Q50s\_tratamento) o cenário que considera o tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresenta qualidade melhor que o cenário que considera a exportação de tais cargas para o ponto B1 apenas para OD, sendo a diferença entre as concentrações dos dois cenários para essa variável é de aproximadamente 9 %. Para todas as outras variáveis o cenário com exportação das cargas apresentou condições melhores para este ponto, sendo que a máxima diferença foi para o clorofila-a, com uma concentração aproximadamente 4 % menor do que a do cenário com tratamento das cargas difusas.

Com relação ao ponto B2, ainda tratando-se dos cenários sem flotação, o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou melhores condições de qualidade para as variáveis DBOc, fósforo total e OD, sendo que as maiores diferenças ocorreram para a DBOc, para a qual o cenário com tratamento apresentou concentrações 19 % menores que as concentrações do cenário com exportação. Para OD o cenário com exportação apresentou concentrações ligeiramente maiores que as do cenário com tratamento.

Ainda para os cenários sem flotação, para os pontos B3, B5 e B6 o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou condições de qualidade melhores que o cenário com exportação das cargas difusas para todas as variáveis, exceto nitrogênio total, sendo que as maiores diferenças entre as concentrações dos dois cenários ocorreram no ponto B3 para a variável DBOc, onde o cenário com tratamento das cargas difusas uma concentração aproximadamente 19 % menor que o cenário com exportação das cargas difusas.

Com relação ao ponto B4, ainda tratando-se dos cenários sem flotação, o cenário com tratamento das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou melhores condições de qualidade para as variáveis DBOc, fósforo total e clorofila-a, sendo que as maiores diferenças ocorreram para a o fósforo total, para a qual o cenário com tratamento apresentou concentrações 19 % menores que as concentrações do cenário com exportação. Para OD o cenário com exportação apresentou concentrações cerca de 4 % maiores que as do cenário com tratamento.

Finalmente, para os cenários sem flotação, para o nitrogênio total, independente do ponto, o cenário com exportação das cargas afluentes pelas sub-bacias apresentou condições melhores que o cenário com tratamento destas cargas, sendo que as maiores diferenças ocorreram no ponto B3, onde as concentrações do cenário com tratamento foram 66 % maiores que as do cenário com exportação.

Assim, é possível observar que, de maneira geral, o cenário com tratamento das cargas afluentes nas próprias sub-bacias do reservatório e posterior lançamento do efluente tratado no reservatório, apresentou condições melhores de qualidade para a água para a maior parte das variáveis e pontos. Somente para a variável nitrogênio total é que a situação se inverte, e o cenário com tratamento apresenta concentrações maiores que o cenário com exportação. Sendo que essas diferenças para o nitrogênio total são as maiores, podendo chegar a 68 %. Isso ocorre pois os métodos de tratamento considerados neste trabalho não tem uma grande eficiência na remoção dos compostos nitrogenados, que acabam sendo lançados no reservatório, o que não ocorre quando se exporta os esgotos para serem tratados em outra bacia.

**Tabela 1.14 – Concentrações médias para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008).**

Cenário	DBOc (mg/L)						Fósforo total (mg/L)						Clorofila-a (µg/L)					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
CB5ASF	5,82	6,62	2,18	0,99	1,04	0,68	0,89	0,74	0,32	0,07	0,16	0,06	81,27	67,28	64,35	87,77	68,81	73,81
Q10c	3,94	5,77	2,32	1,41	1,20	1,10	0,28	0,46	0,22	0,05	0,12	0,07	73,70	58,30	61,84	79,74	65,89	71,96
Q10s	6,15	5,78	2,32	1,41	1,20	1,10	0,67	0,48	0,22	0,05	0,12	0,07	77,72	58,39	61,85	79,74	65,89	71,96
Q30c	3,61	5,77	2,62	2,20	1,88	1,52	0,15	0,28	0,13	0,04	0,07	0,04	77,60	57,94	60,54	74,13	62,07	73,97
Q30s	5,22	5,77	2,63	2,20	1,88	1,52	0,43	0,29	0,13	0,04	0,07	0,04	81,92	57,98	60,54	74,13	62,07	73,97
Q40c	3,98	5,65	2,57	2,12	1,88	1,66	0,13	0,26	0,11	0,04	0,07	0,04	74,82	59,28	60,86	75,17	62,58	70,75
Q40s	5,42	5,57	2,56	2,12	1,88	1,66	0,44	0,26	0,11	0,04	0,07	0,04	79,35	59,34	60,85	75,17	62,58	70,75
Q50c	3,87	5,13	2,57	1,94	1,66	1,55	0,09	0,27	0,15	0,04	0,08	0,06	63,19	59,62	62,22	77,74	64,01	74,99
Q50s	6,83	5,16	2,57	1,94	1,66	1,55	0,56	0,30	0,15	0,04	0,08	0,06	67,65	59,79	62,23	77,74	64,02	74,99

Cenário	OD (mg/L)						Nitrogênio total (mg/L)					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
CB5ASF	5,30	3,03	6,96	11,20	9,04	10,24	9,07	6,53	3,28	1,20	1,97	1,19
Q10c	6,47	3,51	6,52	10,18	8,34	9,42	7,79	4,58	2,48	1,08	1,64	1,19
Q10s	5,45	3,49	6,52	10,18	8,34	9,42	7,79	4,58	2,48	1,08	1,64	1,19
Q30c	7,78	4,40	6,51	9,03	7,65	9,80	5,40	2,96	1,74	1,06	1,26	1,07
Q30s	7,19	4,39	6,51	9,03	7,65	9,80	5,40	2,96	1,74	1,06	1,26	1,07
Q40c	7,25	4,55	6,51	9,14	7,88	9,21	5,86	2,87	1,62	1,06	1,24	1,07
Q40s	6,92	4,69	6,53	9,14	7,88	9,21	5,64	2,77	1,62	1,06	1,24	1,07
Q50c	6,34	4,89	6,36	9,64	8,14	9,76	7,13	3,19	1,93	1,06	1,35	1,13
Q50s	5,19	4,85	6,36	9,64	8,14	9,76	7,13	3,19	1,93	1,06	1,35	1,13

