INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO
Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza

DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES LIMNOLÓGICAS E DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO UHE MAUÁ: RELATÓRIO FINAL FASE RESERVATÓRIO

CONSÓRCIO ENERGÉTICO CRUZEIRO DO SUL - CECS
Novembro 2013

LACTEC – Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento
BR-116 – KM 98 – S/Nº – Centro Politécnico da UFPR
Jardim das Américas - Caixa Postal: 19.067 - CEP: 81531-980

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

Nome	Profissão	Registro de Classe	Assinatura
Qualidade de Águas Superficiais			
Nicole M. Brassac de Arruda	Bióloga	CRBio 28775-07/D	
Marianne S. França Sieciechowicz	Engenheira Ambiental	CREA PR 85343/D	
Gheysa do Rocio Morais Pires	Tecnóloga em Química Ambiental	CRQ PR 09202642/D	
Letícia Uba da Silveira	Engenheira Ambiental	CREA SC 0715050/D	
Tânia Lúcia Graf de Miranda	Engenheira Agrônoma	CREA RS 069105/D	
Comunidade Fitoplanctônica			
Priscila Izabel Tremarin	Bióloga	CRBio 45593-07/D	
Comunidade Zooplanctônica			
Moacyr Serafim Júnior	Biólogo	CRBio 17499-07/D	
Comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos			
Rosemary Brogim	Bióloga	CRBio 17494-07/D	
Monitoramento de *Limnoperna fortunei*			
Camila Cardoso Fontanella	Bióloga	CRBio 66171-07/D	
Comunidade de Macrófitas Aquáticas			
Letícia Larcher	Bióloga	CRBio 50469-07/D	
Águas Subterrâneas			
André Virmond Bittencourt	Engenheiro Químico	CREA PR 3885/D	
Hidrologia e Atividades de Campo			
Osneri Andreoli	Engenheiro Civil	CREA PR 13589/D	
Paulo Cavichiolo Franco	Engenheiro Civil	CREA PR 12671/D	

EQUIPE DE APOIO

Adilson José de Lara – Equipe de Campo/LACTEC
Bruno Dalla Nora Santos – Estagiário/DPRA
Davy Iacoponi – Estagiário/DPRA

Divisão de Meio Ambiente - Departamento de Recursos Ambientais

Curitiba
Novembro/2013

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

SUMÁRIO

1 Introdução 1
2 Metodologia 2
2.1 Área de Estudo 2
2.2 Procedimentos Técnicos 3
2.2.1 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Superficiais 3
2.2.1.1 Malha amostral e frequência de amostragem 3
2.2.1.2 Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas 5
2.2.1.3 Análises em Sedimento 16
2.2.1.4 Análises da Comunidade Fitoplanctônica 19
2.2.1.5 Análises da Comunidade Zooplanctônica 19
2.2.1.6 Análises de Macroinvertebrados bênticos 21
2.2.1.7 Análises para verificação da presença de larvas de Limnoperna fortunei 24
2.2.2 Sub-Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas 26
2.2.3 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas 30
2.2.1 Caracterização Hidrogeológica da Área de Influência Direta do Reservatório 30
2.2.1.1 Geologia Regional 31
2.2.1.2 Contexto geológico e hidrogeológicos locais 36
2.2.2.1 Malha amostral e frequência de amostragem 44
2.2.2.2 Metodologia de coleta e análises 47
2.2.2.3 Procedimentos laboratoriais 47
3 Resultados 49
3.1 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Superficiais 49
3.1.1 Monitoramento de parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade de água 49
3.1.1.1 Índice de Qualidade de Água – IQA 66
3.1.1.2 Índice de Estado Trófico – IET 67
3.1.1.3 Índice de Qualidade de Água de Reservatórios – IQAR 68
3.1.1.4 Índices de Estabilidade da Água 69
3.1.1.5 Perfis de Temperatura e Oxigênio Dissolvido 71
3.1.2 Monitoramento do Sedimento 76

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

3.1.2.1 Avaliação do CQS – Critério de Qualidade de sedimentos 77
3.1.2.2 Granulometria 79
3.1.2.3 Resultados comparativos entre as fases de monitoramento 81
3.1.3 Monitoramento da Comunidade Fitoplanctônica 90
3.1.3.1 Florações de microalgas durante a fase rio e reservatório da UHE Mauá 103
3.1.3.2 Ocorrência de cianobactérias durante a fase rio e reservatório da UHE Mauá 104
3.1.4 Monitoramento da Comunidade Zooplanctônica 106
3.1.4.1 Composição, Riqueza e Abundância do Zooplâncton 107
3.1.4.2 Relação entre a Densidades do Zooplâncton, Fitoplâncton e Pluviosidade .. 115
3.1.5 Monitoramento de Macroinvertebrados Bênticos 119
3.1.5.1 Resultados 128
3.1.6 Monitoramento da Presença de Limnoperna fortunei (mexilhão dourado) 140
3.2 Sub-Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas 143
3.2.1.1 Eventos de coleta 155
3.3 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas 162
3.3.1 Dados obtidos 162
3.3.1.1 Aquífero raso 162
3.3.1.2 Aquíferos profundos 173
3.3.2 Interpretação dos resultados 181
3.3.2.1 Aquífero freático 181
3.3.2.2 Aquíferos profundos 211
4 Conclusões 221
5 Referências Bibliográficas 230
6 Anexo I - Dados pluviométricos 239

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Área de Estudo. 2
Figura 2 - Localização das estações de amostragem de águas superficiais na área de estudo. 4
Figura 3 – Interpretação de gráficos de caixa (box plot). 15
Figura 4 – Amostrador Petit ponar 16
Figura 5 - Classificação de contaminantes químicos em cinco faixas de qualidade e sua relação com os critérios TEL e PEL. 19
Figura 6 – Coletas em ambiente lótico e lêntico com rede de plâncton de 64 µm. 20
Figura 7 – Análises das amostras de zooplâncton. 21
Figura 8 - Equipamentos utilizados para as coletas quantitativas dos macroinvertebrados bênticos. A e B. Método de utilização do Petit Ponar e uma amostra coletada com este amostrador; C e D. Surber e método de coletas 23
Figura 9 - Procedimentos com as amostras de macroinvertebrados bênticos em laboratório. A. Estocagem; B. triagem das amostras e C. Identificação dos organismos. 24
Figura 10 – Localização das estações de amostragem de macrófitas aquáticas 27
Figura 11 – Vista Geral das estações M1 (esquerda) e M2 (direita) 28
Figura 12 – Vista Geral das estações M3 (esquerda) e M4 (direita) 28
Figura 13 – Vista Geral das estações M6 (esquerda) e M9 (direita) 29
Figura 14 – Vista Geral das estações M10 (esquerda) e M11 (direita) 29
Figura 15 – Vista Geral da estação M12 (esquerda) e M13 (direita) 29
Figura 16 – Vista Geral da estação M14 (esquerda) e M15 (direita) 30
Figura 17 – Vista Geral da estação M16 (esquerda) e M17 (direita) 30
Figura 18-Contexto geológico da área de influência direta do reservatório da UHE Mauá 32
Figura 19 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná. 33
Figura 20- Localização dos poços de monitoramento dos aqüíferos profundos e situação das baterias de piezômetros, no contexto de um esboço dos compartimentos hidrogeológicos considerados pelo Instituto das Águas do Paraná 38
Figura 21– Aspecto da zona de alteração sobre folhelho da Formação Serra Alta 40
Figura 22– Contato entre folhelho (à esquerda) e dique de diabásio alterado (à direita), nas proximidades da bateria BP1. 41
Figura 23- Afloramento de diamictito com seixos de várias naturezas em matriz lamosa, situado ao lado do poço BP2-P13 42

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Figura 24- Arenito fino e siltito situado após a ponte sobre drenagem a montante do poço BP2-P1. Atualmente esse local está submerso pelas águas do reservatório. 42
Figura 25 - Distribuição dos piezômetros da bateria da margem direita do rio Tibagi (BP1). 44
Figura 26 – Perfil topográfico e situação dos piezômetros da bateria da margem direita do rio Tibagi (BP1). 44
Figura 27 - Distribuição dos piezômetros da bateria da margem esquerda do rio Tibagi (BP2).....44
Figura 28 - Perfil topográfico e situação dos piezômetros da bateria da margem esquerda do rio Tibagi (BP2)..44
Figura 29– Imagem à esquerda: Poço BP1-P02 da bateria de piezômetros BP1 (fevereiro/2013). Imagem à direita: Poços BP2-P01 e BP2-P02 da bateria de piezômetros BP2 (março/2013). 46
Figura 30– Imagem à esquerda: Poços P2 “Parque Ecológico” (abril/2013). Imagem à direita: Poço P3 “Pesquisa florestal” da Klabin (abril/2013). 46
Figura 31– Imagem à esquerda: Poço P4 “Viveiro Florestal poço 1” da Klabin (maio/2010). Imagem à direita: Poços P5 ” Viveiro Florestal poço 2” da Klabin (abril/2013). 46
Figura 32 – Poço P7 UHE Mauá (fevereiro/2013).....47
Figura 33 – Representação da tabela periódica dos elementos, contendo, em vermelho, os elementos químicos analisados neste trabalho.....48
Figura 34 – Variação das concentrações de coliformes termotolerantes, nas fases rio (Rio) e reservatório (Res.). 59
Figura 35 – Variações espaciais e temporais do fósforo total na região de estudo, fase reservatório. 61
Figura 36 – Concentrações de fósforo total nas estações de monitoramento, ao longo das fases rio (Rio) e reservatório (Res.). 62
Figura 37 – Variações espaciais e temporais do nitrogênio total na região de estudo, fase reservatório. 63
Figura 38 – Concentrações de nitrogênio total na região de estudo, nas fases rio (Rio) e reservatório (Res.). 64
Figura 39 – Variações espaciais e temporais do oxigênio dissolvido na região de estudo, fase reservatório. 65
Figura 40 – Variações espaciais e temporais do oxigênio dissolvido na região de estudo, nas fases rio (Rio) e reservatório (Res). 66
Figura 41 – Variações espaciais e temporais do Índice de Qualidade de Água (IQA) na região de estudo, fase reservatório. 66
Figura 42 – Índice de Qualidade de Água (IQA) na região de estudo, fases rio (Rio) e reservatório (Res.). 67
Figura 43 – Perfis verticais de Temperatura e Oxigênio Dissolvido na estação E4. 73
Figura 44 – Perfis verticais de Temperatura e Oxigênio Dissolvido na estação E6. 74
Figura 45 – Perfis verticais de Temperatura e Oxigênio Dissolvido na estação E10. 75
Figura 46 – Gráfico das porcentagens da granulometria da primeira campanha.....79
Figura 47 – Gráfico das porcentagens da granulometria da segunda campanha 80
Figura 48 – Gráfico das porcentagens da granulometria da segunda campanha 81

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Figura 49 – Gráfico das porcentagens da granulometria da segunda campanha 81
Figura 50 – Gráfico das concentrações de carbono orgânico total 86
Figura 51 – Gráfico das concentrações de carbono orgânico dissolvido 86
Figura 52 – Gráfico das concentrações de carbono inorgânico 87
Figura 53 – Concentração de COT em água durante todo o monitoramento 87
Figura 54 – Concentração de COT em água e em sedimento durante todo o monitoramento 88
Figura 55 – Concentração de Nitrogênio Total Kjedahl em sedimento durante todo o monitoramento 89
Figura 56 – Concentração de fósforo total em sedimento durante todo o monitoramento 89
Figura 57 – Concentração de fósforo total em sedimento e em água durante todo o monitoramento 90
Figura 58 – Concentração de nitrogênio total Kjedahl em sedimento e em água durante todo o monitoramento 90
Figura 59 – Porcentual médio da riqueza de espécies por classes considerando as três fases do empreendimento 91
Figura 60 - Representantes do fitoplâncton no rio Tibagi e afluentes, na região do empreendimento UHE Mauá. 91
Figura 61 - Representantes do fitoplâncton no rio Tibagi e afluentes, na região do empreendimento UHE Mauá. 92
Figura 62 - Representantes do fitoplâncton no rio Tibagi e afluentes, na região do empreendimento UHE Mauá. 93
Figura 63 – Mediana e valores máximo e mínimo das densidades celulares médias, por estação de coleta, no período entre julho/12 e setembro/13. 100
Figura 64 - Mediana e valores máximo e mínimo dos valores de clorofila-a, por estação de coleta, no período entre julho/12 e setembro/13. 101
Figura 65 – Contribuição temporal média das densidades celulares fitoplanctônicas por estação de coleta no período entre julho/12 e setembro/13. 101
Figura 66 – Mediana e valores mínimo e máximo das densidades celulares (céls.mL^{-1}) medias das classes do fitoplâncton no peíodo entre julho/12 e setembro/13. 102
Figura 67 – Número de táxons de Rotifera identificados na área de influência da UHE de Mauá nas duas fases de monitoramento. 108
Figura 68 – Variabilidade espacial da riqueza de táxons de Rotifera. 111
Figura 69 – Variabilidade espacial da abundância de táxons de Rotifera. 111
Figura 70 – Número de táxons de Microcrustáceos identificados na área de influência da UHE de Mauá nas duas fases de monitoramento. 112
Figura 71 – Variabilidade espacial da riqueza de táxons de Cladocera. 114

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Figura 72 – Variabilidade espacial da abundância de táxons de Cladocera. 114
Figura 73 – Variabilidade espacial da riqueza de táxons de Copepoda. 115
Figura 74 – Variabilidade espacial da abundância de táxons de Copepoda....115
Figura 75 – Relação entre as densidades totais do zooplâncton, fitoplâncton e pluviosidade 116
Figura 76 – Variação espacial da abundância total do zooplâncton na área de influência da UHE de Mauá, amostrado na fase reservatório. 118
Figura 77 - Foto do reservatório da UHE Mauá na região da barragem, no início do monitoramento na Fase Reservatório, em julho de 2012. Foto de Renan. 121
Figura 78 – Fotos da Estação E1 localizada no rio Tibagi durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim. 122
Figura 79 – Fotos da Estação E2 localizada no rio Tibagi, no Parque Municipal de Telêmaco Borba, durante março de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013no final do monitoramento da Fase Reservatório. Fotos de Rosemary A. Brogim. 122
Figura 80 – Fotos da Estação E3 localizada no rio Imbauzinho durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório.Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim. 123
Figura 81 – Fotos da Estação E4 localizada no rio Tibagi durante abril de 2010 no início do monitoramento na Fase Rio e, em agosto de 2013 no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim. 124
Figura 82 – Fotos da Estação E5 localizada no rio Barra Grande durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e Estação 10 no eixo do reservatório em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim e Agência Estadual de Notícias, 2011. 125
Figura 83 – Fotos da Estação E6 localizada no rio Tibagi, próxima à barragem da UHE Mauá durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em agosto de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim. 126
Figura 84 – Fotos da Estação E7 localizada no rio Tibagi durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim. 126
Figura 85 – Fotos da Estação E9 localizada no rio Tibagi a jusante da barragem da UHE Mauá, durante março e abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro e outubro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim. 127

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Figura 86 – Médias, desvios padrão e erros padrão do número de táxons de macroinvertebrados aquáticos nas oito estações amostrais durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 134
Figura 87– Médias, desvios padrão e erros padrão das abundâncias de macroinvertebrados aquáticos nas oito estações amostrais durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 135
Figura 88 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E1 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 136
Figura 89 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E2 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 136
Figura 90 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E3 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 137
Figura 91 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E4 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 137
Figura 92 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E6 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 138
Figura 93 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E7 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 138
Figura 94 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E9 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 139
Figura 95 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E10 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013. 139
Figura 96 - Relação entre o hábito de vida e número de espécies encontradas nas margens do Rio Tibagi na região do Empreendimento UHE Mauá 144
Figura 97 - Apinagia yguazuensis. A-B: Indivíduos de A. yguazuensis. C: População de A. yguazuensis aderida nas rochas, ocorrente no ponto M9. 145
Figura 98 A-B: Azolla caroliniana. 146
Figura 99 - Commelina sp. 146
Figura 100 - Echinodorus grandiflorus. 147
Figura 101 - Eichhornia crassipes. 148
Figura 102 - Eleocharis sp. 148
Figura 103 - Hedychyum coronarium. 149
Figura 104 - Lemna sp. 149
Figura 105 - Ludwigia nervosa 150
Figura 106 - Ludwigia tomentosa. 150
Figura 107 - Pistia stratiotes 151

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Figura 108 A-C: População de Podostemum irgangii aderida as rochas, ocorrente no Ponto M11, a montante do reservatório da UHE Mauá. 151
Figura 109 - Polygonum sp. 152
Figura 110 - Polygonum ferrugineum....152
Figura 111 - Pontederia cordata....153
Figura 112 - Rhynchospora sp. 153
Figura 113 - Salvinia minima....154
Figura 114 - Urochloa plantaginea. 154
Figura 115 - Associação de espécies com potencial de crescimento excessivo encontrada nos pontos amostrados. 155
Figura 116 - Lemna minuta e Salvinia minima associadas flutuando pelo reservatório. 155
Figura 117 - Área de remanso do reservatório da UHE Mauá com ocorrência de espécies flutuantes com potencial de crescimento excessivo (imagem à esquerda). Associação de espécies flutuantes livres em área de remanso do reservatório da UHE Mauá - E. crassipes, P. cordata, S. minima, L. minuta (Imagem à direita)....156
Figura 118 - Área de remanso do reservatório da UHE Mauá com formação de extenso banco de macrófitas flutuantes. 156
Figura 119 A-B: Associação de espécies flutuantes livres em área de remanso do reservatório da UHE Mauá (E. crassipes, P. cordata, S. minima, L. minuta). 157
Figura 120 - Vegetação de margem do Reservatório UHE Mauá, sob a ponte do Rio Barra Grande. 157
Figura 121 - Margem do reservatório da UHE Mauá evidenciando as marcas do nível elevado do rio. 158
Figura 122 - Margem do Reservatório da UHE Mauá, evidenciando a vegetação seca devido ao nível do rio. ..158
Figura 123 - Macrófitas flutuantes encontradas no ponto M10. 159
Figura 124 - Eicchornia crassipes encontrada entre a vegetação de margem no ponto M11. 159
Figura 125 - Eicchornia crassipes encontrada no ponto M12, próximo a ponto da PR-140, sob o Rio Tibagi, na cidade de Tibagi. 159
Figura 126 – Perfis piezométricos medidos em dez campanhas na BP1, situada na margem direita do rio Tibagi, no município de Telêmaco Borba. A figura foi construída com os dados constantes da Tabela 45. 182
Figura 127– Perfis piezométricos medidos nas oito últimas campanhas na BP2, situada na margem esquerda do rio Tibagi no município de Ortigueira. A figura foi construída com os dados constantes da Tabela 46. 183
Figura 128– Variação na condutividade da água medida nas amostras coletadas na BP1 em 2013, nos piezômetros P1 a P13. Os dados apresentados na figura constam da Tabela 47. 184
Figura 129– Valores de pH ao longo da secção do terreno coberta pela bateria de piezômetros BP1, Os dados usados nos gráficos constam da Tabela 29 184

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Figura 130– Variação na condutividade da água medida em amostras coletadas na BP2 nas campanhas realizadas em 2008, nos piezômetros P1 a P13. Os dados apresentados na figura constam da Tabela 48. 185
Figura 131– Valores de pH ao longo da secção do terreno coberta pelos pela bateria de piezômetros BP2. 185
Figura 132 – Diagrama de Durov modificado representando os PRI (polígonos de relações inter-iônicas) dos piezômetros da BP1 e do Reservatório no período 2012-2013. 187
Figura 133 – Diagrama de Durov modificado representando os PRI (polígonos de relações inter-iônicas) dos piezômetros da BP2 no período 2012-2013 e do Reservatório. 188
Figura 134- Variação da concentração de lítio em 2011/2012 nos piezômetros.....190
Figura 135- Variação da concentração de sódio em 2011/2012 nos piezômetros. 191
Figura 136- Variação da concentração de potássio em 2011/2012 nos piezômetros. 191
Figura 137- Variação da concentração de rubídio em 2011/2012 nos piezômetros. 191
Figura 138- Variação da concentração de magnésio em 2011/2012 nos piezômetros. 192
Figura 139- Variação da concentração de cálcio em 2011/2012 nos piezômetros. 192
Figura 140 - Variação da concentração de estrôncio em 2011/2012 nos piezômetros.....193
Figura 141 - Variação da concentração de bário em 2011/2012 nos piezômetros. 193
Figura 142 - Variação da concentração em manganês de 2011 a 2012 nos piezômetros. 194
Figura 143 - Variação da concentração de cobalto em 2011/ 2012 nos piezômetros.....194
Figura 144 - Variação da concentração de chumbo de 2011/ 2012 nos piezômetros.....195
Figura 145 - Variação da concentração de cádmio de 2011/ 2012 nos piezômetros. 195
Figura 146 - Variação da concentração de zinco de 2011/ 2012 nos piezômetros.....196
Figura 147 - Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP1-P1, em comparação com a água do rio Tibagi.....197
Figura 148 - Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP1-P13, em comparação com a água do rio Tibagi.....197
Figura 149- Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP2-P1, em comparação com a água do rio Tibagi. 198
Figura 150- Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP2-P13, em comparação com a água do rio Tibagi. 198
Figura 151– Proporções molares de cobalto níquel e cobre no BP1-P1, BP1-P13 em águas do reservatório da UHE Mauá e em diabásios do local. 200
Figura 152 – Proporção molar de cobalto, níquel e cobre no BP2-P1, BP2-P13 e em água do reservatório da UHE Mauá e em diabásios do local. 201
Figura 153 – Proporção molar relativa de rubídio, estrôncio e bário na BP1-P1 e BP1-P13, em água do Reservatório da UHE Mauá e em diabásios do local. 202

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Figura 154 – Concentração de rubídio, estrôncio e bário em BP1-P1 e BP1-P13 com a nuvem de pontos expandida. 203
Figura 155 – Concentração de rubídio, estrôncio e bário em BP2-P1 e BP2-P13, com a nuvem de pontos expandida. 204
Figura 156 – Diagrama de estabilidade de compostos sílico-aluminosos do sistema Al-Si-Na-H_2O. 205
Figura 157– Diagrama de estabilidade de compostos sílico-aluminosos do sistema Al-Si-Na-H_2O. 206
Figura 158 – Diagrama de estabilidade de compostos sílico-aluminosos do sistema Al-Si-Ca-H_2O. 206
Figura 159 - Altitude do nível da água no BP1-P1 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de agosto de 2013. 207
Figura 160- Altitude do nível da água no BP1-P13 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de agosto de 2013. 207
Figura 161- Altitude do nível da água no BP1-P1 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento. 208
Figura 162 - Altitude do nível da água no BP1-P13 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento. 208
Figura 163- Altitude do nível da água no BP2-P1 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de agosto de 2013. 209
Figura 164- Altitude do nível da água no BP2-P13 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de agosto de 2013. 209
Figura 165 - Altitude do nível da água no BP2-P1 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento. 210
Figura 166 - Altitude do nível da água no BP2-P13 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento. 210
Figura 167 – Temperaturas obtidas por medidores automáticos nos piezômetros BP2-P01 e BP2-P13 entre 17/10/2011 e 19/08/2013. 211
Figura 168 – Diagrama de Korjinski para minerais do sistema Na – Al – SiO_2 – H_2O para águas dos aquíferos profundos coletadas nos poços P2, P3, P5 e P7 entre agosto de 2012 e março de 2013. 214
Figura 169 – Diagrama de Korjinski para minerais do sistema Ca – Al – SiO_2 – H_2O para as águas dos aquíferos profundos amostradas nos poços P2, P3, P5 e P7 entre agosto de 2012 e março de 2013. 215
Figura 170 – Diagrama de Wilcox para águas dos aquíferos profundos dos poços P2, P3, P5 e P7, coletadas entre agosto de 2012 e março de 2013. 216
Figura 171 – Diagrama de Durov contendo os polígonos de relações interiônicas envolventes da água dos aquíferos profundos em amostras coletadas entre 2010 e 2013. 217
Figura 172 – Diagrama de Durov representando a água dos aquíferos profundos coletadas em 2012 e 2013. .219

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição e localização das estações de amostragem. 4
Tabela 2 – Pesos dos parâmetros do IQA 6
Tabela 3 – Classificação do Índice de Estado Trófico 8
Tabela 4 – Variáveis para o IQAR e seus respectivos pesos. 9
Tabela 5 - Matriz da Qualidade de água 10
Tabela 6 – Variáveis que influenciam na tendência corrosiva e incrustante das águas, suas respectivas fontes e importâncias 12
Tabela 7 – Interpretação dos resultados do LSI 14
Tabela 8 – Interpretação dos resultados do RSI 14
Tabela 9 – Interpretação dos resultados do ILR 15
Tabela 10 – Análises realizadas no sedimento 17
Tabela 11 – Descrição dos pontos amostrados e respectivas coordenadas geográficas (UTM). 26
Tabela 12 - Localização dos poços tubulares profundos utilizados para o monitoramento da qualidade da água subterrânea de aquíferos paleozóicos na área do reservatório da UHE Mauá. 39
Tabela 13- Localização e altitude da laje de acabamento e proteção superficial dos piezômetros da bateria da margem direita do rio Tibagi (BP1). 43
Tabela 14- Localização e altitude da laje de acabamento e proteção superficial dos piezômetros da bateria da margem esquerda do rio Tibagi (BP2). 43
Tabela 15- Variáveis analisadas nas águas e métodos analíticos empregados. 47
Tabela 16 – Pluviosidade Acumulada em 7 dias anteriores à coleta, por estação de monitoramento. 49
Tabela 17 – Dados de monitoramento de qualidade de água da fase reservatório para a estação E1. 50
Tabela 18 – Dados da fase reservatório para a estação E2 51
Tabela 19 – Dados da fase reservatório para a estação E3 52
Tabela 20 – Dados da fase reservatório para a estação E4 53
Tabela 21 – Dados da fase reservatório para a estação E6 54
Tabela 22 – Dados da fase reservatório para a estação E7 55
Tabela 23 – Dados da fase reservatório para a estação E9 56
Tabela 24 – Dados da fase reservatório para a estação E10 57
Tabela 25 – Resultados do IET por estação de amostragem, ao longo da fase reservatório. 68
Tabela 26 – Resultados do IQAR para as estações E6 e E10, ao longo da fase reservatório. 69
Tabela 27 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à primeira campanha de monitoramento durante a fase reservatório. 77

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Tabela 28 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à segunda campanha de monitoramento durante a fase reservatório. 77
Tabela 29 - Resultados dos parâmetros analisados em relação ao CQS , abril/13, fase reservatório. 78
Tabela 30 - Resultados dos parâmetros analisados em relação ao CQS , agosto/13, fase reservatório. 78
Tabela 31 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à primeira campanha de monitoramento durante a fase rio. 83
Tabela 32 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à segunda campanha de monitoramento durante a fase rio. 83
Tabela 33 - Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à terceira campanha de monitoramento durante a fase rio. 84
Tabela 34 - Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à primeira campanha de monitoramento durante a fase intermediaria. 84
Tabela 35 - Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à segunda campanha de monitoramento durante a fase intermediária. 85
Tabela 36 – Listagem de táxons do fitoplâncton encontrados nos meses de julho/12 a setembro/13, por estação de monitoramento, na região do empreendimento 93
Tabela 37 – Dados de ocorrências das superpopulações de microalgas no período entre julho/12 e setembro/13. 102
Tabela 38 – Lista de táxons e frequência de táxons de Rotifera amostrados na fase reservatório na área de influência da UHE de Mauá. 108
Tabela 39 – Lista de táxons e frequência de táxons de Microcrustáceos amostrados na fase reservatório na área de influência da UHE de Mauá. 112
Tabela 40 – Lista de táxons de macroinvertebrados aquáticos amostrados nas oito estações de coleta ao longo do rio Tibagi e tributários sob influência do reservatório da Usina Hidrelétrica Mauá, durante a Fase Reservatório 129
Tabela 42 Resultados de análises da possível presença de larvas de mexilhão dourado nas amostras coletadas na fase reservatório do Programa de Monitoramento da Qualidade de Água da UHE Mauá. 142
Tabela 43 - Lista das espécies encontradas nas margens do Rio Tibagi (Paraná, Brasil), respectivas famílias, nome comum, hábito e ocorrência nos pontos amostrais 144
Tabela 44 – Atividades de campo desenvolvidas nas baterias de piezômetros entre dezembro de 2010 e agosto de 2013. 162
Tabela 45 – Perfis piezométricos anotados na BP1 nas campanhas de 09/2012 a 08/2013. 163
Tabela 46 – Perfis piezométricos anotados na BP2 nas campanhas de 09/2012 a 08/2013. 164

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Tabela 47 – Perfis de condutividade elétrica (µS.cm^{-1}), anotados na BP1 nas campanhas de 08/2012 a 08/2013. 164
Tabela 48 – Perfis de condutividade elétrica (µS.cm^{-1}), anotados na BP2 nas campanhas de 08/2012 a 08/2013. 164
Tabela 49 – Componentes iônicos majoritários determinados em amostras de água do freático, coletadas nas baterias de piezômetros BP1 e BP2.....165
Tabela 50 – Temperatura, condutividade, pH, alcalinidade e sólidos totais dissolvidos medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros, em 2012 e 2013. 166
Tabela 51 – Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S e Cl em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.....167
Tabela 52 – K, Ca, Sc,Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni e Cu em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.....168
Tabela 53 – Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr e Y em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.....169
Tabela 54 – Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In e Sn em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.....170
Tabela 55 – Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.....170
Tabela 56 – Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.....171
Tabela 57 – W, Re, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th e U em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.....172
Tabela 58 - Poços tubulares profundos amostrados nas campanhas de 2012/2013. 174
Tabela 59 - Componentes iônicos majoritários determinados em amostras de água coletadas em poços tubulares profundos em 2012/2013. 174
Tabela 60 - Condutividade, pH, alcalinidade e sólidos totais dissolvidos medidos em amostras de água coletadas nos poços tubulares profundos, em 2012 e 2013. 175
Tabela 61 – Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S e Cl em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 177
Tabela 62 - K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co e Ni em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 177
Tabela 63 - Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr e Y em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 178

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

Tabela 64 - Zr, Nb, Mo, Ru,Rh, Pd, Ag, Cd, In e Sn em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 178
Tabela 65 – Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm e Eu em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 179
Tabela 66 – Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf e Ta em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 180
Tabela 67 - W, Re, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th e U em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 181
Tabela 68– Quadro de identificação das datas de coletas de amostras e os números das representações gráficas das figuras.....189
Tabela 69 – Índices de saturação para alguns minerais, nas amostras coletadas em poços profundos, calculados pelo programa computacional PHREEQC nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013. 213

Reproduções deste documento só têm valor se forem integrais e autorizadas pelo LACTEC

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se ao acompanhamento do Programa de Monitoramento da Qualidade de Água do Projeto Básico Ambiental do Empreendimento Hidrelétrico UHE Mauá, localizado no rio Tibagi. Os resultados são referentes ao monitoramento da Fase Reservatório, que teve início em julho de 2012 e foi finalizado em setembro de 2013.

Neste documento são apresentados resultados de três sub-programas inseridos no Programa supracitado. São eles: Sub-Programa de Monitoramento das Condições Limnológicas e da Qualidade da Água, Sub-Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas e Sub-Programa de Macrófitas Aquáticas.

O Sub-Programa de Monitoramento das Condições Limnológicas e da Qualidade da Água apresenta dados físicos, químicos e biológicos da água superficial e das comunidades de fitoplâncton, zooplâncton e macroinvertebrados bentônicos das águas do rio Tibagi na região do empreendimento. Também são apresentados resultados do monitoramento da possível ocorrência de *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado) na área de estudo. O referido sub-Programa foi realizado entre julho/12 e setembro/13 e contou com 13 campanhas de monitoramento.O Sub-Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas teve suas atividades retomadas em novembro/12. No presente relatório são apresentados os resultados das quatro campanhas da Fase Reservatório, referentes aos meses de novembro/12, fevereiro/13, maio/13 e agosto/13. Este sub-programa segue uma temporalidade própria, visando uma amostragem sazonal na região do empreendimento.

O Sub-Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas, que ocorreu paralelamente ao Sub-Programa de Monitoramento das Condições Limnológicas e da Qualidade da Água, apresenta características físicas e químicas das águas subterrâneas do freático da região, através da análise de dados coletados em piezômetros instalados na área onde se insere o empreendimento, bem como de aquíferos estabelecidos em rochas paleozóicas, a partir de dados coletados em poços profundos na área supracitada.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O empreendimento UHE Mauá (Figura 1) está situado no trecho médio do rio Tibagi, região centro-leste do Estado do Paraná. As nascentes do rio Tibagi localizam-se entre os municípios de Campo Largo, Palmeira e Ponta Grossa (Segundo Planalto Paranaense), no centro-sul do Estado, e tem sua foz na margem esquerda do rio Paranapanema, que faz divisa entre os estados do Paraná e São Paulo.

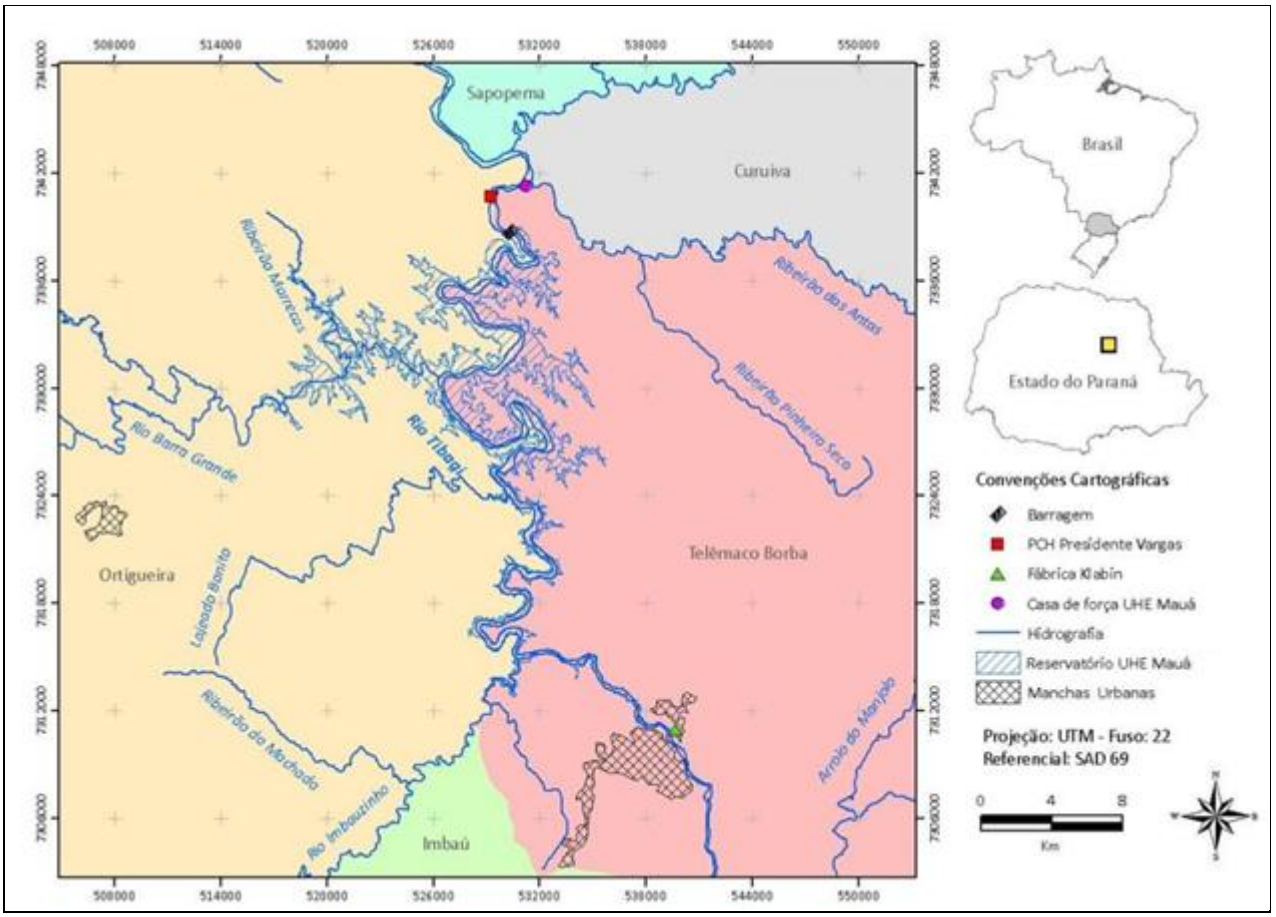

Figura 1 - Localização da Área de Estudo.

A barragem está situada nas coordenadas UTM (N) 7338819 e (E) 529752, na divisa dos municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira. Este barramento situa-se a montante da atual PCH Presidente Vargas (pertencente à empresa Klabin Papel e Celulose S.A.) e está acompanhado das estruturas do vertedouro e de uma casa de força complementar, que turbinará a vazão ecológica. A casa de força principal está projetada a jusante, próxima à foz do ribeirão das Antas.

No que concerne à geologia, a região da usina é imposta sobre um pacote sedimentar de rochas granulares, onde dominam as frações finas com alguns estratos mais grosseiros com características aqüíferas. Ocorrem alguns níveis pouco espessos contendo carbonatos, geralmente sob a forma de cimento carbonático. Todo este conjunto sedimentar foi seccionado por um sistema de fraturas que abrigam diques de diabásio, interrompendo a continuidade das unidades sedimentares.

2.2 Procedimentos Técnicos

Os procedimentos aqui adotados seguem as orientações descritas no PBA da UHE Mauá para o Programa de Monitoramento da Qualidade da Água, bem como os Sub-programas de Monitoramento das Condições Limnológicas e da Qualidade da Água, Monitoramento das Águas Subterrâneas e Macrófitas Aquáticas. Para o entendimento do presente documento, sugere-se que o leitor tenha tomado ciência de documentos anteriores, como o Relatório Final da Fase Rio.

2.2.1 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Superficiais

2.2.1.1 Malha amostral e frequência de amostragem

O monitoramento da qualidade de águas superficiais do empreendimento UHE Mauá teve inicio em dezembro de 2009, com a Fase Rio. A Fase Reservatório, referente ao Sub-Programa de Monitoramento de Águas Superficiais, iniciou-se em julho/12, com o enchimento do reservatório, e contou com análises físico-químicas e bacteriológicas da água, bem como análises das comunidades fitoplanctônica, zooplanctônica e de macroinvertebrados bênticos. No presente relatório são apresentados os dados de 13 campanhas de monitoramento da referida fase.

As estações de amostragem utilizadas para o monitoramento das águas superficiais formam uma malha amostral de oito pontos. A mesma malha amostral foi utilizada para a coleta de sedimentos, no entanto, com temporalidade diferente. A maior parte destas estações corresponde a estações monitoradas na Fase Rio. Assim como já reportado no relatório trimestral anterior, duas delas foram alteradas para melhor contemplar a nova estrutura do ecossistema, com a formação do reservatório. Estas alterações contaram com a anuência do órgão ambiental, e encontram-se descritas a seguir:

A estação E5, localizada na foz do rio Barra Grande, foi desativada e realocada no próprio rio Barra Grande, mas na região lacustre, próximo à ponte sobre o reservatório, sendo agora denominada

estação E10. A estação E4, localizada na região do Salto Aparado, agora porção média do reservatório foi reativada e a estação E8, a jusante do empreendimento, localizada no ribeirão das Antas foi desativada. A descrição de todas as estações de amostragem encontra-se na Tabela 1 e está ilustrada na Figura 2. As coordenadas UTM apresentadas são referentes à ultima campanha realizada, uma vez que a posição das mesmas pode variar em função do processo de enchimento do reservatório.

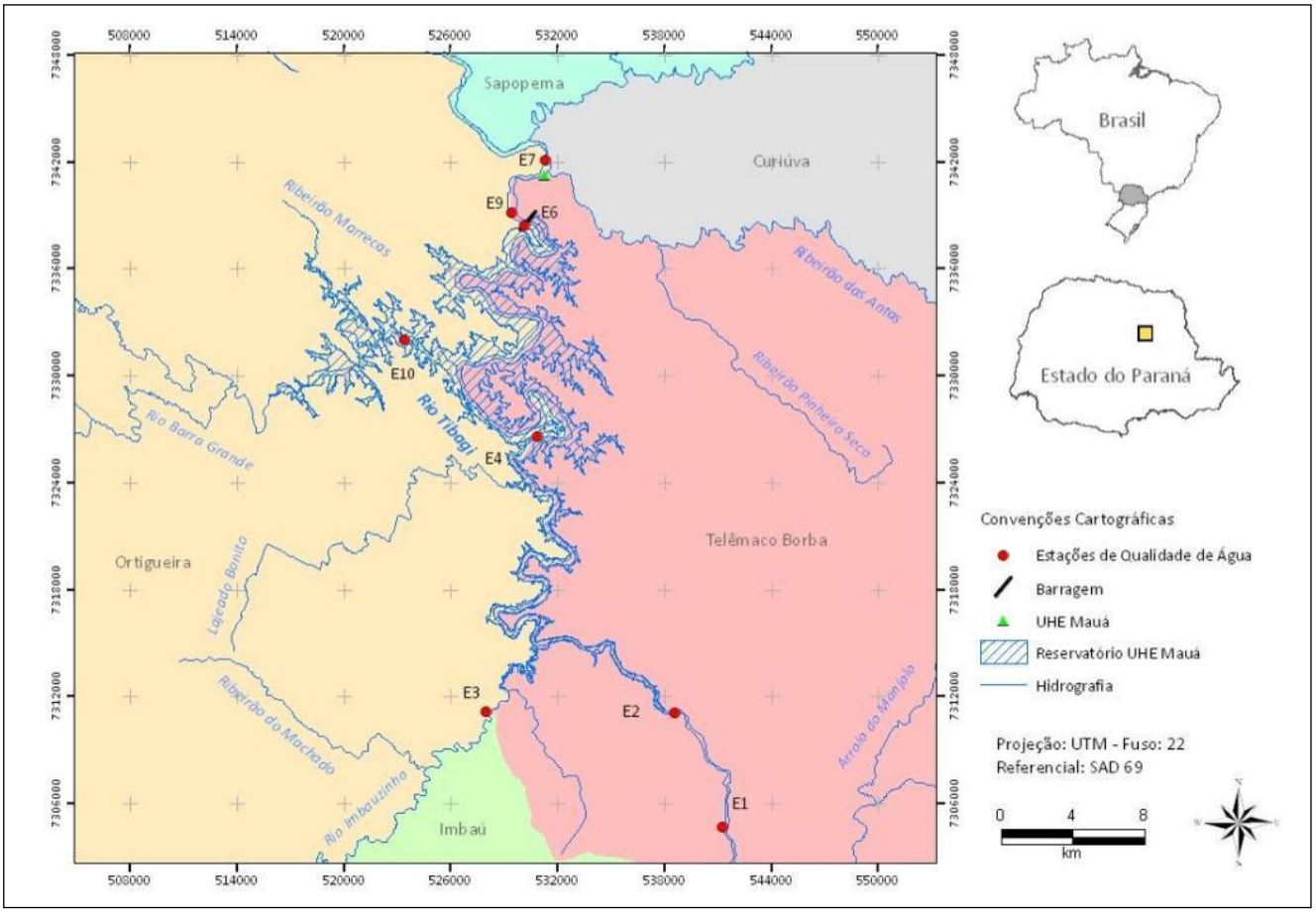

Figura 2 - Localização das estações de amostragem de águas superficiais na área de estudo.

Tabela 1 - Descrição e localização das estações de amostragem.

Estação	Descrição	Coordenadas (UTM)	
		E	N
E1	Rio Tibagi, a montante de Telêmaco Borba	541329	7304731
E2	Rio Tibagi, início do reservatório da UHE Mauá, a jusante da fábrica da Klabin	538643	7311136
E3	Rio Imbauzinho, a montante do futuro reservatório	528032	7311178
E4	Rio Tibagi, porção média reservatório da UHE Mauá	530888	7326642
E6	Rio Tibagi, reservatório da UHE Mauá, proximidades da barragem (montante)	530162	7338488
E7	Rio Tibagi, a jusante da casa de força	531335	7342172
E9	Rio Tibagi, a jusante da barragem	529442	7339171
E10	E10 - Rio Barra Grande, sob ponte do reservatório da UHE Mauá	523407	7332078

2.2.1.2 Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas

A metodologia de coleta de amostras de água seguiu o estabelecido por Santos *et al.* (2001). As amostras coletadas foram do tipo "simples", caracterizado por uma única amostra coletada em um ponto, em um determinado instante e depositada em um frasco individual. Esse tipo de amostra representa somente o local específico, naquele determinado tempo em que a coleta foi realizada.

As amostragens foram realizadas manualmente pela imersão de um frasco no corpo de água até a profundidade desejada, sendo o mesmo inclinado com a boca direcionada contra a corrente até se obter o volume desejado. Em seguida, os frascos foram devidamente vedados. Nas estações E6 e E10 foram realizadas coletas em diferentes profundidades, com o auxílio de garrafa de Van Dorn, e de acordo com o método do IQAR, descrito posteriormente.

Quanto ao acondicionamento das amostras, os frascos utilizados eram quimicamente inertes, a fim de evitar reações com as amostras. De acordo com a análise desejada, os frascos podiam ser de polietileno, vidro neutro ou borossilicato âmbar. Os frascos foram devidamente identificados com etiquetas contendo o nome do projeto, o local de amostragem (estação de coleta), data e horário da coleta, tipo de preservação e parâmetro a ser determinado. Para transporte os mesmos foram acondicionados em caixas térmicas com gelo.

As amostras para fins de determinação microbiológica (coliformes totais e termotolerantes) foram coletadas antes de qualquer outra amostra, para evitar risco de contaminação do local por frascos não-estéreis.

As fichas de campo foram preenchidas pela equipe de coleta com as seguintes informações: procedência da amostra, data e hora de coleta, técnico responsável pela coleta, tipo de amostra coletada, descrição das condições climáticas no momento da coleta e no período de 48 horas anteriores, informações sobre a localização do ponto de amostragem incluindo as coordenadas geográficas, altitude, profundidade do local e de coleta, largura da seção transversal, medição de parâmetros no campo tais como OD, temperatura do ar e da água, profundidade do disco de Secchi e leitura de nível (esta última, quando aplicável).

Após a coleta, as amostras foram enviadas sob refrigeração para cada um dos laboratórios responsáveis pelas respectivas análises na maior brevidade possível, a fim de evitar alterações físicas, químicas ou biológicas no material coletado.

Quanto ao diagnóstico da qualidade da água do rio Tibagi, na região do empreendimento UHE Mauá, tomou-se como base a análise de uma série de variáveis de qualidade de água. Para tanto, os

valores obtidos para as variáveis foram comparados com os limites dispostos pela legislação ambiental, quando pertinente. O diagnóstico também se valeu dos resultados obtidos a partir do Índice de Qualidade da Água (IQA), que incorpora nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas e do Índice do Estado Trófico (IET). Este último tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas (CETESB, 2010). Para a avaliação da qualidade das águas do reservatório foi utilizado o IQAR (Índice de Qualidade de Água de Reservatórios), desenvolvido pelo IAP (2009), que incorpora diferentes variáveis de qualidade de água em até três profundidades de coleta.

A metodologia dos ensaios realizados mantém-se a mesma de relatórios anteriores. Para maior referência, consultar LACTEC (2011).

Cabe destacar que as medições de concentração de oxigênio dissolvido são realizadas *in situ* por meio de sonda multiparamétrica modelo YSI 6820 e YSI 6920.

Índice de Qualidade da Água (IQA)

Na metodologia do IQA, para cada uma das nove variáveis (ou parâmetros) de qualidade de água que compreendem o índice corresponde uma curva de variação da qualidade da água, que o correlaciona a um sub-índice q, e um peso de importância w (Tabela 2).

Tabela 2 – Pesos dos parâmetros do IQA

Parâmetro	Peso (w)
Oxigênio dissolvido (OD)	0,17
Coliformes fecais	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Temperatura (desvio)	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08

A formulação do índice é o produtório ponderado dos sub-índices (q_i) de cada parâmetro (i):

$$IQA = \prod_{i=1}^{w} q_i^{wi}$$

A classificação da qualidade da água superficial pelo IQA é dividida em cinco classes: ÓTIMA (IQA: 80-100); BOA (IQA: 52-79); ACEITÁVEL (IQA: 37-51); RUIM (IQA: 20-36) e PÉSSIMA (IQA: 0-19).

Índice do Estado Trófico (IET)

O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) segue a mesma metodologia adotada pela CETESB que utiliza o Índice de Estado Trófico de Carlson (1977) modificado por Toledo *et al.* (1983 e 1984). Desta forma, das iniciais três variáveis apenas duas são aplicadas para o cálculo do índice, clorofila-a e fósforo total. O emprego dos valores de transparência (disco de Secchi) para a obtenção do IET, de acordo com CETESB (2011), pode não ser ideal, visto que tais valores muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois podem ser afetados pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos.

Na avaliação correspondente a clorofila-a, o índice é tido como medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador do processo de eutrofização, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas que tem lugar em suas águas (CETESB, 2011). Em relação ao fósforo, consideram-se os resultados como uma medida do potencial de eutrofização do corpo hídrico, uma vez que este nutriente atua como o agente causador do processo (CETESB, 2011).

Assim o Índice do Estado Trófico, será composto pelo Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila-a – IET(CL), modificados por Lamparelli (2004), sendo que as equações para rios e reservatórios serão utilizadas, respectivamente, para ambientes lóticos (estações E1, E2, E3, E7 e E9) e lênticos (estações E4, E6 e E10), seguindo a classificação presente na CONAMA 357/05.

RIOS

$$IET(CL) = 10.\left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6.\ln CL}{\ln 2}\right)\right] - 20$$

$$IET(PT) = 10.\left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36.\ln PT}{\ln 2}\right)\right] - 20$$

RESERVATÓRIOS

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

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

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L^{-1};

CL: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em µg.L^{-1};

ln: logaritmo natural.

Nos meses em que estejam disponíveis dados de ambas variáveis, o resultado apresentado nas tabelas será a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila-a, segundo a equação:

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

O resultado final segue a classificação abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação do Índice de Estado Trófico

Categoria	Ponderação
Ultraoligotrófico	***IET ≤ 47***
Oligotrófico	***47 < IET ≤ 52***
Mesotrófico	***52 < IET ≤ 59***
Eutrófico	***59 < IET ≤ 63***
Supereutrófico	***63 < IET ≤ 67***
Hipereutrófico	***IET > 67***

Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR)

A metodologia do IQAR foi desenvolvida pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP, 2002) e atualizada em 2009 (IAP, 2009) com o objetivo de conhecer as principais características ecológicas de cada reservatório, determinando, em particular, a qualidade das águas e sua tendência ao longo do tempo.

O método define amostragens de água em duas profundidades (Prof.I e Prof.II) para todas as variáveis que compõem este índice (Tabela 4) e, nos casos de anóxia (ausência de oxigênio), em uma terceira profundidade da coluna de água (Prof.III). Exceção se faz à clorofila-a, amostrada apenas na

profundidade I, e às variáveis OD e temperatura, cujas medidas são feitas metro a metro ao longo da profundidade.

As medidas de oxigênio dissolvido e temperatura foram utilizadas para o cálculo da porcentagem de saturação e déficit de oxigênio dissolvido em cada profundidade. Para o cálculo do IQAR o déficit de OD representou a média desta variável ao longo da coluna de água.

Tabela 4 – Variáveis para o IQAR e seus respectivos pesos.

Variáveis	*Pesos (wi)*
Déficit de oxigênio dissolvido (%) *	*17*
Fósforo Total (mg.L^{-1} P) **	*12*
Nitrogênio Inorgânico Total (mg.L^{-1} N) **	*8*
Clorofila "a" (µg.L^{-1}) ***	*15*
Profundidade Secchi (metros)	*12*
DQO (mg.L^{-1} O_2) **	*12*
Cianobactérias (nº de cél.mL^{-1}) ***	*8*
Tempo de residência (dias)	*10*
Profundidade Média (metros)	*6*

(*) média da coluna de água
(**) média das profundidades I e II
(***) Concentração da profundidade I

O cálculo das profundidades I, II e III, onde devem ser realizadas as amostragens, é realizado com o valor da profundidade do corpo de água e da medida do Disco de Secchi, segundo as fórmulas:

Profundidade I = Z_{dS} x 0,54, onde: Z_{ds}= profundidade de Secchi; 0,54 = fator de cálculo da profundidade da zona eufótica onde há 40% da luz incidente (representativa da camada de maior produção primária, i.e, da zona trofogênica).

Profundidade II = (Z_{max} + Z_{eu}) / 2, onde: Z_{max}= profundidade máxima (m) na estação de amostragem; Z_{eu}=zona eufótica, que é igual à profundidade de Secchi x 3 (sendo 3 o fator de cálculo da profundidade onde há aproximadamente 1% da luz que incide na superfície da água e na qual a respiração e a decomposição predominam sobre a produção).

Profundidade III = (início Z_{anox} + final Z_{anox}) / 2, onde: Z_{anox} = zona de anóxia; a profundidade III representa a porção intermediária da zona de anóxia.

O cálculo do IQAR é feito segundo a fórmula:

$$IQAR = \frac{\sum(wi \times qi)}{\sum wi}$$

onde: *wi* é o peso da variável e *qi* a classe da variável

A classe de cada variável (qi) é um valor numérico entre 1 e 6 (Tabela 5) e é definida pela média dos valores de cada variável nas Profundidades I e II, e, nos casos excepcionais, também na profundidade III, observando-se os intervalos da Matriz de Qualidade de Água. Com relação ao déficit de OD, o valor que define a respectiva classe (qi) representa a média dos déficits calculados metro a metro na coluna de água (o déficit é calculado a partir das medidas de OD e dos respectivos percentuais de saturação).

Tabela 5 - Matriz da Qualidade de água

Variáveis	Classes (qi) *					
	1	2	3	4	5	6
Déficit de Oxigênio (%)	≤ 5	6 - 20	21 - 35	36 - 50	51 - 70	> 70
P Total (mg.L^{-1})	≤ 0,010	0,011 - 0,025	0,026 - 0,040	0,041 - 0,085	0,086 - 0,210	> 0,210
N Inorg. Total (mg.L^{-1})	≤ 0,15	0,16 - 0,25	0,26 - 0,60	0,61 - 2,00	2,00 - 5,00	> 5,00
Clorofila “a” (µg.L^{-1})	≤ 1,5	1,5 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	11,0 - 32,0	> 32
Disco de Secchi (m)	≥ 3	3 - 2,3	2,2 - 1,2	1,1 - 0,6	0,5 - 0,3	< 0,3
DQO (mg.L^{-1})	≤ 3	3 - 5	6 - 8	9 - 14	15 - 30	> 30
Tempo de residência (dias)	≤ 10	11 - 40	41 - 120	121 - 365	366 - 550	> 550
Profundidade média (m)	≥ 35	34 - 15	14 - 7	6 - 3,1	3 - 1,1	< 1
Cianobactérias (cel. mL^{-1}) *	≤ 1.000	1.001 - 5.000	5.001 - 20.000	20.001 - 50.000	50.001 - 100.000	> 100.000

* Modificada pelo IAP em 2009

A cada campanha de monitoramento são calculados IQAR parciais, sendo que o IQAR final, que define a classe do reservatório, é obtido pela média dos índices parciais. O valor numérico do IQAR final classifica o reservatório em uma das seis classes, que representam diferentes níveis de comprometimento, conforme descrição abaixo:

- **Classe I** (não impactado a muito pouco degradado): corpos de água saturados de oxigênio, baixas concentrações de nutrientes e matéria orgânica, alta transparência das águas, densidade de algas muito baixa, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média. A qualidade da água é excelente/ótima;
- **Classe II** (pouco degradado): corpos de água com pequeno aporte de nutrientes, orgânicos e inorgânicos, e matéria orgânica, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média. A qualidade da água é muito boa/boa;
- **Classe III** (moderadamente degradado): corpos de água com déficit considerável de OD na coluna d’água, podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos, médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e/ou densidade de

algumas espécies de algas (sendo que algumas espécies podem ser predominantes), tendência moderada à eutrofização, tempo de residência das águas considerável. A qualidade da água é regular/aceitável;

- **Classe IV** (criticamente degradado a poluído): corpos de água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de OD da coluna de água, consideráveis aportes de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas e/ou cianobactérias, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente à alta turbidez biogênica, ocorrência possível de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado déficit de OD. A qualidade da água é crítica/ruim;
- **Classe V** (muito poluído): corpos de água com altas concentrações de matéria orgânica, geralmente supersaturação de OD na camada superficial e baixa saturação na camada de fundo, grande aporte e alta reciclagem de nutrientes, corpos de água eutrofizados, com florações de algas e/ou cianobactérias que frequentemente cobrem grandes extensões da superfície da água, o que limita a sua transparência. A qualidade da água é muito ruim;
- **Classe VI** (extremamente poluído): corpos de água com condições bióticas seriamente restritas, resultantes da severa poluição por matéria orgânica ou outras substâncias consumidoras de OD , ocasionalmente ocorrem processos de anoxia em toda a coluna de água, aporte e reciclagem de nutrientes muito altos, águas hipereutróficas, com intensas florações de algas e/ou cianobactérias cobrindo todo o espelho d'água e eventual presença de substâncias tóxicas. A qualidade da água é péssima.

Índices de Estabilidade da Água

Analisar a tendência corrosiva ou incrustante das águas doces é um critério importante para a escolha, tratamento e manutenção de materiais que estão em contato com a água. As barragens e casas de forças de usinas hidrelétricas, as tubulações de captação e distribuição de água para abastecimento e as hidrovias são exemplos de atividades para as quais a análise dessa tendência faz-se relevante. A corrosão e incrustação das águas estão ligadas a uma série de variáveis físico-químicas, as quais são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Variáveis que influenciam na tendência corrosiva e incrustante das águas, suas respectivas fontes e importâncias

Parâmetro	Forma do constituinte	Importância
pH	Sólidos dissolvidos e gases dissolvidos provindos da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese e despejos domésticos e industriais	Prevenção da corrosão e redução da dureza. pH baixo indica potencial corrosivo e agressividade. pH elevado possibilidade de incrustações
Alcalinidade	Sólidos dissolvidos como os HCO_3^-, CO_3^- e OH^-, oriundos da dissolução de rochas, reação do CO_2 com a água e de despejos industriais	Indica a capacidade da água de neutralizar os ácidos. Assim como o pH, a alcalinidade é importante para prevenção da corrosão e da redução da dureza
Sólidos Totais Dissolvidos	Correspondem aos sais e à matéria orgânica dissolvida oriunda das impurezas físicas da água capazes de passar por um papel de filtro	Influenciam as variações de pH, alcalinidade, condutividade e dureza
Dureza	Sólidos Dissolvidos provindos da dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio	Causa incrustações nas tubulações de água quente, caldeias e aquecedores devido a maior precipitação em temperaturas elevadas
Condutividade	Sólidos Dissolvidos correspondentes aos sais	Representação indireta da quantidade de íons na água (HCO_3^-, Ca^{2+}, CO_3^-, Cl^-, Mg^{2+}, NO_3^-, K^+, Na^+, SO_4^{2-}) que por sua vez estão relacionados aos parâmetros acima
Temperatura	Transferência de calor com a atmosfera e com os despejos domésticos e industriais	Temperatura elevada aumenta a solubilidade dos sólidos e diminui a solubilidade dos gases
Velocidade do Fluxo	Característica hidrodinâmica do curso d'água	Velocidades mais elevadas permitem uma maior troca gasosa de OD e outros gases
Gases Dissolvidos	Gases dissolvidos como o CO_2, O_2, H_2S e outros que variam em virtude da degradação da matéria orgânica, fotossíntese das algas e trocas com a atmosfera	O processo de corrosão é decorrente das reações de oxidação e redução. Portanto, elevadas taxas de gases dissolvidos favorecem as reações
Condições Ambientais	As características climáticas da região e atividades existentes interferem nas taxas dos parâmetros apresentados acima	

Fonte: VON SPERLING, 2005

Para quantificar a tendência corrosiva e incrustante da água diferentes índices foram desenvolvidos:

1. *Índice de Langelier (LSI)*

Langelier (1936) elaborou um índice que indica o grau de saturação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) na água através da seguinte equação:

$$LSI = pH - pHs$$

onde, pH representa o pH da água analisada; pHs representa o pH de saturação da água com $CaCO_3$. O *pHs*, por sua vez, é calculado pela relação abaixo:

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

onde,

$A = (\log_{10}STD - 1) / 10$

$B = - 13,13 \times \log_{10}(T + 273) + 34,55$

$C = \log_{10}(Dureza)$

$D = \log_{10}(Alcalinidade)$

STD: Sólidos Totais Dissolvidos [$mg.L^{-1}$]

T: Temperatura da água de análise [°C]

Dureza [$mg.L^{-1}$ de $CaCO_3$]

Alcalinidade Total [$mg.L^{-1}$ de $CaCO_3$]

Os valores de sólidos totais dissolvidos, que não fazem parte do escopo do monitoramento, foram estimados a partir da equação proposta por Metcalf & Eddy (1991) que relaciona os sólidos totais dissolvidos [$mg.L^{-1}$] com os valores de condutividade [$\mu S.cm^{-1}$]:

$$STD = 0,64 \times Condutividade$$

O LSI é um método que indica e não quantifica a tendência da força motriz do processo (corrosivo ou incrustante). A interpretação dos resultados é descrita na Tabela 7:

Tabela 7 – Interpretação dos resultados do LSI

LSI	Resultado
LSI = 0	Representa equilíbrio químico – Eq
LSI < 0	Indica tendência a incrustação (dissolução de CaCO3) – Ti
LSI > 0	Indica tendência à corrosão – Tc

Fonte: MACHADO (2004)

2. *Índice de Ryznar (RSI)*

Assim como o Índice de Langelier, o Índice de Ryznar também considera as variáveis pH e pHs. No entanto, Ryznar (1944) considera que é importante quantificar a equação de LSI para refinar a interpretação do índice. Nesse contexto, propôs a relação abaixo:

$$RSI = 2 \times pHs - pH$$

O RSI é um índice quantitativo e qualitativo que avalia a tendência à deposição ou à dissolução do carbonato de cálcio de acordo com as características da água à temperatura limite de 93,34°C a partir de uma escala definida (RYZNAR, 1994). A escala foi determinada a partir de experimento laboratorial que analisou o nível de incrustação de águas com RSI semelhantes e diferentes. Considerando um intervalo de temperatura de 0 a 60°C, a interpretação dos resultados de RSI é descrita na Tabela 8:

Tabela 8 – Interpretação dos resultados do RSI

RSI	Resultado
4,0 < RSI < 5,0	Fortemente incrustante – Fi
5,0 < RSI < 6,0	Ligeiramente incrustante – Li
6,0 < RSI < 7,0	Ligeiramente corrosiva – Lc
7,0 < RSI < 7,5	Significativamente corrosiva – Sc
7,5 < RSI < 9,0	Fortemente corrosiva – Fc
RSI > 9,0	Intoleravelmente corrosiva – Ic

Fonte: APHA (1992) citado por OLIVEIRA &VARELA (2005)

3. *Índice de Larson-Skold (ILR)*

Este índice é baseado na qualidade de água da região dos Grandes Lagos, Canadá, e descreve a corrosão da água em contato com o aço através da razão entre a soma das concentrações dos sais de

cloretos (Cl^-) e sulfatos (SO_4^{2-}) com a soma das concentrações de carbonatos (CO_3^{2-}) e hidrocarbonatos (HCO_3^-), expressas em meq.L^{-1}.:

$$ILR = \frac{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]}$$

Segundo Silbert (2006), o índice é limitado às águas que apresentam uma variação de pH entre 6,6 a 8,5. De acordo com Larson & Skold (1958), a presença de compostos de cloros e de sulfatos aumenta a tendência de corrosão da água e a presença de bicarbonatos inibe a corrosão do aço, mesmo na ausência de compostos de cálcio. Os resultados são interpretados conforme a Tabela 9:

Tabela 9 – Interpretação dos resultados do ILR

ILR	Resultado
ILR < 0,8	Cloretos e sulfatos não interferem na formação de uma película natural para proteger o aço = Não há corrosão – Nc
0,8 ≤ ILR < 1,2	Cloretos e sulfatos dificultam a formação de uma película protetora. A taxa de corrosão do aço é observada = Corrosão significativa – Cs
ILR > 1,2	Quanto maior o índice, maior a taxa de corrosão observada = Corrosão elevada – Ce

Fonte: SILBERT (2006)

Gráficos de Caixa

No intuito de auxiliar no diagnóstico das condições limnológicas do reservatório da UHE Mauá, bem como tributários, na área de influência, gráficos de caixa (Box Plot), foram confeccionados comparando os resultados obtidos na fase rio e na fase reservatório.

A interpretação dos mesmos se baseia na seguinte imagem:

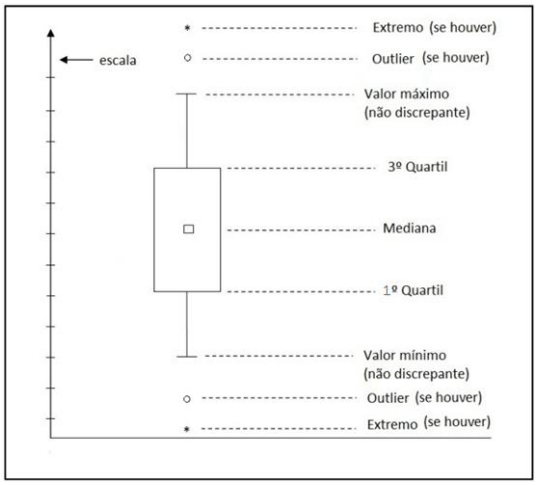

Figura 3 – Interpretação de gráficos de caixa (box plot).

O gráfico de caixa é contruído com base em cinco valores: 1º quartil (Q1), 3º quartil (Q3), a mediana, o valor mínimo e o valor máximo (não discrepantes do conjunto). Em uma dada escala, os quartis são valores que dividem as observações (conjunto de dados) em quatro partes, todas elas com o mesmo número de observações. Desta forma, 25% das observações são menores que o 1º Quartil (Q1), 50% são menores que o 2º Quartil e 75% são menores que o 3º Quartil (Farias, 2013).

Valores adjacentes (também chamados de *outliers*) e valores extremos são calculados com base no tamanho da distância interquartil (Q1 - Q3), ou seja, o comprimento da caixa. A este valor dá-se o nome de amplitude interquartil (AIQ).

Para o cálculo de valores adjacentes aplica-se a seguinte regra:

- Q1 – 1,5×AIQ
- Q3 + 1,5×AIQ

Para o cálculo de valores extremos aplica-se a seguinte regra:

- Q1 – 3,0×AIQ
- Q3 + 3,0×AIQ

Valores adjacenes (*outliers*) são representados no gráfico com o símbolo "○" e valores extremos com o símbolo "∗".

2.2.1.3 Análises em Sedimento

Durante a fase reservatório, os sedimentos foram coletados com o auxílio de uma draga tipo *Petit Ponar* (Figura 4).

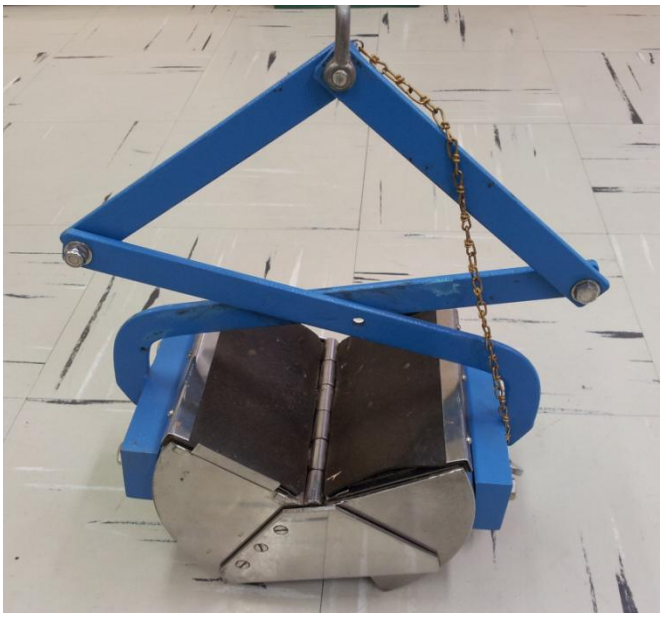

Figura 4 – Amostrador Petit ponar

As amostras foram coletadas com periodicidade semestral nas mesmas estações de qualidade de água superficial. O sedimento coletado foi separado em amostras de aproximadamente um quilo. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob refrigeração em caixas térmicas com gelo. As amostras foram enviadas para cada um dos laboratórios responsáveis pelas respectivas análises na maior brevidade possível, a fim de evitar alterações físicas, químicas ou biológicas no material coletado. As análises realizadas em sedimento estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Análises realizadas no sedimento

Carbonos	Pesticidas	Metais	Nutrientes
Carbono Orgânico Total	Organoclorados	Ferro	Fósforo
Carbono Orgânico Dissolvido	Organofosforados	Alumínio	Nitrogênio Total Kjedahl
Carbono Inorgânico		Cobre	
		Chumbo	
		Cádmio	
		Zinco	
		Cromo	
		Cobalto	
		Mercúrio	

Os resultados das análises de qualidade dos sedimentos foram comparados com o disposto pela Resolução CONAMA 454/12. Cabe ressaltar que, no Brasil, não há resolução ou legislação que trate especificamente da qualidade de sedimento de fundo, seja de rios ou de reservatórios. Assim, os valores dispostos na Resolução CONAMA 454/12, que revoga a Resolução CONAMA 344/04, aplicável para sedimentos dragados, foram utilizados neste relatório somente como referência comparativa.

A Resolução CONAMA 454/12 utiliza para efeitos de classificação do material dragado - definido pela referida resolução como o material a ser retirado ou deslocado do leito dos corpos d'água decorrente da atividade de dragagem (desde que esse material não constitua bem mineral) - a definição de critérios de qualidade a partir de dois níveis quanto à concentração de metais: nível 1, que representa o limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota do local aonde os sedimentos serão dispostos, e, nível 2, que representa o limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota. Para a avaliação da concentração de macronutrientes e carbono orgânico total nas amostras de sedimento, utilizou-se como parâmetro os limites do “valor alerta” da Resolução 454/12, que é descrito como o valor acima do qual existe possibilidade de se causar prejuízos ao ambiente na área, que no presente estudo foi relacionada à porção do corpo hídrico de onde o material foi retirado.

A resolução supracitada adotou os mesmos critérios estabelecidos pelo "Canadian Council of Ministers of the Environment" (CCME, 2001) para a avaliação do grau de contaminação química do sedimento, com vistas à proteção da vida aquática, considerando as concentrações de metais, PCBs e hidrocarbonetos poliaromáticos. Destaca-se que a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) também utilizou a Resolução CONAMA 454/12 como critério de avaliação da qualidade de sedimento quando do Relatório de Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo.

CQS – Critério de Avaliação da Qualidade de Sedimentos

Para a avaliação da qualidade dos sedimentos, também foi utilizado o CQS – Critério de Avaliação da Qualidade de Sedimentos, desenvolvido pela CETESB. Este relaciona concentrações de contaminantes químicos aos respectivos efeitos de toxicidade sobre o organismo *Hyalella azteca* e sobre a comunidade bentônica. O CQS estabelece cinco classes de qualidade para cada contaminante (ótima, boa, regular, ruim e péssima), baseado em valores de TEL - Threshold Effect Level, que corresponde à concentração de efeito limiar e PEL - Probable Effect Level, que corresponde à concentração de efeito provável. Estas concentrações (TEL e PEL) foram definidas com base em experimentos com os diferentes contaminantes, utilizando os resultados dos efeitos tóxicos.

De acordo com a CETESB (2013), a qualidade ÓTIMA, para cada contaminante, corresponderia à concentração inferior a TEL. A qualidade BOA, a faixa entre TEL, inclusive, e a concentração correspondente a 50% da distância entre TEL e PEL, somado a TEL. A qualidade REGULAR, a faixa superior a 50% da distância entre TEL e PEL, somado a TEL e inferior a PEL. A qualidade RUIM, a faixa entre PEL, inclusive, e a concentração correspondente a 1,5 x de seu próprio valor. E a qualidade PÉSSIMA acima de 1,5 x PEL. Assim, considerou-se a pior situação dentro da série de contaminantes avaliados, quando as concentrações encontradas superam significativamente o valor de PEL (em mais de 50%) e, na ocorrência de bioacumuláveis (organoclorados e mercúrio) acima de PEL (classificação ruim ou péssima) considera-se piora do diagnóstico em uma classe. Essa linha justifica-se, de acordo com Kuhlmann *et al*. (2007), pelo fato de que em termos biológicos, um único contaminante em concentração elevada seria suficiente para causar dano a uma população.

A Figura 5 apresenta a classificação de contaminantes químicos nas cinco faixas de qualidade em relação à TEL e PEL.

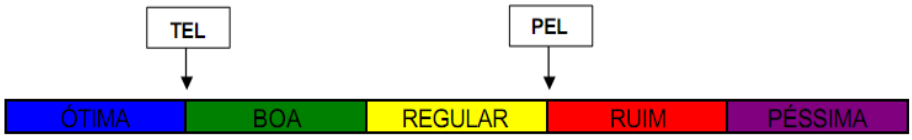

Figura 5 - Classificação de contaminantes químicos em cinco faixas de qualidade e sua relação com os critérios TEL e PEL.

A partir desta classificação, foi desenvolvida uma tabela de classificação da qualidade do sedimento, de acordo com a concentração de cada contaminante (CETESB, 2013).

2.2.1.4 Análises da Comunidade Fitoplanctônica

As amostras de fitoplâncton para estudo quali-quantitativo foram coletadas mergulhando-se um frasco de polietileno (1.000 mL) na sub-superfície da água e fixadas com solução de lugol acético a 1%. Alíquotas de 5 a 30 mL foram colocadas para sedimentar em câmaras de Ütermohl (ÜTERMOHL, 1958) e analisadas em microscópio ótico invertido Olympus BX70, sob aumento de 400 a 600x. A contagem dos organismos seguiu as indicações de Huszar & Giani (2004), que considera transectos e curva de estabilização de espécies. Recomenda-se que pelo menos 100 indivíduos da espécie mais freqüente sejam contados. Os resultados da densidade fitoplanctônica total e individual foram expressos de duas maneiras, em células e em indivíduos por mL. Foram considerados indivíduos: talos unicelulares, coloniais e filamentosos. Os diferentes grupos fitoplanctônicos (Cyanophyceae, Chlorophyceae, Zygnemaphyceae, Chlamydophyceae, Bacillariophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae e outros) foram analisados, quantificados e identificados no menor nível taxonômico possível (gêneros e espécies). A densidade celular de cianobactérias potencialmente hepato ou neurotóxicas e presença ou ausência de florações foram destacadas.

As análises de clorofila-a seguiram as recomendações da USEPA (1997). As amostras foram filtradas através de filtro de fibra de vidro GF/C e os pigmentos foram extraídos através de acetona alcalina 90% (hidróxido de amônia) e estimados em espectrofotômetro Hitachi U2001. O cálculo baseou-se no método tricromático de Humphrey & Jeffrey (1975).

2.2.1.5 Análises da Comunidade Zooplanctônica

As amostras de zooplâncton foram obtidas entre julho/12 e setembro/13 de acordo com os pontos de coleta descritos na Tabela 1. As coletas foram realizadas com uma rede de plâncton com abertura de malha de 64 µm. Nos pontos de coleta com características lóticas filtrou-se aproximadamente 200 litros de água por amostra com o auxílio de um balde graduado de 20 litros.

(Figura 6). Com a formação do reservatório, as amostragens nos pontos com características lênticas foram realizados arrastos verticais a partir de 10 m de profundidade até a superfície. Nesses pontos, o volume filtrado em cada arrasto é calculado através da fórmula descrita abaixo do volume do cilindro, considerando a altura como a distância do arrasto (m).

$$\mathbf{Vf = \pi.r^2.d}$$

Onde:

Vf = o volume de água filtrada

R = o raio da rede de plâncton

d = a distância percorrida pela rede

Figura 6 – Coletas em ambiente lótico e lêntico com rede de plâncton de 64 µm.

O material coletado foi acondicionado em frascos plásticos de 500 mL, fixados com solução resfriada de sacarose e formaldeído a 4 % e tamponado com carbonato de cálcio. No laboratório, o material coletado foi transferido para frascos plásticos de 120 mL com adição de corante vital Rosa-de-Bengala, para posteriormente serem identificados e quantificados.

Os grupos zooplanctônicos, rotíferos (pertencentes à Classe Monogononta) e os microcrustáceos (cladóceros e copépodos), foram quantificados e identificados a nível específico, utilizando bibliografia especializada. Os náuplios e copepoditos de Cyclopoida e Calanoida foram apenas quantificados. As análises quali-quantitativas do zooplâncton foram realizadas através de sub-amostragens com pipeta do tipo Stempell, sendo essas contadas em câmaras de Sedgwick-Rafter e placa de Petri, sob microscópios óptico e estereoscópico (Figura 7). Foram contados pelo menos 100

indivíduos de cada grupo zooplanctônico, e a densidade final expressa em indivíduos por m^3. As amostras com menores densidades foram analisadas em sua totalidade.

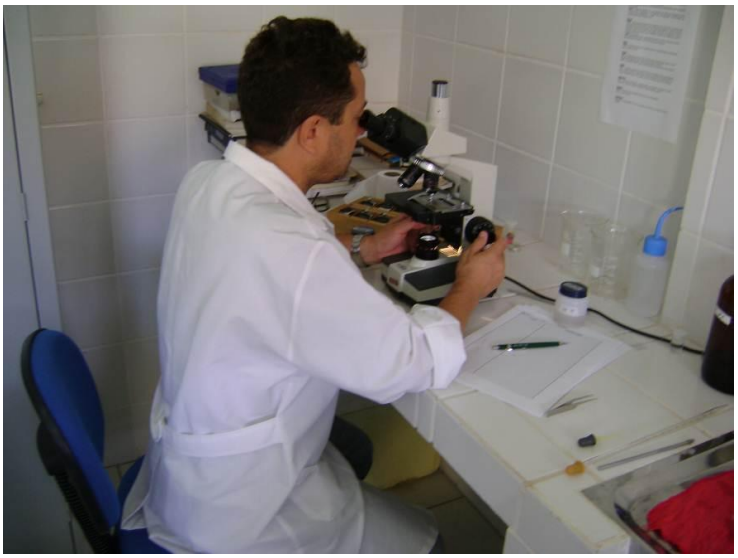

Figura 7 – Análises das amostras de zooplâncton.

Dados sobre a composição específica da comunidade zooplanctônica foram ordenados em tabelas considerando-se as famílias de cada grupo e a ocorrência dos táxons foi discriminada nas oito estações de amostragem na fase pós-represamento do rio Tibagi, no trecho estudado.

2.2.1.6 Análises de Macroinvertebrados bênticos

Para a coleta dos macroinvertebrados bênticos foram utilizadas várias técnicas de captura dependendo do substrato a ser amostrado e da profundidade (Bicudo & Bicudo, 2004).

Nas estações que apresentaram mais de 1,0 m de profundidade para coleta dos macroinvertebrados bênticos foi utilizado um pegador de fundo do tipo Petit Ponar (Figura 8). Este amostrador também chamado de busca fundo coleta uma área conhecida por meio de sua penetração no sedimento em função do seu peso. Esta técnica de amostragem foi realizada nas estações E3, E4, E6 e E10.

Durante estes primeiros meses do período de enchimento do reservatório as amostragens nas estações E4, E6 e E10 foi mais investigativa já que a zona litoral possuía grande quantidade de vegetação submersa em decomposição.

A grande maioria dos macroinvertebrados aquáticos de reservatório localiza-se na zona conhecida como litoral que vai desde o supralitoral situado acima do nível da água, mas sujeito aos salpicos das ondas, passando pela zona eulitoral que compreende entre o nível sazonal mais elevado

e mais baixo da água até o infralitoral. O infralitoral é a porção do litoral mais explorada pelos invertebrados isto porque é onde geralmente é observada a vegetação macrófita. No infralitoral superior a vegetação macrofítica é emergente, com raízes; no infralitoral médio a vegetação possui folhas flutuantes, com raízes; e no infralitoral inferior as macrófitas são submersas ou não há vegetação.

Estas zonas que integram água-terra apresentam grande importância para os macroinvertebrados aquáticos, pois desempenham as funções de proteção estrutural de hábitats, o controle do fluxo e vazão de água, o fornecimento de abrigo e sombra, a manutenção da qualidade da água, a filtragem de substâncias que chegam ao corpo d´água, o fornecimento de matéria orgânica e detritos e substrato para a fixação de algas e perifíton que são fonte de alimento.

Neste estudo as coletas dos macroinvertebrados no reservatório estão sendo coletados na zona litoral, já que as regiões mais profundas possivelmente sejam anóxicas ou com baixas concentrações de oxigênio (EPA, 1998).

Para as coletas dos macroinvertebrados bênticos associados aos fundos rochosos foi utilizado um amostrador do tipo surber posicionado junto às margens em locais mais rasos (Figura 8 C e D).

Nas duas técnicas quantitativas foram realizadas cinco réplicas amostrais em cada estação de coleta.

Coletas manuais em troncos, restos de vegetação submersa e em raízes e partes aéreas de macrófitas foram realizadas para a obtenção de uma amostragem qualitativa dos organismos. Nos ambientes marginais, como gramíneas, macrófitas emersas ou baixios não vegetados, uma rede do tipo puçá, com malha de 0,5 mm de diâmetro, arrastada sob a vegetação. As amostras foram fixadas em campo com uma solução de formalina a 10 %.

A. B. C. D.

Figura 8 - Equipamentos utilizados para as coletas quantitativas dos macroinvertebrados bênticos. A e B. Método de utilização do Petit Ponar e uma amostra coletada com este amostrador; C e D. Surber e método de coletas.

Em laboratório as amostras foram lavadas em uma peneira com malha 0,5 mm e transferidas para cubas plásticas para o procedimento das triagens. Os animais foram coletados com auxílio de pinças e preservados em uma solução de álcool 70 %. Os organismos foram contados e identificados sob microscópio estereoscópico até a menor categoria taxonômica possível (Figura 9).

Os exemplares serão tombados junto às coleções de invertebrados do Museu de História Natural Capão da Imbuia em Curitiba e ficará disponível para consultas.

A riqueza de macroinvertebrados foi representada pelo número médio de táxons nas cinco réplicas e a densidade, pelo número médio de indivíduos coletados nas cinco réplicas.

A.

B.

C.

Figura 9 - Procedimentos com as amostras de macroinvertebrados bênticos em laboratório. A. Estocagem; B. triagem das amostras e C. Identificação dos organismos.

2.2.1.7 Análises para verificação da presença de larvas de Limnoperna fortunei

Para análise da possível presença de larvas de *Limnoperna fortunei* (mexilhão dourado) durante a fase reservatório, amostras de água foram coletadas trimestralmente nos pontos E2 (Rio Tibagi, início do reservatório da UHE Mauá, a jusante da fábrica da Klabin) e E6 (Rio Tibagi, reservatório da UHE Mauá, proximidades da barragem), através da técnica de arrasto com rede de plâncton de malha de 64 µm, pelo período de 5 minutos. As amostras foram concentradas, transferidas para recipientes adequados e fixadas com álcool 70%. Em laboratório, estas foram analisadas com duas diferentes técnicas, uma análise morfológica preliminar foi realizada sob

microscópio estereoscópio, posteriormente as amostras foram submetidas à técnica molecular de monitoramento por meio de identificação do DNA do mexilhão dourado. Através dessa técnica, extremamente precisa, uma única larva de mexilhão em uma amostra de até 2.000 litros de água é detectada, o processo é rápido e seguro.

Para a realização da análise morfológica as amostras foram homogeneizadas e filtradas em peneira com malha de 64 µm. O filtrado foi depositado em placas de petri com superfície quadriculada e diluído em álcool. A placa foi levada ao microscópio estereoscópio onde foi percorrida em sua integridade em busca de larvas, quando encontradas foi realizada a identificação morfológica de larvas de moluscos, considerando como larvas de mexilhão dourado ou não.

Para a análise molecular, as amostras de plâncton foram filtradas com auxílio de uma bomba a vácuo, assim separando o plâncton da água e possibilitando a extração mais eficiente do DNA dessas amostras. A extração do DNA do plâncton ocorre com a utilização de protocolo especial definido previamente pela equipe de trabalho. Em seguida, o DNA extraído foi amplificado com marcadores específicos para a espécie *Limnoperna fortunei*. Após a amplificação, o DNA foi submetido à eletroforese de agarose (1,5%) e o padrão de bandas visualizado foi utilizado na determinação da presença ou ausência de larvas de mexilhão dourado na amostra. Essa análise foi feita pela comparação com o padrão de bandas formadas por um controle positivo (DNA *L. fortunei* adulto). Também foram amplificadas diluições de 1:10, 1:100 e 1:1000 de todas amostras de DNA extraído, a fim de melhor visualização dos resultados, já que em testes realizados anteriormente, bandas de amostras diluídas em comparação às concentradas foram mais evidentes, pois o excesso de DNA pode inibir sua própria amplificação.

As duas análises realizadas são complementares, a análise molecular é mais sensível e está menos suscetível ao erro humano. A análise sob microscópio estereoscópio, embora menos sensível, é a única capaz de quantificar as larvas encontradas (a metodologia para quantificar as larvas de mexilhão na análise molecular não está totalmente concluída), essa técnica também é menos sujeita a falha na conservação da amostra. Em algumas situações como calor intenso, excesso de matéria orgânica e substrato, o DNA pode ser degradado impossibilitando a confiabilidade da análise molecular. Para otimizar o resultado das análise das amostras optou-se em realizar tanto a análise sob microscópio estereoscópio quanto a análise molecular.

2.2.2 Sub-Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas

As campanhas referentes ao período de operação da UHE Mauá, foram realizadas nos conforme descrito no *Plano de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas,* dentro do Plano de monitoramento das condições limnológicas e da qualidade da água superficial na região do empreendimento UHE Mauá.

As espécies de plantas aquáticas e semi-aquáticas, ocorrentes nas margens dos Rios Tibagi, Imbaú, Barra Grande e áreas adjacentes, além de vários pontos no reservatório, em contato com a água, parcialmente emersas ou totalmente submersas foram observadas e e sua ocorrência anotada nos pontos amostrados, estes registrados fotograficamente na Figura 11 até a Figura 17.

Tabela 11 – Descrição dos pontos amostrados e respectivas coordenadas geográficas (UTM).

Estações	Coordenadas Geográficas		Descrição
	E	N	
M1	541329	7304731	Rio Tibagi, a montante de Telêmaco Borba. Margem em alguns pontos sem vegetação, arenosa, com o solo revolvido devido à atividade de dragagem de areia. Em outras áreas, mata ciliar preservada (presença de *Araucaria*).
M2	538643	7311136	Rio Tibagi, a jusante da Fábrica da Klabin. Mata ciliar preservada, alguns pontos da margem bem poluídos (lixo doméstico), margem íngreme.
M3	528032	7311178	Rio Imbauzinho. Margem com mata ciliar preservada..
M4	534402	7326613	Reservatório UHE Mauá (Ponto da Bota). Margem com mata ciliar preservada.
M6	530162	7338488	UHE Mauá, eixo da barragem – margem esquerda.
M9	529442	7339171	PCH Presidente Getúlio Vargas - Vegetação de margem de braço presente.
M10	523593	7331922	Rio Barra Grande, próximo a foz. Margem pouco preservada, em algumas áreas. O ponto está localizado dentro de uma fazenda (Fazenda Santana). Margens com bambus, gramíneas e outras áreas com mata ciliar.
M11	538643	7311136	Rio Tibagi – Cidade de Tibagi/Parque. Margem exposta.
M12	528144	7316327	Rio Imbaú. Margem com mata ciliar preservada, com presença certo grau de poluição doméstica.
M13	531125	7341380	UHE Mauá – Casa de Força – margem em regeneração, com rochas expostas, iniciando o processo de colonização.
M14	529567	7339077	UHE Mauá – Após a Barragem – margem em regeneração, com rochas expostas, iniciando o processo de colonização.
M15	530242	7337968	Reservatório UHE Mauá – Próximo ao Horto – Região de remanso, com rampa de acesso para barco.
M16	531343	7337750	Reservatório UHE Mauá – Região de remanso.
M17	529138	7336679	Reservatório UHE Mauá – Região de remanso

O material botânico fértil foi coletado e processado segundo técnicas usuais de secagem e montagem e, posteriormente, incorporado aos acervos do Herbário UPCB, pertencente ao departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. Pela condição efêmera das espécies encontradas com flores, nem todo material coletado apresentou condições de gerar uma

exsicata para registro científico e posterior depósito em herbário. Este fato não comprometeu a identificação dos materiais ou o mérito científico do registro.

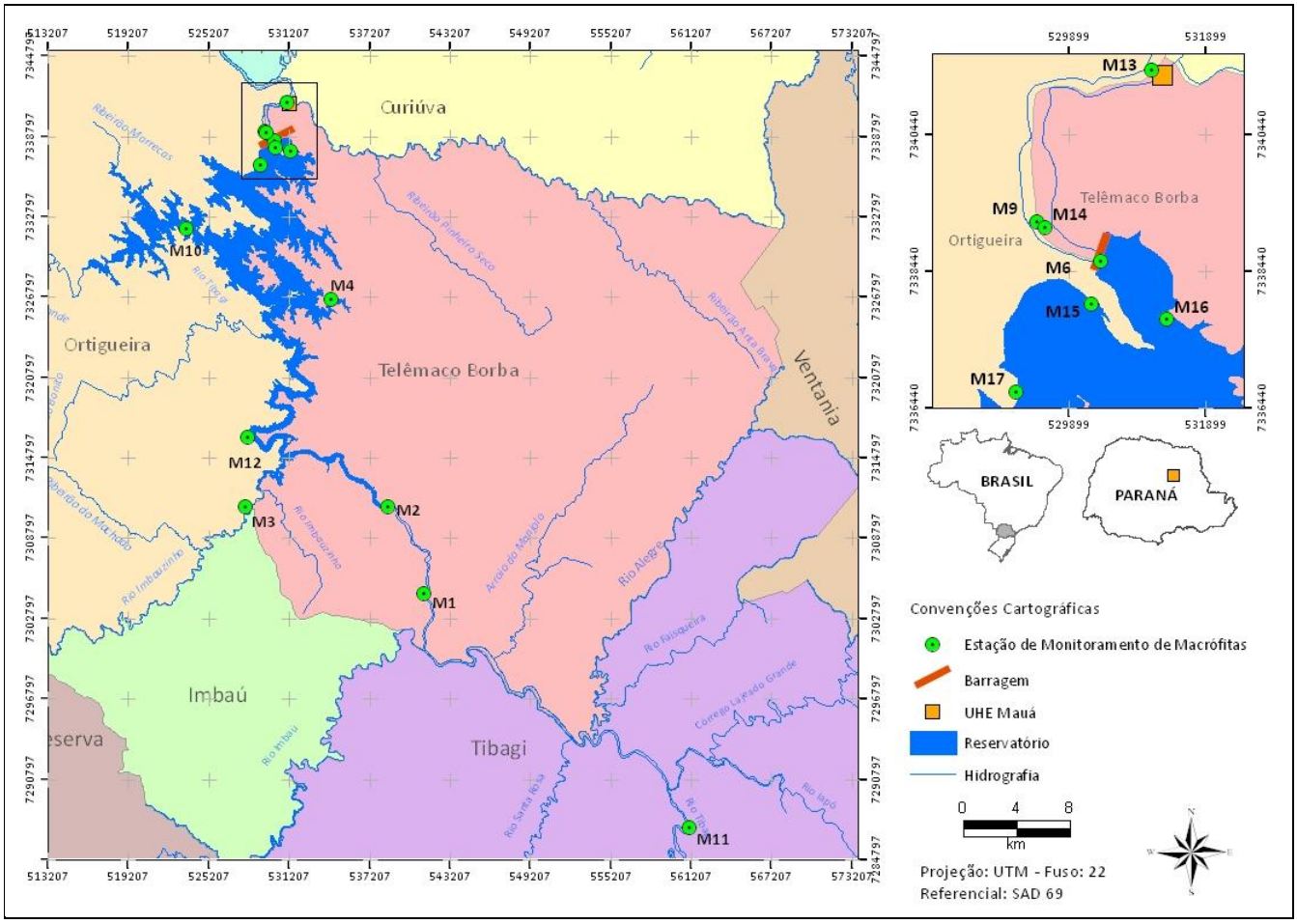

Figura 10 – Localização das estações de amostragem de macrófitas aquáticas

Para identificação das espécies foram feitas consultas à bibliografia especializada, como floras, descrições, chaves de identificação, dentre outros estudos a respeito de plantas aquáticas. Além disso, quando necessário, as duplicatas coletadas foram enviadas aos especialistas das diversas famílias botânicas, para confirmação ou determinação das identificações.

Neste estudo, as macrófitas aquáticas foram classificadas de acordo com a classificação de Pott e Pott (2000):

- Planta anfíbia: plantas que vivem em áreas alagadas, de hábito arbustivo, arbóreo ou herbáceo.
- Planta emergente: planta enraizada no fundo, parcialmente submersa.
- Planta enraizada com folhas flutuantes: planta enraizada no fundo, com caule e/ou ramos e/ou folhas flutuantes.

- Planta flutuante livre: planta não enraizada no fundo, podendo ser levada pela correnteza.
- Planta submersa livre: planta não enraizada no fundo, totalmente submersa.
- Planta submersa fixa: planta enraizada no fundo, com caule e folhas submersas.

Figura 11 – Vista Geral das estações M1 (esquerda) e M2 (direita)

Figura 12 – Vista Geral das estações M3 (esquerda) e M4 (direita)

Figura 13 – Vista Geral das estações M6 (esquerda) e M9 (direita)

Figura 14 – Vista Geral das estações M10 (esquerda) e M11 (direita)

Figura 15 – Vista Geral da estação M12 (esquerda) e M13 (direita)

Figura 16 – Vista Geral da estação M14 (esquerda) e M15 (direita)

Figura 17 – Vista Geral da estação M16 (esquerda) e M17 (direita)

2.2.3 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas

2.2.1 Caracterização Hidrogeológica da Área de Influência Direta do Reservatório

A caracterização hidrogeológica visa determinar as feições geológicas e hidrogeológicas dos sistemas aquíferos que possam ser afetados pelo enchimento do reservatório, bem como o tipo, intensidade e extensão da provável interferência no nível e quimismo da água subterrânea.

Essa caracterização baseou-se na compilação dos aspectos geológicos regionais, levantamento dos aspectos da geologia local, nas características dos poços profundos utilizados para o monitoramento das propriedades físico-químicas da água, e nos dados das duas baterias de poços de monitoramento do aquífero freático implantadas nas margens direita e esquerda do tio Tibagi.

2.2.1.1 Geologia Regional

As formações geológicas (Figura 18) que ocorrem na área de influência direta do reservatório da UHE Mauá são as rochas sedimentares do Grupo Itararé, das formações Rio Bonito e Palermo (Grupo Guatá), Irati e Serra Alta (Grupo Passa Dois), que se encontram, na região, cortadas por inúmeros diques ou intrudidas por soleiras de diabásio da Formação Serra Geral (Grupo São Bento).