**Tabela 1.15 – Concentrações médias para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2009).**

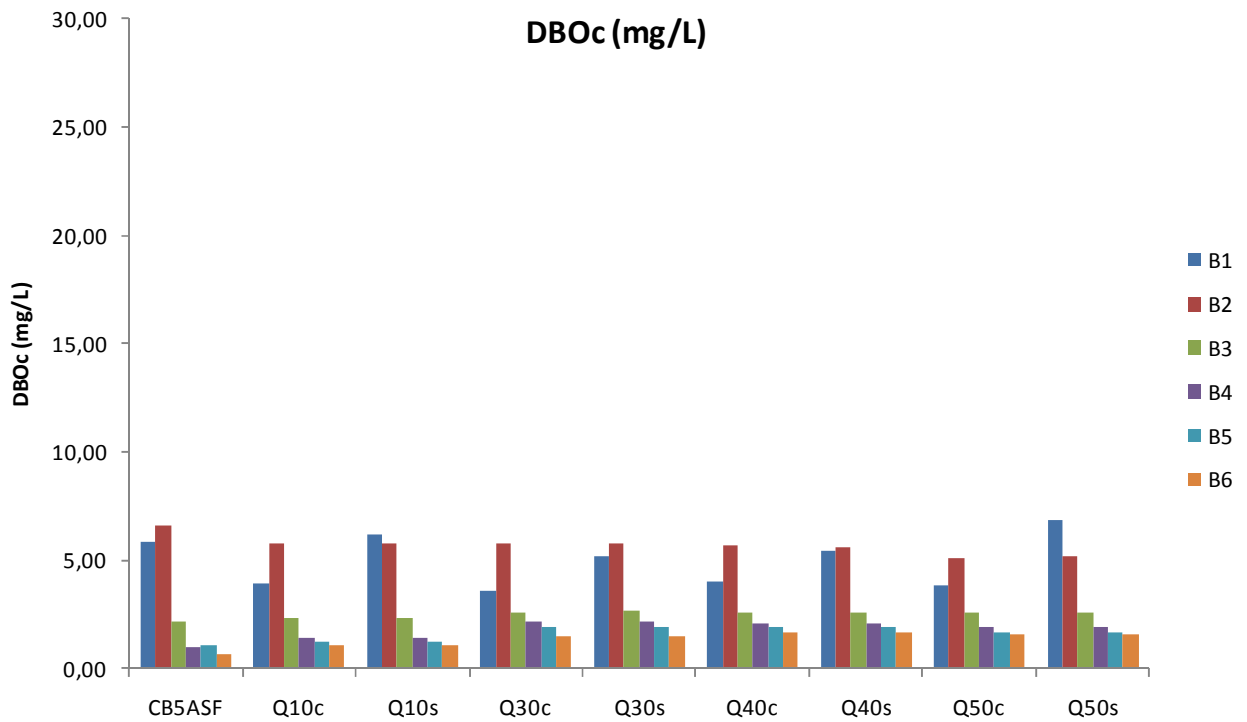
Cenário	DBOc (mg/L)						Fósforo total (mg/L)						Clorofila-a (µg/L)					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Q50c_0%	13,20	5,04	2,46	0,94	1,04	0,97	0,09	0,11	0,11	0,04	0,09	0,06	34,25	38,92	46,04	66,02	46,31	48,00
Q50s_0%	26,09	5,17	2,46	0,94	1,04	0,97	0,57	0,17	0,11	0,04	0,09	0,06	35,28	39,29	46,10	66,04	46,32	48,00
Q50c_20%	13,20	4,30	2,09	0,87	0,94	0,85	0,09	0,10	0,10	0,03	0,07	0,05	34,25	38,88	45,80	64,07	45,89	47,37
Q50s_20%	26,09	4,44	2,09	0,87	0,94	0,85	0,57	0,17	0,11	0,03	0,07	0,05	35,28	39,27	45,87	64,10	45,91	47,37
Q50c_70%	13,13	2,34	1,11	0,70	0,70	0,58	0,09	0,09	0,07	0,02	0,04	0,02	34,24	38,72	44,47	56,23	43,62	44,35
Q50s_70%	26,02	2,47	1,11	0,70	0,70	0,58	0,57	0,15	0,07	0,02	0,04	0,02	35,28	39,21	44,61	56,28	43,67	44,36
Q50c_0%_CETESB	13,02	5,03	2,46	0,94	1,02	0,97	0,27	0,12	0,11	0,04	0,09	0,06	35,25	39,15	46,36	67,00	46,76	48,23

Cenário	OD (mg/L)						Nitrogênio total (mg/L)					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Q50c_0%	0,82	3,31	5,36	9,96	7,63	8,90	19,84	5,68	2,84	1,14	1,70	1,30
Q50s_0%	0,25	3,14	5,36	9,96	7,63	8,90	27,25	6,49	2,89	1,14	1,71	1,30
Q50c_20%	0,82	3,65	5,80	9,83	7,78	8,98	19,83	5,38	2,53	1,09	1,55	1,20
Q50s_20%	0,25	3,48	5,80	9,83	7,78	8,98	27,24	6,19	2,58	1,09	1,55	1,20
Q50c_70%	0,84	5,08	7,13	9,12	8,09	8,90	19,68	4,28	1,61	0,97	1,15	0,97
Q50s_70%	0,26	4,91	7,14	9,13	8,09	8,90	27,08	5,09	1,66	0,97	1,16	0,97
Q50c_0%_CETESB	0,88	3,33	5,40	10,10	7,72	8,94	19,78	5,71	2,87	1,14	1,71	1,30

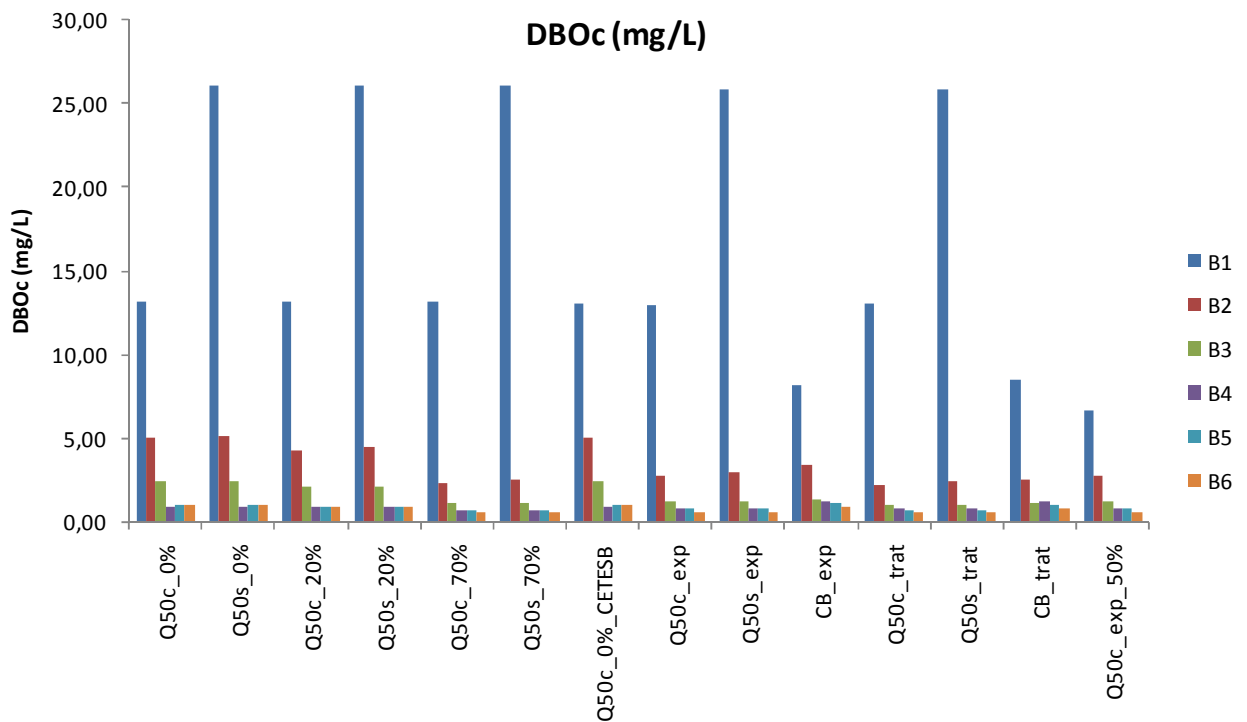
**Tabela 1.16 – Concentrações médias para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para este terceiro relatório do Projeto QAPB.**

Cenário	DBO <sub>c</sub> (mg/L)						Fósforo total (mg/L)						Clorofila-a (µg/L)					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Q50c_exportação	12,94	2,79	1,23	0,82	0,77	0,59	0,16	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	33,30	38,27	42,61	64,98	42,66	43,32
Q50s_exportação	25,87	2,92	1,23	0,82	0,77	0,59	1,12	0,14	0,04	0,03	0,03	0,02	34,03	39,01	42,93	65,02	42,73	43,34
CB_exportação	8,12	3,37	1,28	1,21	1,09	0,94	0,43	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	45,64	35,46	35,44	41,73	36,72	36,08
Q50c_tratamento	13,01	2,24	1,00	0,75	0,70	0,54	0,16	0,06	0,04	0,02	0,03	0,02	34,45	38,18	42,26	59,27	42,19	42,68
Q50s_tratamento	25,90	2,37	1,00	0,75	0,70	0,54	1,13	0,14	0,04	0,02	0,03	0,02	35,34	39,12	42,70	59,32	42,29	42,70
CB_tratamento	8,49	2,50	1,15	1,18	1,02	0,84	0,52	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	45,31	34,86	35,14	41,44	36,63	36,21
Q50c_exportação_50%	6,69	2,72	1,23	0,82	0,77	0,59	0,09	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	32,73	38,15	42,59	64,98	42,65	43,32