A Bacia Sedimentar do Paraná, conforme Milani *et al*. (2007) é uma bacia intracratônica, de forma alongada, cujo eixo maior na direção N-S, que se extende por uma área de cerca de 1,5 milhões de km^2, abrangendo os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e partes dos territórios do Paraguai, Uruguai e Argentina.

Milani (1997) dividiu a Bacia Sedimentar do Paraná em seis super-sequências estratigráficas (Figura 19) separadas por superfícies de discordância de caráter regional denominadas: Rio Ivaí (Ordoviciano- Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

Grupo Itararé

Segundo Milani *et al*. (2007) o Grupo Itararé faz parte da Super-sequência Gondwana I e se formou quando o supercontinente Gondwana estava posicionado em regiões de altas latitudes e, portanto, submetido a um clima glacial, resultando em registros sedimentares tipicamente glaciogênicos.

Vesely e Assine (2004) ressaltam que a descontinuidade lateral, bem como a recorrência dos estratos é uma característica muito comum do Grupo Itararé, o que dificulta o delineamento da geometria das camadas e o estabelecimento da sequência estratigráfica desse grupo. É provável que tais descontinuidades laterais se devam aos ciclos de sedimentação, definidos por França e Potter (1988), correspondentes a mudanças climáticas cíclicas, que causaram transgressões e regressões marinhas dentro do regime glacial.

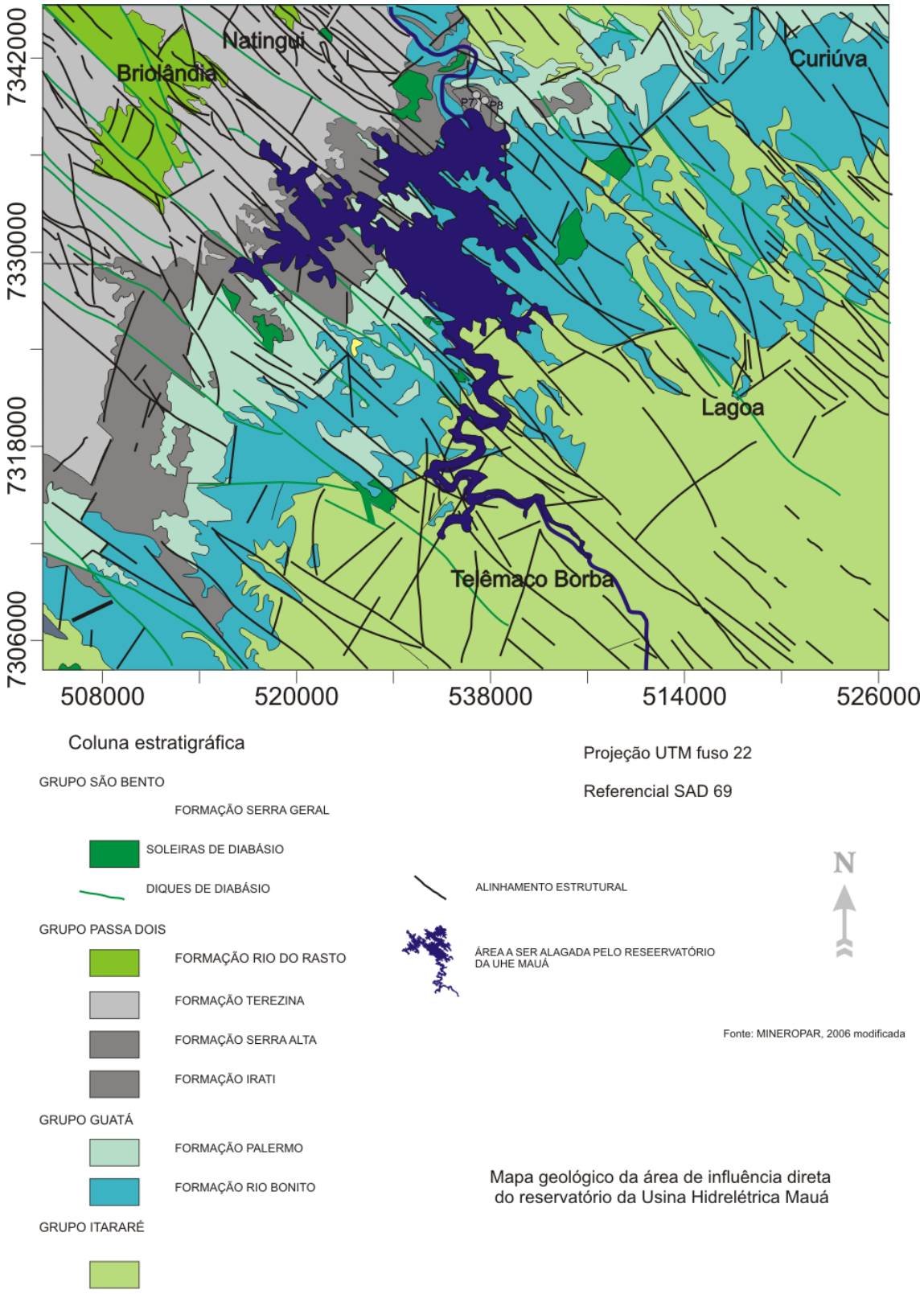

Figura 18-Contexto geológico da área de influência direta do reservatório da UHE Mauá

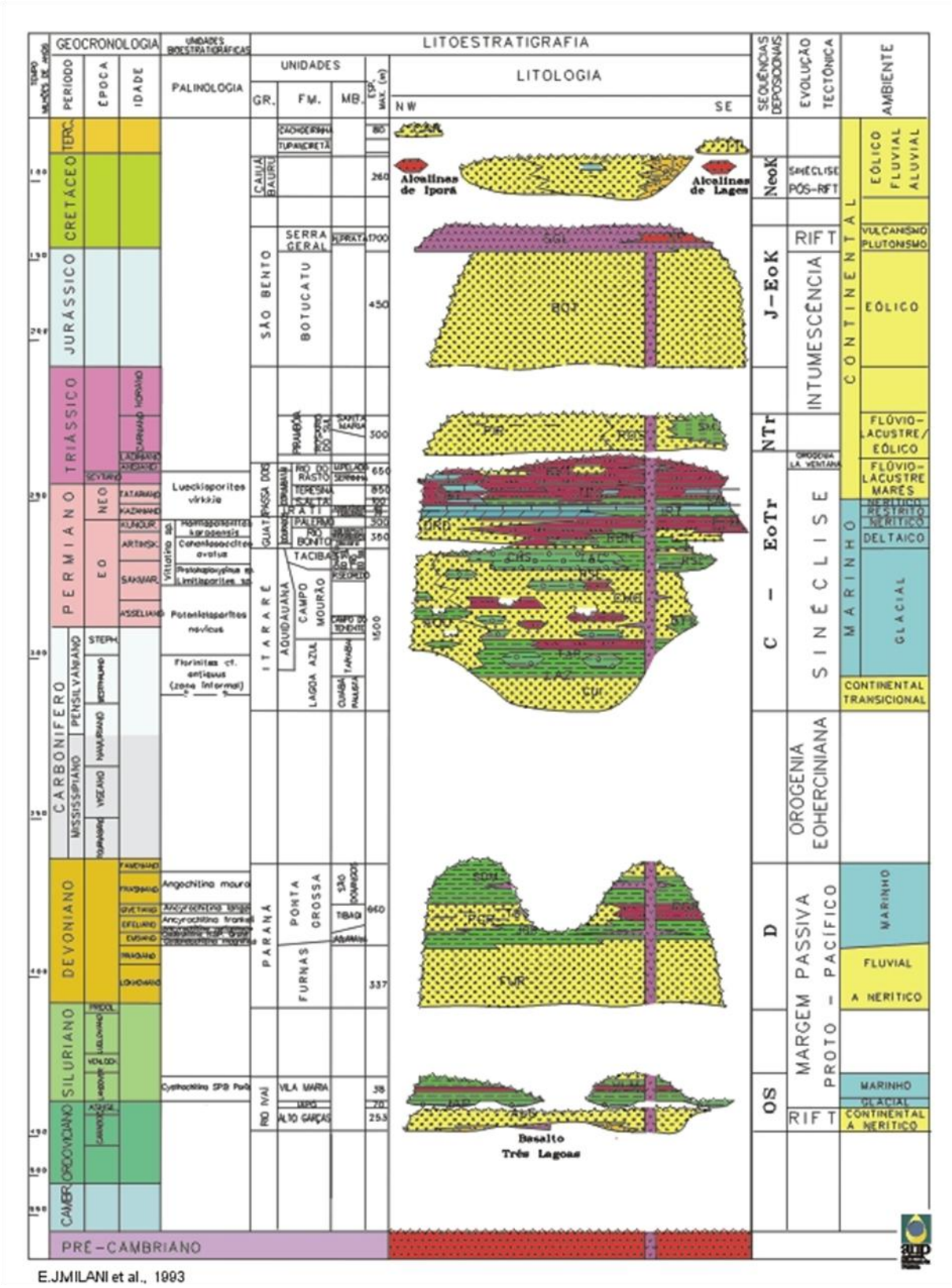

Figura 19 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná.

Ainda segundo Milani *et al.* (2007), os depósitos glaciogênicos do Grupo Itararé são representados, predominante, por paraconglomerados, arenitos e camadas pelíticas maciças ou

rítmicas. Os paraconglomerados (diamictitos) são polimíticos, maciços ou estratificados, resultantes da deposição de sedimentos transportados por geleiras. Os arenitos correspondem ao maior volume sedimentar, tem granulação variando de fina a grossa (às vezes conglomeráticos) e podem ser maciços ou gradacionais. As camadas pelíticas estão associadas a processos de decantação gravitacional em ambientes glácio-marinhos quando maciços, e a sedimentação turbidítica quando finamente laminados. Um tipo de ritmito característico desse Grupo são os varvitos, constituídos por lâminas ou camadas argilosas e sílticas alternadas, originadas por variações climáticas sazonais em lagos periglaciais.

Embora o Grupo Itararé esteja dividido nas formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, com base em dados de poços, esse grupo será tratado aqui de forma indivisa.

Grupo Guatá

Sobrepostos aos depósitos glaciogênicos do Grupo Itararé, ocorrem as rochas dedimentares das formações Rio Bonito e Palermo, que constituem o Grupo Guatá, incluído na Sequência Gondwana I de Milani *et al*. (2007).

Formação Rio Bonito

Essa formação apresenta uma alternância de camadas predominantemente arenosas com camadas pelíticas. Essa formação foi dividida por Schneider et al. (1974), da base para o topo, nos membros Triunfo (arenitos e conglomerados cinza-claros, alternados com folhelhos, argilitos e siltitos escuros carbonosos, depositadas em ambiente deltáico); Paraguaçu (camadas de siltitos e folhelhos cinza a cinza-esverdeados, depositadas em ambiente marino transgressivo, sobre os arenitos do Membro Triunfo); Siderópolis (caracterizado por um espesso depósito arenoso intercalado com siltitos, folhelhos carbonosos e camadas de carvão. Estas últimas têm, em geral, espessuras inferiores a 1 m, como as que foram extraídas em minas hoje desativadas na região de Telêmaco Borba pela Indústria Klabin de Papel e Celulose).

Formação Palermo

As camadas dessa formação se depostaram em ambiente marinho transgressivo, cobrindo estratigraficamente os depósitos deltaicos da Formação Rio Bonito. Segundo Milani *et al*. (2017), essa formação é constituída por siltitos e siltitos arenosos cinza-amarelados frequentemente bioturbados.

Grupo Passa Dois

Esse grupo, também colocado por Milani *et al*. (2007) na Sequência Gondwana I, está dividido nas formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto.

Formação Irati

A origem dessa formação está relacionada a um ambiente com circulação restrita de água (mar fechado ou ambiente lagunar). Nessas condições acumularam-se carbonatos e evaporitos na porção norte, e folhelhos betuminosos na porção sul da bacia (MILANI *et al*., 2007).

Essa formação está dividida nos membros Taquaral (siltitos e folhelhos cinza claros) Assistência (folhelhos escuros, folhelhos pirobetuminosos e lentes de calc ário). A ocorrência de fósseis do gênero Mesosaurus é uma das características dessa formação.

Formação Serra Alta

Corresponde a uma sequência folhelhos cinza-escuros finamente laminados, formados por decantação de argila em ambiente marinho de baixa energia (MILANI *et al*., 2007). Pode apresentar lentes e concreções de calcário com dimensões variadas.

Formação Teresina

Constituída por sedimentos pelíticos depositados em ambientes regressivos, gradando de marinho a continental. Predominam nessa formação, camadas de argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros a esverdeados, intercaldados com arenitos finos cinza-claros.

Formação Rio do Rasto

Depositada em ambiente continental flúvio-lacustre, é dividida, da base para o topo, nos membros Serrinha (arenitos finos intercalados com siltitos e argilitoscinza-esverdeados, marrons ou avermelhados) e Morro Pelado (arenitos finos, avermelhados, intercalados com siltitos e argilitos arroxeados).

Formação Serra Geral (Província Magmática Paraná)

Conforme Turner *et al*. (1994), entre 138 a 127 milhões de anos antes do presente, ocorreu um dos maiores derrames de lavas basálticas do globo, resultando em uma espessa sequência de camadas de basalto toleítico e ocorrências subordinadas e andesitos basálticos, riolitos e riodacitos, sobrepostas às rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Esse evento magmático está associado à fragmentação do supercontinete Pangeia e à abertura do Oceano Atlântico.

Milani *et al.* (2007) colocam a Formação Serra Geral na Superseqüência Gondwana II e informam que os derrames de lava cobriram completamente a Bacia do Paraná, restando hoje, cerca de de três quartos da área original.

Nas regiões onde os derrames de lava foram removidos por processos erosivos, podem ser identificados inúmeros diques de diabásio, dispostos na direção SE-NW, cortando as camadas

sedimentares sotopostas. Ocorrem também, soleiras de diabásio de espessuras variáveis que se alojam ao longo do contato entre as camadas sedimentares.

2.2.1.2 Contexto geológico e hidrogeológicos locais

As formações geológicas que ocorrem na área de influência direta do reservatório da UHE Mauá são as rochas sedimentares do Grupo Itararé, das formações Rio Bonito e Palermo (Grupo Guatá), Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Grupo Passa Dois), que se encontram, na região, cortadas por inúmeros diques de diabásio da Formação Serra Geral (Grupo São Bento) e, cujas características geológicas básicas já foram aqui descritas.

As formações Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto, bem como parte da Formação Rio Bonito e do Grupo Itararé são constituídas predominantemente por folhelhos, siltitos e argilitos. Devido à natureza dessas rochas, os aquíferos da área de influência direta da UHE Mauá são de porosidade intergranular, podendo ser do tipo livre ou semiconfinados a confinados. No entanto, pela granulometria fina a muito fina das camadas sílticas e argilosas, a condutividade hidráulica dessas rochas é muito baixa, resultando em condições desfavoráveis ao acúmulo e transmissão de água. Na maior parte dos casos, conforme informações obtidas no banco de dados da antiga Suderhsa, essas aquíferos são classificados como fissurais, o que significa que a água se armazena e se move, predominantemente, através das descontinuidades da rocha ao invés dos interstícios intergranulares.

Entre as formações geológicas que ocorrem na área de influência direta do reservatório, o Grupo Itararé e a Formação Rio Bonito, devido à ocorrência de camadas de arenitos finos a grossos, são as unidades com maior potencial aquífero, sendo aproveitadas em várias localidades do Paraná para abastecimento público e privado de água, por meio de poços tubulares com produção de até 50 $m^3 h^{-1}$.

As formações Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto, por serem constituídas, em maior parte, por sedimentos finos com predominância de granulometria silte, apresenta condutividade hidráulica muito baixa, da ordem de 10^{-9} a 10^{-7} m s^{-1}, sendo, por isso, consideradas aquitardes e não aquíferos. Tal característica hidrogeológica restringe seu potencial hídrico de modo que os poços perfurados nessa formação são, ou improdutivos, ou apresentam vazões muito baixas e água com teor de sólidos dissolvidos relativamente alto, inviabilizando o seu aproveitamento para abastecimento humano.

Cortando a sequência sedimentar ocorrem, na área de interesse, corpos tabulares (diques e soleiras) de diabásio, com espessuras inferiores a 100 m. Esses corpos ígneos apresentam propriedades hídricas limitadas, devido à sua geometria e às características de permo-porosidades intrínsecas da rocha. No entanto, essas intrusões podem ter causado modificações estruturais nas rochas encaixantes e interferir no fluxo subterrâneo, podendo em certos casos servir, indiretamente, como um agente favorável ao acúmulo de água em subsuperfície.

Aquíferos Profundos

O levantamento de dados sobre 29 poços tubulares profundos perfurados nessas formações, pela Sanepar–Companhia de Saneamento do Paraná, pela antiga Suderhsa–Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e por empresas privadas em áreas de municípios próximos ao reservatório (Telêmaco Borba, Ortigueira, Natingüi, Palmital do Natingüi, Lajeado Bonito, Briolândia e Curiúva), mostra que menos de 20% deles são produtivos, estando os demais fora de operação.

Em geral, os perfis construtivos dos poços, fornecidos pelas empresas de perfuração, são precários no que diz respeito às descrições litológicas. Os perfis de seis poços tubulares profundos perfurados em Lageado Bonito e Natingui (município de Ortigueira), que são os núcleos habitacionais mais próximos da bateria de poços de monitoramento BP2, indicam um substrato composto por camadas de siltito e folhelho, com algumas intrusões de rochas básicas, provavelmente soleiras de diabásio, justificando as baixas vazões desses poços.

Os poços da KPC estão situados a sudeste da região a ser ocupada pelo reservatório da UHE Mauá, enquanto os poços da J. Malucelli se situam ao norte da região considerada. O mapa das províncias hidrogeológicas do estado do Paraná, elaborado pelo Instituo das Águas do Paraná (antiga SUDERHSA), não apresenta uma escala adequada ao estudo que se está realizando, sendo consequentemente pouco preciso na faixa limítrofe dos domínios dos aquíferos do Paleozóico Médio e Paleozóico Superior, onde se situa grande parte da área de interesse direto deste monitoramento. O Paleozóico Médio, onde se situam os poços da Klabin, é mais produtivo em termos de água subterrânea, enquanto o paleozóico Superior, onde estão os poços da J. Malucelli é via de regra pobre em recursos hídricos subterrâneos.

Um reflexo das condições hidrogeológicas desfavoráveis da região é o resultado de poços tubulares profundos contratados pela J. Malucelli para atender à demanda do canteiro de obras durante a construção da UHE Mauá. Foram perfurados quatro poços com mais de 400 m de

profundidade e destes, apenas dois foram completados com a instalação de bombas, ressalvando-se que a vazão desses poços era baixa e em um deles o rebaixamento do nível da água era rápido, obrigando o desligamento da bomba pouco tempo após o início do bombeamento. Os poços tubulares profundos pertencentes à Klabin Papel e Celulose, e utilizados no programa de monitoramento da água subterrânea, são mais produtivos, pois captam água das frações arenosas do Grupo Itararé.

Foram utilizados seis poços tubulares profundos (Tabela 12) para coleta de amostras de água dos aquíferos paleozóicos, sendo dois na área do canteiro de obras da UHE Mauá e cinco em propriedades das Indústrias Klabin de Papel e Celulose – KPC. A localização dos referidos poços, bem como das baterias de piezômetros encontram-se ilustrados na Figura 20.

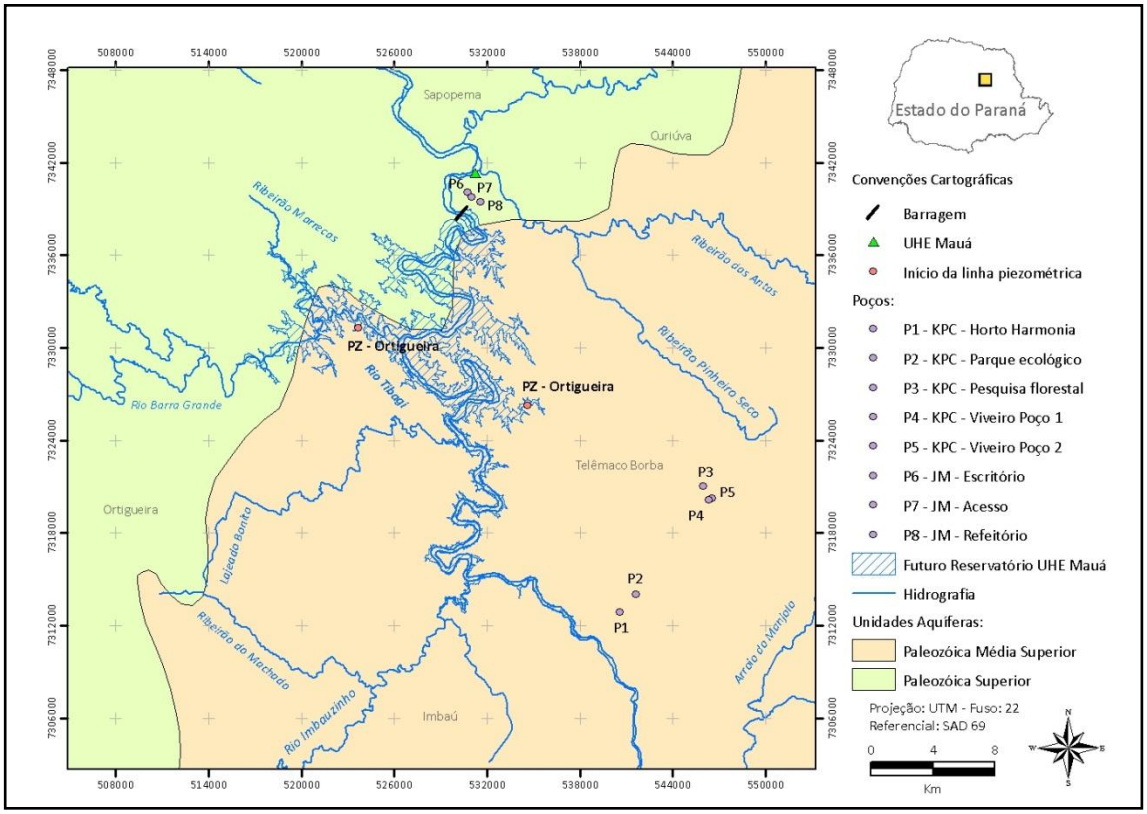

Figura 20- Localização dos poços de monitoramento dos aqüíferos profundos e situação das baterias de piezômetros, no contexto de um esboço dos compartimentos hidrogeológicos considerados pelo Instituto das Águas do Paraná

Tabela 12 - Localização dos poços tubulares profundos utilizados para o monitoramento da qualidade da água subterrânea de aquíferos paleozóicos na área do reservatório da UHE Mauá.

Poço	Local	Situação	UTM (N)	UTM (E)
P1	KPC - Horto Harmonia	Em produção	7312868	540607
P2	KPC - Parque Ecológico	Em produção	7314012	541629
P3	KPC - Pesquisa florestal	Em produção	7321060	545996
P4	KPC - Viveiro Poço 1	Em produção	7320255	546532
P5	KPC - Viveiro Poço 2	Em produção	7320136	546359
P6	JM - Escritório	Em produção	7340111	530746
P7	JM - Acesso	Em produção	7339785	531000

A baixa produtividade dos aquíferos do entorno do reservatório da UHE Mauá, se deve, principalmente, à permeabilidade baixa do material de cobertura e, de forma secundária, ao relevo fortemente ondulado, fatos que priveligiam o escoamento superficial, em detrimento da infiltração, difusa e por toda a região, que resultaria na recarga do aquífero freático e dos aquíferos profundos.

O aquífero raso

Embora não exista uma definição precisa, considera-se aquífero raso, aquele no qual a interface entre a zona saturada e insaturada está a pouca profundidade, em geral inferior a 20 m em relação à superfície do terreno. São aquíferos freáticos e, se desenvolvem na zona de alteração das rochas subjacentes, estando compreendidos entre a superfície do terreno e o topo da rocha sã, podendo incluir parte dela.

O manto de intemperismo (Figura 21) na área de interesse, de acordo com observações de campo e dados das sondagens para implantação dos poços de monitoramento, tem espessuras variando de cerca de 6 m a menos de 20 m. A composição do alterito depende do tipo de material original, sendo em geral de natureza silicática, com pouca matéria orgânica e com textura argilosa a siltosa. A coloração varia de creme-amarelado a marrom-avermelhado.

Nas áreas de ocorrência de folhelho, observa-se a partição característica desse tipo de rocha, formando pequenos fragmento tabulares na forma de pastilhas (Figura 4). Apesar dessa densidade alta de fraturamento nos níveis superficiais, essa feição não tem continuidade em subsuperfície. Em consequência disso, as condições para infiltração e armazenamento de água no freático são desfavoráveis.

Figura 21– Aspecto da zona de alteração sobre folhelho da Formação Serra Alta.

Desta forma, nos dois locais escolhidos para a implantação das baterias de poços de monitoramento, considerou-se como sendo o aquífero raso, a camada de folhelho intemperizado, com espessura irregular, de coloração creme amarelado a marrom-avermelhado, e parte do folhelho não alterado, até a profundidade limite dos poços.

Para o monitoramento do nível e da qualidade da água no aquífero freático, foram implantadas duas baterias lineares de piezômetros com 13 poços espaçados de 12,5 m, configurando uma distância total de 150 m entre a cota máxima de inundação e o poço de monitoramento mais distante.

As baterias foram identificadas como BP2, localizada na margem esquerda ro rio Tibagi, próximo a Lageado Bonito, na área do segmento do reservatório correspondente ao rio Barra Grande e BP1, contígua a uma drenagem situada na margem direita do rio Tibagi, na margem da estrada que leva às minas de carvão desativadas da Klabin Papel e Celulose.

As características hidráulicas das rochas subjacentes e o grande desnível entre os locais escolhidos para instalação das baterias e as drenagens existentes, antes do enchimento do reservatório, causou a expectativa de que os poços perfurados no aquífero freático fossem improdutivos. Para contornar tal possibilidade, optou-se pela construção de poços de monitoramento com 20 m de profundidade.

As baterias de poços foram implantadas em áreas de ocorrência de rochas da Formação Serra Alta (BP1) e do Grupo Itararé (BP2). Na Figura 22, pode-se observar o contato entre folhelho da formação Serra Alta e dique de diabásio da Formação Serra Geral a cerca de 300 m a NE da bateria BP1. Na área da bateria BP2 ocorre uma variação lateral de tipos litológicos com arenitos finos avermelhados a cerca de 100 m a montante do poço 13, diamictito no local onde está o poço BP2-P13 (Figura 23) e arenito fino castanho, intercalado com siltito, cerca de 150 m a jusante do poço BP2-P1 (Figura 24).

Figura 22– Contato entre folhelho (à esquerda) e dique de diabásio alterado (à direita), nas proximidades da bateria BP1.

Devido a essas variações litológicas laterais, típicas do Grupo Itararé (bateria BP2), em uma área relativamente pequena, bem como a presença de diques e variações composicionais ou de densidade de fraturamento em folhelhos (bateria BP1), resultam em comportamentos hidráulicos e propriedades hidroquímicas heterogêneas em uma mesma bateria.

Figura 23- Afloramento de diamictito com seixos de várias naturezas em matriz lamosa, situado ao lado do poço BP2-P13.

Figura 24- Arenito fino e siltito situado após a ponte sobre drenagem a montante do poço BP2-P1. Atualmente esse local está submerso pelas águas do reservatório.

2.2.2 Localização dos poços de monitoramento do aquífero raso

As coordenadas dos poços de monitoramento da BP1 e BP2 constam, respectivamente da Tabela 13 e da Tabela 14.

Tabela 13- Localização e altitude da laje de acabamento e proteção superficial dos piezômetros da bateria da margem direita do rio Tibagi (BP1).

Ponto	Norte	Leste	Altitude (m)
P-01	7326289,469	534513,909	635,436
P-02	7326287,616	534526,546	635,808
P-03	7326283,180	534538,661	636,580
P-04	7326267,063	534550,549	637,979
P-05	7326265,444	534565,505	639,153
P-06	7326266,617	534575,556	639,553
P-07	7326269,766	534587,370	639,730
P-08	7326274,141	534602,871	640,870
P-09	7326276,045	534615,660	641,242
P-10	7326277,699	534629,532	642,262
P-11	7326275,622	534641,503	643,290
P-12	7326273,643	534654,190	644,252
P-13	7326265,539	534668,008	645,279

Tabela 14- Localização e altitude da laje de acabamento e proteção superficial dos piezômetros da bateria da margem esquerda do rio Tibagi (BP2).

Ponto	Norte	Leste	Altitude (m)
P-01	7331371,670	523641,623	635,850
P-02	7331367,070	523654,383	637,039
P-03	7331362,547	523665,724	638,220
P-04	7331357,636	523676,993	639,101
P-05	7331352,599	523687,985	639,414
P-06	7331348,493	523699,725	639,509
P-07	7331343,774	523710,840	639,672
P-08	7331339,402	523722,336	640,044
P-09	7331334,689	523733,697	640,615
P-10	7331330,152	523744,807	641,431
P-11	7331325,648	523756,038	642,080
P-12	7331321,035	523767,447	642,783
P-13	7331315,936	523779,913	643,604

A representação gráfica da distribuição espacial em planta da BP1 consta da Figura 25, enquanto o perfil longitudinal está registrado na Figura 26. Para a BP2, a representação em planta está na Figura 27 e o perfil longitudinal na Figura 28.

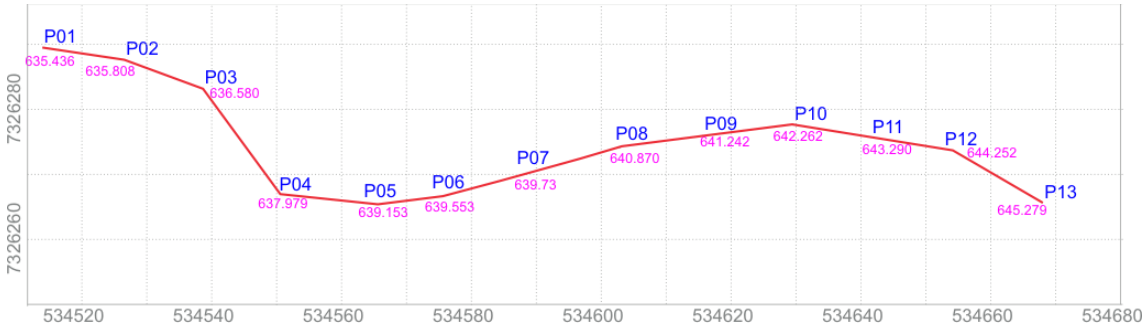

Figura 25 - Distribuição dos piezômetros da bateria da margem direita do rio Tibagi (BP1).

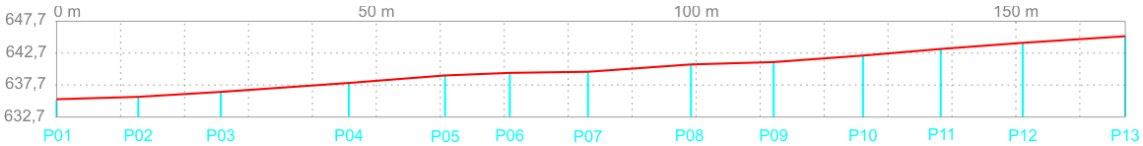

Figura 26 – Perfil topográfico e situação dos piezômetros da bateria da margem direita do rio Tibagi (BP1).

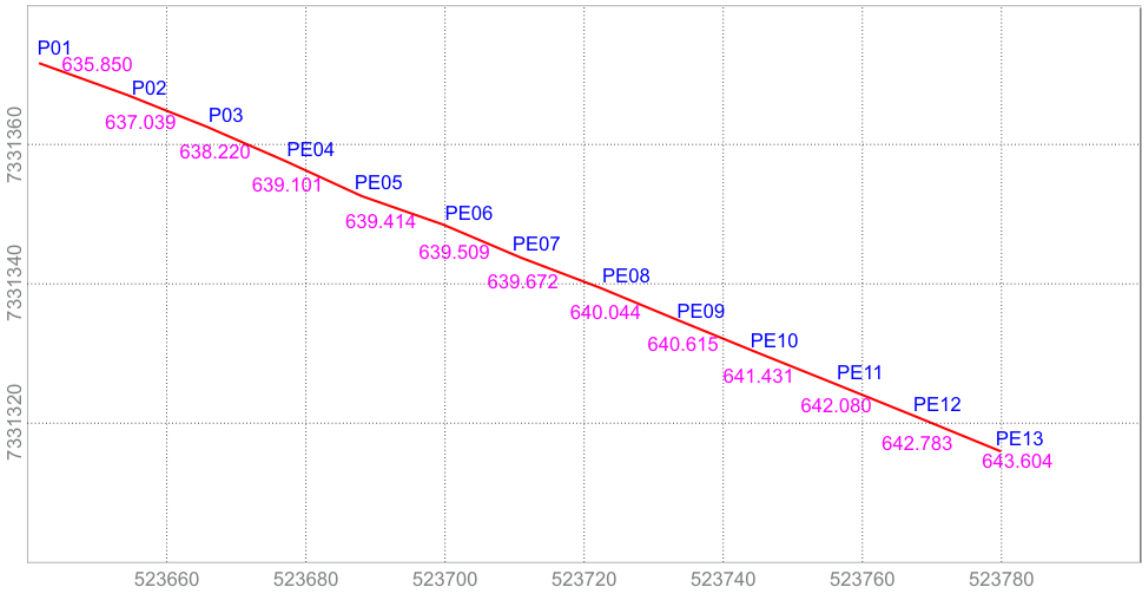

Figura 27 - Distribuição dos piezômetros da bateria da margem esquerda do rio Tibagi (BP2).

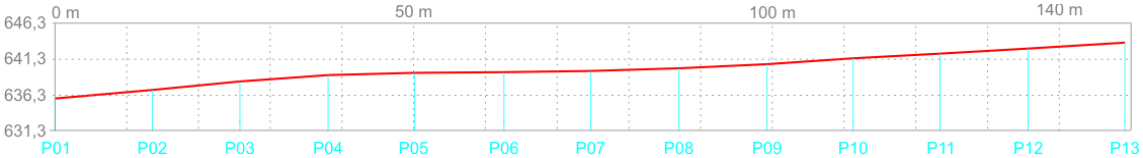

Figura 28 - Perfil topográfico e situação dos piezômetros da bateria da margem esquerda do rio Tibagi (BP2).

2.2.2.1 Malha amostral e frequência de amostragem

Foram monitorados o aquífero freático e os aquíferos profundos, sendo cada um destes grupos de corpos de água, por suas características, monitorado de forma distinta.

No que concerne ao monitoramento do aquífero freático, este foi realizado através de duas baterias de poços de monitoramento, cada uma composta por 13 poços, com 20 m de profundidade, distanciados 12,5 m uns dos outros, ao longo de uma linha com cerca de 150 m de comprimento. As baterias de piezômetros estão localizadas na margem direita (BP1) e esquerda (BP2) do rio Tibagi (Figura 20).

A bateria BP1 (Figura 29) se localiza contígua a uma drenagem situada na margem direita do rio Tibagi, na antiga estrada de acesso às minas desativadas da Klabin e ao canteiro de obras da UHE, logo após as linhas de transmissão de alta tensão que cruza a estrada. Após o enchimento do reservatório, a estrada foi interrompida pelo referido corpo de água a poucos metros da bateria de piezômetros.

A bateria BP2 (Figura 29) está localizada na área do segmento do reservatório correspondente ao rio Barra Grande, nas proximidades onde foi construída a ponte sobre esse rio que constitui atualmente um braço do reservatório. A bateria de piezômetros encontra-se em uma área coberta por pastagem artificial à esquerda da estrada, antes da cabeceira do flanco direito da referida ponte.

Os piezômetros do aquífero freático, implantados nas imediações das margens reservatório da UHE Mauá, foram perfurados em rochas clásticas finas paleozoicas, sendo o substrato constituído por folhelhos, síltico argilosos e algumas lentes de arenitos finos. Geralmente as propriedades hidráulicas são desfavoráveis à infiltração da água e seu acúmulo em subsuperfície.

O monitoramento dos aquíferos profundos foi realizado no período relatado, em cinco poços tubulares profundos localizados na região lindeira ao reservatório da UHE Mauá. Durante a fase-rio deste PBA, foram também monitorados mais três poços e uma nascente.

Aspectos da boca dos poços tubulares profundos amostrados na fase-reservatório estão ilustrados na Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32. As coordenadas de localização dos poços profundos e a indicação do início da bateria de piezômetros estão ilustradas na Figura 20.

Figura 29– Imagem à esquerda: Poço BP1-P02 da bateria de piezômetros BP1 (fevereiro/2013). Imagem à direita: Poços BP2-P01 e BP2-P02 da bateria de piezômetros BP2 (março/2013).

Figura 30– Imagem à esquerda: Poços P2 "Parque Ecológico" (abril/2013). Imagem à direita: Poço P3 "Pesquisa florestal" da Klabin (abril/2013).

Figura 31– Imagem à esquerda: Poço P4 "Viveiro Florestal poço 1" da Klabin (maio/2010). Imagem à direita: Poços P5 " Viveiro Florestal poço 2" da Klabin (abril/2013).

Figura 32 – Poço P7 UHE Mauá (fevereiro/2013).

2.2.2.2 Metodologia de coleta e análises

Equipamentos de campo

As determinações em campo de temperatura, condutividade e pH foram realizadas com equipamentos marca DIGIMED modelos DM 3P e DM 2P.

2.2.2.3 Procedimentos laboratoriais

As análises utilizadas neste relatório foram realizadas pelos laboratórios mencionados (Tabela 15) seguindo procedimentos recomendados pelo Standard Methods (AWA 1998) ou conforme especificações mencionadas nos respectivos laudos analíticos constantes em anexo. A metodologia empregada também está resumida na Tabela 15

Os limites de detecção considerados foram, para cada elemento químico ou espécie química, inferiores aos limites legais para os parâmetros constantes da Resolução n° 396 do CONAMA.

Para se ter uma idéia da abrangência do esforço analítico realizado, a Figura 33 apresenta a tabela periódica dos elementos, estando assinalados aqueles analisados neste trabalho. Pode ser assim percebido que a maioria dos elementos químicos foi contemplada.

Tabela 15- Variáveis analisadas nas águas e métodos analíticos empregados

VARIÁVEL	MÉTODO ANALÍTICO		
Condutividade	Condutivímetro	pH	pH-metro
Temperatura da amostra	Termômetro	Alcalinidade total	Titulometria

VARIÁVEL	MÉTODO ANALÍTICO		
Cloreto	Titulometria	Sulfato	Turbidimetria
Fluoreto	Potenciometria	Nitrato	Espectrofotometria UV
Nitrito	Espectrofotometria UV	Nitrogênio amon.	Espectrofotometria UV
Nitrogênio total	Espectrofotometria UV	Fósforo total	Espectrofotometria UV
Sílica dissolvida	Espectrofotometria UV	Sólidos susp. totais	Gravimetria
Sólidos totais a 103 °C	Gravimetria	Sólidos totais diss.	Gravimetria
Cálcio e magnésio	Titulometria	Sódio e Potássio	Fotometria de chama
Na, K, Ca, Mg, Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, Cd, Ce, Co, Cu, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg , Ho, In, La, Lu, Mn, Mo, Ni, Nb, Nd, P, Pb, Pd	ICP-MS ($\mu g\ L^{-1}$)	Pr, Pt, Rb, Re, Rh, Ru, S, Se, Si, Sb, Sc, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr	ICP-MS ($\mu g\ L^{-1}$)

Laboratórios utilizados: a) LPH – Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas – UFPR, Curitiba; b) BIOAGRI Ambiental – Piracicaba, São Paulo; c) ACME Analytical Laboratories – Vancouver Canadá

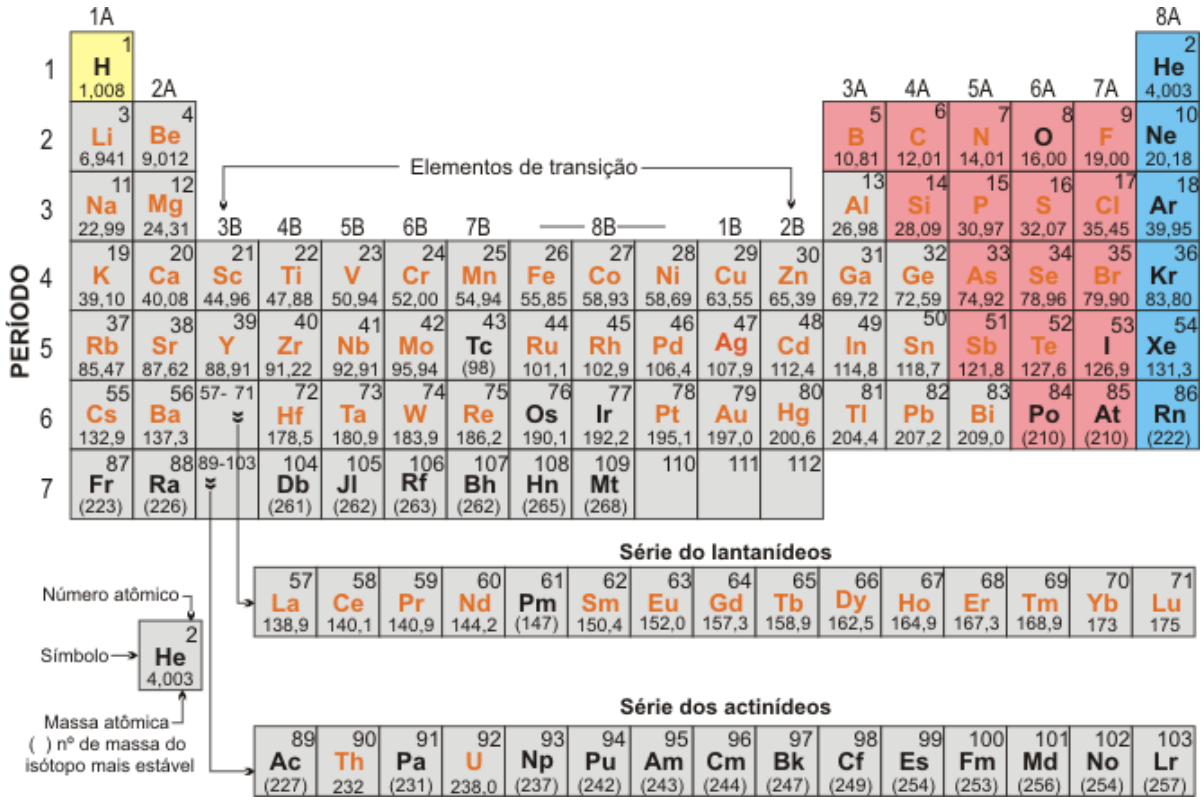

Figura 33 – Representação da tabela periódica dos elementos, contendo, em vermelho, os elementos químicos analisados neste trabalho.

3 RESULTADOS

3.1 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Superficiais

3.1.1 Monitoramento de parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade de água

No intuito de auxiliar o diagnóstico da qualidade das águas superficiais do reservatório da UHE Mauá e entorno, no período de monitoramento da fase reservatório, dados da estação pluviométrica de Telêmaco Borba foram compilados,. A pluviosidade acumulada em 7 dias anteriores à coleta é apresentada na Tabela 16. Dados brutos de pluviometria compõe o Anexo I.

Tabela 16 – Pluviosidade Acumulada em 7 dias anteriores à coleta, por estação de monitoramento.

Meses de coleta	**Estação Pluviométrica Telêmaco Borba Pluviosidade Acumulada em mm**							
	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
julho/12	35,80	35,80	43,20	7,80	14,80	7,80	14,80	43,20
agosto/12	4,40	4,40	8,40	8,60	8,40	8,60	8,40	8,40
setembro/12	43,40	43,40	47,80	46,80	47,00	47,00	47,00	47,80
outubro/12	6,60	6,60	37,00	38,40	38,40	53,00	38,40	37,00
novembro/12	3,20	3,20	3,00	3,00	3,00	0,20	3,00	3,00
dezembro/12	2,50	6,10	6,10	7,80	6,10	7,80	6,10	6,10
janeiro/13	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
fevereiro/13	79,40	79,40	127,60	102,00	112,40	112,40	112,40	127,60
março/13	15,40	15,40	15,40	19,20	28,20	28,20	28,20	15,40
abril/13	46,00	46,00	46,00	46,20	46,00	46,00	46,00	46,00
maio/13	46,40	46,40	51,80	13,80	46,20	46,20	46,20	51,80
agosto/13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
setembro/13	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20

As tabelas a seguir (Tabela 17 à Tabela 24) mostram os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas referentes às 13 campanhas de monitoramento de qualidade de água realizadas nas estações de amostragem localizadas no rio Tibagi e afluentes. Apresentam-se ainda os resultados dos Índices de Qualidade das Águas - IQA, Índice de Estado Trófico – IET e Índice de Qualidade de Água de Reservatórios - IQAR, referentes ao período monitorado. Resultados considerados em desacordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 foram destacados em vermelho.

Com relação à avaliação da qualidade de água do rio Tibagi e afluentes na fase reservatório, foram registradas não conformidades com relação à Resolução CONAMA 357/05 para as variáveis cianobactérias totais, clorofila-a, pH, oxigênio dissolvido, fósforo total, óleos e graxas, coliformes termotolerantes e fenóis totais. As duas primeiras variáveis serão discutidas em item a parte, sendo as demais, discutidas a seguir.

Tabela 17 – Dados de monitoramento de qualidade de água da fase reservatório para a estação E1.

PONTO	Limites*	E1												
Data da coleta	-	16/07/12	27/08/12	24/09/12	22/10/12	19/11/12	10/12/12	28/01/13	25/02/13	25/03/13	15/04/13	20/05/13	07/08/13	04/09/13
Altitude (m)	-	655	654	662	660	646	649	667	667	667	646	659	657	635
Profundidade de Coleta (m)	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
T água (°C)	-	13,5	18,4	18,4	22,7	22,4	26,7	25,3	23,3	20,3	20,3	17,6	16,5	17,4
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	9,94	9,99	9,29	8,86	8,74	8,18	7,87	8,24	8,72	8,76	9,25	9,44	9,20
OD sat (%)	-	102,6	114,4	106,5	110,5	108,3	109,7	103,1	104,1	103,9	104,1	104,2	103,9	102,9
Secchi (m)	-	0,45	1,10	0,25	0,65	0,20	0,50	0,40	0,20	0,30	0,20	0,15	0,55	1,10
pH	6,0 a 9,0	5,6	7,4	6,4	7,9	7,0	7,5	6,4	7,2	7,1	6,6	7,3	7,4	7,2
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	45	46	45	53	44	45	42	36	17	34	41	41	41
P Total (mg.L^{-1})	0,05**	0,124	0,036	0,074	0,040	0,080	0,059	0,053	0,131	0,069	0,080	0,176	0,042	0,034
P Reativo (mg.L^{-1})	-	< 0,010	< 0,010	0,017	0,011	0,015	0,011	0,012	0,083	0,056	0,079	0,075	0,024	0,015
N Total (mg.L^{-1})	***	1,6	1,6	4,5	2,0	5,3	3,6	0,5	1,6	0,7	2,1	2,1	1,4	1,0
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,24	0,20	0,23	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,10	< 0,08	< 0,08	0,07	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,68	0,73	0,63	0,40	0,80	0,64	0,48	0,62	0,49	0,63	0,65	0,53	0,67
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	69	40	74	48	99	57	56	119	73	88	101	60	40
Turbidez (NTU)	100	6	4	15	5	23	8	8	11	7	11	9	3	8
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	1,9	1,4	2,1	1,3	1,4	1,3	3,8	1,0	0,8	1,1	1,2	0,6	1,0
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	4,2	2,1	1,9	2,0	2,3	2,2	3,1	2,0	1,7	2,2	2,3	1,3	2,1
Sódio (mg.L^{-1})	-	2,05	2,80	2,62	2,54	1,94	2,45	1,85	1,41	1,54	1,47	< 0,05	1,30	1,61
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,20	1,21	1,27	1,58	1,51	1,48	1,25	0,95	1,05	0,94	1,44	1,00	1,32
Potássio (mg.L^{-1})	-	2,20	1,20	2,62	2,06	2,37	1,94	1,18	3,27	1,37	1,67	2,11	1,00	1,25
Cálcio (mg.L^{-1})	-	1,70	2,02	1,76	2,61	2,01	1,97	1,38	1,55	1,60	1,57	2,18	1,80	2,08
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	16	30	21	36	24	23	22	14	16	15	19	31	28
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	9	10	10	13	11	11	9	8	8	8	12	9	11
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	12.000	1.700	2.300	20	31.000	10.500	8.600	2.000	10.000	20.000	8.700	1.000	810
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	460	26	330	7	2.500	95	87	1.300	1.700	960	1.200	160	130
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	126	1.501	2.882	111.749	924	5.465	1.289	785	281	1.202	289	181	459
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	0	47	0	101.237	101	1.164	305	680	95	759	198	0	0
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	1,79	1,20	1,52	3,03	1,76	1,33	1,85	2,76	1,90	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
DQO (mg.L^{-1})	-	15,04	7,03	18,18	16,91	19,09	16,05	19,30	32,66	3,97	14,38	7,98	14,54	5,02
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	1,00	2,78	SD	45,50	5,30	8,55	2,72	1,81	1,03	2,06	0,96	1,10	2,63
N/P	-	28	98	134	110	146	135	21	27	22	58	26	74	65
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	4,9	1,1	2,6	1,4	2,6	3,3	ND	5,6	3,4	2,0	1,8	2,2	5,9
Óleos e graxas (mg.L^{-1})	Virtualmente ausentes	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,5	1,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0
IQA	-	67	84	72	85	65	79	79	68	70	71	69	80	80
IET	-	55	56	56	68	61	62	57	57	53	57	55	52	55

• Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes Intermediários e tributários diretos de ambientes lênticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 2,18 mg.L^{-1} para ambientes lóticos.

**** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <= 7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <= 8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <= 8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH > 8,5.

Tabela 18 – Dados da fase reservatório para a estação E2

PONTO	Limites*	E2												
Data da coleta	-	16/07/12	27/08/12	24/09/12	22/10/12	19/11/12	11/12/12	28/01/13	25/02/13	25/03/13	15/04/13	20/05/13	07/08/13	04/09/13
Altitude (m)	-	659	642	651	655	630	651	640	640	640	640	644	644	673
Profundidade de Coleta (m)	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
T água (°C)	-	13,7	19,2	19,7	23,6	23,2	28,0	26,2	23,5	20,4	20,6	17,9	16,5	17,9
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	9,86	9,86	8,90	8,80	8,31	7,34	7,54	7,96	8,53	8,55	8,96	9,32	8,81
OD sat (%)	-	102,3	114,5	104,6	111,6	104,2	100,6	100,1	100,6	101,6	102,1	101,4	102,5	100,1
Secchi (m)	-	0,40	0,80	0,25	0,50	0,20	0,30	0,35	0,15	0,30	0,25	0,20	0,55	0,60
pH	6,0 a 9,0	7,1	7,7	7,1	8,3	7,1	7,5	6,7	7,2	7,3	6,5	7,3	7,2	7,3
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	45	59	58	82	55	59	61	45	19	38	42	41	65
P Total (mg.L^{-1})	0,05**	0,194	0,037	0,085	0,051	0,094	0,093	0,084	0,132	0,076	0,097	0,132	0,036	0,054
P Reativo (mg.L^{-1})	-	0,010	< 0,010	0,014	0,013	0,013	0,018	0,010	0,080	0,052	0,086	0,051	0,010	0,020
N Total (mg.L^{-1})	***	1,3	1,5	3,1	1,8	8,0	3,3	0,5	1,5	1,4	2,3	1,6	1,2	1,1
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,17	0,16	0,22	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,10	< 0,08	0,08	0,08	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	SD	< 0,03	0,06	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,65	0,68	0,43	0,30	0,79	0,67	SD	0,57	0,50	0,64	0,58	0,45	0,61
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	60	55	77	68	93	88	50	125	70	94	95	66	60
Turbidez (NTU)	100	6	5	12	5	20	11	8	11	8	10	13	3	11
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	2,0	3,6	2,2	5,3	2,9	2,7	SD	2,3	1,7	1,8	2,6	0,7	3,5
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	2,5	3,2	2,0	4,2	2,9	2,9	SD	2,3	2,1	2,5	2,5	1,4	3,2
Sódio (mg.L^{-1})	-	3,30	5,10	4,55	6,35	3,51	4,41	4,52	2,98	2,26	2,00	0,08	2,00	3,91
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,20	1,24	1,26	1,63	1,51	1,46	1,28	1,05	1,03	0,93	1,27	1,10	1,33
Potássio (mg.L^{-1})	-	2,05	1,30	2,70	2,48	2,57	2,35	1,66	1,75	1,40	1,76	2,05	1,10	1,42
Cálcio (mg.L^{-1})	-	1,70	2,33	1,94	3,42	2,32	2,15	1,63	1,63	1,74	1,70	2,15	2,20	2,44
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	20	30	25	33	22	24	23	21	22	17	19	24	30
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	9	11	10	15	12	11	9	8	9	8	11	10	12
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	14.000	1.700	2.300	790	27.000	17.000	15.000	9.100	15.000	13.000	12.000	710	11.000
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	1.600	330	790	490	5.800	190	1.600	1.200	1.800	3.700	2.200	98	660
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	49	4.855	3.527	145.123	604	2.635	784	999	896	481	238	232	1.773
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	0	3.828	676	133.790	231	1.276	430	876	513	431	204	0	736
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	< 1,00	1,49	1,77	3,40	2,83	1,89	4,79	< 1,00	1,30	1,28	1,68	< 1,00	< 1,00
DQO (mg.L^{-1})	-	12,53	14,07	30,30	26,37	21,10	16,08	28,71	14,07	10,91	13,89	15,45	13,04	10,05
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	0,96	3,52	SD	34,60	4,30	5,58	2,42	1,86	1,66	2,21	0,93	1,27	3,47
N/P	-	15	89	80	78	188	78	13	25	41	52	27	74	45
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	3,2	3,4	3,4	3,1	2,8	4,7	< 1,0	6,0	3,1	2,4	2,2	5,0	10,1
Fenóis Totais (mg.L^{-1})	0,003	0,140	0,020	0,020	0,060	0,030	0,010	0,010	< 0,010	0,011	0,021	< 0,002	0,003	0,007
IQA	-	69	76	71	72	60	75	67	70	70	65	67	82	74
IET	-	56	57	57	68	60	61	57	57	55	57	54	52	58

· Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes Intermediários e tributários diretos de ambientes lênticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 2,18 mg.L^{-1} para ambientes lóticos.

**** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <= 7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <= 8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <= 8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH > 8,5.

Tabela 19 – Dados da fase reservatório para a estação E3

PONTO	Limites*	E3												
Data da coleta	-	17/07/12	28/08/12	25/09/12	23/10/12	20/11/12	11/12/12	28/01/13	26/02/13	25/03/13	17/04/13	22/05/13	07/08/13	04/09/13
Altitude (m)	-	700	648	788	650	659	650	670	670	670	653	638	675	672
Profundidade de Coleta (m)	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
T água (°C)	-	11,5	15,4	18,0	21,3	22,7	26,7	22,7	20,7	19,8	17,2	17,9	16,0	17,0
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	10,34	9,32	8,26	7,06	7,43	7,23	7,11	7,94	8,30	8,79	8,19	8,74	8,76
OD sat (%)	-	102,4	100,2	95,3	85,7	92,6	97,0	88,9	95,4	97,9	98,2	92,6	95,4	97,6
Secchi (m)	-	1,00	1,05	0,75	0,85	0,35	0,95	0,15	0,25	0,50	0,35	0,45	1,00	1,20
pH	6,0 a 9,0	7,9	7,5	7,3	7,0	6,9	7,6	6,5	7,4	7,3	7,0	7,4	7,4	7,4
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	40	49	52	60	54	55	39	32	16	33	52	41	48
P Total (mg.L^{-1})	0,05**	0,082	0,019	0,033	0,037	0,035	0,035	0,086	0,091	0,026	0,016	0,031	< 0,010	< 0,010
P Reativo (mg.L^{-1})	-	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,010	0,025	0,085	0,021	0,011	0,014	< 0,010	< 0,010
N Total (mg.L^{-1})	***	0,5	0,5	2,5	1,7	7,9	3,2	0,8	1,9	0,6	0,8	1,4	0,6	1,0
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,17	0,13	0,15	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,10	0,24	< 0,08	< 0,08	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,06	0,20	0,20	0,10	0,27	0,22	0,28	0,31	0,22	0,20	0,23	0,25	0,15
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	45	48	30	70	66	56	76	125	50	50	65	41	47
Turbidez (NTU)	100	3	4	6	3	11	3	34	12	8	3	3	2	4
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,5	0,6	0,8	0,6	0,6
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	0,5	0,6	0,7	1,0	0,7	0,6	0,8	0,8	0,5	0,1	1,9	0,4	0,5
Sódio (mg.L^{-1})	-	2,20	2,40	2,44	2,63	2,74	2,62	1,42	1,64	1,58	1,53	< 0,05	1,60	1,62
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,30	1,48	1,75	1,87	1,78	1,76	1,20	0,69	1,07	0,90	1,62	1,20	1,56
Potássio (mg.L^{-1})	-	1,70	1,73	2,39	2,12	2,29	2,05	1,52	1,82	1,11	1,15	1,42	1,00	1,11
Cálcio (mg.L^{-1})	-	2,20	2,75	3,17	3,62	3,15	3,32	1,70	1,42	1,71	1,68	2,75	2,90	3,00
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	28	36	30	37	34	33	27	16	20	27	31	30	30
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	11	13	15	17	15	16	9	6	9	8	14	16	14
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	3.200	490	1.300	7.900	790	9.800	17.000	18.000	22.000	2.500	3.600	610	1.700
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	210	49	330	7.900	490	400	860	1.500	4.100	210	620	20	280
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	191	388	1.202	1.730	688	1.121	139	77	90	57	53	70	429
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	0	46	0	230	537	280	0	0	40	0	25	0	0
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	1,09	2,02	< 1,00	1,10	1,81	1,00	< 1,00	1,00	< 1,00	< 1,00
DQO (mg.L^{-1})	-	5,51	8,02	< 2,00	7,02	15,92	10,05	14,15	17,55	2,98	3,51	3,49	11,03	8,04
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	0,39	1,34	SD	4,60	4,51	3,02	1,04	1,01	1,06	0,32	0,80	0,82	2,26
N/P	-	13	58	167	101	498	202	21	46	51	110	100	132	221
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	1,5	1,8	2,0	< 1,0	1,7	1,3	< 1,0	5,5	1,1	< 1,0	2,1	4,9	2,0
IQA	-	78	84	76	65	70	76	68	69	68	80	75	87	79
IET	-	49	51	52	58	58	56	54	54	51	44	50	47	52

· Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes Intermediários e tributários diretos de ambientes lênticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 2,18 mg.L^{-1} para ambientes lóticos.

**** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <= 7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <= 8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <= 8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH > 8,5.

Tabela 20 – Dados da fase reservatório para a estação E4

PONTO	Limites*	E4												
Data da coleta	-	19/07/12	30/08/12	27/09/12	24/10/12	21/11/12	13/12/12	29/01/13	28/02/13	27/03/13	18/04/13	23/05/13	08/08/13	05/09/13
Altitude (m)	-	611	629	627	631	633	638	641	641	641	638	636	653	644
Profundidade de Coleta (m)	-	0,30	0,30	-	0,97	0,30	0,30	0,62	0,30	0,30	0,30	0,30	1,00	0,30
T água (°C)	-	15,0	18,3	20,1	26,5	29,6	27,6	29,1	26,8	23,8	22,8	21,3	18,3	18,6
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	9,78	2,31	7,20	6,55	8,52	6,81	7,48	7,23	6,68	7,02	5,04	7,46	7,68
OD sat (%)	-	103,7	26,3	85,0	87,4	119,9	92,7	104,5	96,9	84,9	87,5	61,0	85,3	88,1
Secchi (m)	-	0,35	1,20	1,30	1,80	0,80	0,45	1,15	1,30	1,25	1,65	1,85	1,00	1,05
pH	6,0 a 9,0	7,0	6,7	6,7	7,2	7,7	7,1	7,5	7,6	6,9	7,0	6,9	7,2	7,3
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	44	62	67	86	60	66	79	57	25	46	55	38	59
P Total (mg.L^{-1})	0,03**	0,087	0,025	0,033	0,028	0,032	0,026	0,028	0,029	0,030	0,010	0,030	0,021	0,031
P Reativo (mg.L^{-1})	-	0,011	< 0,010	< 0,010	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
N Total (mg.L^{-1})	***	1,4	1,0	2,0	1,1	4,3	4,6	0,5	1,0	0,5	0,8	0,6	0,5	1,0
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,15	0,15	0,22	0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,04	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,53	0,25	0,33	0,27	0,55	0,39	0,26	0,30	0,47	0,36	0,40	0,43	0,56
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	53	54	54	43	79	63	105	44	44	45	48	42	38
Turbidez (NTU)	100	7	2	3	1	3	1	2	1	2	2	1	3	5
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	1,6	1,4	2,5	3,1	2,9	3,8	3,8	3,3	2,3	2,9	2,4	0,9	1,5
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	1,9	2,1	2,4	4,8	2,8	3,6	3,1	3,0	2,6	2,7	2,3	1,3	3,4
Sódio (mg.L^{-1})	-	2,90	4,48	4,68	5,24	4,73	5,10	4,16	4,37	3,07	2,94	1,36	1,50	2,66
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,20	1,37	1,45	1,54	1,41	1,44	1,46	1,17	1,17	1,04	1,52	1,10	1,28
Potássio (mg.L^{-1})	-	2,00	1,95	2,29	2,67	2,48	2,20	2,25	1,91	1,94	1,64	1,68	1,40	1,23
Cálcio (mg.L^{-1})	-	1,70	2,50	2,16	2,84	2,52	2,50	2,13	1,90	2,01	1,94	2,41	2,40	2,10
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	18	32	25	36	29	40	32	28	20	26	26	21	27
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	9	12	12	13	12	12	11	10	10	9	12	10	11
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	4.900	28	330	350	13.000	17	250	79	2.200	70	33.000	5	170
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	220	2	5	2	2	2	4	2	78	2	7	2	2
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	184	3.817	2.957	53.654	11.358	58.246	19.790	25.027	1.129	1.459	472	2.329	2.794
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	0	928	176	44.631	4.820	18.893	12.099	15.038	59	138	113	1.521	422
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	1,00	< 1,00	1,33	1,88	1,39	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
DQO (mg.L^{-1})	-	13,06	8,58	15,92	13,06	11,05	4,52	7,06	11,00	13,89	14,03	11,96	9,53	5,53
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	0,68	6,17	SD	10,40	12,62	31,90	9,86	19,43	3,63	3,96	1,63	3,59	3,52
N/P	-	36	88	134	87	297	390	39	76	37	177	44	53	71
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	3,1	1,4	2,3	3,4	2,7	4,3	3,4	6,0	3,5	2,8	4,1	4,4	2,9
IQA	-	77	69	87	90	88	90	91	93	81	92	83	91	91
IET	-	57	59	63	60	61	63	60	62	58	55	56	57	58

· Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes lênticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 1,27 mg.L^{-1} para ambientes lênticos. **** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <=7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <=8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <=8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH >8,5.

Tabela 21 – Dados da fase reservatório para a estação E6

PONTO	Limites*	E6												
Data da coleta	-	18/07/12	29/08/12	26/09/12	24/10/12	21/11/12	12/12/12	30/01/13	27/02/13	26/03/13	16/04/13	21/05/13	06/08/13	03/09/13
Altitude (m)	-	608	631	635	630	636	629	580	580	580	637	642	639	672
Profundidade de Coleta (m)	-	0,76	0,62	1,24	1,00	0,54	1,03	1,22	1,24	0,57	1,19	1,13	0,35	SD
T água (°C)	-	16,7	19,4	20,7	22,8	27,7	28,1	27,9	26,2	25,2	23,7	21,9	18,2	17,0
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	8,03	10,13	5,20	6,72	11,50	5,65	6,80	6,10	5,46	4,95	5,02	7,78	8,76
OD sat (%)	-	88,2	118,1	62,2	83,7	156,7	77,5	92,4	80,4	70,7	62,8	61,6	88,5	97,6
Secchi (m)	-	1,40	1,15	2,30	1,85	1,00	1,90	2,25	2,30	1,05	2,20	2,10	0,65	1,20
pH	6,0 a 9,0	6,0	8,4	7,1	7,5	9,6	7,5	7,6	7,5	6,1	6,1	7,1	6,8	7,4
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	40	45	50	61	74	67	66	61	27	48	51	38	48
P Total (mg.L^{-1})	0,03**	0,106	0,026	0,025	0,030	0,030	0,023	0,028	0,033	0,027	0,017	0,010	0,036	< 0,010
P Reativo (mg.L^{-1})	-	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,012	< 0,010
N Total (mg.L^{-1})	***	1,0	1,1	1,0	1,0	3,1	1,2	0,5	1,9	0,9	0,6	0,6	1,0	1,0
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,17	0,16	0,27	0,09	< 0,08	< 0,08	< 0,08	<0,08	<0,08	< 0,08	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,47	0,19	0,16	0,06	0,03	0,03	0,09	0,11	0,35	0,24	0,33	0,39	0,15
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	40	37	36	50	62	50	85	38	45	46	63	48	47
Turbidez (NTU)	100	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	5	4
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	1,4	1,4	2,3	2,20	3,13	3,60	3,60	3,20	2,50	2,60	2,40	0,90	0,60
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	1,70	2,10	2,40	2,30	3,05	3,40	3,50	2,90	2,60	2,40	2,30	1,10	0,50
Sódio (mg.L^{-1})	-	2,10	2,26	3,23	3,86	5,11	4,58	4,34	4,28	3,39	3,18	1,38	1,40	1,62
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,10	1,16	1,24	1,34	1,42	1,44	1,46	1,36	1,22	1,12	1,52	1,00	1,56
Potássio (mg.L^{-1})	-	2,20	2,35	2,47	2,64	2,83	3,37	2,06	2,14	1,90	1,83	1,74	1,50	1,11
Cálcio (mg.L^{-1})	-	1,70	1,81	1,87	2,47	2,69	2,74	2,40	2,55	2,33	2,28	2,89	2,20	3,00
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	18	29	21	35	38	38	31	30	25	22	22	23	30
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	9	9	10	12	13	13	13	12	11	10	14	10	14
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	31.000	38	94	170	600	70	13.000	17	5.900	23.000	44.000	43	1.700
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	1	2	2	2	4	5	2	2	1	30	2	1	280
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	4.459	93.484	2.395	32.170	33.696	6.219	7.185	24.457	24.730	1.904	1.142	4.398	429
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	46	0	100	0	6.454	0	4.763	18.090	1.080	91	0	3.275	0
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	1,40	< 1,00	1,70	< 1,00	< 1,00	< 1,00	1,50	1,20	1,50	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
DQO (mg.L^{-1})	-	7,03	7,57	9,45	8,50	11,05	10,55	9,95	13,50	8,93	7,94	10,97	14,04	8,04
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	5,83	31,80	SD	11,40	19,19	8,68	7,30	18,18	8,28	3,41	3,99	6,89	2,26
N/P	-	21	93	88	74	228	115	39	127	74	78	132	61	221
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	3,50	3,80	SD	2,10	3,20	4,30	3,10	5,40	3,60	2,60	3,50	3,30	15,10
IQA	-	86	90	85	91	69	88	92	90	86	77	86	92	84
IET	-	63	63	62	61	62	59	59	62	60	56	55	60	64

· Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes lênticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 1,27 mg.L^{-1} para ambientes lênticos. **** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <= 7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <= 8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <= 8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH > 8,5.

Tabela 22 – Dados da fase reservatório para a estação E7

PONTO	Limites*	E7												
Data da coleta	-	19/07/12	30/08/12	26/09/12	25/10/12	22/11/12	13/12/12	31/01/13	27/02/13	26/03/13	16/04/13	21/05/13	06/08/13	03/09/13
Altitude (m)	-	522	519	509	512	515	528	518	518	518	498	517	530	521
Profundidade de Coleta (m)	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
T água (°C)	-	12,0	16,4	17,3	20,2	21,8	25,0	23,7	22,8	22,3	20,9	20,1	16,4	16,7
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	10,0	9,6	9,2	7,9	6,0	6,2	3,7	2,8	3,5	5,1	5,3	7,1	8,3
OD sat (%)	-	98,4	103,4	101,2	92,5	72,0	79,1	46,3	33,8	42,9	60,6	62,1	77,1	90,6
Secchi (m)	-	0,65	0,75	0,80	0,90	1,00	0,90	0,70	0,45	0,45	0,35	0,50	0,40	0,80
pH	6,0 a 9,0	7,3	7,6	7,9	7,0	7,1	6,5	6,9	6,7	6,4	6,2	7,0	6,6	7,2
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	55	46	52	59	76	73	64	55	25	45	53	43	58
P Total (mg.L^{-1})	0,100**	0,081	0,026	0,031	0,038	0,038	0,029	0,055	0,048	0,036	0,030	0,020	0,040	0,034
P Reativo (mg.L^{-1})	-	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,030	0,016	0,020	0,013	0,021	0,018
N Total (mg.L^{-1})	***	2,9	1,3	0,9	2,5	2,4	4,6	0,8	0,8	1,0	0,5	0,9	0,8	1,0
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,13	0,15	0,18	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,11	< 0,08	< 0,08	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,27	0,71	0,30	0,20	0,17	0,19	0,22	0,28	0,41	0,38	0,44	0,62	0,41
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	57	45	51	49	68	66	70	69	54	65	49	56	51
Turbidez (NTU)	100	3	2	3	4	5	4	5	34	4	4	3	6	11
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	0,1	3,4	2,3	2,4	1,3	2,0	2,1	2,2	1,8	1,9	1,8	1,2	1,1
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	0,6	26,0	1,9	2,4	1,0	1,7	2,1	2,3	1,9	1,7	1,9	1,3	1,1
Sódio (mg.L^{-1})	-	2,55	2,47	2,83	3,32	3,93	3,58	3,15	2,98	2,82	2,38	1,15	1,50	1,94
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,60	1,37	1,35	1,44	2,15	1,84	1,68	1,27	1,29	1,00	1,55	1,20	1,70
Potássio (mg.L^{-1})	-	1,95	2,40	2,36	2,57	2,54	3,14	1,74	1,87	1,62	1,75	1,77	1,50	1,39
Cálcio (mg.L^{-1})	-	3,60	2,36	2,34	2,78	4,59	4,32	3,00	2,54	2,51	2,34	3,60	3,20	3,90
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	33	27	24	33	45	38	30	4	25	26	25	29	36
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	16	12	12	13	20	18	15	12	12	10	15	13	17
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	1.400	350	3.300	4.900	790	700	1.400	6.300	2.500	910	13.000	2.200	2.900
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	460	14	33	3.300	230	120	170	920	200	200	200	1	200
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	188	97.696	794	4.938	499	669	1.356	3.252	894	148	326	207	3.254
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	0	87	57	0	0	93	483	2.361	584	0	122	77	2.968
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	< 1,00	1,30	1,86	1,49	1,19	< 1,00	1,20	1,30	1,00	1,39	1,09	< 1,00	2,52
DQO (mg.L^{-1})	-	8,54	8,08	16,91	13,57	8,54	2,01	14,43	7,50	7,44	8,43	11,46	12,04	15,56
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	0,93	31,70	SD	5,50	3,61	2,85	2,96	2,59	1,96	1,20	2,03	1,06	3,79
N/P	-	79	110	64	145	139	350	32	37	61	37	99	44	65
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	2,0	4,6	1,9	1,6	< 1,00	2,3	3,9	6,2	2,8	2,1	2,7	3,0	3,2
Óleos e graxas (mg.L^{-1})	Virtualmente ausentes	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
IQA	-	75	87	84	68	75	76	67	55	65	70	74	89	76
IET	-	53	65	52	59	57	55	57	56	54	52	53	52	57

· Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes lóticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 2,18 mg.L^{-1} para ambientes lóticos.**** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <= 7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <= 8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <= 8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH > 8,5.

Tabela 23 – Dados da fase reservatório para a estação E9

PONTO	Limites*	E9												
Data da coleta	-	18/07/12	29/08/12	26/09/12	24/10/12	21/11/12	12/12/12	30/01/13	27/02/13	26/03/13	16/04/13	21/05/13	06/08/13	03/09/13
Altitude (m)	-	574	578	576	579	576	617	570	570	570	595	574	506	580
Profundidade de Coleta (m)	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
T água (°C)	-	16,7	19,1	17,0	20,4	23,4	24,0	24,9	23,8	23,0	22,4	21,7	16,8	16,9
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	9,6	8,8	8,7	7,5	8,3	12,1	1,6	7,8	8,0	8,2	7,4	8,7	6,7
OD sat (%)	-	105,1	101,4	95,9	88,8	103,4	153,9	20,2	98,6	99,3	100,3	89,0	94,8	73,1
Secchi (m)	-	0,40	1,10	1,50	1,30	1,50	1,00	0,95	0,40	0,50	0,50	1,10	0,40	1,00
pH	6,0 a 9,0	6,4	8,1	7,6	7,2	7,7	7,1	6,4	7,2	7,1	6,5	7,2	6,8	6,8
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	42	46	49	57	66	65	60	56	24	43	47	37	45
P Total (mg.L^{-1})	0,100**	0,096	0,024	0,029	0,026	0,025	0,033	0,026	0,064	0,038	0,017	0,022	0,043	0,029
P Reativo (mg.L^{-1})	-	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,019	0,019	< 0,010	< 0,010	0,027	0,020
N Total (mg.L^{-1})	***	1,3	0,8	0,7	1,2	4,5	2,0	0,5	1,3	0,8	0,5	1,2	1,0	1,0
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,18	0,14	0,20	0,13	< 0,08	< 0,08	< 0,08	0,22	< 0,08	< 0,08	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,09	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,52	0,25	0,16	0,11	0,15	0,16	0,20	0,24	0,45	0,37	0,44	0,78	0,64
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	47	40	42	43	47	53	50	74	58	44	49	53	48
Turbidez (NTU)	100	5	2	2	2	2	3	3	3	4	2	2	7	11
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	1,6	1,7	2,3	2,1	3,0	3,5	3,2	2,8	1,9	2,2	2,1	1,4	1,4
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	1,7	2,4	2,4	2,2	3,1	3,9	3,1	3,0	2,2	2,2	2,3	1,8	1,8
Sódio (mg.L^{-1})	-	2,15	2,36	3,31	3,54	4,94	4,27	3,63	3,65	2,85	2,57	1,29	1,30	1,48
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,20	1,16	1,27	1,33	1,41	1,44	1,40	1,29	1,20	0,99	1,35	1,00	1,19
Potássio (mg.L^{-1})	-	2,05	2,40	2,29	2,50	2,69	2,99	1,80	2,11	1,65	1,77	1,58	1,50	1,38
Cálcio (mg.L^{-1})	-	1,90	1,95	1,95	2,38	2,67	2,79	2,22	2,41	2,05	1,97	2,79	2,40	2,70
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	19	28	23	30	34	29	27	24	23	26	22	30	31
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	10	10	10	11	13	13	11	11	10	9	13	10	12
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	2.000	720	210	79	7.400	8.100	460	12.000	2.300	150	870	1.400	80
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	1	2	13	2	14	41	98	74	41	1	1	1	2
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	215	80.344	1.813	4.789	7.194	1.255	5.364	4.473	586	216	483	76	1.402
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	0	27	422	116	634	255	1.887	3.317	351	0	147	0	1.335
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	< 1,00	< 1,00	2,67	1,98	1,38	< 1,00	< 1,00	2,10	1,70	< 1,00	< 1,00	< 1,00	2,56
DQO (mg.L^{-1})	-	8,04	8,08	16,91	13,57	11,05	9,55	8,95	14,50	8,43	12,40	13,95	13,04	16,57
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	0,72	32,40	SD	4,60	7,81	3,56	5,11	3,19	1,37	1,33	1,33	0,90	2,38
N/P	-	30	74	53	102	397	134	42	45	46	65	120	51	76
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	3,1	3,9	1,7	1,5	2,1	5,0	2,9	5,0	2,6	2,6	2,9	5,5	3,7
IQA	-	90	92	86	91	85	74	57	81	83	93	93	92	85
IET	-	52	65	51	57	59	61	58	58	53	51	51	51	55

· Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes lóticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 2,18 mg.L^{-1} para ambientes lóticos. **** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <= 7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <= 8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <= 8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH > 8,5.

Tabela 24 – Dados da fase reservatório para a estação E10

PONTO	Limites*	E10												
Data da coleta	-	17/07/12	28/08/12	25/09/12	23/10/12	20/11/12	12/12/12	29/01/13	26/02/13	25/03/13	17/04/13	22/05/13	08/08/13	05/09/13
Altitude (m)	-	611	634	630	634	627	627	639	639	639	641	638	639	641
Profundidade de Coleta (m)	-	0,59	0,46	0,59	0,84	0,43	0,97	0,92	0,86	0,59	1,19	1,19	0,40	0,43
T água (°C)	-	16,1	20,8	22,9	23,6	26,4	28,2	27,9	27,5	24,4	23,8	22,2	20,1	18,7
OD (mg.L^{-1})	≥ 5,00	5,9	10,0	8,3	5,7	9,5	7,8	6,3	6,8	4,9	3,7	5,0	8,4	8,1
OD sat (%)	-	63,5	119,2	103,9	72,6	125,8	107,6	86,1	92,6	62,8	46,7	61,3	98,7	92,9
Secchi (m)	-	1,10	0,85	1,10	1,55	0,80	1,80	1,70	1,60	1,10	2,20	2,20	0,75	0,80
pH	6,0 a 9,0	6,9	6,4	7,4	7,0	9,0	8,3	7,4	7,3	7,0	7,0	7,1	7,5	7,3
Condutividade (µS.cm^{-1})	-	45	63	60	69	72	68	68	64	28	57	53	38	43
P Total (mg.L^{-1})	0,03**	0,071	0,047	0,034	0,035	< 0,010	0,029	0,020	0,026	0,026	< 0,010	0,016	0,025	0,042
P Reativo (mg.L^{-1})	-	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,036	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,015	0,019
N Total (mg.L^{-1})	***	1,5	0,7	1,1	1,0	6,5	2,0	0,5	0,5	0,5	0,9	0,8	0,6	1,0
Amônia (mg.L^{-1})	****	0,17	0,16	0,10	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	<0,08	0,09	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrito (mg.L^{-1})	1,0	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Nitrato (mg.L^{-1})	10	0,42	0,22	0,22	0,03	0,04	0,03	0,20	0,05	0,14	0,06	0,20	0,26	0,47
Sólidos Totais (mg.L^{-1})	-	52	39	45	37	54	65	46	46	48	46	51	54	42
Turbidez (NTU)	100	2	11	2	2	2	2	1	1	1	1	1	5	15
Sulfato Total (mg.L^{-1})	250	1,1	2,4	2,6	3,2	3,4	3,3	3,7	2,7	2,2	1,5	1,8	0,6	1,2
Cloreto Total (mg.L^{-1})	250	1,5	2,6	2,3	3,2	3,3	3,4	3,2	2,6	2,3	1,6	3,0	0,8	1,6
Sódio (mg.L^{-1})	-	2,35	3,40	4,67	4,69	5,40	4,55	4,63	4,41	3,72	3,53	1,59	1,50	1,64
Magnésio (mg.L^{-1})	-	1,20	1,16	1,38	1,46	1,52	1,53	1,46	1,47	1,33	1,38	1,56	1,20	1,18
Potássio (mg.L^{-1})	-	2,20	2,33	2,35	2,77	2,93	3,52	1,85	2,23	1,93	2,29	1,87	1,60	1,40
Cálcio (mg.L^{-1})	-	2,20	2,01	2,18	2,74	2,70	2,83	2,34	2,51	2,64	2,92	3,45	3,10	2,06
Alcalinidade Total (mg.L^{-1})	-	21	29	26	37	32	32	29	33	26	33	27	23	25
Dureza Total (mg.L^{-1})	-	10	10	11	13	13	15	12	12	12	13	15	13	10
Coliformes Totais (NMP.100mL^{-1})	-	3.600	27	220	170	17	9.800	44	9.800	7.200	49	1.900	790	17
Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL^{-1})	≤ 1.000	20	5	130	2	11	10	2	2	10	2	5	170	2
Fitoplâncton (cel.mL^{-1})	-	1.613	32.549	30.351	8.883	116.971	15.803	26.374	38.477	1.258	4.844	1.549	47.310	75.304
Cianobactérias (cel.mL^{-1})	50.000	0	852	0	0	21.785	8.247	16.071	30.194	55	2.928	604	46.478	74.313
DBO (mg.L^{-1})	≤ 5,00	1,10	4,46	4,03	1,88	4,78	4,28	1,10	1,40	< 1,00	< 1,00	< 1,00	2,22	< 1,00
DQO (mg.L^{-1})	-	6,52	16,05	24,19	14,54	27,36	17,59	9,07	14,54	10,41	8,02	7,48	18,05	14,07
Clorofila-a (µg.L^{-1})	30	2,73	59,01	SD	16,90	32,10	14,93	10,60	20,85	4,88	2,72	4,72	17,70	27,33
N/P	-	47	33	71	63	1435	152	55	42	42	199	110	53	53
Carbono Orgânico Total (mg.L^{-1})	-	2,6	3,5	2,2	2,2	3,5	5,4	3,2	5,1	3,2	2,6	3,0	5,7	6,4
IQA	-	79	82	78	88	73	83	92	92	83	79	84	79	89
IET	-	60	66	64	62	60	61	59	62	58	54	57	61	64

· Dados de altitude obtidos em campo e conferidos/alterados em conferência com dados obtidos através do Google Earth Pro * Estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, para rios de Classe 2. SD: sem dados.

** Para ambientes lênticos. *** Quando o nitrogênio for fator limitante para a eutrofização: 1,27 mg.L^{-1} para ambientes lênticos. **** 3,7 mg.L^{-1} N, para pH <= 7,5; 2,0 mg.L^{-1} N, para 7,5 < pH <= 8,0; 1,0 mg.L^{-1} N, para 8,0 < pH <= 8,5; 0,5 mg.L^{-1} N, para pH > 8,5.

Valores de pH estiveram fora do intervalo de limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/05 para rios de Classe 2 na estação E1, a montante do reservatório, no mês de julho/12 (5,6) e na estação E6, no reservatório, nas proximidades do barramento, no mês de novembro/12 (9,6). Na estação E10, valor de 9,0 foi registrado, também no mês de novembro/12. Outros valores próximos ao limite superior legislado também foram observados nas estações de reservatório, no mês de dezembro/12 (8,3: E10) e setembro/12 (8,4: E6). Em especial, nas estações de reservatório, estes valores elevados podem estar relacionados ao desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica (a ser discutida em item a parte). Quando elevada, a produtividade primária demanda mais CO_2 para o processo de fotossíntese, deslocando o equilíbrio da equação $CO_2 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$, tornando a água mais alcalina.

Durante a fase reservatório, coliformes termotolerantes, medidos em concentração de *Escherichia coli*, apresentaram-se fora dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 para rios de Classe 2 (≤ 1.000 NMP.100mL^{-1}) nas estações E1, E2, E3 e E7. Valores mais elevados foram registrados nos meses de outubro/12 e novembro/12, sendo que na estação E3 (rio Imbauzinho, a montante do reservatório), o valor máximo foi registrado, com concentração de 7.900 NMP.100mL^{-1}.

Através da análise dos valores registrados nas fases rio e reservatório (Figura 34), observa-se que concentrações mais elevadas deste poluente são advindas de montante. Também os valores medianos mais elevados foram registrados na estação E2, no início do reservatório, a jusante da cidade de Telêmaco Borba. Comparando os dados obtidos nas estações de monitoramento, durante as duas fases do Programa de Monitoramento, observa-se que os valores registrados para coliformes termotolerantes na fase reservatório foram, de forma geral, inferiores aos registrados na fase rio. A fim de evidenciar tal diferença, os valores extremos foram retirados da Figura 34, sendo os *outliers* mantidos.

Ressalta-se que a estação E5 (existente na fase rio) está sendo comparada com a estação E10 (fase reservatório), pois ambas localizam-se no rio Barra Grande. No entanto, a estação E5 localizava-se a montante do futuro reservatório, e foi realocada para dentro do reservatório, na segunda fase de monitoramento, sendo designada E10, conforme já explicitado em relatórios anteriores.

De acordo com CDC (2011), *Escherichia coli* (*E. coli*) é uma bactéria que vive, normalmente, no trato intestinal de humanos e demais animais de sangue quente, sendo que algumas cepas são patogênicas e podem causar doenças, como diarreia ou outras fora do trato intestinal. Estes microrganismos quando detectados em uma amostra de água fornecem evidência direta de

contaminação fecal recente, e por sua vez podem indicar a presença de patógenos entéricos (Pope *et al*., 2003[1] *apud* Duarte, 2011).

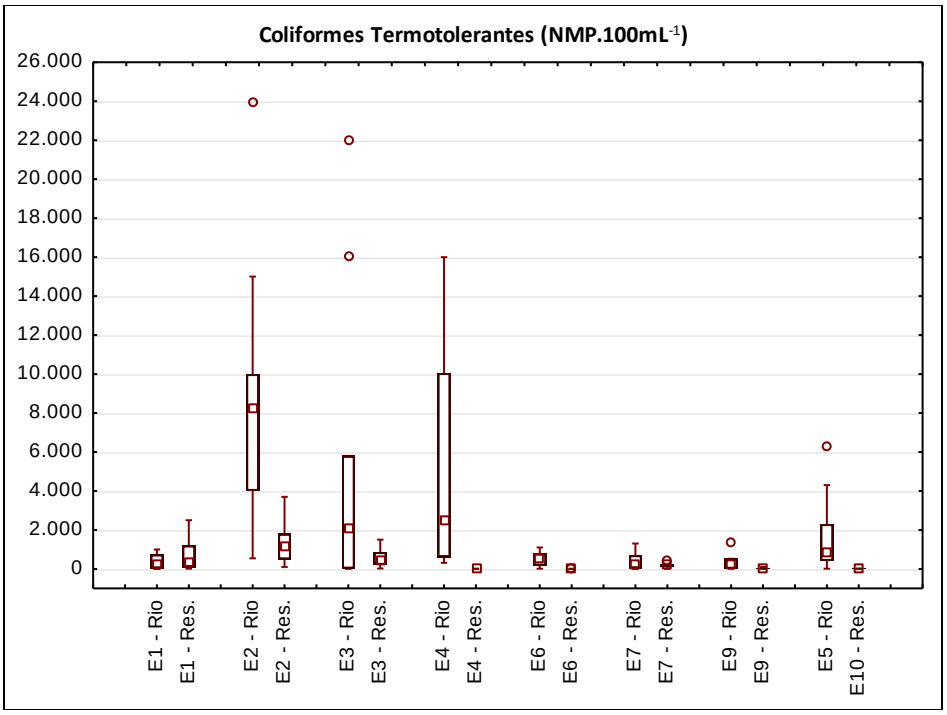

Figura 34 – Variação das concentrações de coliformes termotolerantes, nas fases rio (Rio) e reservatório (Res.).

Durante a fase reservatório, coliformes totais apresentaram grande variação nas concentrações medidas, variando entre 5 NMP.100mL^{-1} (E4, agosto/13) e 44.000 NMP.100mL^{-1} (E6, maio/13). Apesar de estes microorganismos serem utilizados como indicadores indiretos da presença de matéria orgânica no corpo hídrico, os valores registrados para a DBO (outro indicador de aporte de matéria orgânica) estiveram relativamente baixos em todas as estações de monitoramento, não ultrapassando 4,79 mg.L^{-1}, valor registrado na estação E2, no mês de novembro/12. Ressalta-se que o limite da Resolução CONAMA 357/05, para DBO em rios de Classe 2 é de 5,00 mg.L^{-1}.

O limite da Resolução CONAMA 357/05 não é explícito no tocante à concentração de óleos e graxas. A mesma define que estes contaminantes devem estar "virtualmente ausentes". Assim, no presente relatório, óleos e graxas foram reportados como não conformidades caso fossem observados em valores superiores aos limites de detecção do método de análise (< 1,0 mg.L^{-1}). Também, no intuito de contribuir com a avaliação destas variáveis, foi solicitado à equipe de coleta que anotasse na planilha de campo a presença ou ausência de iridescências na superfície da água. Óleos e graxas são monitorados apenas nas estações de montante (E1) e jusante (E7) e foram

[1] POPE, M.L; et al. *Assessment of the Effects of Holding Time and Temperature on Escherichia coli Densities in Surface Water Samples*. Appl Environ Microbiol. October; 69(10): 6201–6207, 2003.

observados como não conformidades, durante a fase reservatório, na estação de montante, E1, no mês de março/13 (1,5 $mg.L^{-1}$) e no mês de abril/13 (1,1 $mg.L^{-1}$), quando estiveram acima do limite de detecção do método. Com relação à visualização de iridescências na superfície da água, as mesmas foram registradas pela equipe de campo na estação E2, no mês de janeiro/13.

Desde o início do monitoramento, inclusive durante a fase rio, valores elevados de fenóis totais vêm sendo registrados na estação onde são exclusivamente avaliados (estação E2), localizada a jusante da cidade de Telêmaco Borba e também da indústria Klabin Papel & Celulose. As concentrações ali medidas vêm apresentando-se acima do limite máximo de 0,003 $mg.L^{-1}$, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para rios de Classe 2. Durante a fase reservatório, com exceção das concentrações medidas nos meses de maio/13 (< 0,002 $mg.L^{-1}$) e agosto/13 (0,003 $mg.L^{-1}$), nas demais amostragens, os resultados dos ensaios indicaram concentrações superiores ao limite máximo estabelecido pela resolução supracitada. Maior concentração foi observada no mês de julho/12, com valor de 0,140 $mg.L^{-1}$. Conforme citado em relatórios anteriores, em águas naturais, os padrões para os compostos fenólicos são bastante restritivos. Em águas tratadas, o fenol reage com o cloro livre formando o clorofenol que produz sabor e odor na água (CETESB, 2009). Segundo Yabe e colaboradores (2000), os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais. Podem também ser encontrados em pequenas concentrações em águas superficiais por serem constituintes das plantas, podendo também ser formados durante os processos de humificação no solo, além de serem liberados para o ambiente pela degradação de pesticidas com estrutura fenólica. Também, indústrias de processamento da borracha, colas e adesivos, resinas impregnantes, componentes elétricos (plásticos) e as siderúrgicas, entre outras, são responsáveis pela presença de fenóis nas águas naturais. Os fenóis são encontrados também em efluentes de indústrias que não tem como base principal de produção o fenol ou seus derivados. Exemplos de indústrias que tem fenóis em seus efluentes são a de papel e celulose, têxtil, cerâmica, mineradoras de carvão, coquerias entre tantas outras (BARBOSA *et al.*, 1994[2] citado por CESCONETTO-NETO, 2002).

Com relação à avaliação do fósforo total, de forma geral, os maiores aportes à região de estudo foram registrados nas estações E1 e E2 (Figura 35), a montante do empreendimento. Temporalmente, observa-se que em todas as estações, com exceção de E1, a concentração mais elevada foi registrada no mês de julho/12.

[2] BARBOSA, T.C.P.; GABILAN, N.H.; LUZ, A.P.; BEDIN, M.L. *Potencial biotecnologico de bacterias isoladas de efluentes industriais.* Relatório anual de projeto financiado pela Fundação Banco do Brasil. Laboratório de Microbiologia Aquática, CCB-UFSC, 1994.

Para a avaliação do fósforo total (Figura 35), à luz da Resolução CONAMA 357/05, o corpo hídrico deve ser avaliado de acordo com seu tempo de residência, e desta forma classificado em lêntico, intermediário e lótico. O reservatório de Mauá (representado pelas estações E4, E6 e E10) foi classificado como ambiente lêntico, com limite de fósforo é de 0,030 mg.L^{-1}, em função do seu tempo de residência, que é superior a 40 dias (cerca de 88 dias). Nas três estações foram registrados desacordos. Na estação E4, quatro medidas em treze amostragens estiveram acima do limite, sendo o valor máximo registrado no mês de julho/12 (0,087 mg.L^{-1}). Na estação E6, localizada nas proximidades do barramento, três amostras estiveram acima de tal limite, também com o valor mais elevado sendo registrado no mês de julho/12 (0,106 mg.L^{-1}). Na estação E10, instalada no braço de reservatório do rio Barra Grande, mais uma vez o valor mais elevado foi registrado no mês de julho/12, com concentração de 0,071 mg.L^{-1}.

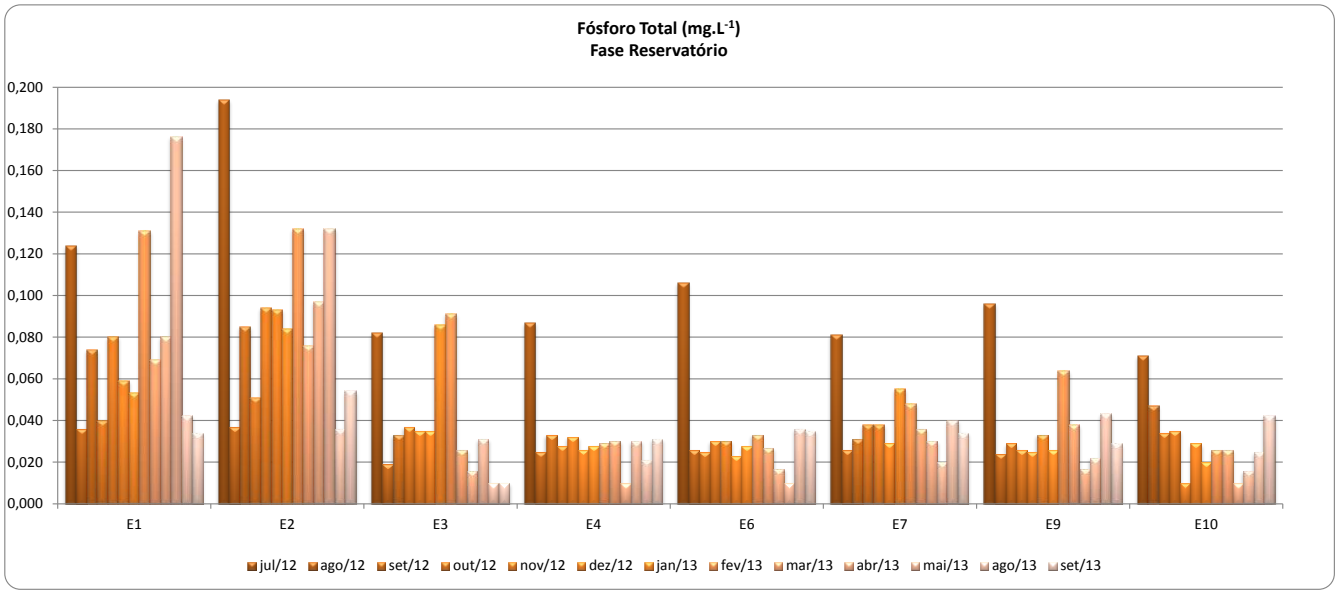

Figura 35 – Variações espaciais e temporais do fósforo total na região de estudo, fase reservatório.

As demais estações foram classificadas da seguinte forma: Estações E1, E2 e E3, como tributários de ambiente lênticos, com limite de 0,050 mg.L^{-1} e as estações E7 e E9 foram classificadas como ambientes lóticos, com limite de 0,100 mg.L^{-1}.

Na estação E1, das treze medidas realizadas para o presente monitoramento, nove estiveram acima do limite de 0,05 mg.L^{-1}, sendo em maio/13 o registro da maior concentração de fósforo para aquela estação: 0,176 mg.L^{-1}, mais de três vezes acima do limite legislado. Já na estação E2, localizada a jusante da cidade de Telêmaco Borba, das treze amostragens realizadas, apenas duas não ultrapassaram o limite máximo da Resolução CONAMA para rios de Classe 2, indicando maior

degradação da qualidade da água com relação à este poluente, naquela estação. No mês de julho/12 a concentração registrada foi quase quatro vezes superior ao limite, 0,194 mg.L^{-1}. Na estação E3, foram registrados valores relativamente mais baixos, com exceção dos meses de julho/12, janeiro/13 e fevereiro/13. Nos demais não foram observadas não conformidades com a resolução citada.

Nas estações E9 e E7, onde o limite é menos restritivo (0,100 mg.L^{-1}) não foram registrados desacordos na fase reservatório, no entanto, é relevante citar que no mês de julho/12, valores próximos ao limite foram observados.

Na Figura 36 são apresentados os valores de fósforo total registrados na fase rio e na fase reservatório, por estação. Nas estações E1 e E2, apesar de serem observadas amplitudes maiores nas concentrações de fósforo total na fase rio, os valores medianos da fase reservatório foram mais elevados. Nas demais estações, valores máximos e medianos mais elevados foram registrados na fase rio. Tal situação pode estar relacionada à sedimentação de material que agora aporta em ambiente lêntico.

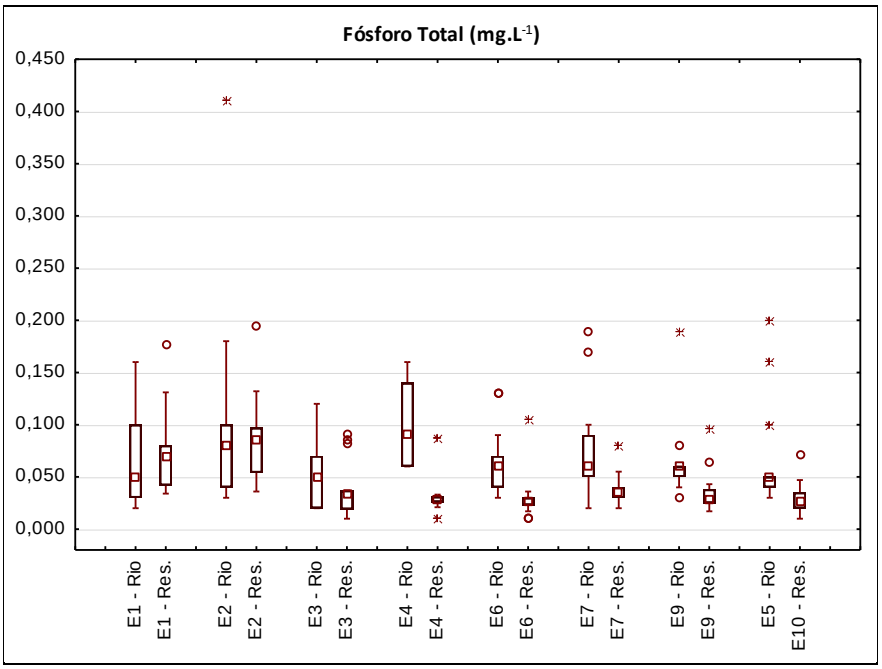

Figura 36 – Concentrações de fósforo total nas estações de monitoramento, ao longo das fases rio (Rio) e reservatório (Res.).

A fim de contribuir com o diagnóstico de macronutrientes, o comportamento espacial e temporal da variável nitrogênio total foi ilustrado na Figura 37. Temporalmente observam-se valores mais elevados deste nutriente nos meses de setembro/12 (estações de montante), novembro/12 e dezembro/12 (todas as estações), sendo os maiores valores registrados, de forma geral, no mês de

novembro/12. Tal observação possivelmente não está relacionada ao período de chuvas, pois no mês de novembro/12 não houve registro de pluviosidade intensa.

Espacialmente observa-se a contribuição das estações de montante ao aporte deste poluente ao reservatório. As maiores concentrações foram registradas nas estações E2 (8,0 $mg.L^{-1}$) e E3 (7,9 $mg.L^{-1}$), no mês de novembro/12, conforme comentado anteriormente.

Durante o presente monitoramento, o nitrogênio não foi considerado fator limitante ao crescimento da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Mauá, mas sim o fósforo. A avaliação do nutriente limitante é feita através da análise da relação molar nitrogênio/fósforo (N/P). Segundo Jorgensen & Vollenweider (1989), quando o resultado desta relação é um número superior a 12, o fator limitante é o fósforo, e quando o valor está entre 7 e 12, o fator limitante é o nitrogênio.

A Resolução CONAMA 357/05 só determina valores máximos de nitrogênio total, quando este é limitante ao crescimento da comunidade fitoplanctônica. Mesmo não apresentando limites legislados na situação em questão, as concentrações registradas durante os meses supracitados podem ser consideradas elevadas. Utilizando o valor de referência para ambientes lóticos (quando é fator limitante), de 2,18 $mg.L^{-1}$, como valor comparativo, foram registrados valores de duas a quatro vezes superiores à concentração citada, ressaltando-se ser este um limite menos restritivo por se tratar de ambientes de fluxo rápido. Desta forma, observa-se que nos meses de setembro/12, novembro/12 e dezembro/12, todas as estações de monitoramento na região em estudo apresentaram valores expressivamente altos.

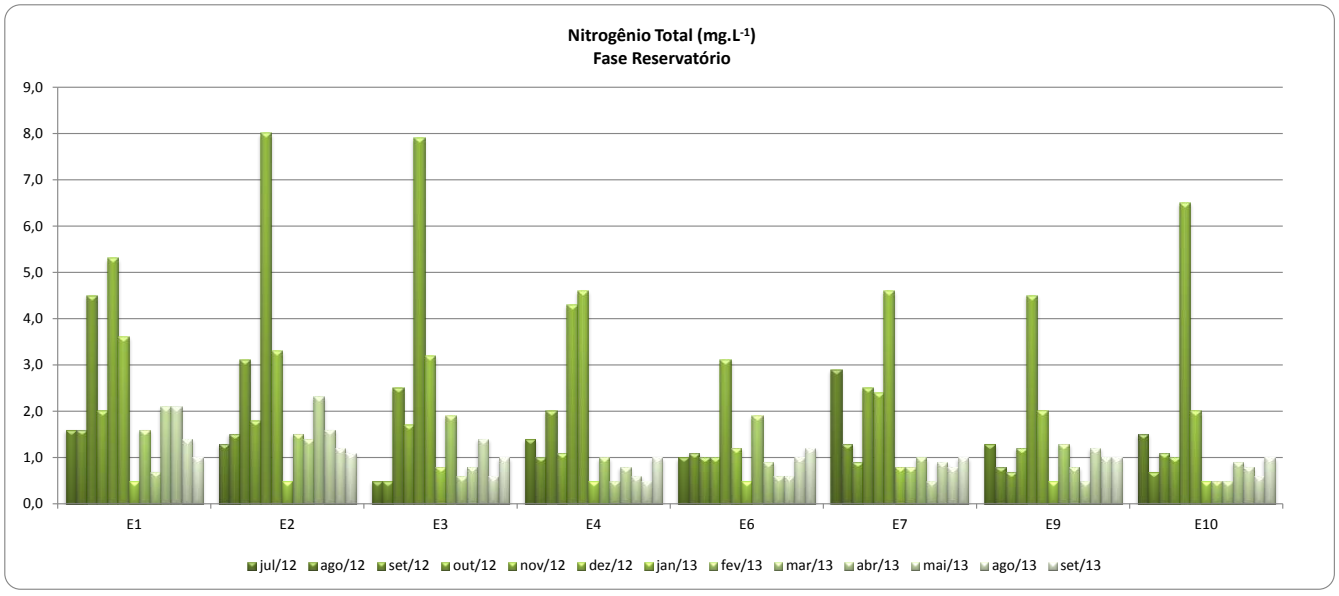

Figura 37 – Variações espaciais e temporais do nitrogênio total na região de estudo, fase reservatório.

O comparativo das concentrações medidas nas estações de amostragem durante a fase rio e a fase reservatório é apresentado na Figura 38. Observa-se que, com exceção da estação E6, foram registrados picos de nitrogênio (valores pontuais expressivamente mais elevados), no monitoramento da fase reservatório, no entanto, os valores medianos de concentração de nitrogênio foram menores também na fase reservatório. A Figura 38 também ilustra a característica dos aportes de montante, estações E1, E2 e E3, nas quais as concentrações mais elevadas foram registradas.

Outra variável que apresentou desacordos, em algum momento do monitoramento da fase reservatório, com relação à Resolução CONAMA 357/05, foi o oxigênio dissolvido. A legislação estabelece uma concentração mínima de 5,00 $mg.L^{-1}$, valor este que não foi atingido em alguns eventos de amostragem, conforme pode ser observado na Figura 39.

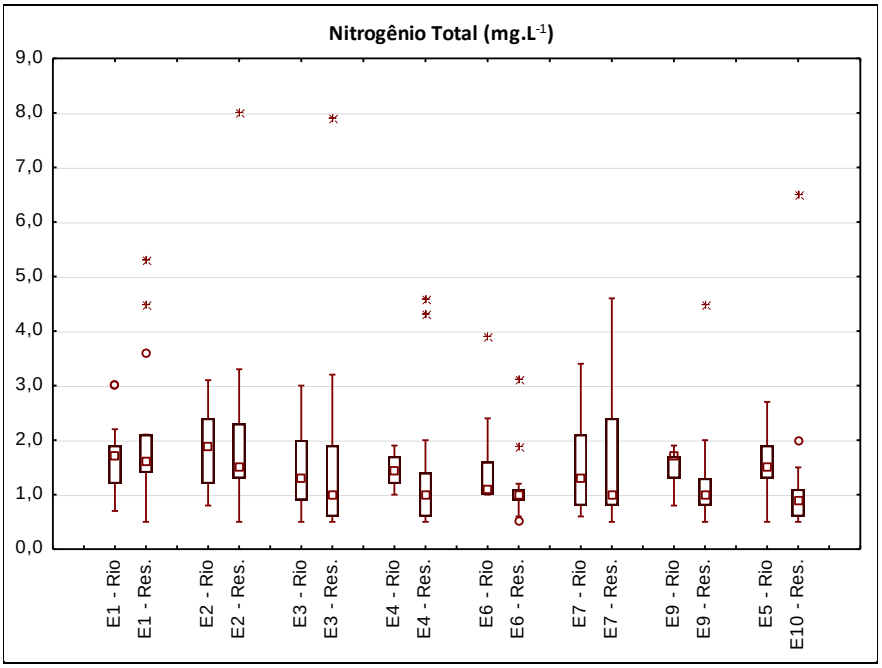

Figura 38 – Concentrações de nitrogênio total na região de estudo, nas fases rio (Rio) e reservatório (Res.).

Os desacordos registrados ocorreram nas estações E4 (porção mediana do reservatório), no mês de agosto/12, E6 (reservatório, nas proximidades da barragem), no mês de abril/13, na estação E7 (jusante da casa de força), nos meses de janeiro/13, fevereiro/13 e março/13, na estação E9 (jusante do barramento), no mês de janeiro/13 e na estação E10 (reservatório no braço do rio Barra Grade), nos meses de março/13, abril/13 e maio/13.

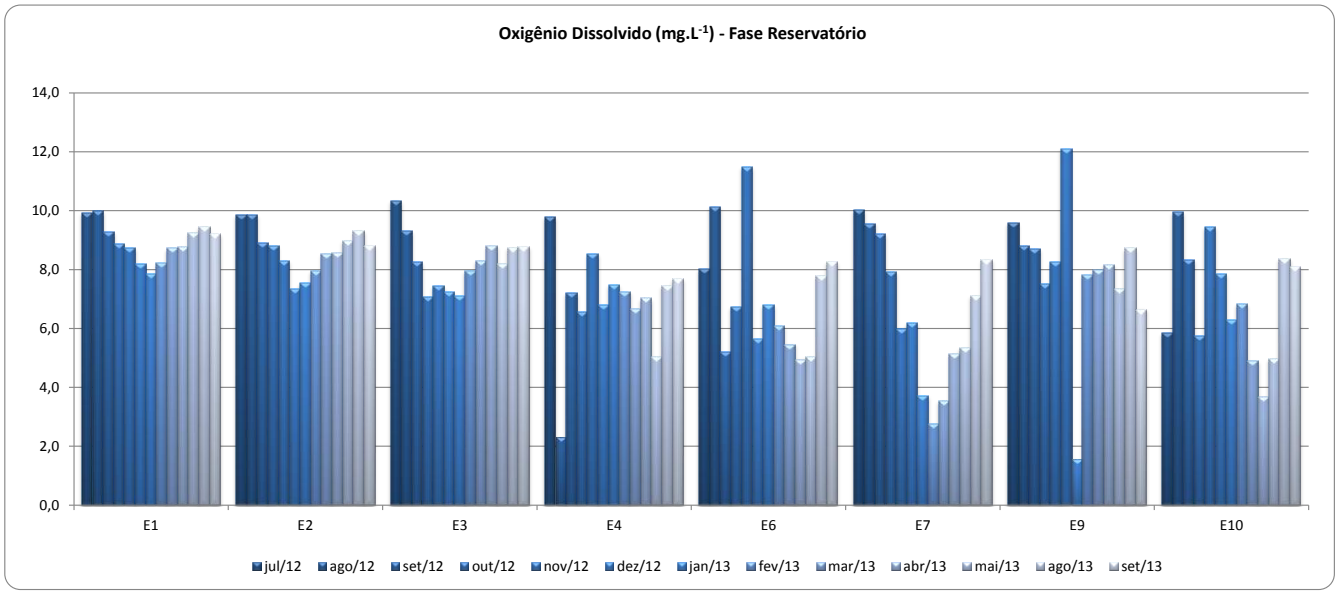

Figura 39 – Variações espaciais e temporais do oxigênio dissolvido na região de estudo, fase reservatório.

Nas estações de reservatório, os baixos valores de oxigênio podem estar relacionados à degradação da matéria orgânica durante o processo de enchimento e formação do reservatório. Nas estações de jusante, E7 e E9, as concentrações baixas de OD estão possivelmente ligadas à ocorrência de estratificação térmica, com hipóxia hipolimnética, no reservatório. Tal situação se estabelece a jusante pois a água restituída ao rio após a geração de energia foi possivelmente tomada no reservatório em profundidades onde as concentrações de OD estiveram mais baixas. Cabe ressaltar que houve melhora gradativa da distribuição do oxigênio dissolvido na coluna d'água na estação E6 (localizada próxima à barragem e à tomada d'água) a partir de março/2013 (,Figura 44).

Na Figura 40 é apresentado um comparativo entre as concentrações registradas na fase rio e na fase reservatório, por estação de monitoramento. Pode-se observar que o valor mediano das concentrações de oxigênio dissolvido da fase reservatório foi menor do que o observado na fase rio, em todas as estações de monitoramento, incluindo as estações de montante. Atenção especial deve ser dada às concentrações registradas na estação E7, por se tratar da água que é captada no reservatório, em regiões onde as concentrações de oxigênio dissolvido foram baixas, em função da estratificação térmica.

As demais variáveis analisadas não apresentaram variação expressiva e desta forma não serão comentadas individualmente.

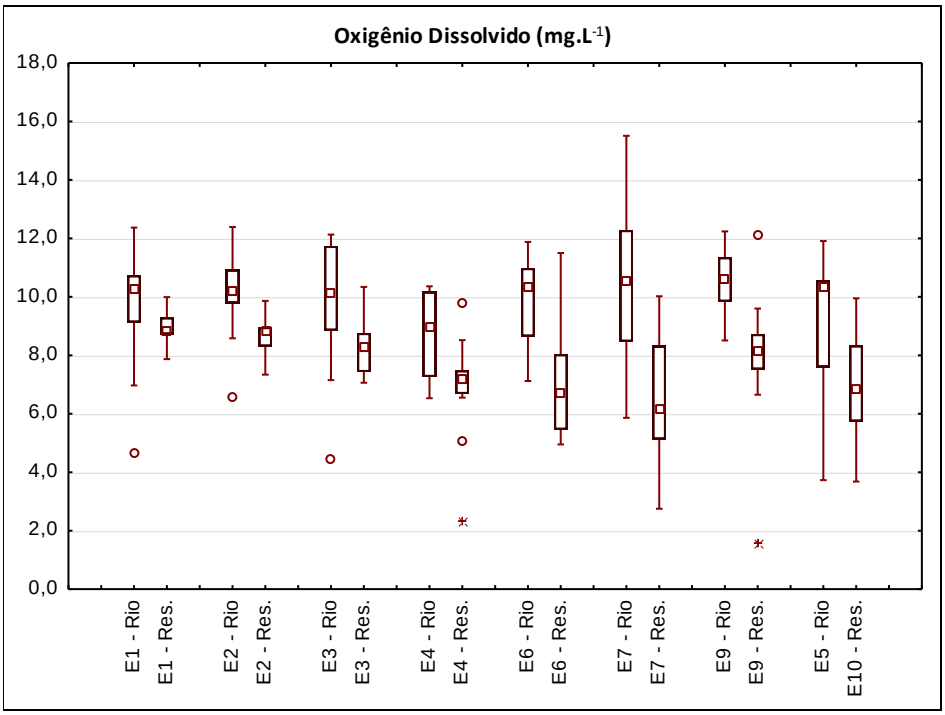

Figura 40 – Variações espaciais e temporais do oxigênio dissolvido na região de estudo, nas fases rio (Rio) e reservatório (Res).

3.1.1.1 Índice de Qualidade de Água – IQA

Os valores de IQA, no período avaliado, estiveram entre 55 e 93, indicando águas de boa e ótima qualidade, segundo critérios da CETESB, desde que não apresentem qualquer grau de toxicidade. Cabe salientar que este índice apresenta algumas limitações, entre elas a de considerar apenas a sua utilização para o abastecimento público.

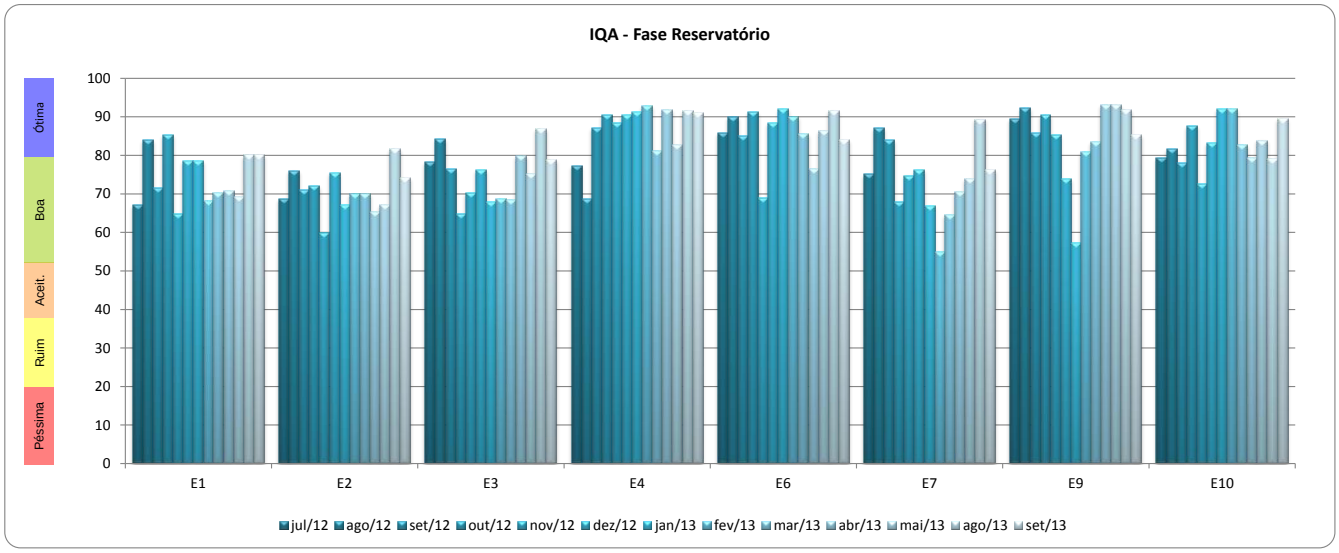

Figura 41 – Variações espaciais e temporais do Índice de Qualidade de Água (IQA) na região de estudo, fase reservatório.

De forma geral, os valores mais baixos encontram-se nas estações de montante, influenciados pelos elevados valores de fósforo e valores mais altos (em relação aos demais) de sólidos totais e tubidez. Também valores mais baixos foram observados na estação E7, relacionados às baixas concentrações de OD observadas naquela estação, registradas em fevereiro/13.

Ao serem comparados os valores de IQA obtidos antes do enchimento (fase rio) e na fase reservatório, observa-se pela Figura 42, que os valores medianos são mais elevados na fase reservatório.

Ressalta-se que o IQA é um índice desenvolvido para avaliação de potabilidade da água de rios. Desta forma, é fortemente influenciado pela presença de contaminantes na água, como coliformes termotolerantes. Estes apresentaram-se em concentrações mais baixas durante a fase reservatório, em especial nas estações de reservatório, possivelmente em função sedimentação dos poluentes nas massas de água do reservatório.

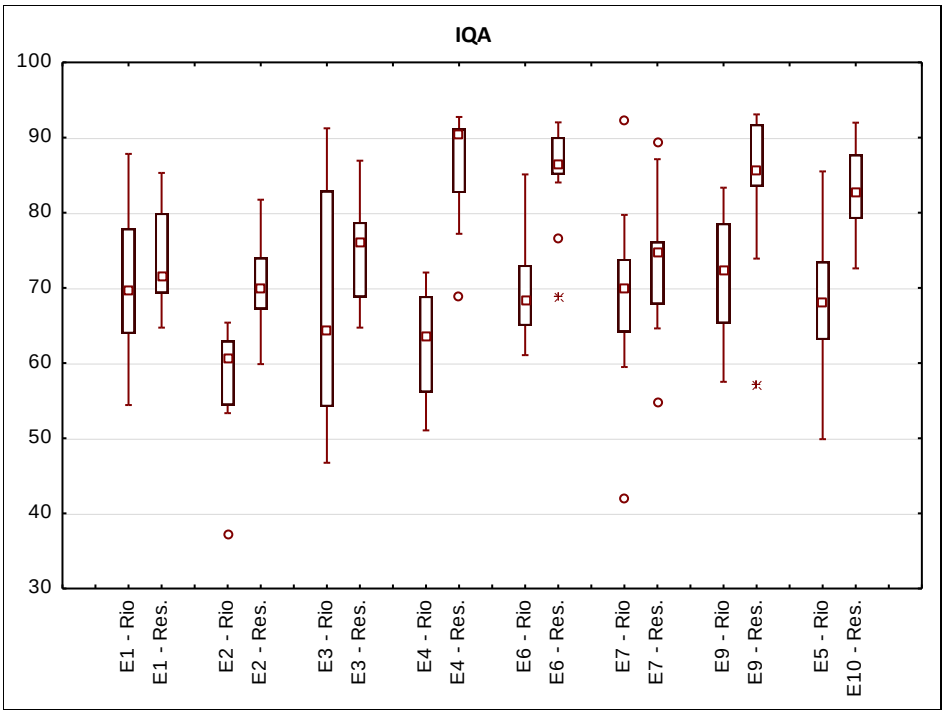

Figura 42 – Índice de Qualidade de Água (IQA) na região de estudo, fases rio (Rio) e reservatório (Res.).

3.1.1.2 Índice de Estado Trófico – IET

O Índice de Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia. Assim, o IET avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de cianobactérias, algas e macrófitas aquáticas. O

Índice de Estado Trófico foi calculado com base nos valores de Fósforo Total e Clorofila-a obtidos para as estações de monitoramento.

Para as estações E1, E2, E3, E7 e E9, foi utilizada a fórmula específica para rios, sendo que para as estações E4, E6 e E10 foi aplicada a fórmula do IET para reservatórios (LAMPARELLI, 2004). Na Tabela 25 são apresentados os resultados do IET para as estações de monitoramento e a classificação obtida a partir da média dos valores registrados nos treze meses de monitoramento, por estação de amostragem.

A estação E3 foi a que apresentou melhor qualidade em relação ao índice de estado trófico, sendo classificada como oligotrófica, de acordo com os valores médios de IET obtidos. Na média, as estações E1, E2, E7 e E9 foram classificadas como ambientes mesotróficos. As estações de reservatório, E4, E6 e E10 foram classificadas como ambientes eutróficos.

Tabela 25 – Resultados do IET por estação de amostragem, ao longo da fase reservatório.

	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Julho/12	Meso	Meso	Oligo	Meso	Eu	Meso	Meso	Eu
Agosto/12	Meso	Meso	Oligo	Meso	Eu	Super	Super	Super
Setembro/12	Meso	Meso	Meso	Super	Eu	Oligo	Oligo	Super
Outubro/12	Hiper	Hiper	Meso	Eu	Eu	Meso	Meso	Eu
Novembro/12	Eu	Eu	Meso	Eu	Eu	Meso	Eu	Eu
Dezembro/12	Eu	Eu	Meso	Eu	Eu	Meso	Meso	Eu
Janeiro/13	Meso	Meso	Meso	Eu	Eu	Meso	Meso	Eu
Fevereiro/13	Meso	Meso	Meso	Eu	Eu	Meso	Meso	Eu
Março/13	Meso	Meso	Oligo	Meso	Eu	Meso	Meso	Meso
Abril/13	Meso	Meso	Ultraoligo	Meso	Meso	Oligo	Oligo	Meso
Maio/13	Meso	Meso	Oligo	Meso	Meso	Meso	Oligo	Meso
Agosto/13	Meso	Meso	Oligo	Meso	Eu	Oligo	Oligo	Eu
Setembro/13	Meso	Meso	Oligo	Meso	Super	Meso	Meso	Super
Média								

Siglas: Ultraoligo: Ultraoligotrófico; Oligo: Oligotrófico; Meso: Mesotrófico; Eu: Eutrófico; Super: Supereutrófico; Hiper: Hipereutrófico.

3.1.1.3 Índice de Qualidade de Água de Reservatórios – IQAR

Algumas variáveis limnológicas foram analisadas em duas estações no reservatório, E6 e E10, em duas ou três profundidades, com objetivo do cálculo do IQAR. Os resultados analíticos relativos à estação E6 e E10 encontram-se em anexo a este relatório. A Tabela 26 apresenta os valores de IQAR, bem como a média calculada com base em 12 amostragens, realizadas ao longo de 13 meses de monitoramento. Ressalta-se que o valor de setembro/12 não pode ser calculado em função de problemas com o ensaio de clorofila e que desta forma, inviabilizaram o cálculo do índice.

Com base nos valores apresentados, ambas as estações são classificadas pelo método do IQAR, como ambientes criticamente degradados a poluídos. Segundo a metodologia do IAP (2009), reservatórios como este são incluídos na Classe IV e apresentam entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvidos na coluna de água, aporte considerável de nutrientes, alta tendência à eutrofização, ocasionalmente desenvolvimento maciço de populações de algas, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência da água associada à alta turbidez biogênica. A partir desta classe é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de déficit de oxigênio dissolvido. A qualidade da água é crítica/ruim.

Tabela 26 – Resultados do IQAR para as estações E6 e E10, ao longo da fase reservatório.

	IQAR Estação E6	Classificação	IQAR Estação E10	Classificação
Julho-12	3,13	Classe III	3,04	Classe III
Agosto-12	3,62	Classe IV	4,22	Classe IV
Setembro-12	-	-	-	-
Outubro-12	3,59	Classe IV	3,63	Classe IV
Novembro-12	3,71	Classe IV	4,46	Classe IV
Dezembro-12	3,28	Classe III	4,31	Classe IV
Janeiro-13	3,76	Classe IV	3,60	Classe IV
Fevereiro-13	3,87	Classe IV	4,07	Classe IV
Março-13	3,64	Classe IV	3,53	Classe III
Abril-13	3,29	Classe III	3,22	Classe III
Maio-13	3,37	Classe III	3,17	Classe III
Agosto-13	3,25	Classe III	3,73	Classe IV
Setembro-13	4,07	Classe IV	3,98	Classe IV
Média da Fase	3,55	Classe IV	3,75	Classe IV

Em ambas as estações, os fatores que influenciaram o índice de forma mais significativa foram as concentrações de fósforo total e clorofila-a, bem como o déficit de oxigêncio dissolvido na coluna de água.

3.1.1.4 Índices de Estabilidade da Água

Com o intuito de averiguar a tendência corrosiva e incrustante das águas do rio Tibagi e afluentes na região do empreendimento UHE Mauá na Fase Reservatório foram utilizados três índices de estabilidade da água LSI, RSI e ILR (item 2.2.1.2). Tais índices foram aplicados às 13 campanhas realizadas entre julho/12 e setembro/13. Os resultados dos índices indicaram que:

- Todas as amostras das nove estações apresentaram valores negativos para o LSI (Índice de Langelier), indicando águas com tendência corrosiva. Exceção se fez na campanha de novembro/12, na estação E6, quando o índice apresentou valor positivo, o que indica águas com tendência incrustante. Tal resultado está possivelmente relacionado ao pH mais elevado (9,6) registrado naquele mês e estação;
- Todas as amostras das nove estações apresentaram valores maiores que 9 para o RSI (Índice de Ryzsnar), o que indica águas com características intoleravelmente corrosivas. Na amostra da estação E6 coletada no mês de novembro/12, todavia, o resultado do índice indicou águas com característica fortemente corrosiva (7,5 < RSI < 9,0), o que possivelmente ocorreu em virtude de pH mais elevado, como citado anteriormente;
- Em relação ao ILR (Índice de Larson-Skold), as amostras da estação E7 foram classificadas como Ce (corrosão elevada) em duas situações: agosto/12, quando concentração elevada de cloreto foi registrada, e em fevereiro/13, quando os bicarbonatos apresentaram concentração mais baixa. Em todas as outras amostras das nove estações, os valores foram inferiores a 0,8, indicando que não há corrosão. Este índice está relacionado com a corrosão/incrustação do aço.

No que diz respeito às variáveis que compõem os referidos índices e que possuem limites em legislação (Resolução CONAMA 357/05 e Portaria MS 2914/11), as mesmas apresentaram valores dentro da normalidade. Os valores estimados para a variável sólidos totais dissolvidos (STD) estiveram dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para o padrão de qualidade de águas doces para rios de Classe II, limitado em 500 $mg.L^{-1}$. As concentrações máximas de cloretos e sulfatos encontradas nas amostras analisadas foram de 26,0 $mg.L^{-1}$ e 5,3 $mg.L^{-1}$, inferiores ao limite de 250 $mg.L^{-1}$ estabelecido pela Resolução supracitada para ambos os parâmetros. De acordo com a Portaria MS 2914/11, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, o valor máximo permitido para dureza não deve ultrapassar 500 $mg.L^{-1}$, sendo que durante o monitoramento os valores desta variável não passaram de 20,3 $mg.L^{-1}$.

A medição do pH permite indicar se as águas apresentam potencial de corrosividade e agressividade, quando da ocorrência de valores baixos, ou então quando há possibilidade de incrustrações em tubulações, por exemplo, o que está relacionado a valores elevados de pH. No

monitoramento da fase reservatório, a média dos valores medidos ficou em torno de 7,0, o que indica águas com características neutras, contrariando os resultados dos índices LSI e RSI.

De qualquer modo, recomenda-se que - caso seja intenção da Concessionária utilizar a água do reservatório para o resfriamento das unidades geradoras - sejam avaliadas estas características da água mais a fundo para averiguação da necessidade de um pré-tratamento da água.

3.1.1.5 Perfis de Temperatura e Oxigênio Dissolvido

As medidas de temperatura e oxigênio dissolvido foram realizadas com o intuito do estabelecimento de padrões de circulação em diferentes regiões do reservatório. Neste sentido, estas variáveis foram avaliadas metro a metro nas estações E4 (porção média do reservatório), E6 (porção lacustre próximo à barragem) e E10 (porção alagada do rio Barra Grande). Ressalta-se que os valores das profundidades alteraram-se ao longo do monitoramento, em função do processo de enchimento do lago, bem como as alterações ocorridas para acesso ao mesmo local com a mudança do ecossistema.

Nas três estações monitoradas, houve o registro de estratificação térmica em todos os meses de monitoramento da fase reservatório, com exceção do mês de julho/12.

Os perfis de oxigênio dissolvido e temperatura na estação E4 são apresentados na Figura 43. Naquela estação, localizada no terço médio do reservatório, concentrações mais baixas de OD foram registradas a partir dos primeiros metros de profundidade, a partir de 5 a 10 m, nos meses de setembro/12 a janeiro/13. Já no mês de fevereiro/13 e também nos meses de março/13 e abril/13, esta situação não foi mais observada, com concentrações mais elevadas de OD nos primeiros metros de profundidade do reservatório, e perda significativa de oxigênio dissolvido a partir de aproximadamente 30 metros. Nos meses de maio/13, agosto/13 e setembro/13 bons níveis de oxigenação foram mantidos da superfície ao fundo.

Na Figura 44 são apresentados os perfis de temperatura e oxigênio dissolvido na estação E6. Naquela estação também foi registrada estratificação química e térmica, em todos os meses de monitoramento. Além do hipolímnio anóxico ou em condições de hipóxia, baixas concentrações de oxigênio dissolvido nos primeiros metros de profundidade (a partir de 5 a 15 metros) foram registradas de agosto/12 a maio/13. Nos meses de agosto/13 e setembro/13 tal situação não foi observada, sendo as concentrações de OD mantidas em valores mais elevados (superiores a 4,0 $mg.L^{-1}$) da superfície ao fundo.

A Figura 45 ilustra os perfis de temperatura e oxigênio dissolvido, metro a metro, na estação E10. Naquele local, a estratificação térmica e química também foi observada ao longo de todo o monitoramento da fase reservatório. Hipóxia ou anóxia hipolimnética foram observadas em todos os meses monitorados. Com relação às concentrações de oxigênio nos primeiros metros de profundidade, de agosto/12 a maio/13 foi observada perda significativa de OD a partir de 5 a 15 m, variando de acordo com o mês de monitoramento. Já nos meses de agosto/13 e setembro/13, a situação observada foi mais adequada, com concentrações de OD mais elevada da superfície em relação ao fundo.

De forma geral, cabe destacar que houve uma melhora gradativa na distribuição de OD na coluna d'água, principalmente nas estações E4 e E6 após o mês de março/13. A estação E10 apresentou menor distribuição de oxigênio dissolvido, pois se trata de um ambiente com maior tempo de retenção e, portanto, menor movimentação das massas de água.

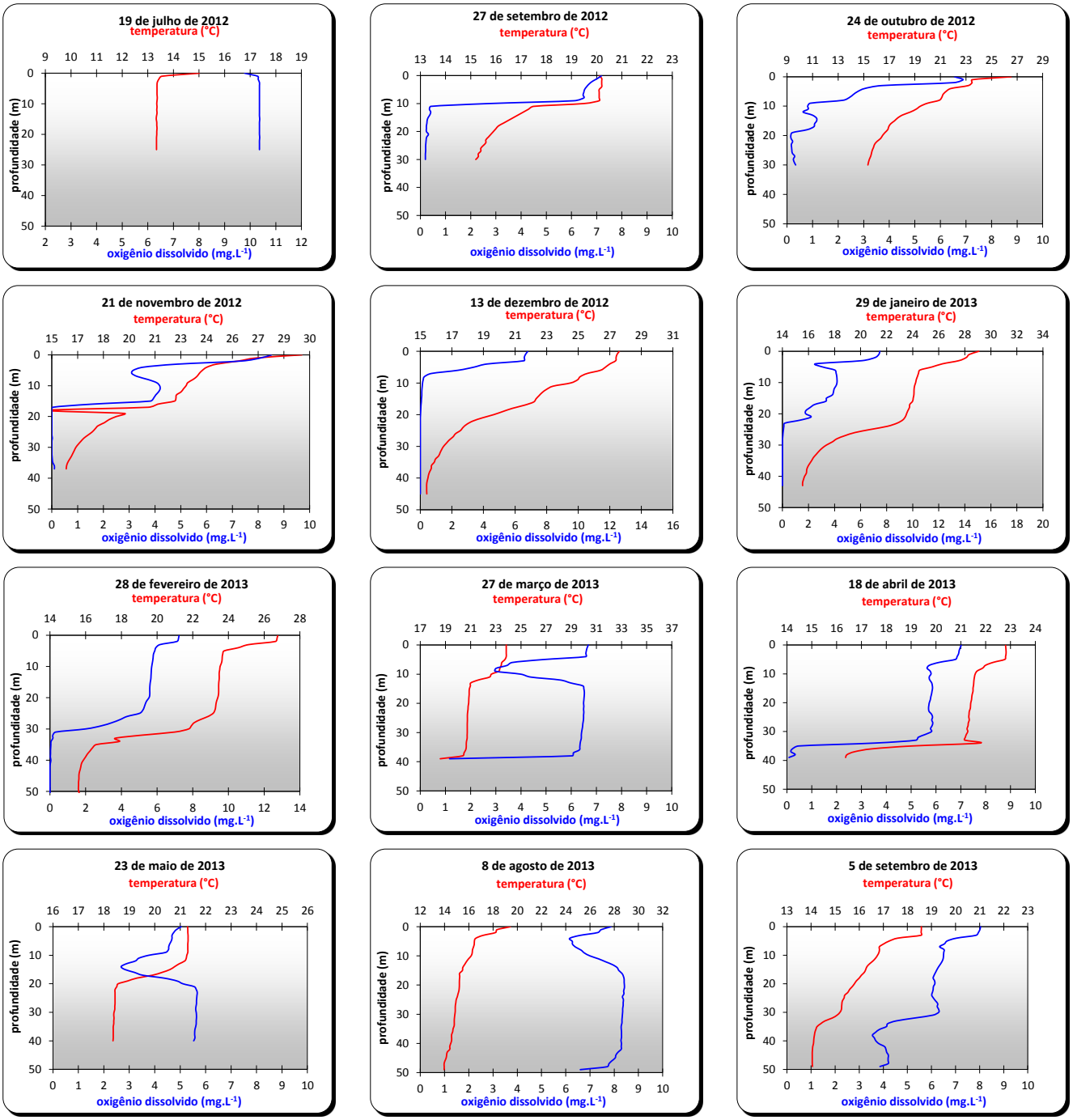

Figura 43 – Perfis verticais de Temperatura e Oxigênio Dissolvido na estação E4.

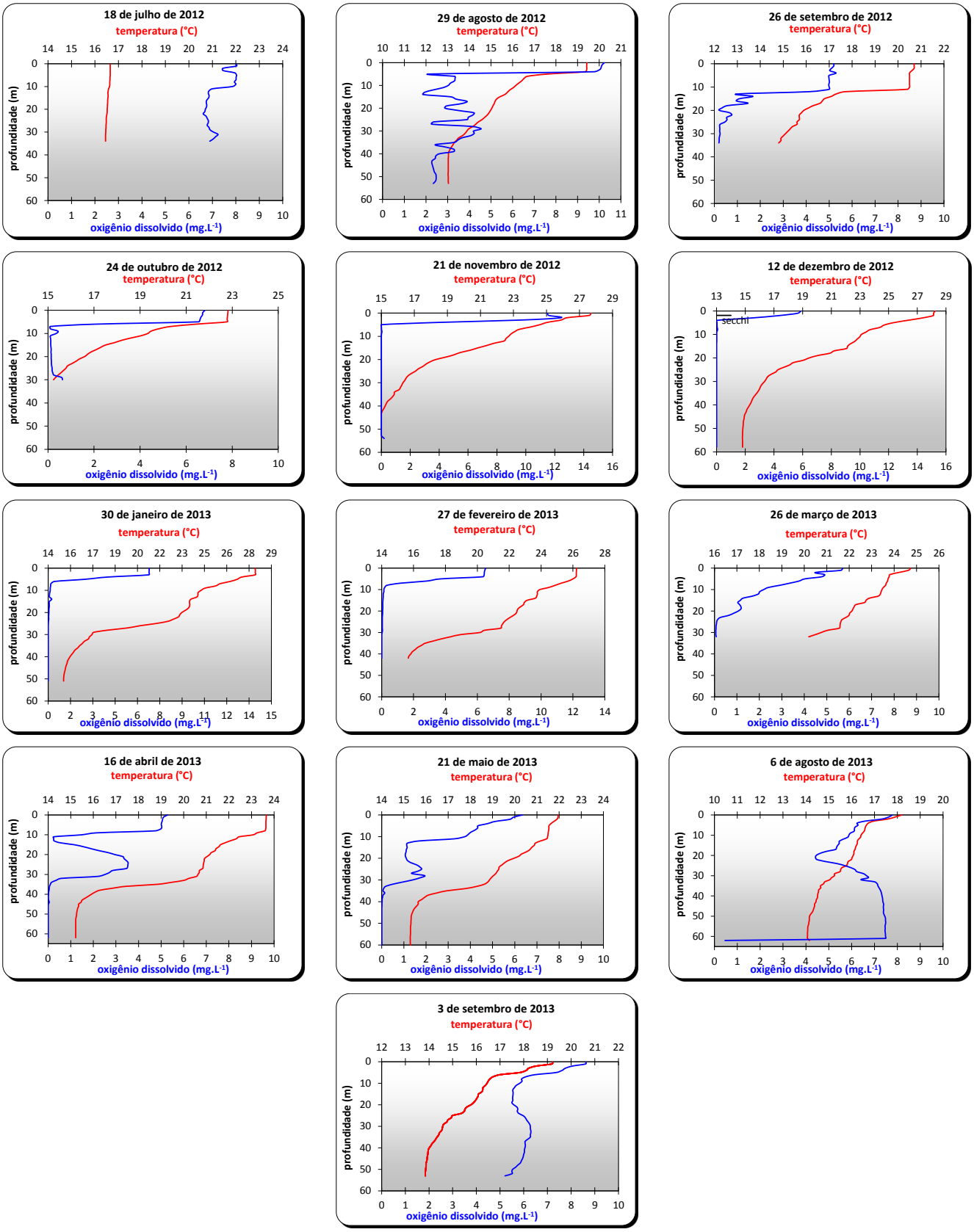

Figura 44 – Perfis verticais de Temperatura e Oxigênio Dissolvido na estação E6.

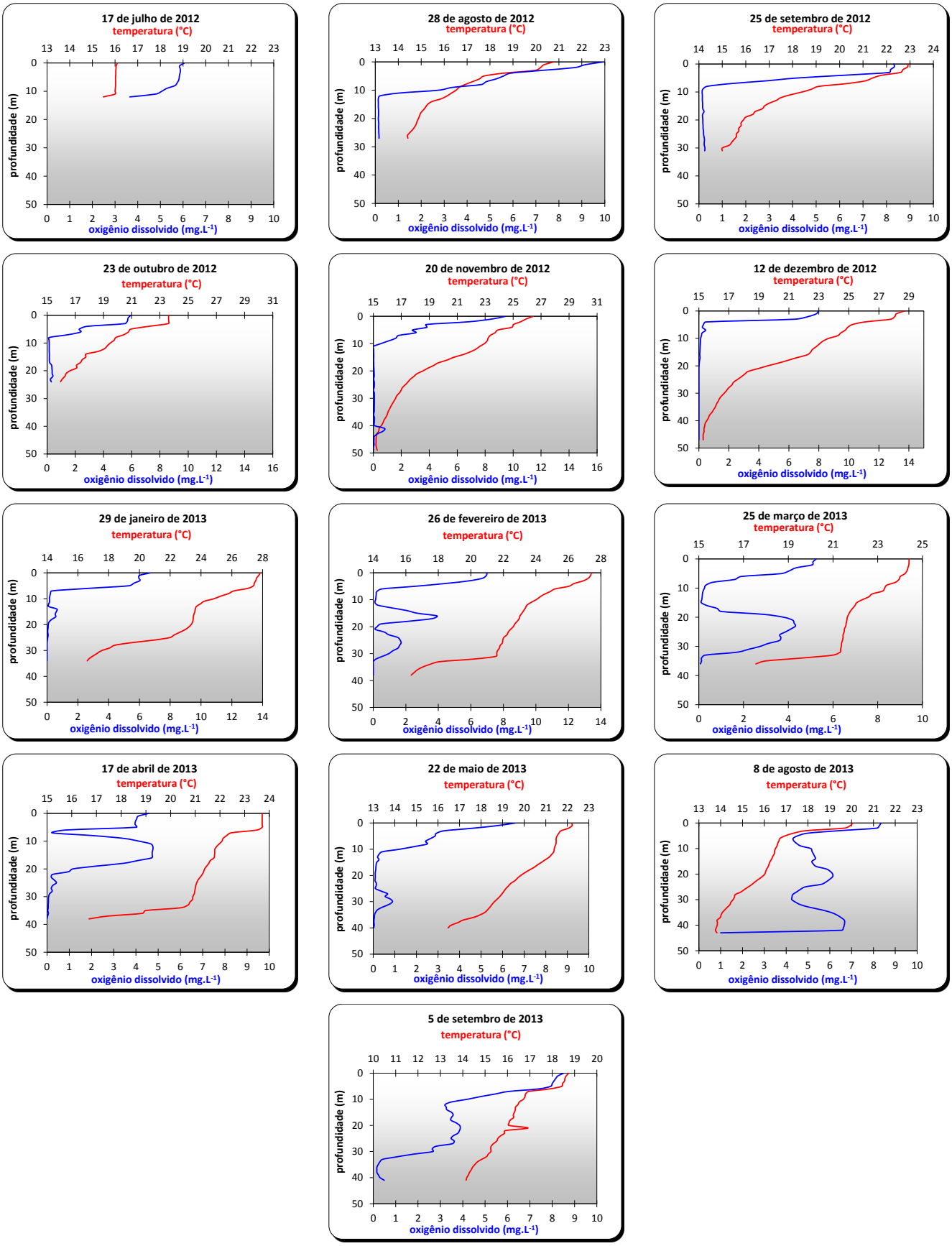

Figura 45 – Perfis verticais de Temperatura e Oxigênio Dissolvido na estação E10.

3.1.2 Monitoramento do Sedimento

De acordo com Moreira e Boaventura (2003) *apud* Martins (2008), o sedimento é definido como todo material não consolidado, constituído por partículas de diferentes tamanhos, formas e composição química, transportadas por água, ar ou gelo, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante dos processos de intemperismo e erosão.

Wetzel (1983) citado por Martins (2008) afirma que os sedimentos são constituídos por três componentes principais, sendo eles: 1) matéria orgânica em vários estados de decomposição, 2) partículas minerais, incluindo argilas, carbonatos e silicatos não argilosos, e 3) uma componente inorgânica de origem biogênica, como certas formas de carbonato de cálcio.

Os sedimentos têm uma grande importância na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, não só devido a sua capacidade em acumular metais, mas também, por serem transportadores de compostos poluentes, uma vez que este compartimento pode liberar espécies contaminantes (LIMA *et al.*, 2001; JESUS *et al.*, 2004 *apud* MARTNS, 2008). Estas espécies são liberadas do leito do sedimento geralmente devido a alterações nas condições ambientais e físico-químicas (pH, potencial redox, ação microbiana, entre outras), podendo contaminar a água (JESUS *et al.*, 2004; FROEHNER e MARTINS, 2007 *apud* MARTINS, 2008). Neste item serão apresentados os resultados das duas campanhas realizadas, uma em abril/13 e outra em agosto/13. As análises realizadas e seus respectivos resultados encontram-se na Tabela 27 e na Tabela 28.