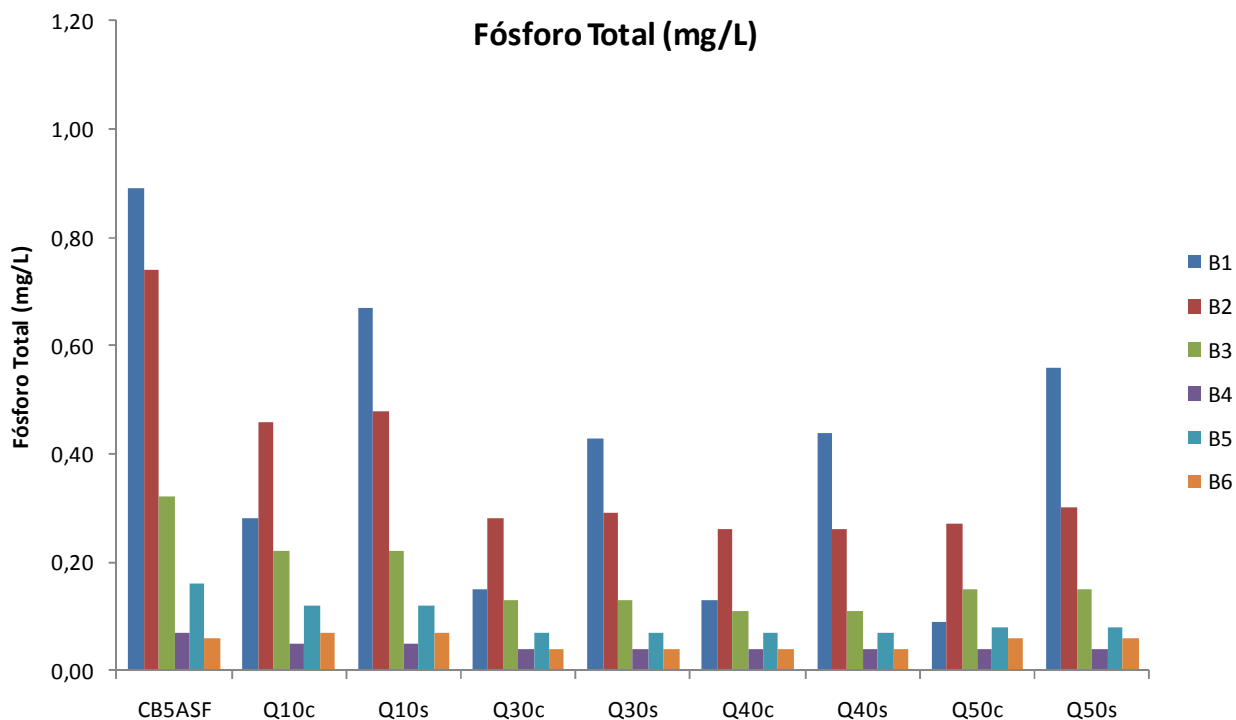
Cenário	OD (mg/L)						Nitrogênio total (mg/L)					
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Q50c_exportação	0,91	4,66	6,72	9,81	7,76	8,62	19,29	3,74	1,37	1,04	1,07	0,90
Q50s_exportação	0,26	4,52	6,75	9,81	7,77	8,63	26,75	4,48	1,41	1,04	1,08	0,91
CB_exportação	2,60	3,75	5,25	5,87	5,65	5,89	8,61	1,55	1,06	1,01	0,99	0,98
Q50c_tratamento	0,91	5,19	7,05	9,43	7,87	8,63	19,71	5,00	2,29	1,07	1,43	1,12
Q50s_tratamento	0,29	5,07	7,09	9,44	7,88	8,64	27,11	5,81	2,34	1,07	1,44	1,12
CB_tratamento	2,42	4,28	5,33	5,80	5,76	6,20	10,04	2,55	1,38	1,02	1,12	1,01
Q50c_exportação_50%	2,18	4,83	6,72	9,81	7,76	8,62	9,80	2,55	1,29	1,04	1,07	0,90



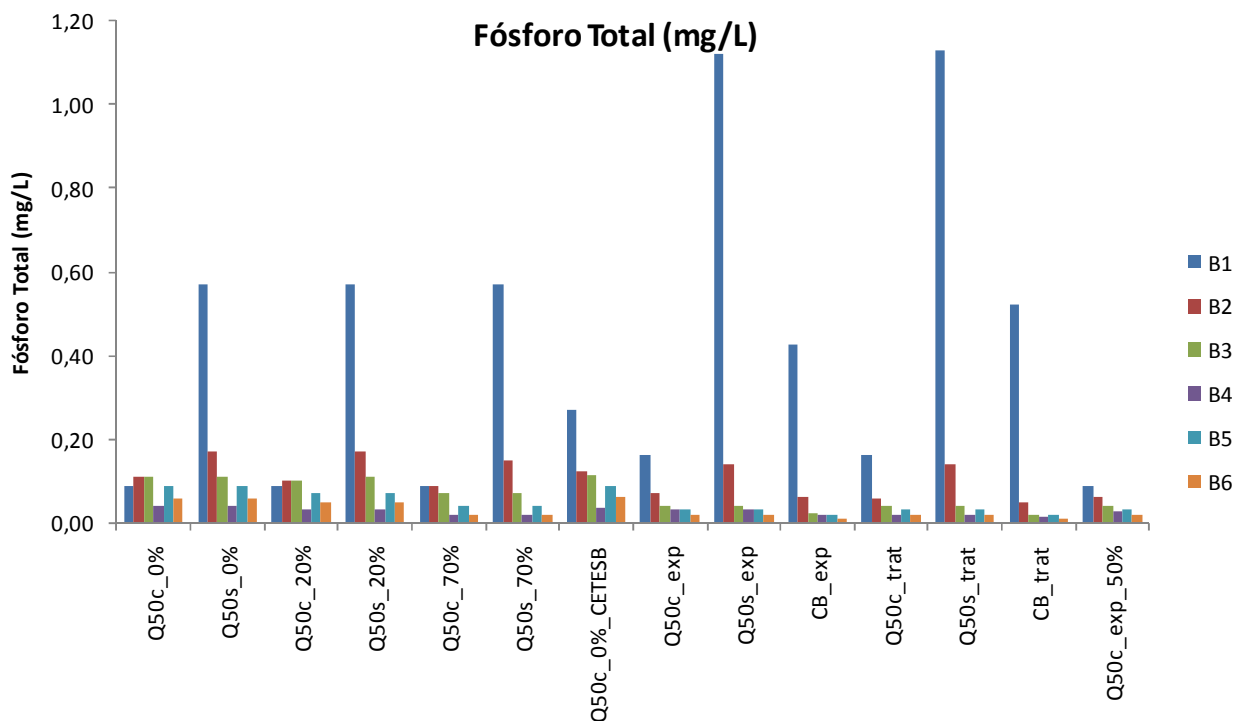
**Figura 1.21 – Concentrações médias de DBOc para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008).**