Pode se observar que a variável carbono orgânico total se apresentou acima do valor alerta estabelecido pela Resolução CONAMA 454/12, no mês de agosto/13, nas estações E4, E6 e E10. De acordo com esta Resolução, concentrações acima do valor alerta indicam que há possibilidade de ocorrer prejuízo ao ambiente na área de disposição em corpo de água. As demais variáveis não apresentaram desacordos com a legislação supracitada.

Tabela 27 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à primeira campanha de monitoramento durante a fase reservatório.

PONTO	Limites[1]			Primeira campanha - abr/13							
				E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Data da coleta	Nível 1	Nível 2	Valor Alerta[2]	15/04/13	15/04/13	17/04/13	18/04/13	16/04/13	16/04/13	16/04/13	17/04/13
Multiresíduos[3]	-	-	-	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]
Ferro (g.kg^{-1})	-	-	-	9,0	8,0	10,0	16,0	9,0	9,0	2,0	1,0
Alumínio (g.kg^{-1})	-	-	-	5,0	4,0	4,0	8,0	5,0	5,0	5,0	15,0
Cobre (mg.kg^{-1})	35,7	197	-	12	11	19	24	11	14	4	18
Chumbo (mg.kg^{-1})	35	91,3	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Cádmio (mg.kg^{-1})	0,6	3,5	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Zinco (mg.kg^{-1})	123	315	-	31	22	30	28	17	31	21	12
Cromo (mg.kg^{-1})	37,3	90	-	1	2	2	3	2	2	1	7
Cobalto (mg.kg^{-1})	-	-	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Mercúrio (mg.kg^{-1})	0,17	0,49	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Carbono Orgânico Dissolvido (g.Kg^{-1})	-	-	-	0,20	0,20	0,70	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20
Carbono Orgânico Total (g.Kg^{-1})	-	-	100	38,5	48,3	24,3	27,4	31,8	17,5	5,0	45,3
Carbono Inorgânico (g.Kg^{-1})	-	-	-	8,8	2,3	2,0	2,2	3,1	2,5	0,4	4,0
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.kg^{-1})	-	-	4.800	1.066	1.137	793	2.665	941	1.154	1.302	1.915
Fósforo (mg.kg^{-1})[5]	-	-	2.000	261	395	158	734	295	446	68	957

1 Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/12.
2 Valor Alerta: valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízo ao ambiente da área de disposição
3 Acilalaninato, Anilida, Bis (arilformamidina), Cloroacetanilida, Clorociclodieno, Dicarboximida, Dinitroanilina, Fenilsulfamida, Fosforotioato de heterociclo, Organoclorados, Organofosforados, Piretróides, Pirimidinil carbinol, Tiocarbamato, Triazol, Triazina.
4 ILQ: Inferior ao Limite de Quantificação (0,04 mg/kg)

Tabela 28 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à segunda campanha de monitoramento durante a fase reservatório.

PONTO	Limites[1]			Segunda campanha - ago/13							
				E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Data da coleta	Nível 1	Nível 2	Valor Alerta[2]	07/08/13	07/08/13	07/08/13	08/08/13	06/08/13	06/08/13	06/08/13	08/08/13
Multiresíduos[3]	-	-	-	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]
Ferro (% em massa)	-	-	-	0,60	0,40	0,40	2,80	2,90	0,90	0,40	3,00
Alumínio (% em massa)	-	-	-	0,20	0,10	0,10	1,20	0,70	0,90	0,10	0,60
Cobre (mg.kg^{-1})	35,7	197	-	8	3	6	29	23	8	3	34
Chumbo (mg.kg^{-1})	35	91,3	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Cádmio (mg.kg^{-1})	0,6	3,5	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Zinco (mg.kg^{-1})	123	315	-	3	11	12	53	54	30	20	71
Cromo (mg.kg^{-1})	37,3	90	-	3	2	3	20	11	7	3	14
Cobalto (mg.kg^{-1})	-	-	-	4,00	3,30	4,30	18,70	32,60	6,00	2,90	29,40
Mercúrio (mg.kg^{-1})	0,17	0,49	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Carbono Orgânico Dissolvido (g.Kg^{-1})	-	-	-	4,86	2,08	1,45	2,96	114,05	3,01	3,91	48,32
Carbono Orgânico Total (g.Kg^{-1})	-	-	100	19,00	8,00	6,00	114,00	403,00	10,00	8,00	160,00
Carbono Inorgânico (g.Kg^{-1})	-	-	-	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.kg^{-1})	-	-	4.800	390	319	193	531	182	356	313	191
Fósforo (mg.kg^{-1})	-	-	2.000	196	319	68	973	618	80	72	583

1 Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/12.
2 Valor Alerta: valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízo ao ambiente da área de disposição
3 Acilalaninato, Anilida, Bis (arilformamidina), Cloroacetanilida, Clorociclodieno, Dicarboximida, Dinitroanilina, Fenilsulfamida, Fosforotioato de heterociclo, Organoclorados, Organofosforados, Piretróides, Pirimidinil carbinol, Tiocarbamato, Triazol, Triazina.
4 ILQ: Inferior ao Limite de Quantificação (0,04 mg/kg)

3.1.2.1 Avaliação do CQS – Critério de Qualidade de sedimentos

Os resultados da avaliação da qualidade dos sedimentos de acordo com o CQS estão apresentados na Tabela 29 e na Tabela 30.

Tabela 29 - Resultados dos parâmetros analisados em relação ao CQS , abril/13, fase reservatório.

Parâmetro	Primeira campanha - abr/13							
	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Cobre (mg.kg^{-1})	●	●	●	●	●	●	●	●
Chumbo (mg.kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Cádmio (mg.kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Zinco (mg.kg^{-1})	●	●	●	●	●	●	●	●
Cromo (mg.kg^{-1})	●	●	●	●	●	●	●	●
Mercúrio (mg.kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Aldrin (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
BHC (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
α BHC (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
β BHC (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Lindano (= γ BHC) (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Clordano (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
DDD (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
DDE (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
DDT (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Dieldrin (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Endrin (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Heptacloro (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Heptacloro epóxido (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
HCB (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Mirex (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭

● Ótima ● Regular ❍ Péssima
● Boa ● Ruim ▭ Não Detectado

Tabela 30 - Resultados dos parâmetros analisados em relação ao CQS , agosto/13, fase reservatório.

Parâmetro	Segunda campanha - ago/13							
	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Cobre (mg.kg^{-1})	●	●	●	●	●	●	●	●
Chumbo (mg.kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Cádmio (mg.kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Zinco (mg.kg^{-1})	●	●	●	●	●	●	●	●
Cromo (mg.kg^{-1})	●	●	●	●	●	●	●	●
Mercúrio (mg.kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Aldrin (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
BHC (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
α BHC (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
β BHC (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Lindano (= γ BHC) (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Clordano (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
DDD (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
DDE (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
DDT (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Dieldrin (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Endrin (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Heptacloro (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Heptacloro epóxido (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
HCB (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭
Mirex (µg.Kg^{-1})	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭	▭

● Ótima ● Regular ❍ Péssima
● Boa ● Ruim ▭ Sem dados

Em relação ao CQS, as variáveis cobre, zinco e cromo classificaram a qualidade dos sedimentos coletados como ótima em todas as estações de monitoramento em ambas as campanhas. As demais variáveis não foram detectadas durante as análises, ou seja, ficaram abaixo do limite de detecção.

3.1.2.2 Granulometria

Os sedimentos também foram classificados de acordo com a granulometria. Esta tem importância na adsorção ou dissolução das substâncias, pois de acordo com Madureira *et al.* (2004) e Burone *et al.* (2003) *apud* Martins (2008) o predomínio de partículas finas (silte e argila) está associado a uma maior área superficial do sedimento, permitindo um acúmulo de matéria orgânica. Desta forma, maiores porcentagens de partículas finas no sedimento são comumente encontradas em sedimentos com altas concentrações de carbono orgânico. Estas concentrações podem estar associadas ao acúmulo de detritos advindos de fontes antrópicas. Furtado e Petrúcio (1998) descrevem como principal característica dos sedimentos predominantemente arenosos uma reduzida concentração de carbono orgânico. No sedimento com predominância destas partículas, e consequentemente, com menor teor de carbono orgânico total, a tendência de adsorção de compostos orgânicos hidrofóbicos no sedimento é menor (FROEHNER e MARTINS, 2007 *apud* MARTINS, 2008).

Os sedimentos coletados na campanha do mês de abril/2013 (Figura 46) apresentaram silte como material predominante na maioria das estações.

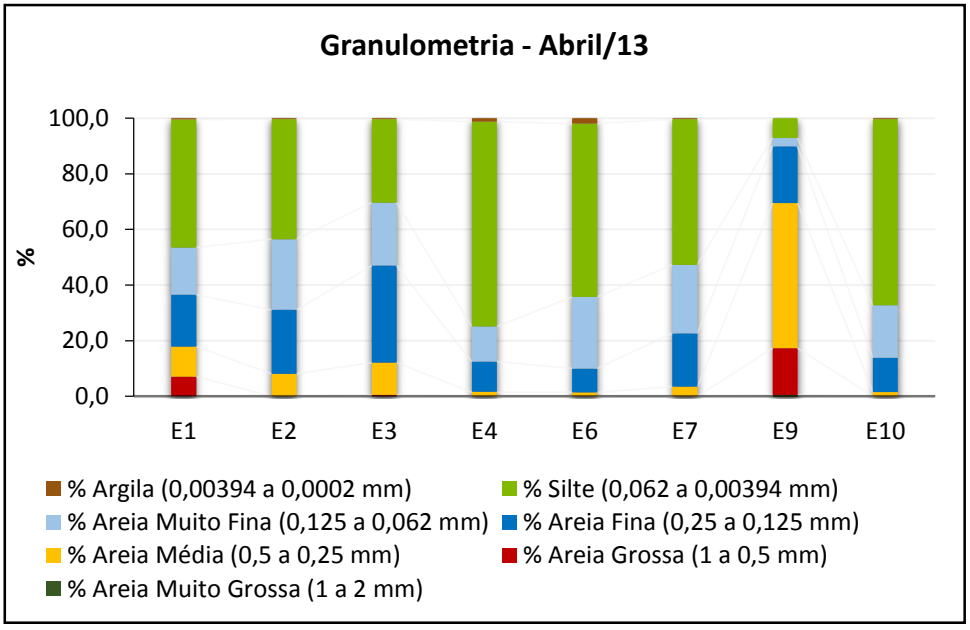

Figura 46 – Gráfico das porcentagens da granulometria da primeira campanha

Exceção se faz na estação E3, que apresenta a areia fina como material predominante, e na estação E9, na qual predomina a areia média. Todas as amostras apresentaram menos de 1% de argila em sua composição.

As amostras coletadas na segunda campanha, em agosto/13, apresentaram algumas alterações em relação à composição observada na campanha anterior, principalmente quanto à redução de silte em sua composição. A estação E1 apresentou um aumento na composição da areia muito fina. A estação E2 apresentou uma redução na fração de silte e um aumento na fração de areia fina e de areia média. A estação E3 praticamente não apresentou alterações. A estação E4 apresentou uma alteração significativa, sendo que a amostra coletada em agosto/13 era constituída na sua maior parte por areia grossa e silte. Um aumento da fração de areia grossa também foi observada na estação E6. As estações E7 e E9 apresentaram redução de silte e um aumento da fração de areia média.

Estas alterações no sedimento sugerem que existe uma deposição natural de sedimentos ao longo de todo o rio Tibagi e afluentes na região da UHE Mauá. Não se encontrou nenhuma relação clara entre a pluviometria ou a vazão.

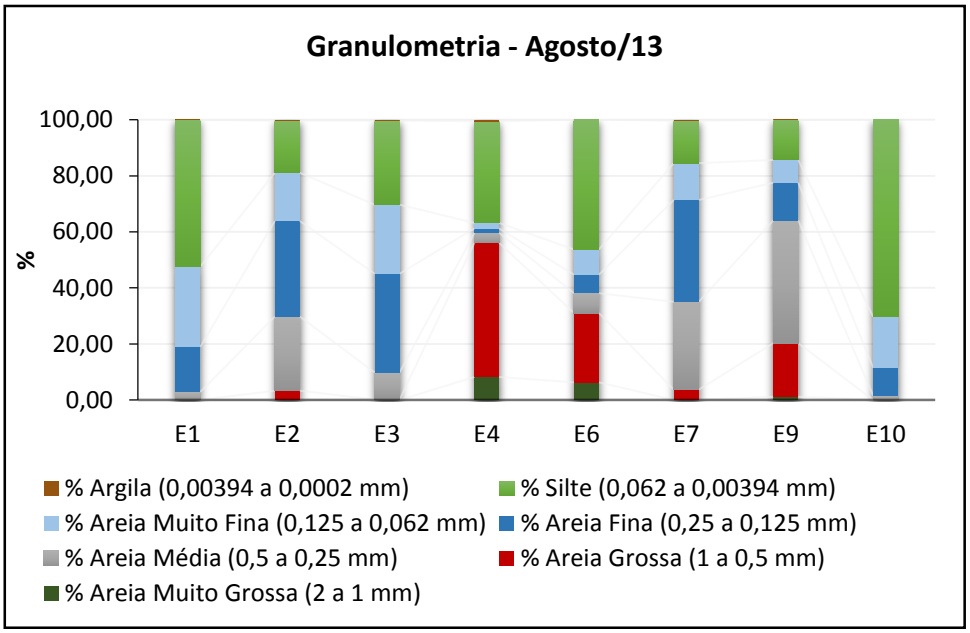

Figura 47 – Gráfico das porcentagens da granulometria da segunda campanha

3.1.2.3 Resultados comparativos entre as fases de monitoramento

Granulometria

A granulometria das amostras coletadas durante a fase rio está apresentada na Figura 48 e na Figura 49.

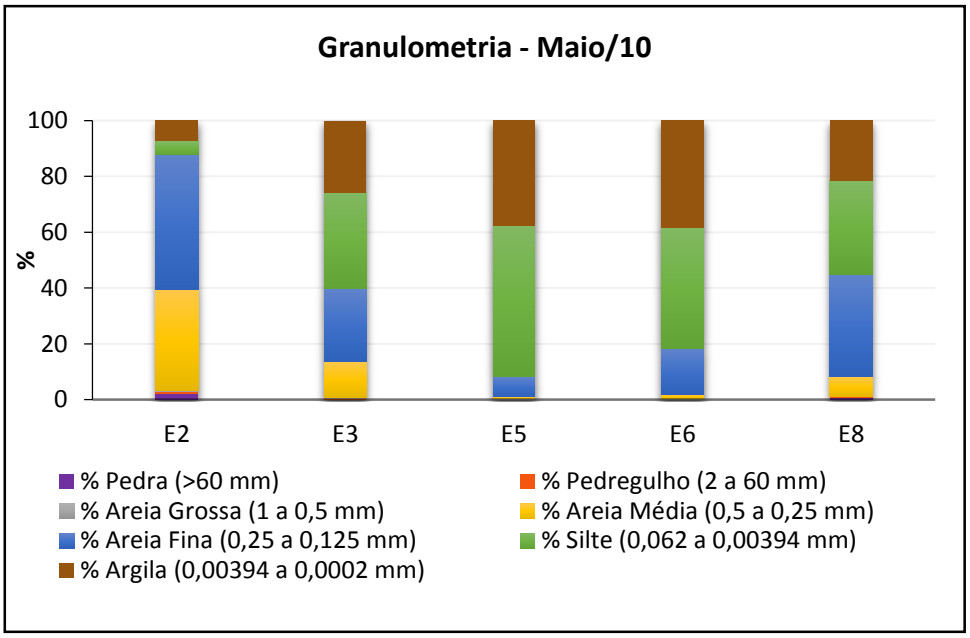

Figura 48 – Gráfico das porcentagens da granulometria da segunda campanha

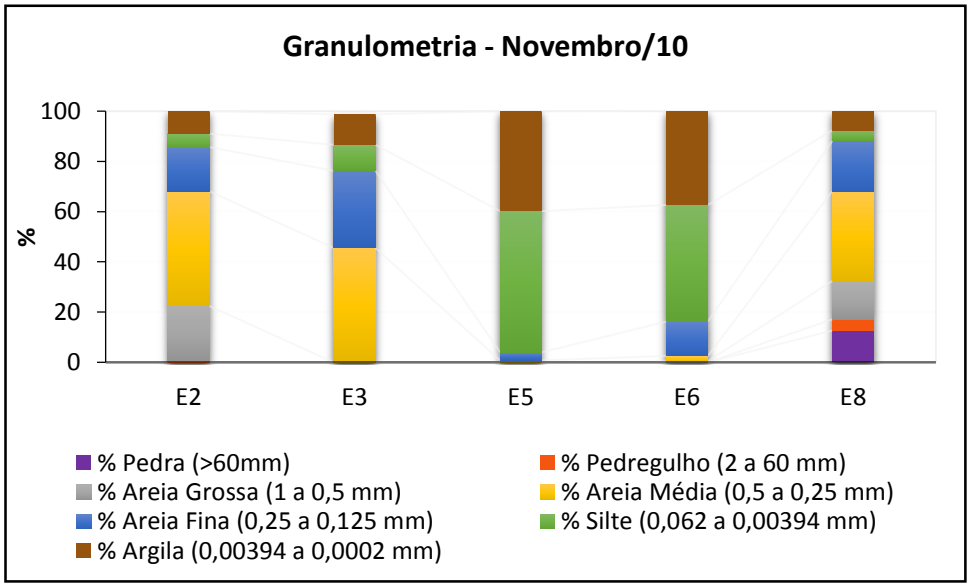

Figura 49 – Gráfico das porcentagens da granulometria da segunda campanha

Observa-se que em maio/10 as amostras das estações E2 e E8 apresentaram a areia fina como material predominante enquanto as amostras das estações E3, E5 e E6 apresentaram o silte como predominante e uma porcentagem significativa de argila em sua composição. Na segunda campanha,

em novembro/10, as amostras apresentaram modificação. As amostras das estações E2, E3 e E8 apresentaram a areia média como material predomimante. As estações E2 e E8 também apresentaram aumento da porcentagem de areia grossa em sua composição. A porcentagem de argila, com exceção da estação E8 onde houve redução, praticamente não foi alterada nas demais estações.

Comparando com os resultados da fase reservatório, pode se observar que as amostras apresentaram, em geral, aumento do tamanho das partículas, predominando as areias. A argila praticamente não é mais encontrada nas amostras do sedimento. Este comportamento sugere a deposição de material no fundo do reservatório. Quanto ao aumento da porcentagem da areia, principalmente na estação E2, esta pode ser influenciada por uma draga de extração de areia, localizada a montante, próxima à estação E1. Não se encontrou nenhuma relação clara entre a pluviometria ou a vazão.

Cabe destacar que as análises de granulometria estavam previstas apenas para a fase rio e fase reservatório.

Análises Físico-Químicas

A Tabela 31, a Tabela 32 e a Tabela 33 apresentam os resultados das análises físico-químicas realizadas durante a fase rio e a Tabela 34 e Tabela 35 apresentam os resultados das análises realizadas durante a fase intermediária.

Observa-se que os parâmetros que apresentaram desacordos com a Resolução CONAMA 454/12 foram zinco (maio/10) e carbono orgânico total (E5: fevereiro/10 e dezembro/11 e E6: junho/11 e dezembro/11. Esta última variável será melhor discutida no item em separado.

Tabela 31 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à primeira campanha de monitoramento durante a fase rio.

PONTO	Limites[1]			Primeira Campanha Fase Rio							
				E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Data da coleta	Nível 1	Nível 2	Valor Alerta[2]	22/02/10	23/02/10	24/02/10	23/02/10	24/02/10	01/03/10	25/02/10	02/03/10
Multiresíduos[3]	-	-	-	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]
Ferro (g.kg^{-1})	-	-	-	3,50	3,40	8,60	4,20	15,60	31,50	8,70	13,30
Alumínio (g.kg^{-1})	-	-	-	6,50	1,60	2,30	2,30	6,50	15,50	1,80	5,10
Cobre (mg.kg^{-1})	35,7	197	-	25	10	18	10	25	30	8	15
Chumbo (mg.kg^{-1})	35	91,3	-	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cádmio (mg.kg^{-1})	0,6	3,5	-	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Zinco (mg.kg^{-1})	123	315	-	40	15	20	15	40	50	30	35
Cromo (mg.kg^{-1})	37,3	90	-	10	5	6	6	10	18	6	10
Cobalto (mg.kg^{-1})	-	-	-	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Mercúrio (mg.kg^{-1})	0,17	0,49	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Carbono Orgânico Dissolvido (g.kg^{-1})	-	-	-	0,32	0,64	0,16	0,24	0,24	0,27	0,32	0,35
Carbono Orgânico Total (g.kg^{-1})	-	-	100	20,00	10,00	37,60	13,90	128,40	95,70	48,00	24,20
Carbono Inorgânico (g.kg^{-1})	-	-	-	0,50	0,40	0,30	0,50	0,50	0,30	0,30	0,20
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.kg^{-1})[5]	-	-	4.800	860	1.171	1.077	-	1.019	1.199	1.109	1.359
Fósforo (mg.kg^{-1})[5]	-	-	2.000	97	273	546	-	764	1.017	429	622

1 Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/12.
2 Valor Alerta: valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízo ao ambiente da área de disposição
3 Acilalaninato, Anilida, Bis (arilformamidina), Cloroacetanilida, Clorociclodieno, Dicarboximida, Dinitroanilina, Fenilsulfamida, Fosforotioato de heterociclo, Organoclorados, Organofosforados, Piretróides, Pirimidinil carbinol, Tiocarbamato, Triazol, Triazina.
4 ILQ: Inferior ao Limite de Quantificação (0,04 mg/kg)
5 Coletas realizadas de 26/04/2010 a 03/05/2010.

Tabela 32 – Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à segunda campanha de monitoramento durante a fase rio.

PONTO	Limites[1]			Segunda Campanha Fase Rio							
				E1	E2	E3	E5	E6	E7	E8	E9
Data da coleta	Nível 1	Nível 2	Valor Alerta[2]	24/05/10	24/05/10	26/05/10	26/05/10	25/05/10	27/05/10	27/05/10	25/05/10
Multiresíduos[3]	-	-	-	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]
Ferro (g.kg^{-1})	-	-	-	3,60	3,50	4,80	10,00	13,50	8,80	9,60	2,20
Alumínio (g.kg^{-1})	-	-	-	2,90	2,10	2,20	5,00	2,10	1,90	1,20	1,60
Cobre (mg.kg^{-1})	35,7	197	-	4	6	20	32	35	4	20	8
Chumbo (mg.kg^{-1})	35	91,3	-	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Cádmio (mg.kg^{-1})	0,6	3,5	-	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Zinco (mg.kg^{-1})	123	315	-	185	205	150	155	195	245	270	160
Cromo (mg.kg^{-1})	37,3	90	-	6	4	15	13	18	6	6	3
Cobalto (mg.kg^{-1})	-	-	-	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	11,00	< 1,0	< 1,0
Mercúrio (mg.kg^{-1})	0,17	0,49	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Carbono Orgânico Dissolvido (g.kg^{-1})	-	-	-	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
Carbono Orgânico Total (g.kg^{-1})	-	-	100	31,00	17,00	24,40	67,00	8,70	4,30	1,00	0,50
Carbono Inorgânico (g.kg^{-1})	-	-	-	0,70	0,40	0,60	1,20	1,00	0,70	0,50	0,50
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.kg^{-1})	-	-	4.800	858	840	829	911	794	821	811	700
Fósforo (mg.kg^{-1})	-	-	2.000	140	184	228	663	494	268	279	90

1 Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/12.
2 Valor Alerta: valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízo ao ambiente da área de disposição
3 Acilalaninato, Anilida, Bis (arilformamidina), Cloroacetanilida, Clorociclodieno, Dicarboximida, Dinitroanilina, Fenilsulfamida, Fosforotioato de heterociclo, Organoclorados, Organofosforados, Piretróides, Pirimidinil carbinol, Tiocarbamato, Triazol, Triazina.
4 ILQ: Inferior ao Limite de Quantificação (0,04 mg/kg)

Tabela 33 - Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à terceira campanha de monitoramento durante a fase rio.

PONTO	Limites[1]			Terceira Campanha Fase Rio							
				E1	E2	E3	E5	E6	E7	E8	E9
Data da coleta	Nível 1	Nível 2	Valor Alerta[2]	17/11/10	18/11/10	18/11/10	18/11/10	17/11/10	16/11/10	16/11/10	17/11/10
Multiresíduos[3]	-	-	-	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]	ILQ[4]
Ferro (g.kg^{-1})	-	-	-	2,30	13,00	38,80	28,00	35,00	10,00	15,50	3,30
Alumínio (g.kg^{-1})	-	-	-	0,50	4,00	8,00	8,00	18,00	4,60	2,20	0,07
Cobre (mg.kg^{-1})	35,7	197	-	< 0,3	16	34	27	24	6	7	3
Chumbo (mg.kg^{-1})	35	91,3	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Cádmio (mg.kg^{-1})	0,6	3,5	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Zinco (mg.kg^{-1})	123	315	-	3,4	21,0	31,5	32,7	36,5	13,0	16,8	6,2
Cromo (mg.kg^{-1})	37,3	90	-	< 0,3	3	6	5	8	2	5	< 0,3
Cobalto (mg.kg^{-1})	-	-	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Mercúrio (mg.kg^{-1})	0,17	0,49	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Carbono Orgânico Dissolvido (g.Kg^{-1})	-	-	-	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,01
Carbono Orgânico Total (g.kg^{-1})	-	-	100	42,00	21,00	30,40	71,00	96,00	58,00	12,00	6,20
Carbono Inorgânico (g.kg^{-1})	-	-	-	0,90	0,50	0,50	1,50	1,80	1,10	1,10	0,80
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.kg^{-1})	-	-	4.800	118	558	1.610	134	671	481	463	483
Fósforo (mg.kg^{-1})	-	-	2.000	58	189	606	551	628	157	186	60

1 Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/12.

2 Valor Alerta: valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízo ao ambiente da área de disposição

3 Acilalaninato, Anilida, Bis (arilformamidina), Cloroacetanilida, Clorociclodieno, Dicarboximida, Dinitroanilina, Fenilsulfamida, Fosforotioato de heterociclo, Organoclorados, Organofosforados, Piretróides, Pirimidinil carbinol, Tiocarbamato, Triazol, Triazina.

4 ILQ: Inferior ao Limite de Quantificação (0,04 mg/kg)

Tabela 34 - Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à primeira campanha de monitoramento durante a fase intermediaria.

PONTO	Limites*			Primeira Campanha Fase Intermediária							
				E1	E2	E3	E5	E6	E7	E8	E9
Data da coleta	Nível 1	Nível 2	Valor Alerta	16/06/2011	14/06/2011	14/06/2011	14/06/2011	15/06/2011	16/06/2011	15/06/2011	15/06/2011
Multiresíduos**	-	-	-	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***
Ferro (g.kg^{-1})	-	-	-	2,60	7,50	9,40	20,20	22,60	14,80	13,00	4,70
Alumínio (g.kg^{-1})	-	-	-	0,40	1,50	1,90	5,70	9,60	3,10	3,60	1,00
Cobre (mg.kg^{-1})	35,7	197	-	< 0,3	8,00	11,60	21,60	22,30	17,90	12,10	3,50
Chumbo (mg.kg^{-1})	35	91,3	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	12,30	13,00	15,20	6,80	3,50
Cádmio (mg.kg^{-1})	0,6	3,5	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Zinco (mg.kg^{-1})	123	315	-	3	15	11	26	29	20	20	8
Cromo (mg.kg^{-1})	37,3	90	-	< 0,3	3,20	4,60	5,80	8,60	4,70	5,00	1,60
Cobalto (mg.kg^{-1})	-	-	-	< 0,3	< 0,03	< 0,03	6,60	6,60	5,00	5,30	< 0,3
Mercúrio (mg.kg^{-1})	0,17	0,486	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Carbono Orgânico Dissolvido (g.Kg^{-1})	-	-	-	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,00
Carbono Orgânico Total (g.kg^{-1})	-	-	100	6,00	13,00	40,00	99,00	109,00	54,00	55,00	9,00
Carbono Inorgânico (g.kg^{-1})	-	-	-	0,40	0,40	1,10	3,00	2,50	2,00	1,50	0,60
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.kg^{-1})	-	-	4.800	447	109	289	355	362	401	320	318
Fósforo (mg.kg^{-1})	-	-	2000	246	726	522	1.104	1.146	791	561	273

*Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/12.

**Acilalaninato, Anilida, Bis (arilformamidina), Cloroacetanilida, Clorociclodieno, Dicarboximida, Dinitroanilina, Fenilsulfamida, Fosforotioato de heterociclo, Organoclorados, Organofosforados, Piretróides, Pirimidinil carbinol, Tiocarbamato, Triazol, Triazina.

***Inferior ao Limite de Quantificação (0,04 mg/kg)

Tabela 35 - Resultados das análises realizadas em sedimento, relativas à segunda campanha de monitoramento durante a fase intermediária.

PONTO	Limites*			Segunda Campanha Fase Intermediára							
				E1	E2	E3	E5	E6	E7	E8	E9
Data da coleta	Nível 1	Nível 2	Valor Alerta	06/12/2011	08/12/2011	06/12/2011	06/12/2011	07/12/2011	08/12/2011	07/12/2011	07/12/2011
Multiresíduos**	-	-	-	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***	ILQ***
Ferro (g.kg^{-1})	-	-	-	0,27	0,25	2,40	1,55	2,05	0,60	1,45	0,35
Alumínio (g.kg^{-1})	-	-	-	0,08	0,03	0,20	0,19	0,48	0,07	0,19	0,04
Cobre (mg.kg^{-1})	35,7	197	-	< 0,3	< 0,3	25,30	15,50	15,80	5,30	10,20	2,90
Chumbo (mg.kg^{-1})	35	91,3	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	5,10	5,00	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Cádmio (mg.kg^{-1})	0,6	3,5	-	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Zinco (mg.kg^{-1})	123	315	-	4	4	18	19	28	12	16	5
Cromo (mg.kg^{-1})	37,3	90	-	1,80	1,80	7,50	4,40	8,00	2,70	4,20	1,00
Cobalto (mg.kg^{-1})	-	-	-	< 0,3	< 0,3	3,50	2,20	3,00	0,60	3,10	< 0,3
Mercúrio (mg.kg^{-1})	0,17	0,486	-	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Carbono Orgânico Dissolvido (g.Kg^{-1})	-	-	-	0,04	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01
Carbono Orgânico Total (g.kg^{-1})	-	-	100	5,50	6,80	6,20	100,20	146,70	40,00	70,80	12,10
Carbono Inorgânico (g.kg^{-1})	-	-	-	0,40	1,60	0,50	9,30	9,60	3,00	5,70	0,60
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg.kg^{-1})	-	-	4.800	187	254	1233	555	558	583	366	215
Fósforo (mg.kg^{-1})	-	-	2000	53	78	341	368	591	135	241	140

*Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/12.
**Acilalaninato, Anilida, Bis (arilformamidina), Cloroacetanilida, Clorociclodieno, Dicarboximida, Dinitroanilina, Fenilsulfamida, Fosforotioato de heterociclo, Organoclorados, Organofosforados, Piretróides, Pirimidinil carbinol, Tiocarbamato, Triazol, Triazina.
***Inferior ao Limite de Quantificação (0,04 mg/kg)

Carbonos

Neste item será apresentada uma comparação dos resultados de Carbono Orgânico Total, Carbono Orgânico Dissolvido e Carbono Inorgânico em Sedimento.

O Carbono Orgânico Total (COT) é uma medida direta da matéria orgânica carbonácea existente numa amostra, sem distinguir se é matéria biodegradável ou não. A determinação do COT é feita através da conversão de todas as formas de carbono para dióxido de carbono e corrigindo a presença de dióxido de carbono inicialmente presente na água (HEM, 1985).

A Figura 50 apresenta o gráfico das concentrações de carbono orgânico total em sedimento durante todo o monitoramento na UHE Mauá. Neste gráfico pode se observar que a concentração de carbono orgânico total, em geral, foi maior no ponto E6 (próximo à barragem). O ponto E5 (rio Barra Grande) também apresentou concentrações maiores de COT. Esta estação de monitoramento foi realocada no reservatório no braço formado pelo rio Barra Grande e nomeada como E10. Esta última apresenta apenas duas medições: uma em abril/13 e outra em agosto/2013, que correspondem às coletas de sedimento da fase reservatório. Foi observado um acréscimo da concentração de COT neste ponto. As estações E6 e E4 também apresentaram acréscimo de COT na composição dos sedimentos na fase reservatório.

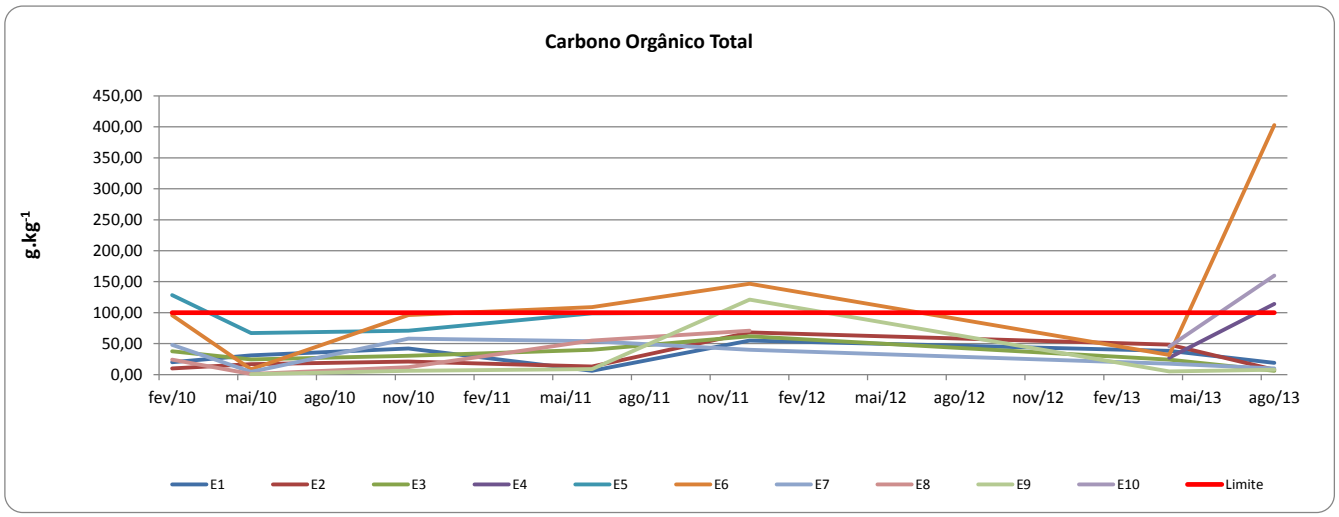

Figura 50 – Gráfico das concentrações de carbono orgânico total

A Figura 51 apresenta a concentração de Carbono Orgânico Dissolvido nas amostras de sedimento e a Figura 52 apresenta a concentração de Carbono Inorgânico nas mesmas amostras.

Observa-se na Figura 51 que a concentração de COD no sedimento se manteve menor do que 1 $mg.kg^{-1}$ até abril/13. Após esta coleta foi observado um acréscimo nesta concentração nas estações E6 e E10, que correspondem às estações com maior tempo de residência.

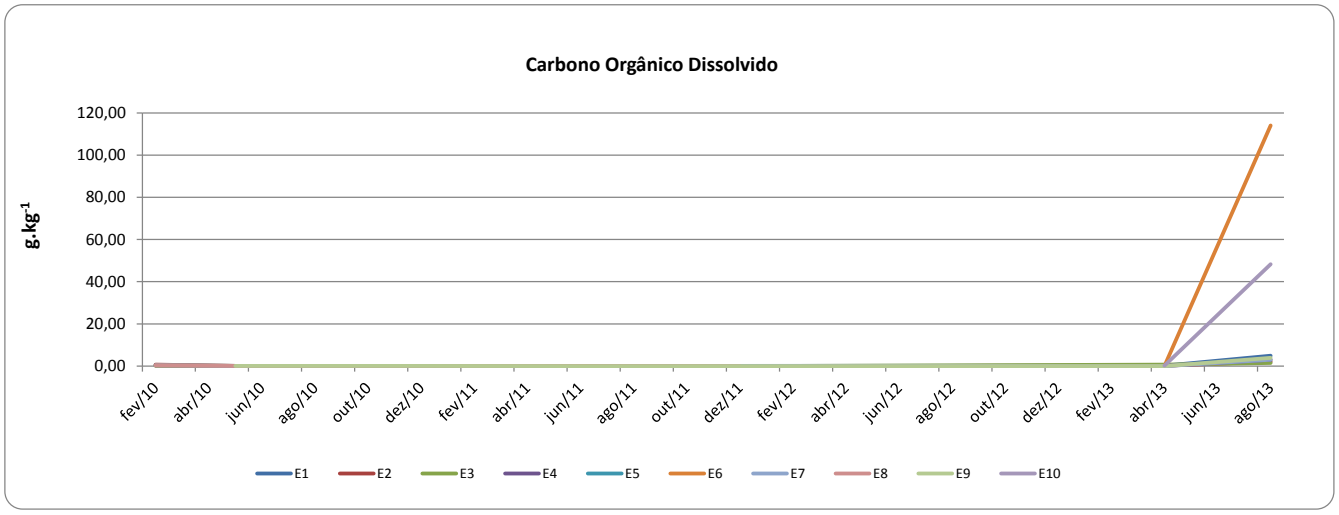

Figura 51 – Gráfico das concentrações de carbono orgânico dissolvido

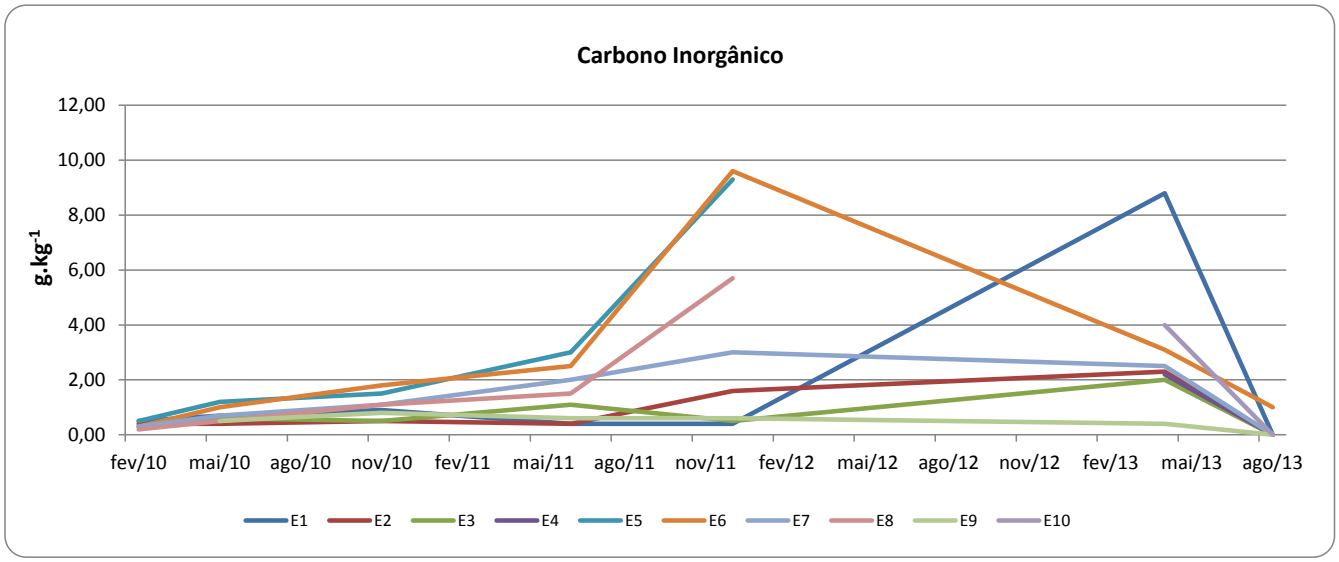

Figura 52 – Gráfico das concentrações de carbono inorgânico

O carbono inorgânico apresentou maiores valores em dezembro/11, com posterior decréscimo. A estação E1 apresentou comportamento um pouco diferente, com um maior valor em abril/2013. Não se encontrou nenhuma relação clara entre a pluviometria ou a vazão.

Comparação entre o COT em água e em sedimento

A Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece limites para COT em água. Mas de acordo com a Associação Americana de Saúde Pública (American Public Health Association – APHA) (1998), é desejável que a faixa de COT para água potável seja de 0,1 $mg.L^{-1}$ a 25 $mg.L^{-1}$. A concentração média de COT para rios tropicais é de 6 $mg.L^{-1}$ e para rios localizados em zonas temperadas, áridas e semi-áridas a concentração média é de 3 $mg.L^{-1}$ (HEM, 1985). A Figura 53 apresenta as concentrações de COT em água.

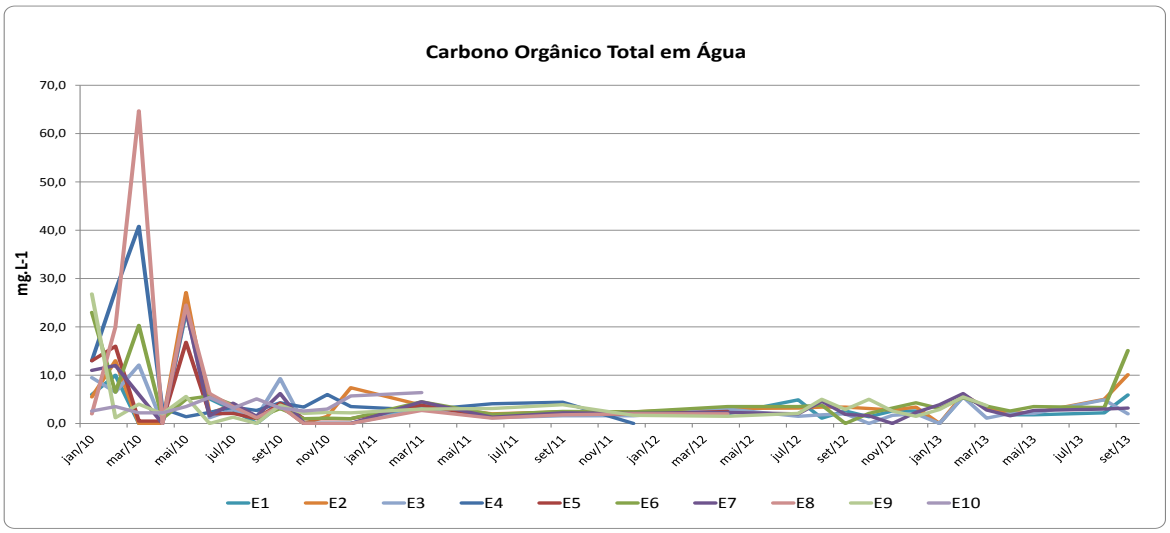

Figura 53 – Concentração de COT em água durante todo o monitoramento

Pode ser observar na Figura 53 que a concentração de COT em água foi maior no início do monitoramento, entre janeiro e maio/10. Existe uma incerteza de medição nestes resultados em função do método utilizado pelo laboratório. Após este período a metodologia foi revista. Foram observadas pequenas oscilações de concentração após junho/10. A partir de abril/13, notou-se uma tendência crescente das concentrações de COT na água. Em comparação com os dados em sedimento, a tendência é semelhante, porém observa-se que a concentração de COT no sedimento é muito superior, conforme pode ser observado na Figura 54. Ressalta-se que os valores de COT em água e sedimento na referida figura encontram-se em escala logarítmica, pois as concentrações são muito discrepantes entre si.

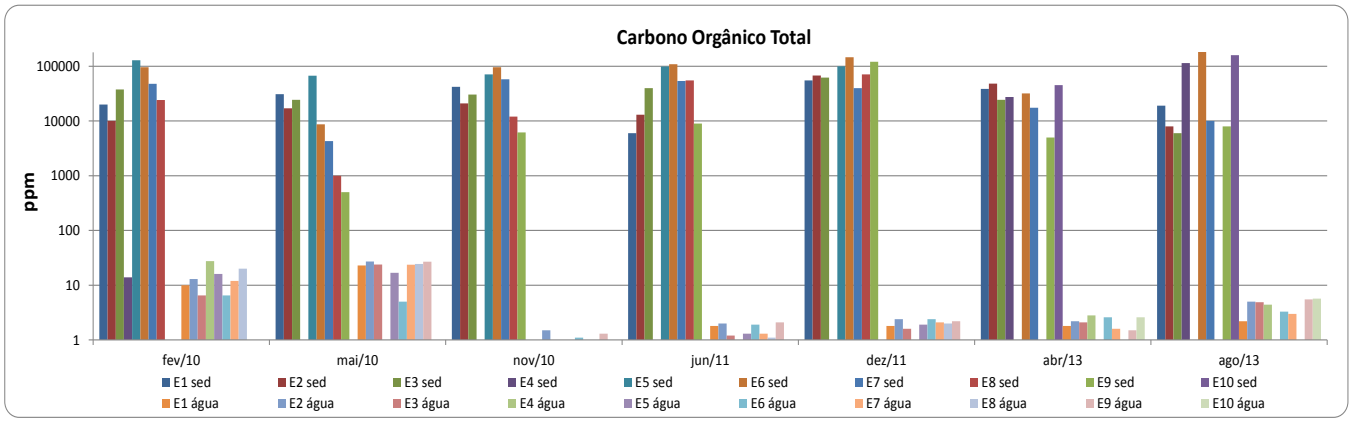

Figura 54 – Concentração de COT em água e em sedimento durante todo o monitoramento

Nutrientes

Neste item será apresentada a concentração no sedimento ao longo do monitoramento das variáveis nitrogênio e fósforo. A Figura 55 apresenta a concentração de fósforo total e a Figura 56 apresenta a concentração de nitrogênio total Kjedahl, que é o somatório do nitrogênio orgânico e da amônia.

O fósforo total manteve-se abaixo do valor alerta durante todo o monitoramento. Foram observadas algumas oscilações na concentração, com tendência ao aumento da concentração após a formação do reservatório nas estações E4 e E6. A concentração de nitrogênio também se manteve abaixo do valor alerta, com oscilações durante o monitoramento e com tendência ao decréscimo após o enchimento do reservatório.