**Figura 1.22 – Concentrações médias de DBOc para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB.**

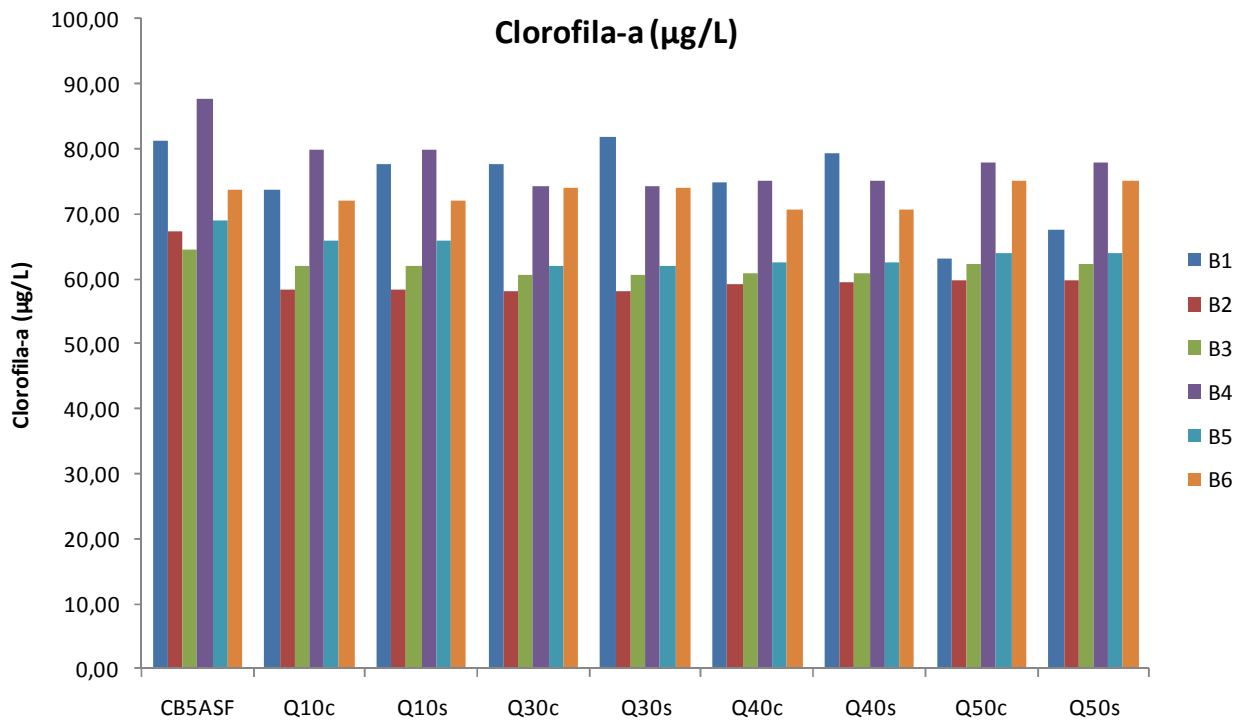


**Figura 1.23 – Concentrações médias de Fósforo Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008).**

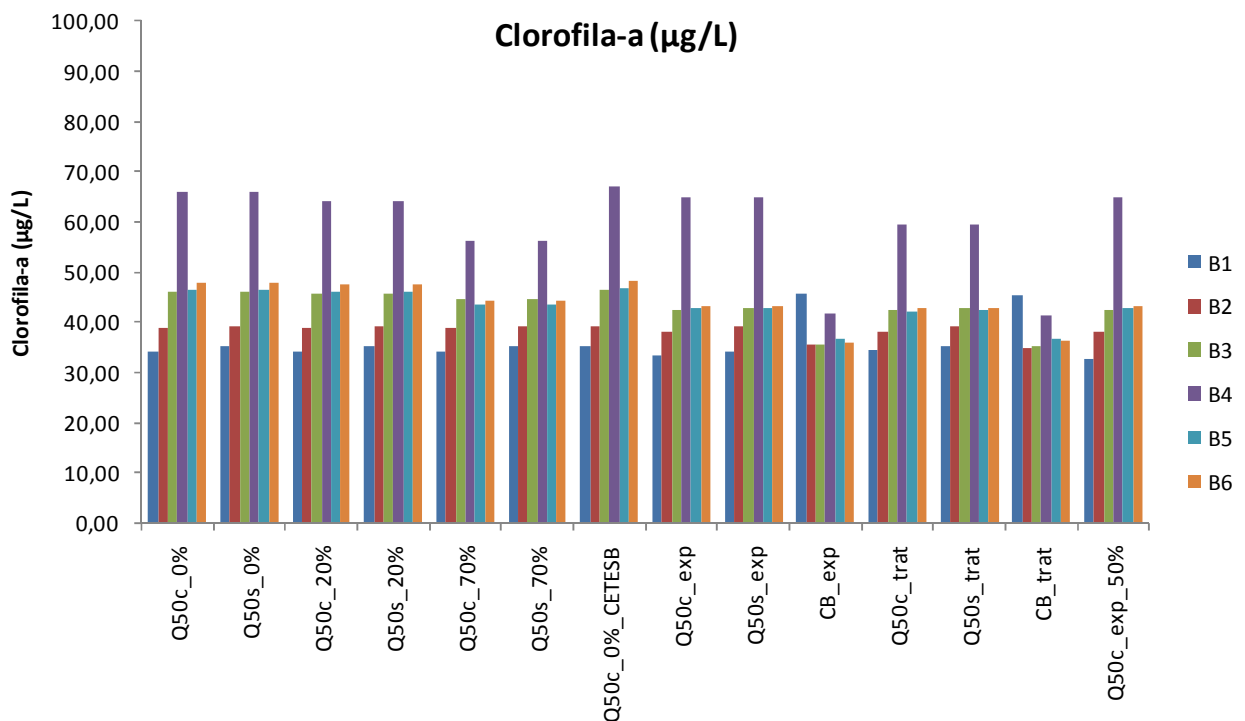