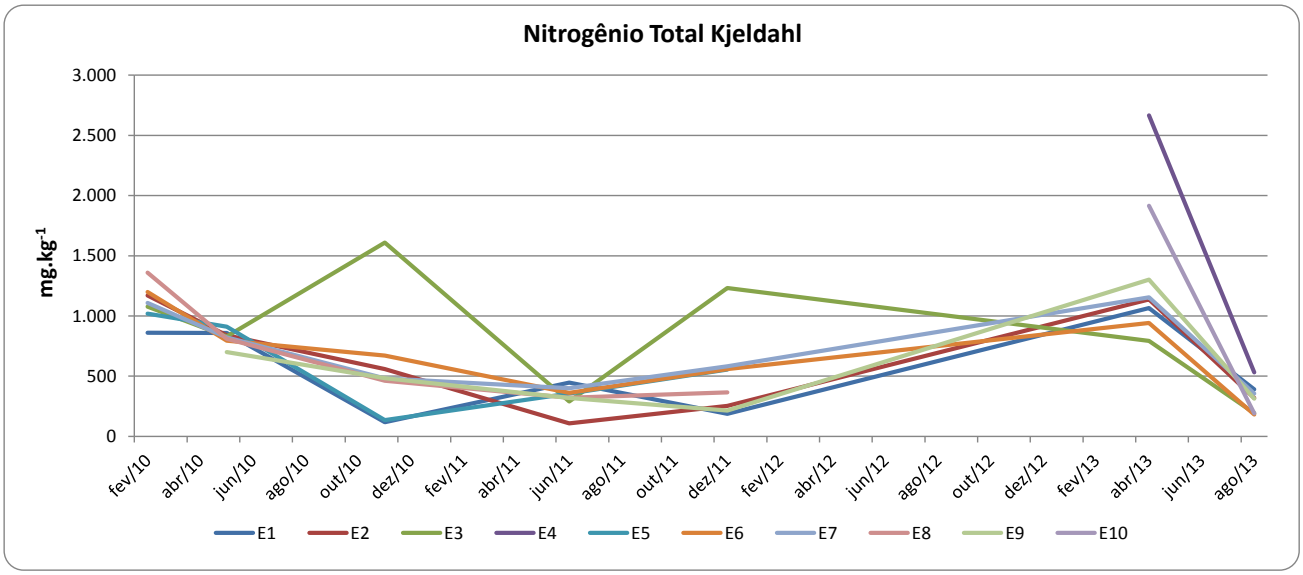

Figura 55 – Concentração de Nitrogênio Total Kjedahl em sedimento durante todo o monitoramento

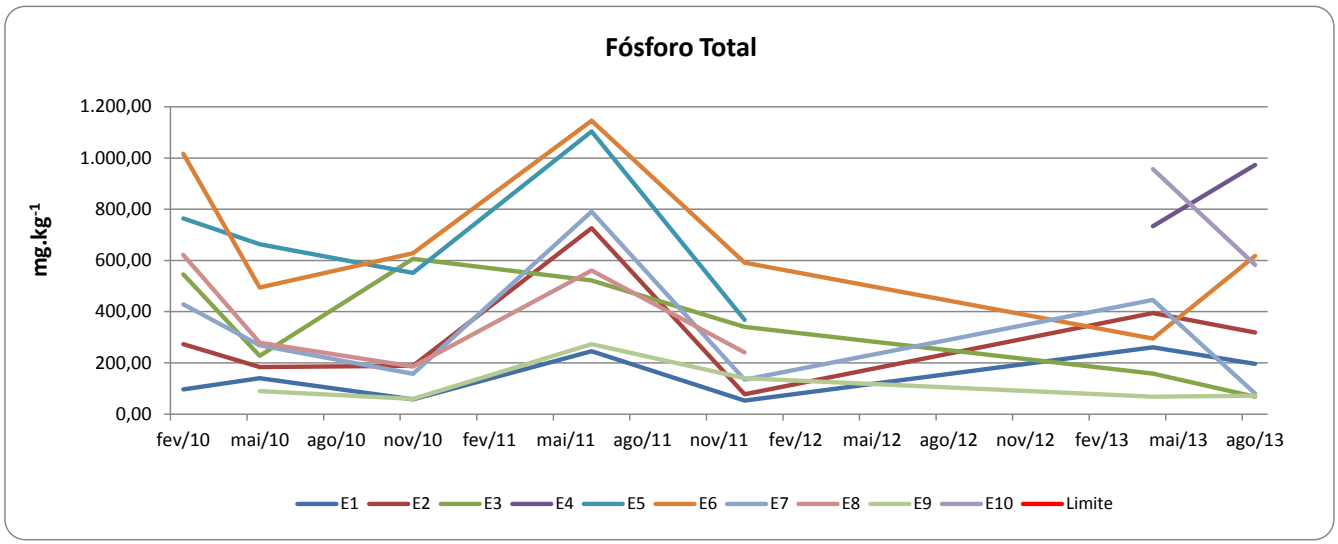

Figura 56 – Concentração de fósforo total em sedimento durante todo o monitoramento

Quando comparadas as concentrações de fósforo total e de nitrogênio total Kjedahl em água e em sedimento, observa-se o mesmo comportamento que o apresentado pelo carbono orgânico total, ou seja, a concentração destas variáveis, em ppm, destas variáveis no sedimento é muito maior. Os gráficos comparativos estão apresentados na Figura 57 e na Figura 58. Ressalta-se que os mesmos encontram-se em escala logarítmica, pois as concentrações de COT em água e sedimento são muito discrepantes.

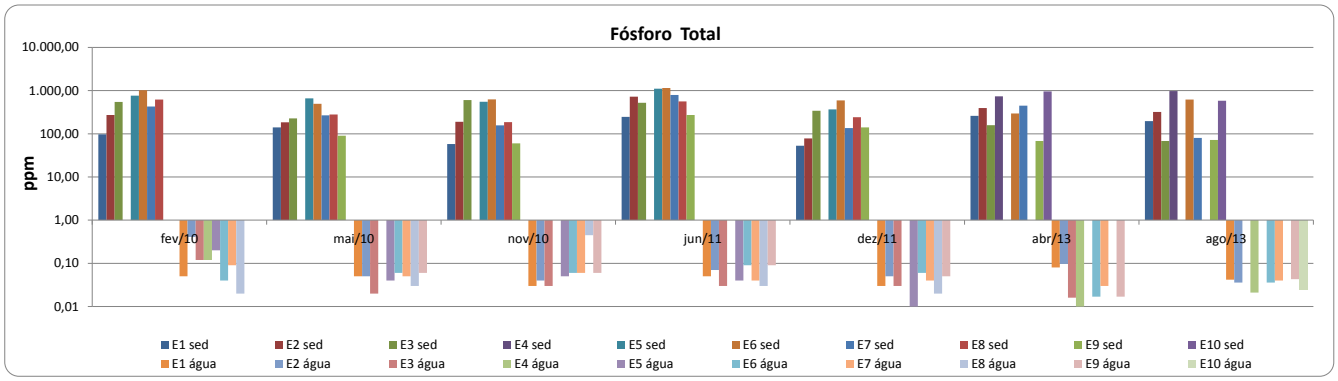

Figura 57 – Concentração de fósforo total em sedimento e em água durante todo o monitoramento

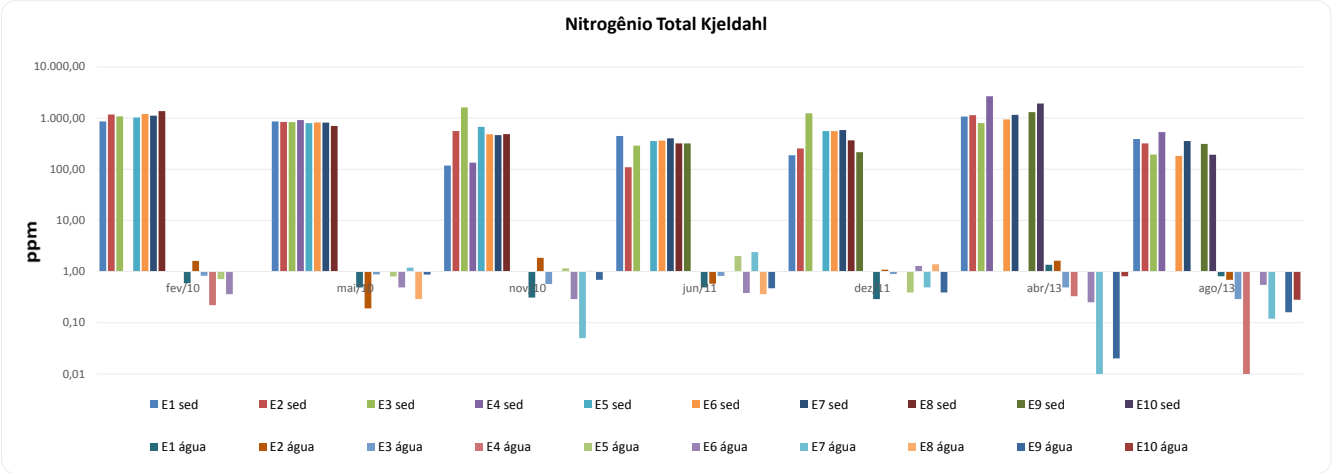

Figura 58 – Concentração de nitrogênio total Kjedahl em sedimento e em água durante todo o monitoramento

3.1.3 Monitoramento da Comunidade Fitoplanctônica

A riqueza de espécies nas estações monitoradas durante toda a fase do empreendimento foi semelhante: fases RIO (262 spp.), ENCHIMENTO (262 spp.) e RESERVATÓRIO (265 spp.), mantendo proporções semelhantes entre as principais classes registradas (Figura 59).

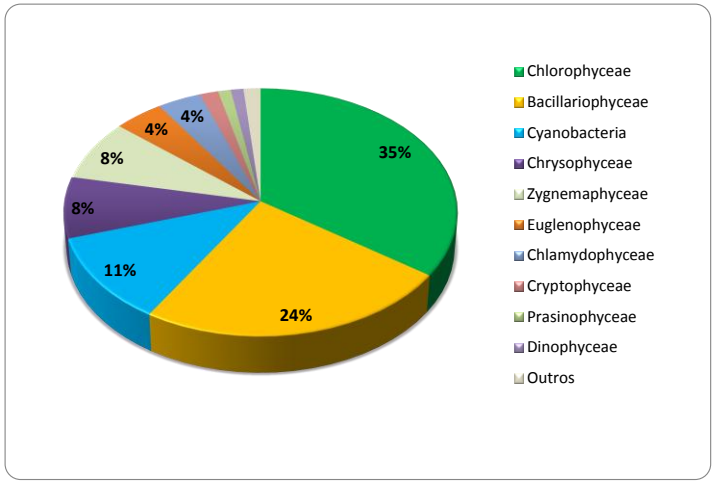

Figura 59 – Porcentual médio da riqueza de espécies por classes considerando as três fases do empreendimento.

A comunidade fitoplanctônica que ocorreu na fase reservatório (julho/12 a setembro/13) da Usina de Mauá foi representada por 265 táxons inseridos nas seguintes classes de algas: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Prasinophyceae, Chlamydophyceae, Zygnemaphyceae, Bacillariophyceae, Cryptophyceae, Chrysophyceae, Euglenophyceae, Dinophyceae e Xanthophyceae. Espécies, representando as diferentes classes, encontram-se ilustradas a seguir (Figura 60 a Figura 61). As mais bem representadas foram Chlorophyceae (táxons), Bacillariophyceae (spp.) e Cyanophyceae (spp.).

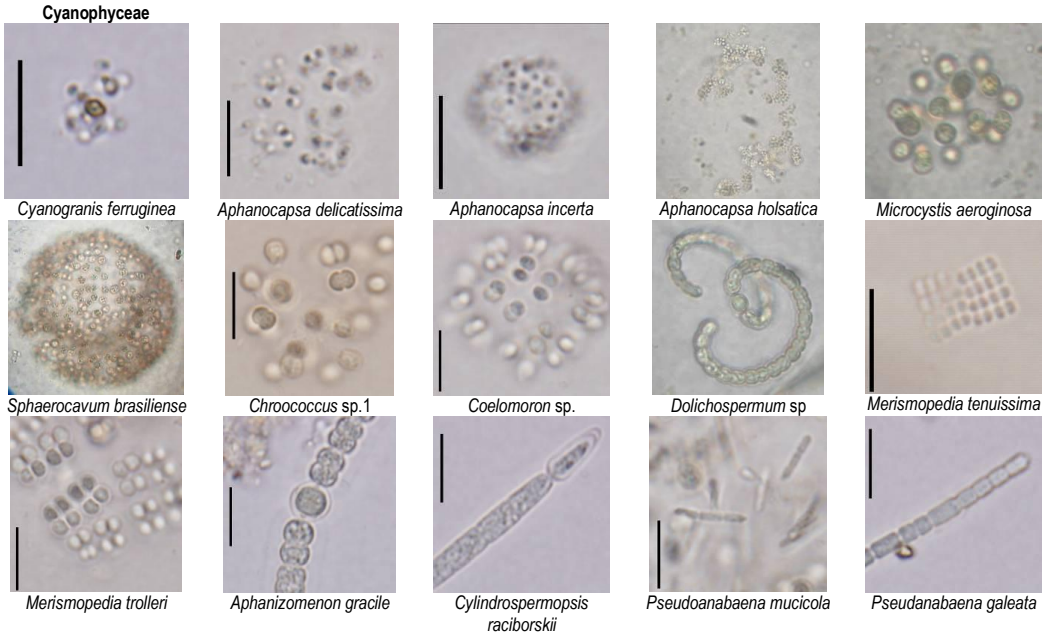

Figura 60 - Representantes do fitoplâncton no rio Tibagi e afluentes, na região do empreendimento UHE Mauá.

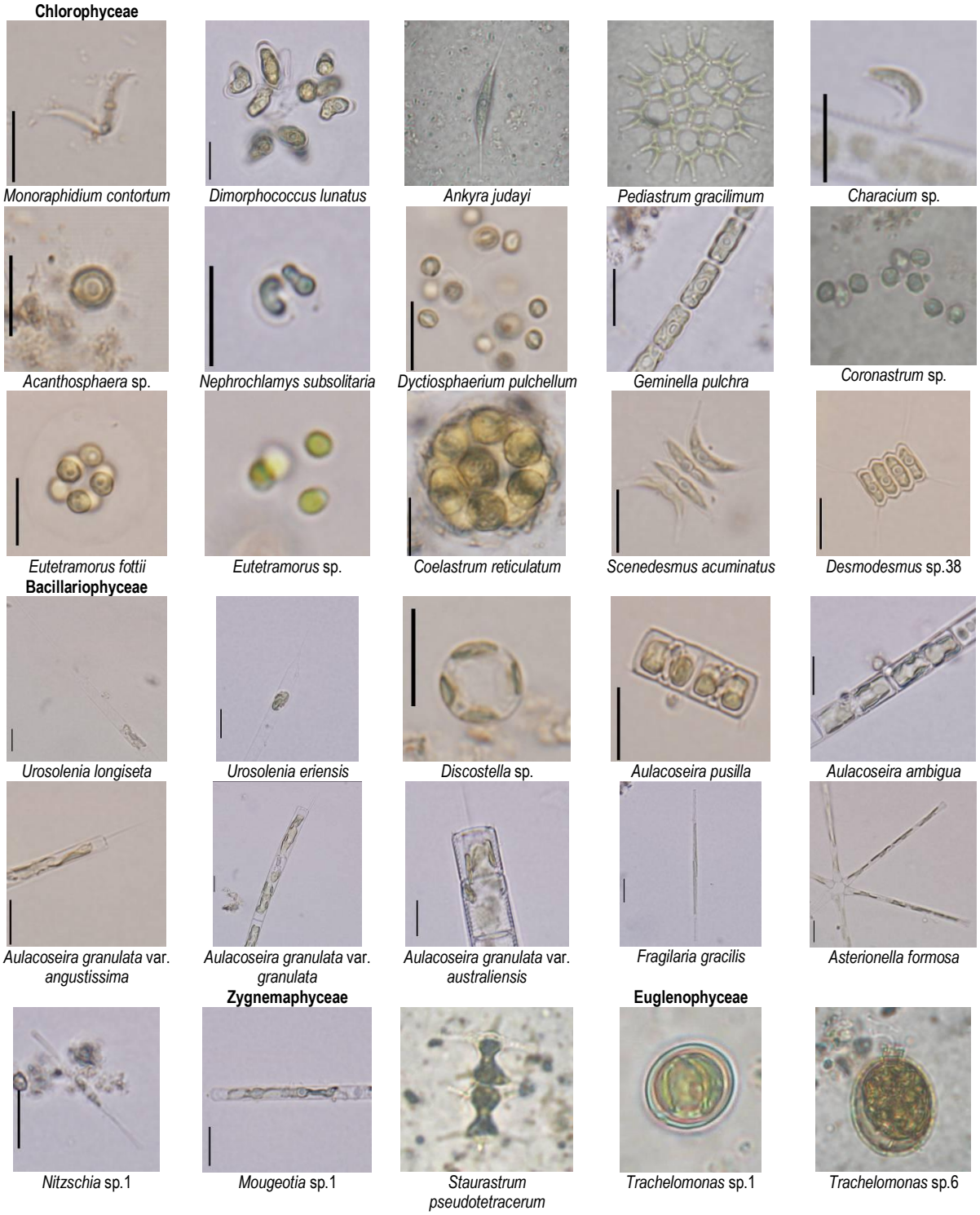

Figura 61 - Representantes do fitoplâncton no rio Tibagi e afluentes, na região do empreendimento UHE Mauá.

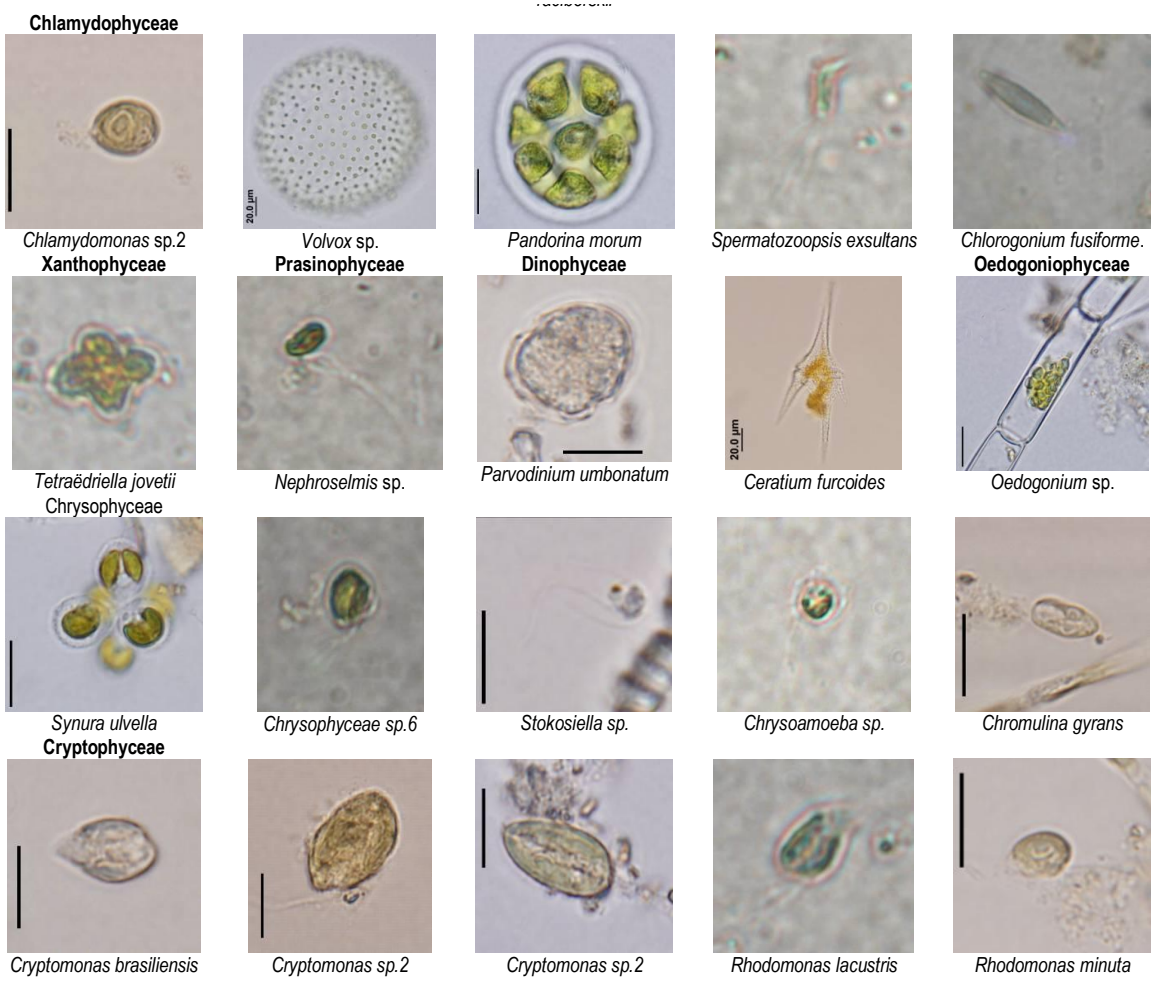

Figura 62 - Representantes do fitoplâncton no rio Tibagi e afluentes, na região do empreendimento UHE Mauá.

De acordo com a listagem das espécies constatadas (Tabela 36), maior riqueza foi encontrada em E4 (125 táxons), rio Tibagi, porção média do reservatório, e a menor, em E3 (70 táxons) - rio Imbauzinho.

Tabela 36 – Listagem de táxons do fitoplâncton encontrados nos meses de julho/12 a setembro/13, por estação de monitoramento, na região do empreendimento.

Táxon	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Cyanophyceae								
Aphanizomenon gracile	x			x				x
Aphanocapsa delicatissima	x	x		x	x	x	x	x
Aphanocapsa elachista						x	x	
Aphanocapsa incerta	x							x
Aphanocapsa holsatica	x	x						
Aphanocapsa koordersii					x		x	x
Chroococcus sp.1	x	x	x	x		x	x	x
Chroococcus sp.2	x	x		x		x		

Táxon	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Coelomoron sp.	x	x		x	x			x
Cyanogranis ferruginea			x	x		x	x	x
Cylindrospermopsis raciborskii	x	x	x	x	x	x	x	x
Dolichospermum planctonicum				x	x			
Dolichospermum solitarium							x	x
Dolichospermum sp.1	x					x		
Dolichospermum sp.2	x	x						
Geitlerinema sp.							x	
Leptolyngbya elongata					x	x	x	
Merismopedia duplex					x	x		x
Merismopedia tenuissima	x	x		x	x	x	x	x
Merismopedia sp.3	x					x		
Microcystis aeroginosa	x	x		x	x			
Microcystis protocystis				x				x
Phormidium sp.2							x	
Pseudoanabaena mucicola	x			x	x		x	x
Pseudanabaena sp.2		x				x	x	
Rhabdoderma sp.1	x				x			x
Sphaerocavum brasiliense				x	x	x	x	x
Synechococcus sp.								x
cyanophyceae sp.1		x	x					
cyanophyceae sp.3						x		x
cyanophyceae sp.4					x		x	x
cyanophyceae sp.8								x
Chlorophyceae								
Acanthosphaera sp.			x		x			
Ankyra judai	x	x		x	x		x	x
Ankistrodesmus bibraianus			x			x		
Ankistrodesmus fusiformis								x
Ankistrodesmus gracilis				x		x		
Botryococcus braunii							x	x
Characium sp.	x	x			x			x
Chlorella oocystoides	x							
Chlorella sp.			x	x				
Chlorotetraedron incus	x			x				
Closteriopsis longissima				x		x		
Closteriopsis sp.	x	x	x	x	x	x	x	x
Coelastrum astroideum				x	x	x		x
Coelastrum reticulatum				x	x	x	x	x
Crucigenia tetrapedia	x			x	x			x
Crucigenia quadrata				x				
Crucigeniella crucifera			x	x	x	x	x	x
Desmodesmus bicaudatus			x			x		x
Desmodesmus brevispina			x	x				
Desmodesmus communis	x	x						
Desmodesmus granulatus	x	x		x	x		x	x

Táxon	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Desmodesmus lefevrei			x			x		
Desmodesmus opolienesis		x			x			
Desmodesmus pseudodenticulatus				x		x		
Desmodesmus pseudohelveticus	x	x	x	x				x
Desmodesmus quadricauda	x					x		
Desmodesmus serratus	x	x	x					x
Desmodesmus sp.17	x	x	x	x		x		x
Desmodesmus sp.20								
Desmodesmus sp.25	x	x		x	x			x
Desmodesmus sp.38		x				x		
Desmodesmus sp.40	x		x	x				
Desmodesmus sp.41	x			x	x			
Didymogenes anomola	x	x						
Dichotomococcus sp.				x				
Diplochloris lunata	x	x						
Dimorphococcus sp.	x	x						
Dydimocystis sp.				x				x
Dyctiosphaerium ehrenbergianum					x		x	
Dyctiosphaerium pulchellum	x	x	x	x	x	x	x	x
Dyctiosphaerium subsolitarium	x					x	x	
Elakatothrix gelatinosa	x			x	x	x	x	x
Elakatothrix sp.1						x		
Eutetramorus fottii	x	x	x	x	x		x	x
Eutetramorus sp.	x	x	x	x	x	x	x	x
Franceia echidna			x			x		
Franceia javanica	x	x		x	x			x
Geminella mutabilis			x					
Geminella pulchra	x				x			
Golenkinia sp.	x		x	x	x			x
Hyaloraphidium sp.	x	x	x	x	x	x		
Kirchneriella contorta		x		x	x	x	x	x
Kirchneriella microscopica				x		x		
Kirchneriella obesa	x				x			
Kirchneriella roselata				x			x	x
Kirchneriella semiaperta				x				
Micractinium bornhemiense		x		x				
Micractinium pusillum	x	x	x	x	x		x	
Monoraphidium arcuatum	x	x	x	x	x		x	
Monoraphidium circinale			x	x	x		x	x
Monoraphidium contortum	x	x	x	x	x	x		x
Monoraphidium minutum	x	x	x	x	x	x	x	x
Monoraphidium nanum	x				x	x	x	
Monoraphidium sp.1				x	x	x	x	x
Monoraphidium sp.3				x				
Nephrochlamys subsolitaria	x			x	x		x	x
Nephrochlamys willeana	x			x	x	x		x

Táxon	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Nephrocytium sp.1				x				
Oocystis lacustris	x	x		x	x		x	x
Oocystis naegelii						x		x
Oocystis taionensis					x	x	x	x
Pediastrum duplex	x			x				
Scenedesmus acuminatus	x	x						x
Scenedesmus aff. *dimorphus*	x	x						
Scenedesmus disciformis			x	x				
Scenedesmus ovalternus					x	x		
Scenedesmus sp.2	x	x	x	x	x	x	x	x
Schroederia antillarum	x	x		x	x	x	x	x
Stauridium tetras				x			x	
Tetraedron minimum			x					
Tetranephris brasiliensis				x	x			x
Tetrastrum glabrum		x						
Tetrastrum heterocanthum			x					
Tetrastrum staurogeniaeforme	x	x		x				
Tetrastrum triangulare		x	x	x	x		x	x
Treubaria triappendiculata	x	x		x	x	x	x	
Chlorophyceae sp.2			x					
Chlorophyceae sp.4				x				
Chlorophyceae sp.9						x	x	
Chlorophyceae sp.16					x			
Chlamydophyceae								
Carteria sp.1		x						
Chlamydomonas sp.1	x		x					
Chlamydomonas sp.2	x	x	x	x	x	x	x	x
Chlamydomonas sp.3					x	x		x
Chlamydomonas sp.4		x	x				x	
Chlamydomonas sp.5					x		x	
Chlamydomonas sp.6	x			x				
Chlamydonephris pommiformis		x		x				
Chlorogonium fusiforme	x	x						x
Spermatozoopsis exsultans		x						
Eudorina sp.					x			
Volvox sp.					x		x	x
chlamydophyceae sp.2								x
Prasinophyceae								
Nephroselmis sp.				x	x		x	x
Pedinomonas sp.	x	x	x	x	x	x	x	x
Tetraselmis sp.1			x			x		
Zygnemaphyceae								
Closterium gracile	x	x	x	x	x	x		
Closterium sp.1	x		x		x	x	x	x
Closterium sp.2	x				x			x
Closterium sp.3	x	x					x	

Táxon	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Cosmarium margaritatum			x				x	
Cosmarium subprotumidum var. *pyramidatum*				x				
Cosmarium sp.2	x							x
Cosmarium sp.7					x			
Cosmarium sp.12								x
Euastrum sp.2				x	x		x	x
Mougeotia sp.1	x	x	x	x	x		x	x
*Onychonema*sp.						x		
Staurodesmus cuspidatus var. coronulatus					x		x	x
Staurodesmus sp.1	x		x					
Staurastrum cristatum			x			x		
Staurastrum leptocladum		x			x			
Staurastrum pseudotetracerum		x						x
Staurastrum punctulatum	x							
Staurastrum setigerum					x			
Staurastrum sp.1				x	x			x
Staurastrum sp.10								
Staurastrum sp.12					x		x	x
Teilingia granulata			x			x		
Xanthophyceae								
Tetraëdriella jovetii	x		x	x				x
Tetraëdriella sp.1			x				x	x
Tetraplektron sp.		x		x				x
Xanthophyceae sp.				x				
Bacillariophyceae								
Acanthoceras zachariasii	x							
Achnanthidium minutissimum	x	x	x	x		x	x	
Amphipleura lindheimeri			x			x		
Asterionella formosa	x	x	x	x	x		x	x
Aulacoseira ambigua	x	x		x	x	x		x
Aulacoseira ambigua var. *ambigua* f. *spiralis*								x
Aulacoseira granulata var. *angustissima*	x	x		x	x		x	x
Aulacoseira granulata var. *australiensis*	x	x		x				x
Aulacoseira granulata var. *granulata*	x	x		x	x		x	x
Aulacoseira herzogii	x							x
Aulacoseira pusilla	x	x	x	x	x	x	x	x
Aulacoseira tenella			x	x	x	x		x
Aulacoseira sp.1	x	x						x
Cocconeis placentula var. lineata						x		
Cyclostephanus invisitatus			x	x		x		
Cyclotella meneghniana	x	x	x					x
Discostella stelligera	x	x	x	x	x	x	x	x
Encyonema silesiacum		x		x		x		
Encyonema sp.	x					x	x	
Eunotia camelus					x			
Fragilaria capucina var. *gracilis*	x	x	x	x	x	x	x	x

Táxon	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Fragilaria fragilarioides						x		
Fragilaria longifusiformis	x	x	x	x		x	x	x
Fragilaria sp.1					x	x	x	
Frustulia crassinervia		x						
Frustulia saxonica	x					x		
Geissleria aikenensis						x		
Gomphonema lagenula		x	x			x	x	
Gomphonema gracile						x		x
Gomphonema parvulum			x			x		
Gomphonema sp.1						x		
Gyrosigma scalproides		x				x		
Hippodonta capitata			x					
Melosira varians	x		x	x		x	x	
Navicula cryptocephala	x	x	x			x		
Navicula cryptotenella	x	x	x			x		
Navicula rostellata		x	x			x		
Navicula schroeterii	x		x			x		
Navicula sp.1						x		
Nitzschia acicularis						x		
Nitzschia clausii			x					
Nitzschia gracilis	x							
Nitzschia intermedia	x					x		
Nitzschia linearis			x					
Nitzschia palea	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitzschia sp.1	x	x		x	x	x		x
Nitzschia sp.2	x	x	x		x			
Pinnularia sp.		x						
Spicaticribra rudis				x	x	x	x	x
Surirella angusta	x							
Surirella sp.	x							
Ulnaria acus	x			x		x		x
Ulnaria ulna	x	x	x	x	x	x		
Urosolenia eriensis		x	x	x	x	x	x	x
Urosolenia longiseta	x			x	x		x	x
Urosolenia obesa		x		x				
vista pleural 2 - *Navicula*	x		x			x	x	
vista pleural 3 - *Eunotia* sp.1	x	x	x			x		
vista pleural 6 - *Gomphonema* sp.						x		
vista pleural 7 - *Pinnularia*		x					x	
Cryptophyceae								
Cryptomonas brasiliensis	x	x	x	x	x	x	x	x
Cryptomonas sp.2	x	x	x	x	x	x	x	x
Rhodomonas lacustris	x	x	x	x	x	x	x	x
Rhodomonas minuta		x		x	x	x	x	x
Rhodomonas sp.1		x					x	
Euglenophyceae								

Táxon	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E9	E10
Euglena acus		x						
Euglena sp.1		x	x	x	x	x	x	x
Phacus agilis			x					
Strombomonas sp.1			x					
Strombomonas sp.2				x		x		
Trachelomonas sp.1	x				x			x
Trachelomonas sp.2	x	x	x	x				x
Trachelomonas sp.8		x				x		
Trachelomonas sp.10								x
Dinophyceae					x			
Ceratium furcoides				x	x			x
Glochidinium penardiforme								x
Parvodinium umbonatum		x	x	x	x			x
Peridinium gatunense				x	x			x
Peridinium wiscosinensis				x				
Peridinium sp.9			x	x	x			x
Peridinium sp.10				x				
Chrysophyceae								
Chromulina gyrans	x	x	x	x	x	x	x	x
Chrysamoeba sp.			x	x	x			x
Chrysococcus sp.							x	
Dinobryon divergens	x	x	x	x				x
Dinobryon sp.1					x			
Dinobryon sp.5						x		
Kephyrion sp.1				x				x
Kephyrion sp.2	x	x	x	x	x	x		x
Mallomonas akrokomos	x			x	x	x	x	x
Mallomonas alorgei			x					x
Mallomonas intermedia	x				x			x
Mallomonas tonsurata		x		x	x	x	x	x
Mallomonas sp.4		x	x			x		
Mallomonas sp.8		x	x	x				
Stokesiella sp.		x		x				
Synura uvella	x	x	x			x		x
Synura sp.3				x				
Rhipidodendron huxleyi		x						
chrysophyceae sp.6				x		x		
TOTAL	**115**	**105**	**70**	**126**	**107**	**110**	**86**	**121**

Estudos ficológicos anteriores foram desenvolvidos por Bittencourt-Oliveira (2002), baseados em amostras coletadas no ano de 1990 e 1991, nas quais se registraram 202 táxons de microalgas em amostras coletadas com rede. Bittencourt-Oliveira (2002), analisando amostras do rio Tibagi, encontrou predominância de 48,5% de Zygnemaphyceae, 25% de Bacillariophyceae e 10% de

Chlorophyceae. Este resultado diferiu do encontrado nas três fases do empreendimento quando predominaram as Chlorophyceae, Bacillariophyceae e Cyanophyceae.

Apesar da coincidência percentual entre as classes nas diferentes fases do empreendimento, nas estações que sofreram alterações hidrológicas mais drásticas (E4, E5 e E10), notou-se um incremento na riqueza e na densidade de espécies de hábito planctônico (ex. diatomáceas *Acanthoceras zachariasii* e *Aulacoseira spp.,* maior diversidade de Dinophyceae, maior diversidade de Chloroccales cenobiais e de cianobactérias coloniais) e diminuição na ocorrência de algas de hábito bentônico (cianobactérias filamentosas, diatomáceas perifíticas, menor diversidade de Chlorococcales cenobiais). Segundo Round (1979), diatomáceas planctônicas e clorofíceas cocóides cenobiais tendem a ser as algas mais comuns em ambientes límnicos, pois necessitam de menor turbulência para completarem seu ciclo de vida.

Estudos quantitativos do fitoplâncton e estimativas da clorofila-a realizados durante a fase rio e a fase reservatório do empreendimento resultaram em valores mais elevados na fase reservatório, exceto em E3 (Figura 63 e Figura 64), onde as densidades foram similares. De maneira geral, os valores de densidade celular e clorofila-a estiveram dentro da normalidade para ambientes límnicos, abaixo de 5.000 céls.mL^{-1} e de5 µg.L^{-1} (Figura 63e Figura 64).

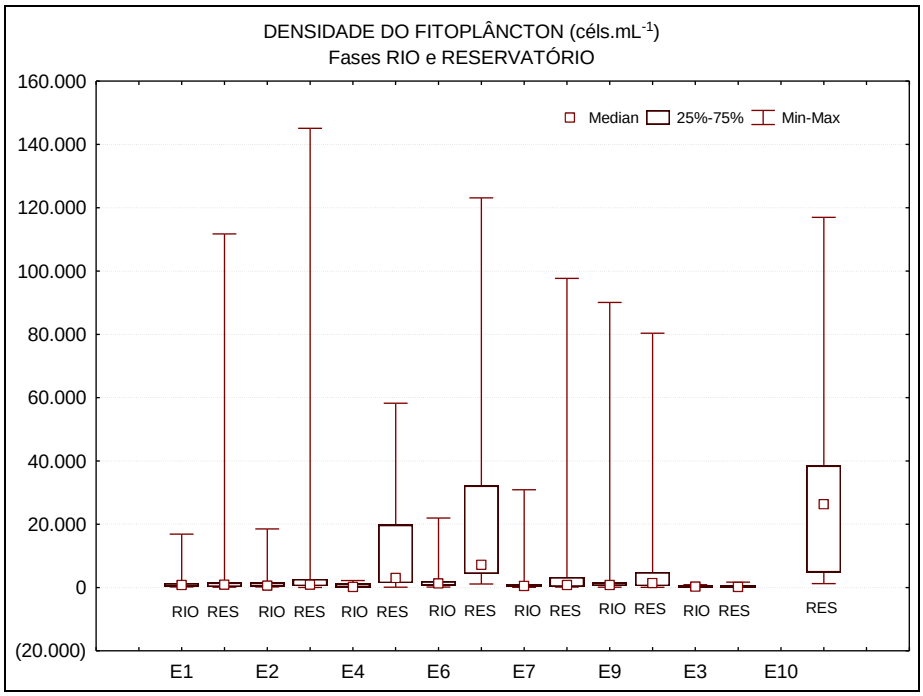

Figura 63 – Mediana e valores máximo e mínimo das densidades celulares médias, por estação de coleta, no período entre julho/12 e setembro/13.

As densidades celulares mais elevadas ocorreram na fase reservatório, nas estações E4, E6 e E10 (Figura 63 e Figura 65), localizadas sucessivamente na porção média do reservatório, próximo ao eixo da barragem e no rio Barra Grande, e classificados como mais eutrofizados (IET) e com maior tempo de residência. Considerando-se a totalidade dos valores estimados entre julho/12 e maio/13, os dois parâmetros mensurados apresentaram boa correlação positiva: p=0,72.

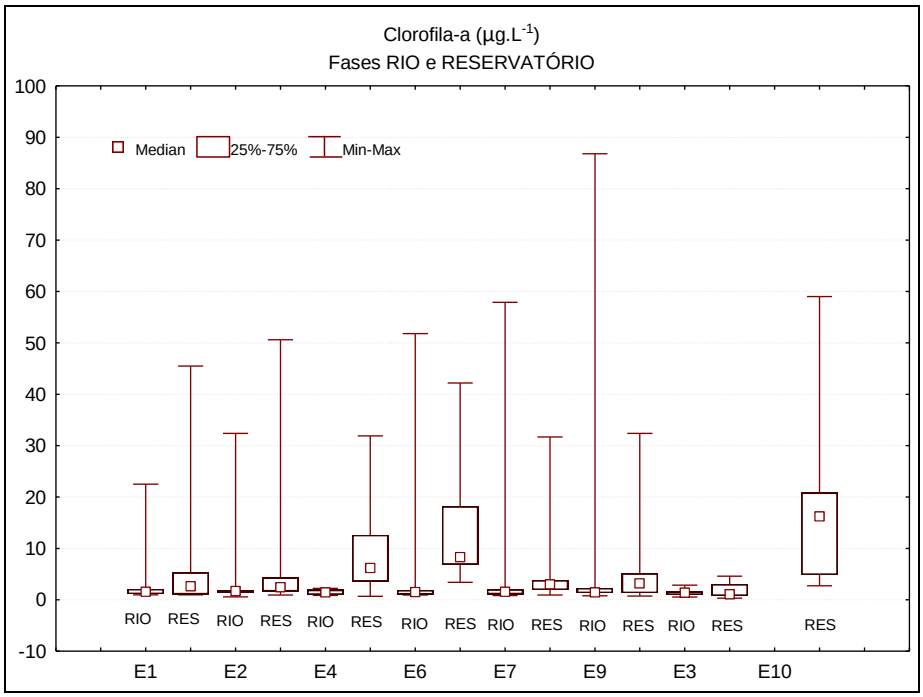

Figura 64 - Mediana e valores máximo e mínimo dos valores de clorofila-a, por estação de coleta, no período entre julho/12 e setembro/13.

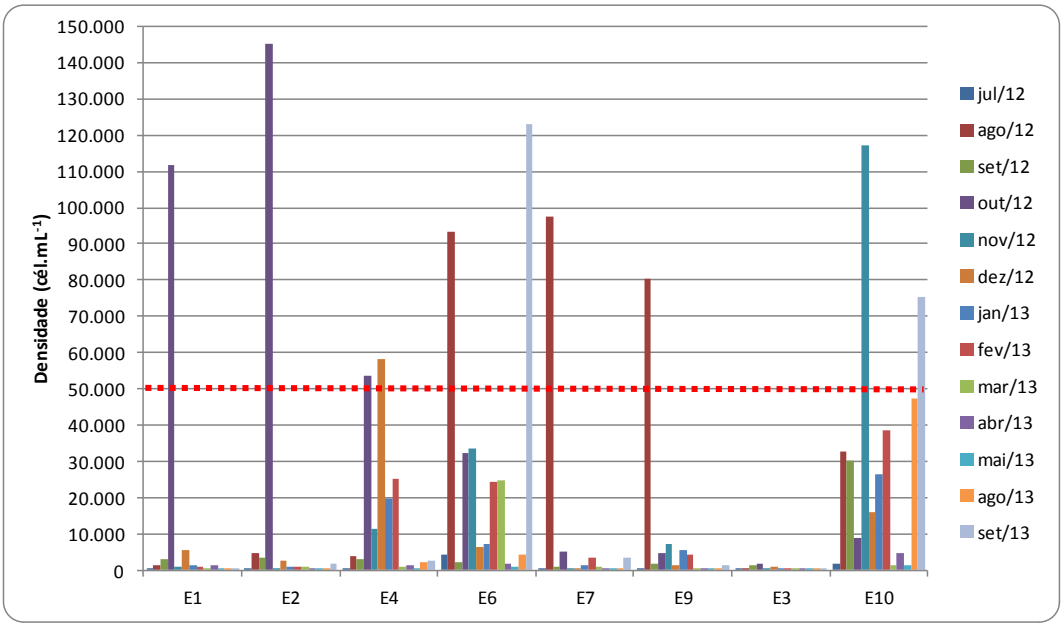

Figura 65 – Contribuição temporal média das densidades celulares fitoplanctônicas por estação de coleta no período entre julho/12 e setembro/13.

As demais estações localizadas no rio Tibagi (E1, E2, E7 e E9) e no rio Imbauzinho (E3) apresentaram valores relacionados ao fitoplâncton mais baixos (Figura 63 e Figura 65).

Os picos observados na Figura 65 referem-se às superpopulações das microalgas destacadas na *Tabela 37* e serão abordados com mais detalhes a seguir.

Tabela 37 – Dados de ocorrências das superpopulações de microalgas no período entre julho/12 e setembro/13.

Mês	Estações	Microalga
Agosto 2012	E6, E7 e E9	*Eutetramorus fotti*
Outubro 2012	E1, E2 e E4	*Aphanocapsa delicatissima*
Novembro 2012	E10	*Eutetramorus fotti*
Dezembro 2012	E4	*Mougeotia sp.* e *Aphanocapsa delicatissima*
Setembro 2013	E6 e E10	*Sphaerocavum brasiliense*

Analisando os valores médios das densidades celulares referente às classes de algas que compõem o fitoplâncton, o grupo melhor representado foi o das Cyanophyceae (cianobactérias), seguido pelas Chlorophyceae (algas verdes) (Figura 66).

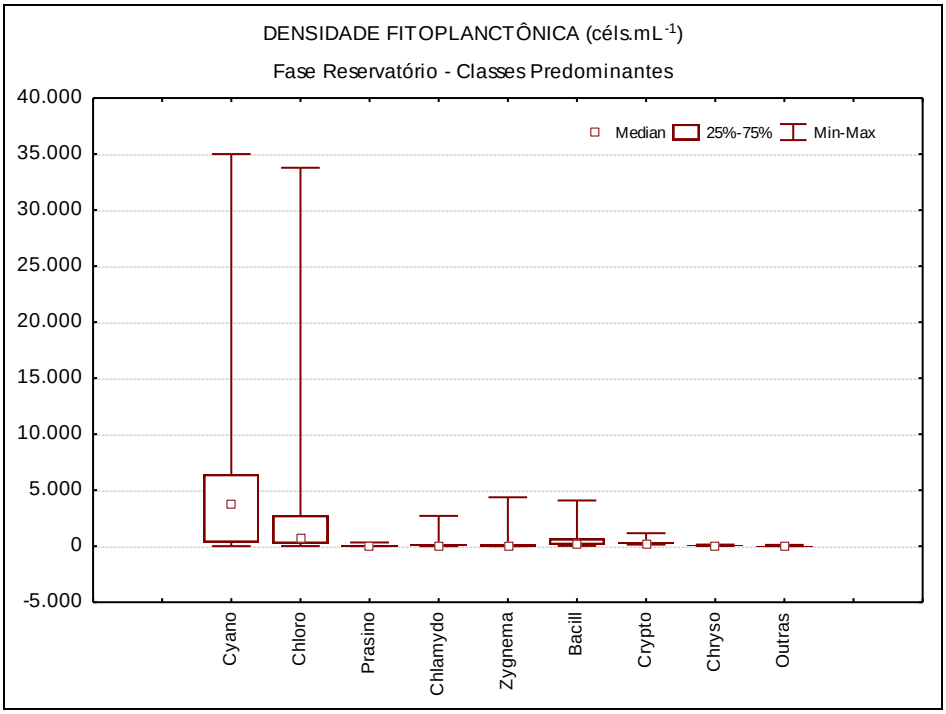

Figura 66 – Mediana e valores mínimo e máximo das densidades celulares (céls.mL^{-1}) medias das classes do fitoplâncton no peíodo entre julho/12 e setembro/13.

3.1.3.1 Florações de microalgas durante a fase rio e reservatório da UHE Mauá

Durante o monitoramento da comunidade fitoplanctônica da UHE Mauá foram constatados cinco eventos de floração de microalgas (densidade acima de 50.000 cél.mL^{-1}). O primeiro evento ocorreu durante a fase rio (setembro/2010), onde se registrou elevada biomassa da diatomácea *Asterionella formosa* Hassall (78.700 cél.mL^{-1}) (Figura 62) na estação E9 localizada a jusante da barragem.

Asterionella formosa é uma diatomácea planctônica que vive em forma de cadeias estreladas e possui uma das menores taxas de sedimentação entre as algas deste grupo. É uma espécie comum, de ampla distribuição geográfica pelo mundo, característica de lagos e reservatórios ricos em nutrientes e degradados por eutrofização antropogênica. Formam elevadas biomassas, geralmente na primavera, em ambientes lênticos de vários países. A população de *A. formosa* pode crescer rapidamente e resultar em depleção de nutrientes (nitrato, fosfato e silicato) no ambiente, e o declínio das populações desta diatomácea ocorre pela falta principalmente de fonte de sílica (KRIVTSOV, 2000; DORGELO *et al*., 1981). No Brasil, Beyruth & Pereira (2002) constataram uma floração de *Asterionella formosa* em reservatório para abastecimento público de São Paulo e atribuíram o forte odor de BHC (hexacloreto de benzeno) na água tratada à diatomácea. *Asterionella* produz forte odor de gerânio e de peixe à água, quando em elevadas densidades. Também, interferem na floculação e na obstrução de filtros durante os processos de tratamento de água para distribuição pública.

Os demais eventos de floração ocorreram durante a fase reservatório, *Aphanocapsa delicatissima* (73.357 cél.mL^{-1}) em outubro/2012 na estação a montante do reservatório (E2), *Eutetramorus fotti* nas estações E6, E7 e E9 em agosto/2012 (90.476, 95.843 e 78.466 céls.mL^{-1}, respectivamente), *Eutetramorus* sp. (92.018 cél.mL^{-1}) em novembro/2012 no rio Barra Grande (E10), seguido de *Sphaerocavum brasiliense* durante a primavera (setembro/2013) na estação da barragem (E6) e no rio Barra Grande (E10) (120.126 e 74.313 cél.mL^{-1}, respectivamente).

Aphanocapsa delicatissima é uma cianobactéria colonial, potencialmente produtora de hepatotoxinas, de pequenas dimensões (diâmetro <4 µm) que, de maneira geral, contribui pouco para a produtividade primária do ecossistema devido ao seu pequeno biovolume. *Eutetramorus fottii* e *Eutetramorus* sp. são algas clorofíceas, não toxigênicas, que caracterizam-se por apresentar colônias constituídas por células dispostas em dois planos, de modo que cada célula de um dos planos localiza-se entre as duas células do outro plano, configurando colônias em forma de coroa (NOGUEIRA, 1991).