**Figura 1.24 – Concentrações médias de Fósforo Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB.**

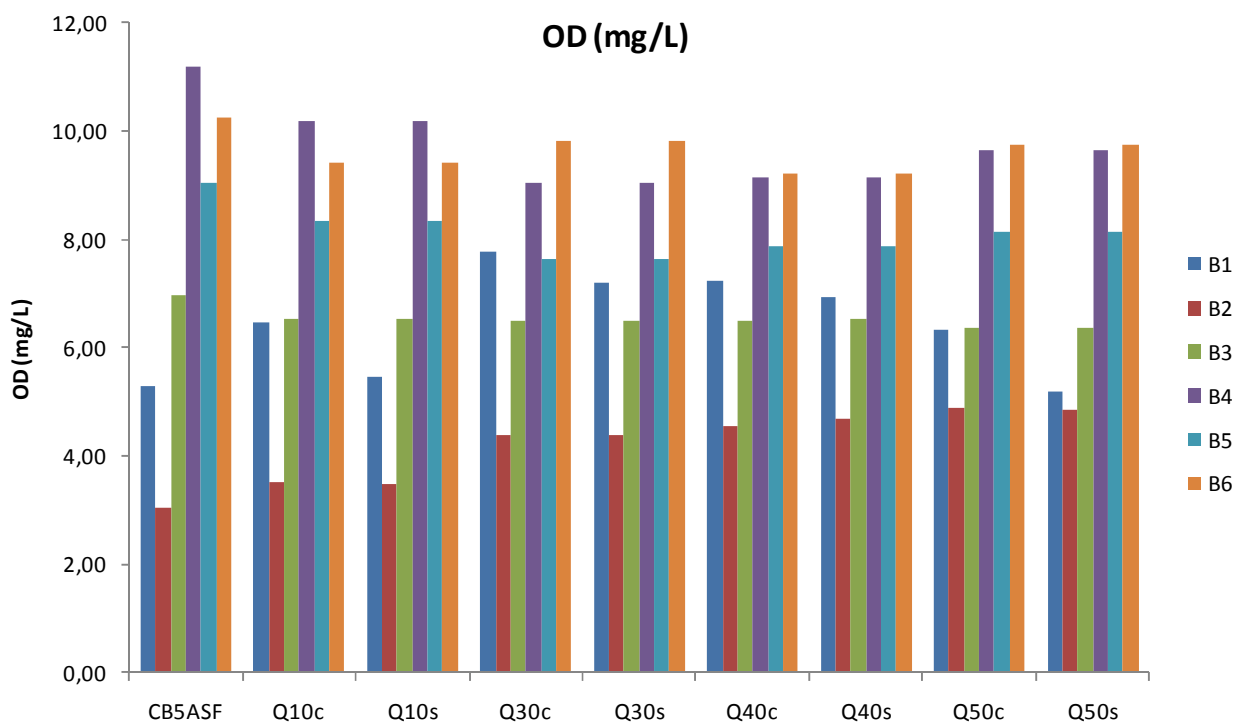




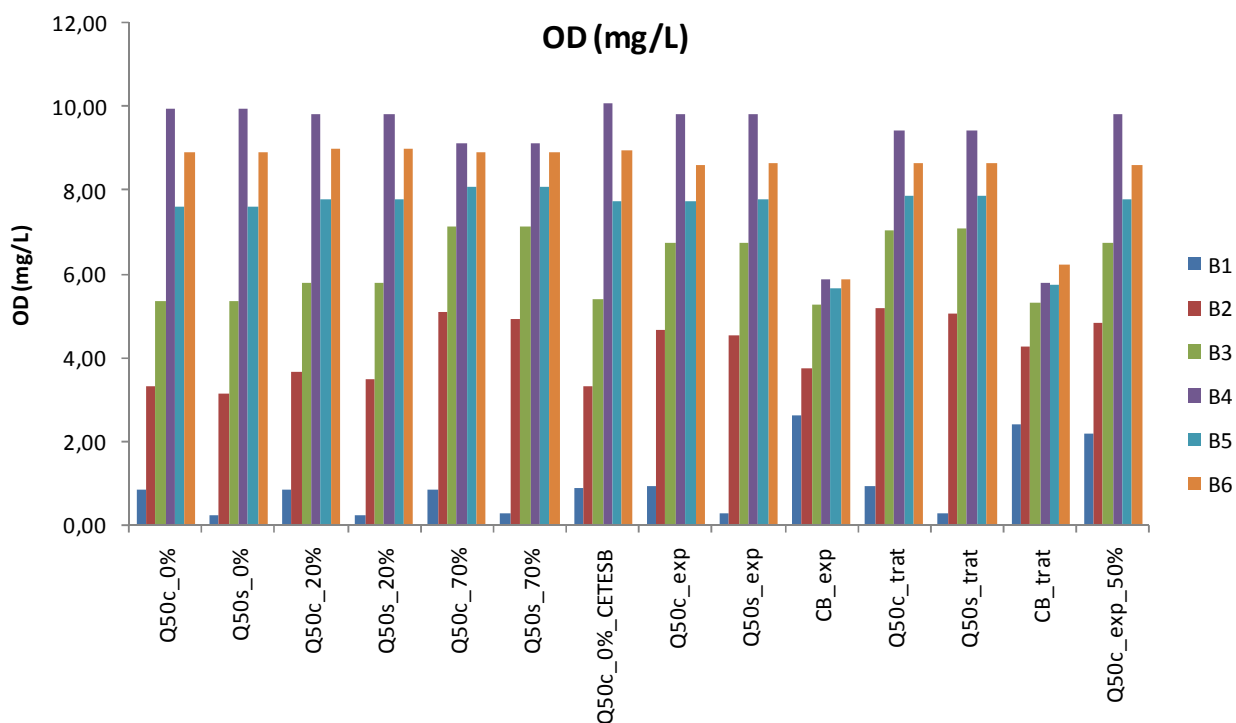
**Figura 1.25 – Concentrações médias de clorofila-a para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008).**



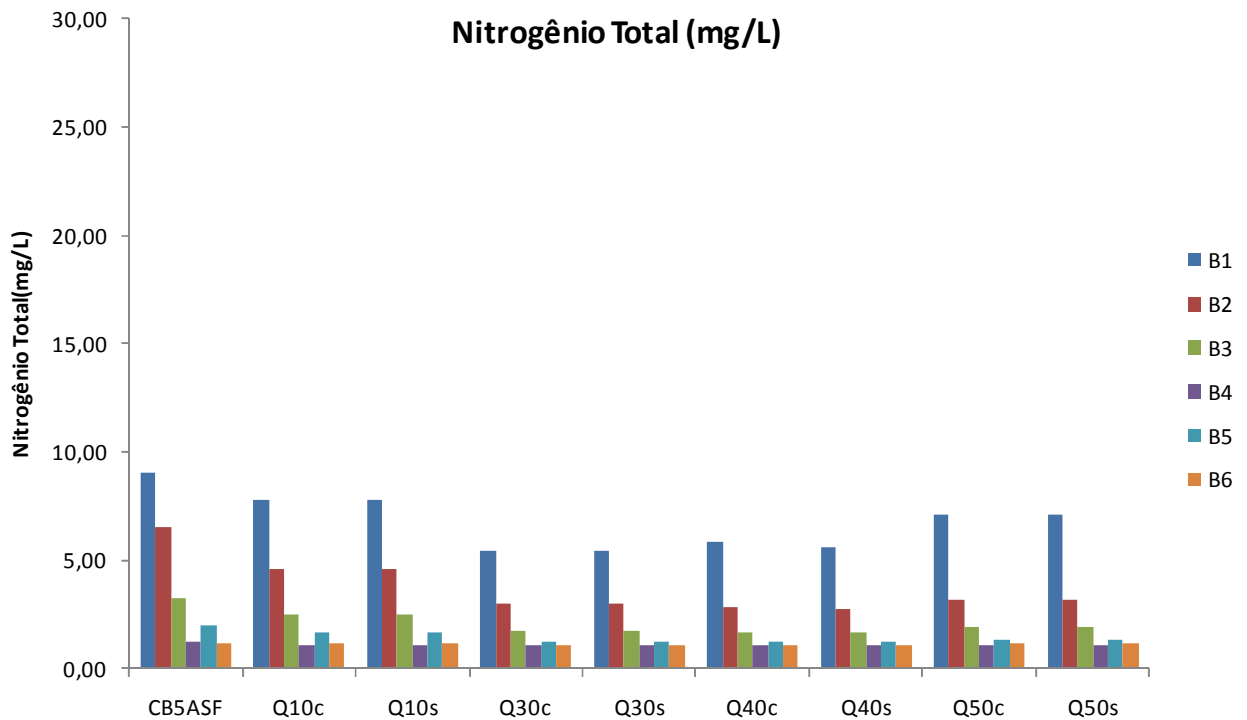
**Figura 1.26 – Concentrações médias de clorofila-a para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB.**



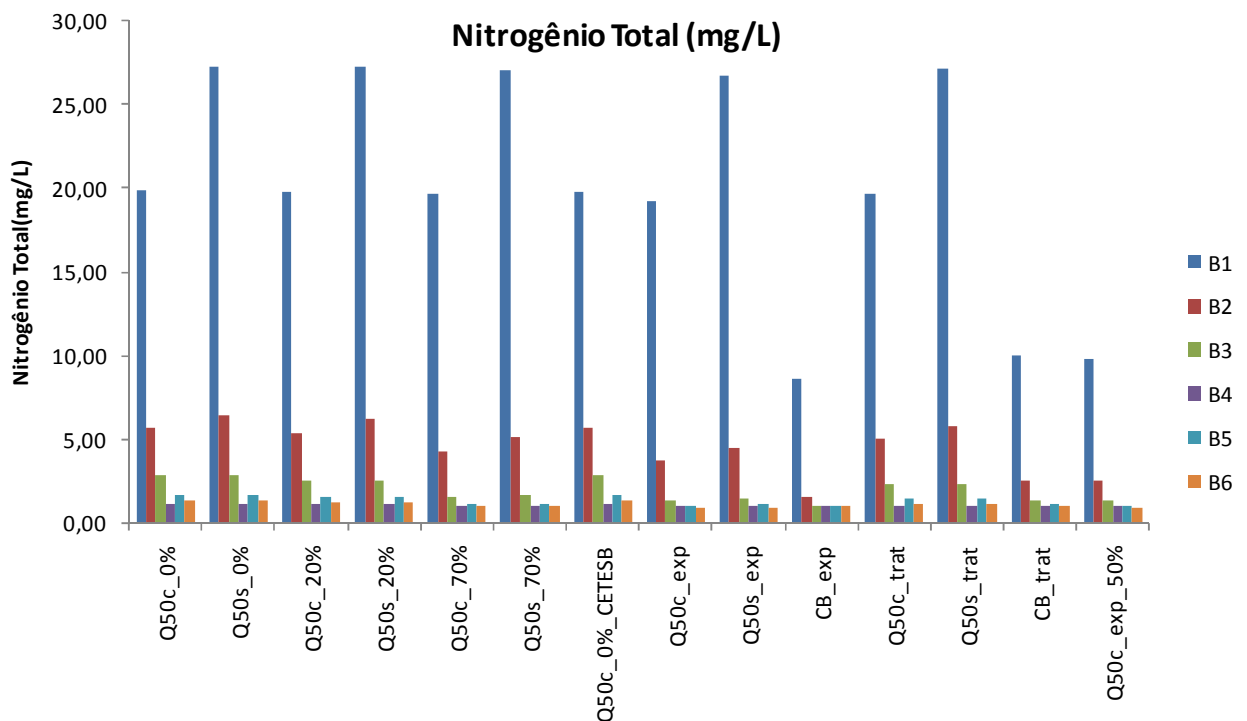
**Figura 1.27 – Concentrações médias de OD para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008).**



**Figura 1.28 – Concentrações médias de OD para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB.**



**Figura 1.29 – Concentrações médias de Nitrogênio Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o primeiro relatório do Projeto QAPB (CESP, EMAE e FCTH, 2008).**



**Figura 1.30 – Concentrações médias de Nitrogênio Total para os pontos B1 a B6 dos cenários simulados para o segundo e terceiro relatórios do Projeto QAPB.**

## 15 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando os objetivos do estudo são apresentadas as seguintes conclusões e recomendações:

- A eficiência do processo de flotação para remoção de fósforo superior a 90 %, valor próximo do esperado para esse tipo de processo;
- A remoção de outros poluentes também foi razoável, com destaque para a redução de DBO;
- Houve uma série de interrupções no processo de flotação, a questão da intermitência na operação precisa ser corrigida;
- De acordo com as variáveis de qualidade observadas na Billings, a operação do protótipo da flotação (10 m<sup>3</sup>/s) não produziu impacto negativo detectável no reservatório;
- O modelo matemático da qualidade de água da Billings foi desenvolvido e está capacitado a estimar os impactos de diferentes cenários de lançamento de poluentes no reservatório e de novas regras operativas;
- De acordo com os cenários analisados pelo modelo de qualidade, com o padrão atual de lançamento de cargas difusas e esgoto no entorno do reservatório, variando-se a vazão flotada entre 10 a 50 m<sup>3</sup>/s, observam-se impactos significativos na qualidade da água do lago da Billings até a região do braço Bororé. Ou seja: o alcance esperado se restringe a uma pequena área do reservatório, mesmo com o bombeamento máximo previsto de 50 m<sup>3</sup>/s;
- O mesmo ocorre para os cenários com uma grande redução das cargas afluentes pelas sub-bacias no entorno do reservatório, simulando melhorias sanitárias e ambientais nessas sub-bacias. Desta maneira o modelo demonstrou que a flotação, devido a grande resiliência do reservatório, impacta apenas uma região pequena deste, independente do padrão de lançamento de cargas no entorno do reservatório
- De acordo com os cenários analisados pelo modelo de qualidade, observou-se que, para uma vazão característica de bombeamento por Pedreira de 50 m<sup>3</sup>/s, existe uma influência direta da qualidade da água do Rio Pinheiros, e, conseqüentemente, do tratamento de flotação na qualidade da água do ponto B1, ponto de observação mais próximo da barragem, sugerindo ser este trecho (Pedreira-B1) uma zona de mistura do lançamento das águas do Rio Pinheiros no reservatório Billings;
- Ainda de acordo com os cenários analisados pelo modelo de qualidade, foi possível verificar que durante o período de verão, a região no entorno do ponto B4 torna-se eutrofizada. Mesmo para os cenários com uma enorme redução da carga afluente pelas sub-bacias ocorreria a eutrofização deste ponto nos períodos de verão;
- O modelo de qualidade demonstrou que a troca de água do reservatório em menores intervalos de tempo favorece a mistura de poluentes, isso sugere analisar novas políticas de turbinamento, que poderão contribuir para a redução do tempo de detenção, conseqüentemente, melhorando as condições de mistura de poluentes no reservatório.

## 16 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Legislação:

- [1] CESP, EMAE e FCTH. Avaliação da Qualidade das Águas do Sistema Pinheiros Billings em Função da Operação do Protótipo da Flotação. Relatório Final, volumes 1 a 4 e anexos, 2008. São Paulo, Brasil.
- [2] EMAE e FCTH. Avaliação da Qualidade da Água do Sistema Pinheiros-Billings com o Protótipo do Sistema de Flotação - Estudos Complementares. Relatório Final, volumes 1 a 4 e anexos, 2009. São Paulo, Brasil.
- [3] São Paulo, Constituição do Estado de São Paulo, 1989 [on line]. Disponível em: <http://www.legislacao.sp.gov.br/dg280202.nsf/a2dc3f553380ee0f83256cfb00501463/46e2576658b1c52903256d63004f305a?OpenDocument>
- [4] CETESB *Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*, “Qualidade nas Águas Interiores no Estado de São Paulo”. Relatório, 2008. São Paulo Brasil.
- [5] EMAE *Empresa Metropolitana de Águas e Energia*, “O Complexo de Geração Henry Borden”, 2008 [on line]. Disponível em: [www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/Billings/O\\_que\\_e\\_flotacao](http://www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/Billings/O_que_e_flotacao)
- [6] James *et al.*, *An Introduction to Water Quality Modelling*, 2nd. Ed., John Wiley & Sons Ltd., 1993, p. 324.
- [7] R. Fragoso Jr, C. E. M. Tucci, W. Collischonn, and D. M. L. M. Marques, “Simulação de Eutrofização em Lagos Rasos: I – Modelo e Precisão Numérica”, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p. 23–35, 2007.
- [8] R. Fragoso Jr, C. E. M. Tucci, W. Collischonn, and D. M. L. M. Marques, “Simulação de Eutrofização em Lagos Rasos: II – Sistema do Taim (RS)”, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p. 23–35, 2007.

## **17 EQUIPE DE PROJETO**

Mario Thadeu Leme de Barros: Coordenador Geral  
Monica Ferreira do Amaral Porto: Consultora – Poli/USP  
José Rodolfo Scarati Martins: Consultor – Poli/USP  
José Carlos Mierzwa: Consultor – Poli/USP  
Steven Chapra: Consultor – Consultor Tufts University  
Luiz Fernando Orsini Yazaki: Coordenador Adjunto  
Ludmilson Abritta Mendes: Engenheiro  
Renato Carlos Zambon: Engenheiro  
Marcelo Mendes de Castro: Engenheiro  
Ana Carolina Daniel Morihama: Engenheira  
Lucas Calandrino: Engenheiro  
Rosa Helena de Oliveira Martins: Consultora  
Flávia Jacobsem: Analista de Sistemas  
Camila Brandão Nogueira Borges: Economista  
José Roberto Siqueira: Hidrometrista  
Herodes Lima: Hidrometrista  
Fernando Amaral Rodrigues: Biólogo  
Frederico de Almeida Lage Filho: Consultor  
César Cyrillo Lloret: Estagiário  
Maria Cristina Santana Pereira: Estagiária  
Pedro Issau Omuro: Estagiário  
Adriano Carazzato: Estagiário