Sphaerocavum brasiliense é uma cianobactéria colonial mucilaginosa que apresenta morfologia e requerimentos ecológicos muito semelhantes às espécies de *Microcystis*. Esta espécie foi recentemente proposta para o Brasil e vem sendo comumente encontrada em reservatórios eutrofizados de regiões tropicais do globo (AZEVEDO & SANT'ANNA, 2003). Fonseca & Bicudo (2008) e Gentil *et al.* (2008) registraram a floração de *Sphaerocavum brasiliense* durante período de primavera (set./1997) para o Lago das Garças, um ambiente eutrofizado urbano do Estado de São Paulo; e Ferraz (2012) registrou elevadas densidades (>10.000 cél.mL^{-1}) da espécie em reservatórios da bacia do rio das Velhas, Minas Gerais nos anos de 2007 e 2010. Apesar da semelhança com *Microcystis* spp., não há, até o momento, estudos relatando a produção toxinas por *Sphaerocavum brasiliense*.

3.1.3.2 Ocorrência de cianobactérias durante a fase rio e reservatório da UHE Mauá

As cianobactérias apresentam elevada capacidade adaptativa aos mais diversos ambientes, sendo consideradas excelentes colonizadoras ambientais. Os mecanismos que favorecem sua dominância em sistemas aquáticos eutrofizados são as habilidades de armazenamento do fósforo e de migração na coluna d´água. A presença de aerótopos nas células desta espécie possibilita melhor posicionamento na zona eufótica e proteção contra a fotoinibição, quando as colônias encontram-se na superfície da coluna d´água (CALIJURI *et al.,* 2006).

A comunidade fitoplanctônica da UHE Mauá foi representada por 47 táxons de cianobactérias (Figura 62), dentre estes 29 ocorreram durante a fase rio e 32 na fase reservatório. De maneira geral, quase a metade das cianobactérias (ca. 49%) presentes no fitoplâncton na área de estudo investigada são espécies potencialmente produtoras de toxinas, podendo produzir hepatoxinas (ex. *Dolichospermum* spp., *Aphanocapsa* spp., *Microcystis* spp.) ou neurotoxinas (ex. *Cylindrospermopsis racinorskii*, *Planktothryx* sp., *Pseudanabaena* spp., *Planktolyngbya limnetica*, *Raphidiopsis*) (CHORUS & BARTRAM, 1999; PANOSSO *et al*., 2007; SANT'ANNA *et al*., 2008). Apesar da ocorrência de espécies toxigênicas, estas foram detectadas em densidades baixas na maior parte do período analisado, exceto em outubro/2012, quando houve predominância de *Aphanocapsa delicatissima* (73.357 cél.mL^{-1}) na estação E2.

Durante a fase rio e maior parte da fase reservatório, foram registrados tricomas de *Cylindrospermopsis raciborskii*, espécie potencialmente tóxica freqüente em sistemas límnicos brasileiros eutrofizados. Várias cepas produtoras de saxitoxinas e neosaxitoxinas já foram

identificadas no país. Estas neurotoxinas estão entre as mais potentes já analisadas (SANT´ANNA *et al.*, 2008; CALIJURI *et al.*, 2006; BOUVY *et al*., 2000).

A ocorrência de florações de *Cylindrospermopsis raciborskii* tem sido constantemente relatada em águas superficiais para abastecimento público, caracterizando sérios problemas às estações de tratamento, riscos à saúde e comprometimento da qualidade da água (FUNASA, 2003; TUCCI & SANT´ANNA, 2003). Segundo Beyruth & Pereira (2002), *Cylindropermopsis raciborskii* foi associada à mortandade de peixes em vários reservatórios paulistas. Sua permanência nos ambientes está associada às eficazes estratégias de sobrevivência que possuem e alta capacidade de adaptação. Estes organismos conseguem migrar na coluna d´água, buscando as melhores condições de vida, estocando boa quantidade de fósforo em suas células. Desenvolvem-se bem sob baixa luminosidade e temperaturas mais elevadas. São impalatáveis ao zooplâncton, não sendo sensíveis à herbivoria, podendo inclusive oferecer certa toxicidade a esta biocenose. Os tricomas finos e alongados não promovem sombreamento como outras cianobactérias (*Microcystis* spp), permitindo a coexistência de outras espécies (TUCCI & SANT´ANNA, 2003).

Apesar da ausência de registros de densidades elevadas de *Cylindrospermopsis raciborskii* durante a fase reservatório, ainda há probabilidade de ocorrerem problemas de superpopulação desta espécie no reservatório da UHE Mauá, pois com a diminuição da velocidade das águas do rio poderá haver maior concentração de nutrientes e consequente eutrofização do sistema, condições ideais para ocorrência de florações. Tal fato poderá ser evidenciado com a continuidade do monitoramento na área de estudo. Salienta-se que, na bacia do Tibagi, a cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* tem sido registrada em elevadas concentrações nos reservatórios de UHEs instaladas no rio Pitangui (UHE São Jorge e UHE Pitangui).

Na fase reservatório, *Cylindrospermopsis raciborskii* foi constatada, principalmente, nas estações E1 e E2 que se localizam a montante da barragem, locais que apresentam características lóticas. Silva *et al.* (2005) realizaram trabalho no rio Tocantins, com registro de *Cylindrospermopsis raciborskii* e atribuíram a presença desta cianobactéria num ambiente lótico à existência de reservatórios a montante das estações de coleta, pois não é comum a ocorrência desta cianobactéria em ambientes lóticos. Entretanto, a espécie que vinha sendo detectada em sistemas lênticos pode ser encontrada em ambientes lóticos também, ou pela baixa vazão do rio, ou originada de açudes próximos e reservatórios a montante.

3.1.4 Monitoramento da Comunidade Zooplanctônica

O zooplâncton, um dos grupos de invertebrados mais abundantes nas águas doces, é considerado um poderoso instrumento para avaliar modificações causadas nos ecossistemas aquáticos por atividades impactantes como introdução de espécies exóticas, assoreamento e contaminação por esgotos domésticos e industriais, entre outras. Estes invertebrados se destacam pela sua riqueza de espécies e importância ecológica, pois participam ativamente no metabolismo dos ecossistemas aquáticos, como ciclagem de nutrientes e manutenção das cadeias tróficas (são um elo fundamental entre a cadeia de produtores e os níveis alimentares (BARBOSA *et al*., 2006).

Um dos aspectos mais evidentes é a carência de estudos sobre estes organismos em ecossistemas fluviais. Apesar de possuir grandes bacias hidrográficas, o Brasil não tem ainda um conhecimento adequado de seu potamoplâncton. Segundo Bozelli & Huszar (2003), possivelmente esta pobreza de estudos em rios é resultado de um misto de razões históricas relativas à origem da Limnologia, de dificuldades metodológicas e da plácida aceitação de que o plâncton não exerce papel relevante em águas correntes.

Em ecossistemas lóticos, o zooplâncton apresenta um número reduzido de taxa e baixa biomassa, com a predominância de formas de tamanho pequeno, como protozoários, rotíferos, cladóceros pertencentes à família Chydoridae e larvas e juvenis de copépodes (PAGGI & JOSE DE PAGGI, 1990). Nesses ecossistemas, os fatores que interferem na composição e abundância deste grupo de invertebrados aquáticos, geralmente incidem em duas categorias: (i) fatores que afetam a deriva desses organismos de áreas de remansos, canais laterais, lagoas marginais e represas onde se desenvolvem grandes populações; e (ii) fatores que afetam a sua reprodução e o seu crescimento como, por exemplo, a alta carga de sedimento transportada pelo rio pode inibir a produção fitoplanctônica e reduzir a disponibilidade de recursos para o zooplâncton (WINNER, 1975).

Após o represamento de um rio, grandes transformações nas comunidades biológicas a jusante e montante da barragem são esperadas (STRASKRABA & TUNDISI, 1999). As interações que ocorrem entre o fluxo do rio, a bacia do reservatório e a coluna de água conduzem à formação de um gradiente longitudinal (no corpo central do reservatório) das variáveis abióticas e bióticas (Kennedy, 1999). Este gradiente é constituído geralmente por uma seqüência longitudinal onde predominam zonas fluviais, zonas de transição e zonas lacustres (THORNTON, 1990; TUNDISI, 1990). Por outro lado, tributários e canais laterais do rio represado podem contribuir para a formação de um gradiente lateral (WARD, 1989; VAN DEN BRINK *et al.*, 1994).

A comunidade zooplanctônica em reservatórios responde a essas interações apresentando também um gradiente longitudinal e lateral, onde são esperadas maiores densidades nas zonas de transição entre o rio principal e o reservatório e entre tributários e o reservatório (zonas de remanso) (MARZOLF, 1990; VAN DEN BRINK *et al.*, 1994). Ainda, outras funções de força, como alterações climatológicas e o tempo de residência de água, podem interferir na estrutura e dinâmica dessa comunidade em reservatórios (TUNDISI *et al*., 1991).

Após a formação do reservatório, a sucessão de espécies zooplanctônicas é evidenciada durante a colonização. Espécies *r* estrategistas, como protozoários e rotíferos, são as primeiras a colonizar o novo ambiente, seguidas por espécies k estrategistas, como copépodos calanóides (ROCHA *et al*., 1999). De modo geral, esses organismos são favorecidos nessas condições, estabelecendo assembléias em um curto período de tempo após o represamento.

O presente relatório, apresenta dados sobre a variação espacial e temporal da composição e abundância dos principais grupos da comunidade zooplanctônica amostrados na área de influência da UHE Mauá, durante a fase pós-represamento (reservatório). O objetivo geral foi avaliar os efeitos causados pela transformação de um ambiente lótico em lêntico sobre esta comunidade.

3.1.4.1 Composição, Riqueza e Abundância do Zooplâncton

Foram identificados 102 táxons infragenéricos para a comunidade zooplanctônica nas amostras analisadas na fase pós-represamento (reservatório). Desse total, 73 foram identificados para os rotíferos, 20 para os cladóceros e 9 para os copépodos. Os valores registrados nesta fase são superiores aos da fase pré-represamento (rio), quando foram identificados 96 táxons.

Na fase reservatório, os rotíferos foram representados por 19 famílias, sendo Brachionidae (15 táxons) Lecanidae e Trichocercidae (9 táxons) às mais representativas. Comparando as duas fases (rio e reservatório), o número de famílias foi similar, porém Flosculariidae e Proalidae foram registradas apenas nas amostras da fase rio e Conochilidae e Trochosphaeridae na fase reservatório (Figura 67).

Os táxons de rotíferos que registraram maior frequência de ocorrência nas amostras foram *Ascomorpha saltans, Kellicottia bostoniensis, Keratella americana, Keratella cochlearis, Keratella lenzi*, *Conochilus coenobasis, Conochilus unicornis, Polyarthra vulgaris* e *Trichocerca clilindrica chatoni* e a ordem Bdelloidea (Tabela 38).

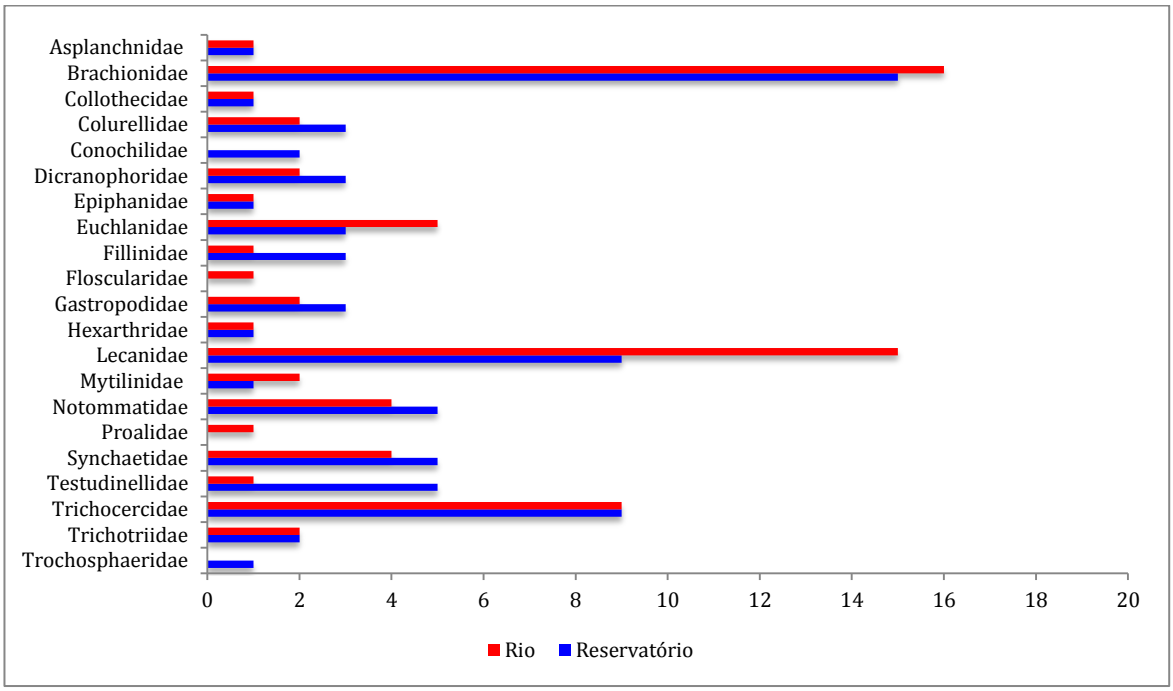

Figura 67 – Número de táxons de Rotifera identificados na área de influência da UHE de Mauá nas duas fases de monitoramento.

Tabela 38 – Lista de táxons e frequência de táxons de Rotifera amostrados na fase reservatório na área de influência da UHE de Mauá.

ROTIFERA	**Frequência nas amostras %**
Asplanchnidae	
Asplanchna sieboldi	4
Brachionidae	
Anuraeopsis navicula	2
Brachionus angularis bidens	4
Brachionus calyciflorus	5
Brachionus caudatus	2
Brachionus dolabrados	11
Brachionus falcatus	5
Brachionus mirus angustus	7
Brachionus quadridentatus	4
Kellicottia bostoniensis	59
Keratella americana	32
Keratella cochlearis	46
Keratella lenzi	38
Keratella tropica	16
Plationus patulus macrachantus	16
Platyias quadricornis	29
Collothecidae	
Collotheca sp.	16
Colurellidae	
Lepadella benjamini	29

ROTIFERA	Frequência nas amostras %
Lepadella ovalis	27
Lepadella patella	16
Conochilidae	
Conochilus coenobasis	5
Conochilus unicornis	9
Dicranophoridae	
Aspelta angusta	4
Dicranophorus epicharis	7
Encentrum sp.	4
Epiphanidae	
Epiphanes sp.	7
Euchlanidae	
Dipleuchlanis propatula	23
Euchlanis dilatata	16
Euchlanis meneta	2
Fillinidae	
Filinia longiseta	16
Filinia opoliensis	7
Filinia pjelin	7
Gastropodidae	
Ascomorpha ecaudis	29
Ascomorpha saltans	32
Gastropus hyptopus	16
Hexarthridae	
Hexarthra intermedia braziliensis	25
Lecanidae	
Lecane bulla	20
Lecane cornuta	2
Lecane hamata	4
Lecane leontina	4
Lecane lunaris	21
Lecane quadridentata	2
Lecane signifera	7
Lecane stenroosi	7
Lecane stichaea	4
Lecane sp.	2
Mytilinidae	
Mytilina ventralis	7
Notommatidae	
Cephalodella gibba	27
Cephalodella mucronata	2
Cephalodella stenroosi	2
Monommata sp.	7
Notommata copeus	4
Synchaetidae	

ROTIFERA	Frequência nas amostras %
Ploesoma truncatum	20
Polyarthra dolichoptera	21
Polyarthra vulgaris	57
Synchaeta longipes	23
Synchaeta stylata	13
Testudinellidae	
Pompholyx complanata	18
Pompholyx triloba	9
Testudinella discoidea	2
Testunidella ahlstrom	2
Testudinella patina	20
Trichocercidae	
Trichocerca capucina	13
Trichocerca cylindrica chattoni	30
Trichocerca insignis	2
Trichocerca cf. *mus*	7
Trichocerca pusilla	29
Trichocerca scipio	5
Trichocerca similis	14
Trichocerca similis grandis	4
Trichocerca sp.	4
Trichotriidae	
Trichotria tetractis	18
Trochosphaeridae	
Horaella thomassoni	2
Trochosphaera aequatorialis	2
Ordem Bdelloidea	54

Os resultados obtidos para a riqueza de espécies de rotíferos mostraram que as estações localizadas no corpo central do reservatório apresentaram maiores números de espécies. Entretanto, os picos para este atributo da comunidade ocorreram nas estações E1 e E2 nos meses de setembro e outubro/12 e as menores ocorreram nas mesmas estações nos meses de maio, agosto e setembro/13 (Figura 68).

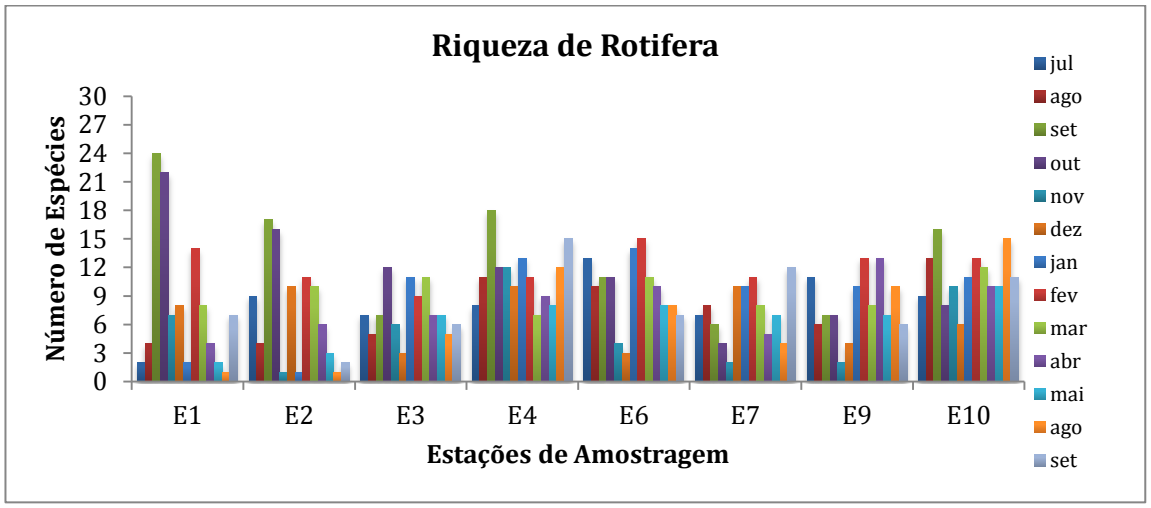

Figura 68 – Variabilidade espacial da riqueza de táxons de Rotifera.

Os maiores picos de abundância de rotíferos também ocorreram nas estações do corpo central do reservatório. Os maiores valores registrados (231.841 org./m^3) ocorreram nas estações E10, no mês de fevereiro/13 e na E6 (48.611 org./m^3), em julho/12. Os menores valores foram registrados nas estações E1 e E2 nos meses de janeiro e agosto/13 (Figura 69). As espécies responsáveis pelos picos de abundância foram *Conochilus coenobasis*, *Kellicottia bostoniensis* e *Synchaeta longipes*.

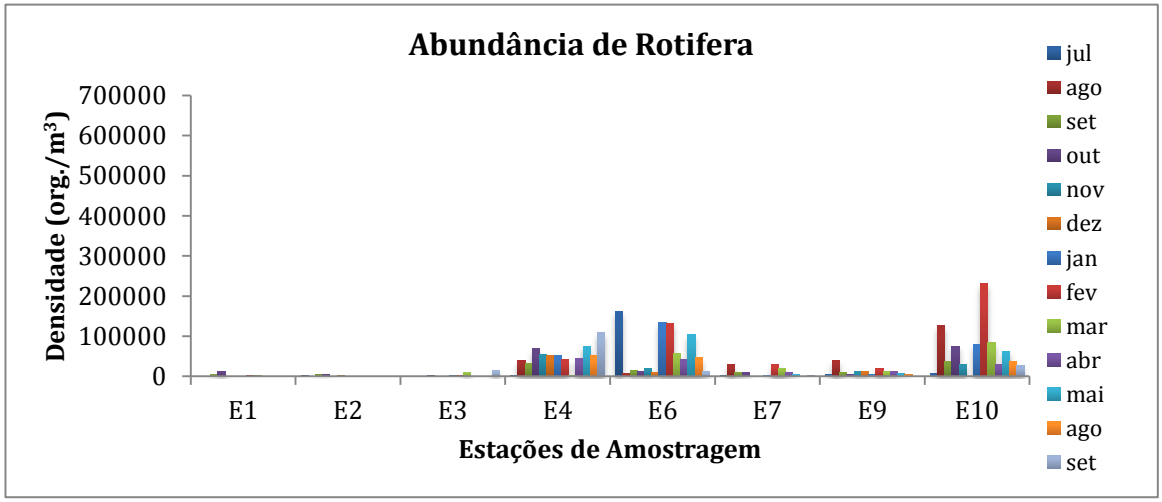

Figura 69 – Variabilidade espacial da abundância de táxons de Rotifera.

Entre os microcrustáceos, foram registrados 22 táxons para os cladóceros e 9 para os copépodos na fase reservatório. Entre os cladóceros, Chydoridae (8 táxons) e Daphniidae (6 táxons) foram dominantes. Nesta fase houve um incremento de táxons da família Daphnidae para os cladóceros e a presença exclusiva de táxons pertencentes a família Diaptomidae para os copépodos. Para as duas famílias de copépodos registradas, 5 táxons foram identificados para Cyclopidae e 4 táxons Diaptomidae (Figura 70).

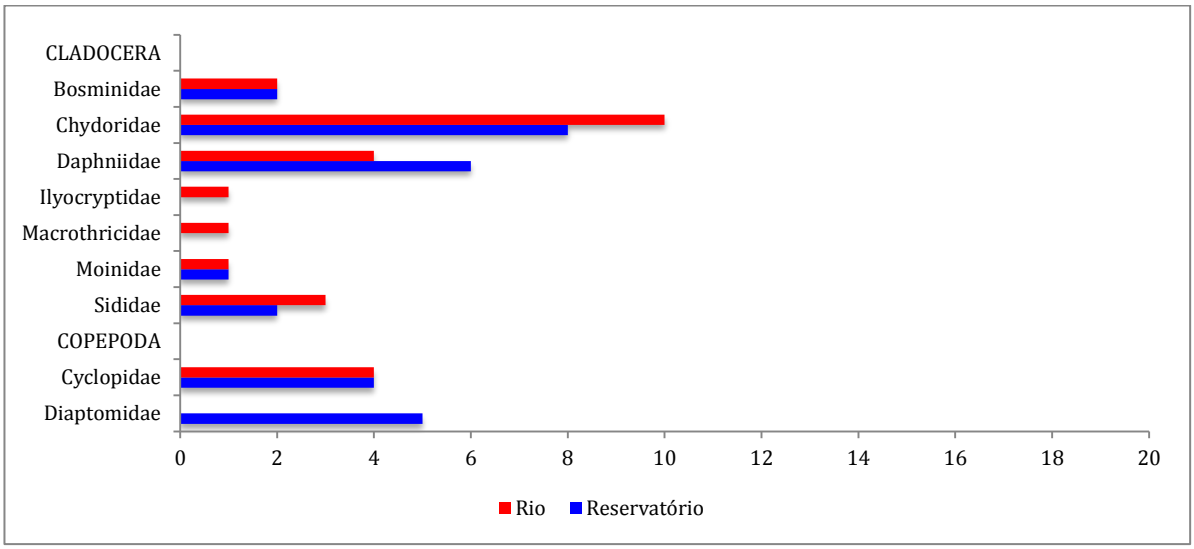

Figura 70 – Número de táxons de Microcrustáceos identificados na área de influência da UHE de Mauá nas duas fases de monitoramento.

Quanto à frequência de ocorrência de microcrustáceos nas amostras, *Bosmina hagmanni, Ceriodaphnia Silvestrii, Ceriodaphnia reticulata, Daphnia gessneri* e *Daiphanosoma brevirreme* apresentaram maior frequência para os cladóceros. Entre os táxons de copépodos, os Cyclopidae *Acanthocyclops* sp., *Microcyclops anceps* e *Thermocyclops decipiens*, e o Diaptomidae *Argyrodiaptomus furcatus* ocorreram em maior porcentagens nas amostras da fase reservatório. Porém, os náuplios e copepoditos de Cyclopoida registraram as maiores frequências de ocorrências entre os três principais grupos da comunidade zooplanctônica (Tabela 39).

Tabela 39 – Lista de táxons e frequência de táxons de Microcrustáceos amostrados na fase reservatório na área de influência da UHE de Mauá.

CLADOCERA	Frequência nas amostras %
Bosminidae	
Bosmina hagmanni	55
Bosminopsis deitersi	13
Chydoridae	
Acroperus harpae	2
Alona gutata	7
Alona intermedia	7
Alona monacantha	7
Alona sp.	2
Chydorus eurynotus	16
Chydorus pubiscens	2
Disparalona dadayi	4
Daphniidae	
Ceriodaphnia cornuta	23

CLADOCERA	Frequência nas amostras %
Ceriodaphnia reticulata	34
Ceriodaphnia silvestrii	48
Daphnia gessneri	29
Daphnia parvula	7
Simocephalus sp.	2
Ilyocryptidae	
Ilyocryptus spinifer	5
Macrothricidae	
Macrothrix laticornis	2
Moinidae	2
Moina minuta	23
Sididae	
Diaphanosoma birgei	4
Diaphanosoma brevireme	29
COPEPODA	
Cyclopidae	
Acanthocyclops sp.	43
Mesocyclops longisetus	5
Microcyclops anceps	34
Thermocyclops decipiens	2
Thermocyclops minutus	34
Diaptomidae	
Argirodiaptomus furcatus	29
Notodiaptomus sp. 1	4
Notodiaptomus sp. 2	2
Notodiaptomus sp. 3	7
Náuplio	
Calanoida	45
Cyclopoida	88
Copepodito	
Calanoida	34
Cyclopoida	64
Ordem Harpacticoida	7

Os cladóceros registram os maiores valores de riqueza nos meses de dezembro/12, na estação E9, e em janeiro/13, nas estações E4 e E10. Nas estações E1 e E2, localizadas em ambientes com características lóticas, o maior número de espécies ocorreu no mês de setembro/12 (Figura 71).

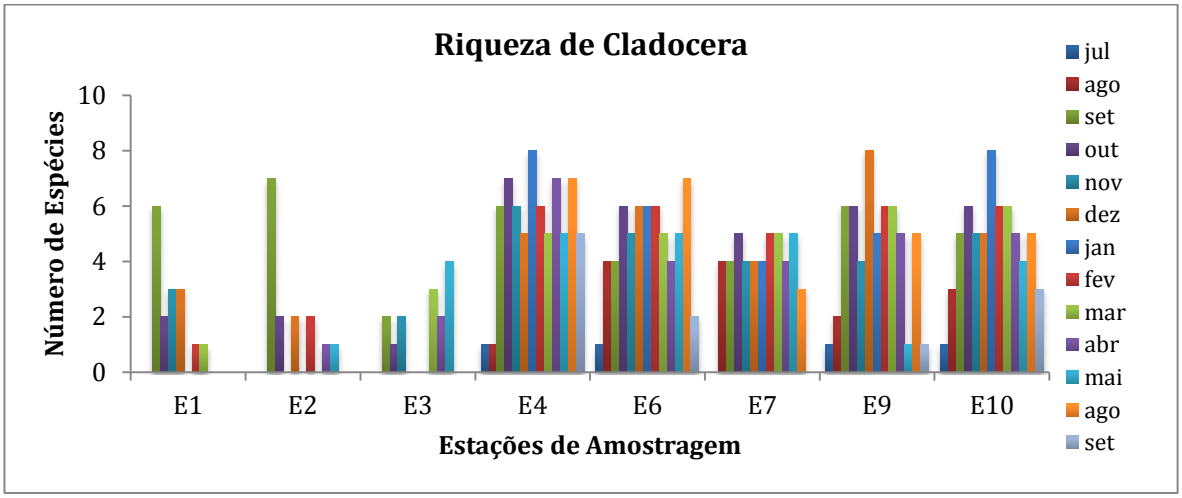

Figura 71 – Variabilidade espacial da riqueza de táxons de Cladocera.

Os resultados obtidos para as abundâncias de cladóceros mostraram que os maiores picos foram registrados nas estações E6 (276.691 org./m^3) e E10 (567.295 org./m^3), no mês de outubro/12 (Figura 72). Estes foram os maiores valores registrados entre as duas fases de estudos (rio e reservatório). A espécie responsável por estes valores elevados foi *Bosmina hagmanni,* que registrou 549.470 org./m^3, na estação E10 e 223.127 org./m^3, na estação E6. As menores densidades para esse grupo ocorreram nas estações E1, E2 e E3.

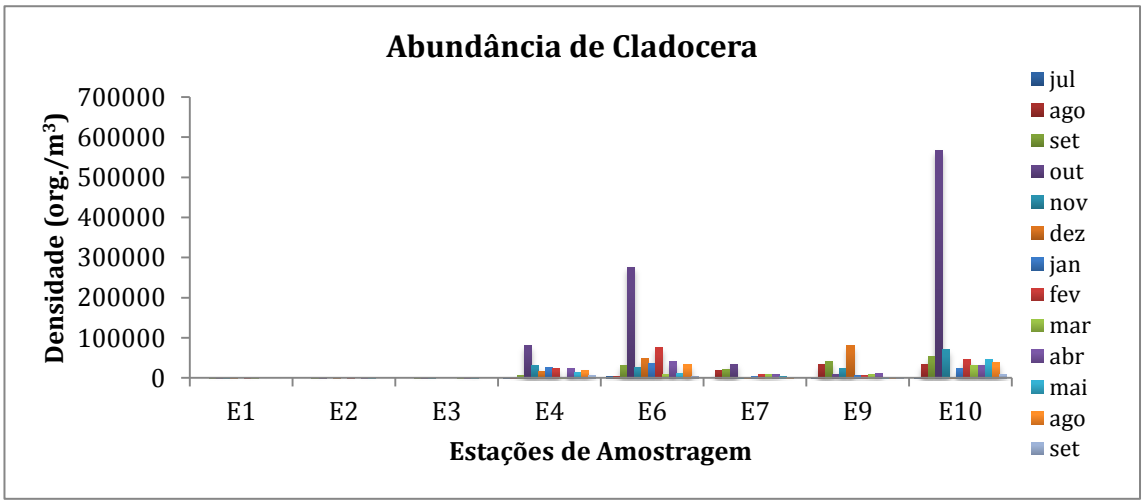

Figura 72 – Variabilidade espacial da abundância de táxons de Cladocera.

Os copépodos foram nitidamente favorecidos com a formação do reservatório, especialmente as espécies pertencentes à família Diaptomidae. Os maiores números de espécies ocorreram nas estações de amostragem E4 (maio/13), E6 (outubro e dezembro/12) e E10 (outubro/12 e setembro/13) (Figura 73). Os menores valores para a riqueza de espécies de copépodos também foram observados nas estações E1, E2 e E3.

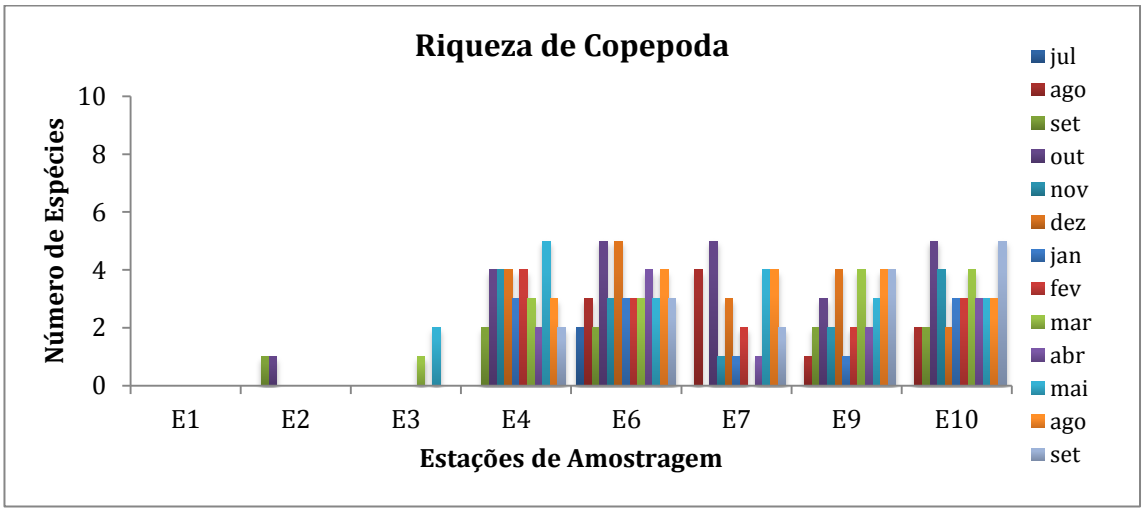

Figura 73 – Variabilidade espacial da riqueza de táxons de Copepoda.

Os copépodos apresentaram o mesmo padrão encontrado para os rotíferos e cladóceros, registrando maiores picos de abundância nas estações localizadas no corpo central do reservatório. As maiores densidades ocorreram nos meses de outubro/12 (188.623 org./m^3) na estação E6 e em agosto/12 (164.306 org./m^3) na estação E10 (Figura 74).

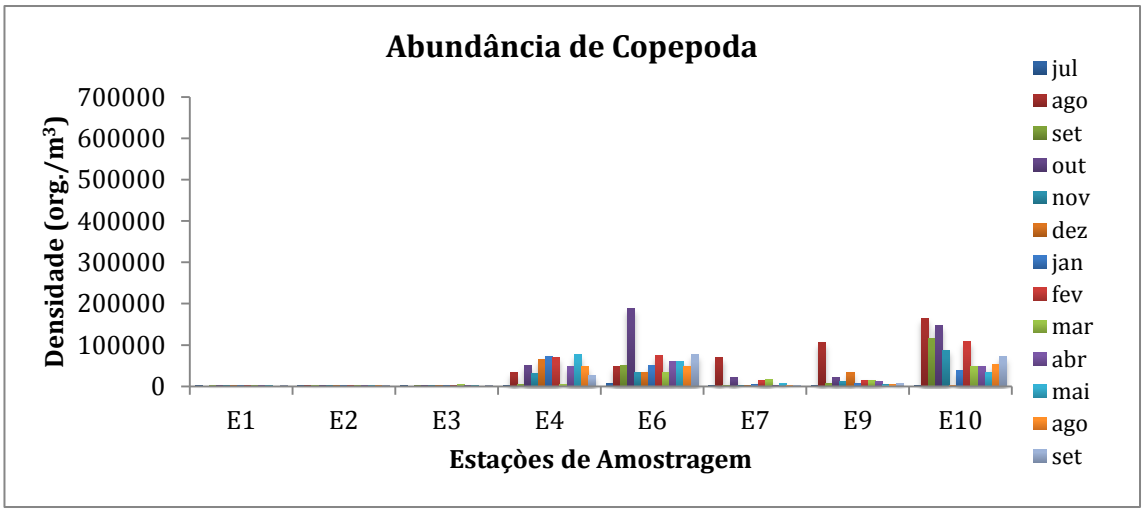

Figura 74 – Variabilidade espacial da abundância de táxons de Copepoda.

3.1.4.2 Relação entre a Densidades do Zooplâncton, Fitoplâncton e Pluviosidade

Os resultados obtidos para as densidades totais (soma das densidades de todas as estações, por mês) dos três grupos zooplanctônicos monitorados, mostraram que os rotíferos apresentaram uma correlação positiva às variações dos índices pluviométricos, registrando maiores densidades nos períodos mais chuvosos. Por outro lado, os microcrustáceos responderam às variações do fitoplâncton total, principalmente para os copépodos. Para os cladóceros, as relações não foram muito evidentes, pois aparentemente, este grupo respondeu tanto às variações dos índices

pluviométricos quanto ao fitoplâncton. Isto pode ser observado para os meses de agosto e outubro/12, quando maiores densidades de fitoplâncton coincidiram com um aumento nas densidades de cladóceros, e para o mês de maio/13 com o aumento do índice pluviométrico e o pico de abundância, especialemente de *Bosmina hagmanni* (Figura 75).

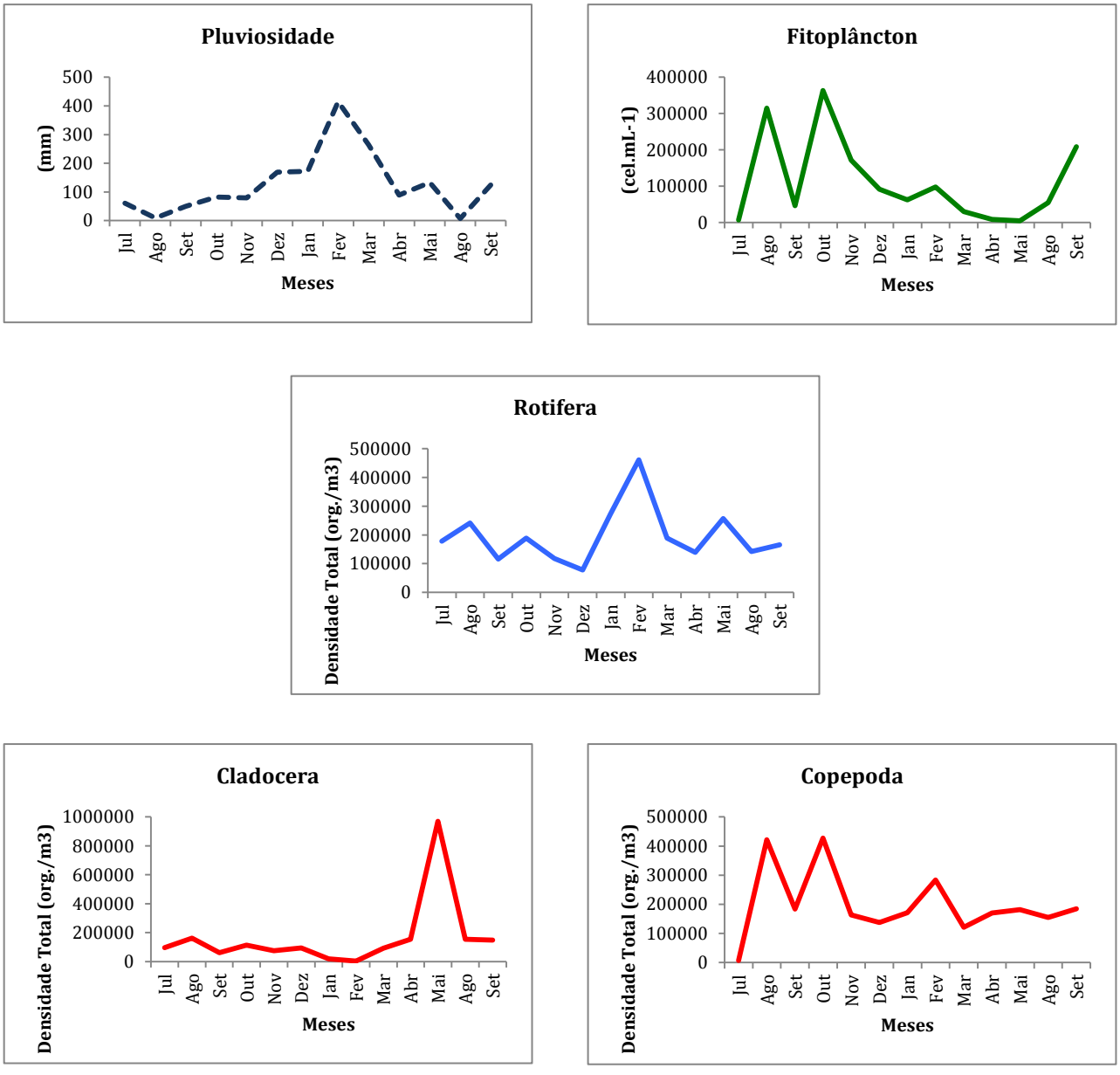

Figura 75 – Relação entre as densidades totais do zooplâncton, fitoplâncton e pluviosidade

No presente estudo, um maior número de táxons foi registrados para os rotíferos quando comparado com os demais. Este é um padrão observado na maioria dos ecossistemas aquáticos continentais (SERAFIM-JUNIOR *et al.*, 2011).

Com a formação do reservatório (fase pós-represamento), houve uma dominância de táxons planctônicos que foram favorecidos pelo ambiente recém-formado. Os pontos localizados no corpo central e nos tributários (áreas de remanso) foram responsáveis pelo maior número de táxons, principalmente para os rotíferos. Esse mesmo padrão foi observado por Nogueira (2001), em áreas de transição entre o rio e o lago do reservatório de Jurumirim, rio Paranapanema, Estado de São Paulo. As condições instáveis apresentadas pelo recém-formado reservatório nessas áreas podem ter contribuído significativamente para a ocorrência de um maior número de táxons registrado para os rotíferos, uma vez que esses organismos são r estrategistas.

Os microcrustáceos foram favorecidos com a formação do reservatório e registraram densidades superior às encontradas para os rotíferos. Este padrão também foi observado por Lansac-Tôha *et al*. (2005) para 31 reservatórios estudados no Estado do Paraná. Estes autores comentam que o elevado tempo de residência da água favoreceu o desenvolvimento de espécies com ciclo de vida longo.

Os táxons com maior frequência de ocorrência registrados para as famílias Daphniidae e Bosminidae são comuns em corpos de água tropical (DUMONT, 1994). *Bosmina hagmanni*, *Ceriodaphnia* spp., *Daphnia gessneri* e *Moina minuta*, preferencialmente planctônicos, são observados na maioria dos reservatórios da região neotropical (LANSAC-TÔHA *et al*., 1999; NOGUEIRA, 2001). O maior pico de abundância observado para *Bosmina hagamanni* nessa fase do monitoramento, pode estar associado ao rápido desenvolvimento que os cladóceros possuem, reproduzindo-se de forma assexuada e sem larvas, muito semelhante aos rotíferos. Ocorrem partenogeneses por várias gerações e uma fêmea pode produzir incubações sucessivas.

Os copépodos foram nitidamente favorecidos com a formação do reservatório da UHE de Mauá, com a ocorrência da família Diaptomidae somente nessa fase. Resultado similar foi encontrado por Lansac-Tôha *et al*. (1999) em estudos sobre a estrutura da comunidade zooplanctônica antes e após a formação do reservatório de Corumbá, Estado de Goiás. A maioria dos táxons de copépodos registrados após a formação do reservatório são preferencialmente planctônicos e ocorrem nas principais bacias hidrográficas do Brasil (ROCHA *et al*., 1995). A respeito dos táxons mais freqüentes de Cyclopidae (Cyclopoida), *Thermocyclops decipiens* possui ampla distribuição em corpos de águas tropicais (SENDACZ & KUBO, 1982; MATSUMURA-TUNDISI & ROCHA, 1983).

Os náuplios e copepoditos mantiveram-se dominantes na fase reservatório (pós-represamento). Nessa fase, foi possível observar um número maior de indivíduos adultos de

copepódes e maior riqueza de cladóceros nas amostras. A dominância de náuplios na fase de enchimento do reservatório da UHE Mauá pode ser atribuída a fatores como: i) estratégia reprodutiva do grupo, onde as fêmeas portam um grande número de ovos, especialmente Cyclopoida, e ii) predação. Alguns estudos apontam que embora os rotíferos sejam dominantes numericamente na maioria dos ambientes aquáticos, os microcrustáceos contribuem com maior participação relativa em termos de biomassa (MELÃO, 1999).

Estudos mostram que a composição, riqueza e abundância do zooplâncton em reservatórios está associada as condições morfométricas da bacia hidrográfica e climáticas regionais, as quais governam importantes características físicas dos corpos de água; e químicas, que geralmente são determinadas pela cobertura vegetal e condições edáficas do solo (MARGALEF, 1983). Fatores biogeográficos podem influenciar na colonização de espécies e interações bióticas, principalmente na competição por recursos e presas (ROCHA et al., 1995).

Os resultados para a composição e abudância total do zooplâncton encontrados no presente estudo atingiram o esperado para reservatórios recém formados. Após a formação do reservatório, as densidades registradas o zooplâncton nas estações do corpo central do reservatório (E4, E6 e E10) apresentaram um padrão longitudinal similar ao proposto por Marzolf (1990) (Figura 76).

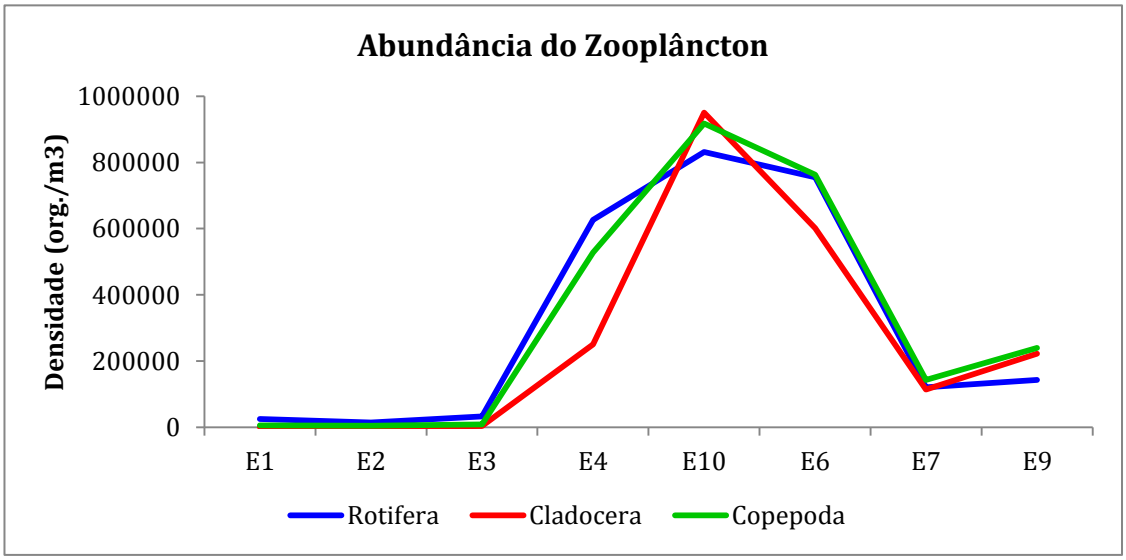

Figura 76 – Variação espacial da abundância total do zooplâncton na área de influência da UHE de Mauá, amostrado na fase reservatório.

De acordo com esse autor, são esperadas maiores densidades para as zonas de transição, onde o zooplâncton de deriva responde de maneira positiva ao regime hidráulico e suas taxas reprodutivas podem manter grandes populações.

Em síntese, os resultados obtidos no presente estudo mostraram que os efeitos provocados pelo represamento do rio Tibagi causaram mudanças significativas na composição e abundância da comunidade zooplanctônica. A enorme pressão sobre os recursos hídricos torna essencial a implantação de ações de monitoramento, pesquisa e gerenciamento, possibilitando, então, a transferência contínua da base cientifica para a aplicação. Pesquisas em ecossistemas aquáticos já demonstraram que estes são dinâmicos, alterando-se continuamente sob o impacto das atividades humanas.

3.1.5 Monitoramento de Macroinvertebrados Bênticos

No Brasil, as exigências impostas aos recursos de água doce pelo crescimento demográfico e consequentemente pela demanda energética são monumentais.

No momento, precisamos aprender e compreender urgentemente o funcionamento dos ecossistemas de água doce para podermos avaliar a sua resiliência e, capacidade de sofrer alterações em resposta à pressão demográfica exponencial (WETZEL, 1993).

O setor elétrico, através da implementação da gestão de recursos hídricos, vem buscando aumentar a interação com os demais setores de usuários. O grande desafio para este setor tem sido compatibilizar a metodologia com o planejamento e a operação das obras com o mínimo de impactos ao ambiente.

Para que isto aconteça, as redes de monitoramento dos recursos hídricos devem gerar variáveis que indiquem a quantidade do recurso disponível e a respectiva qualidade da água.

Outro aspecto importante a ser levantado é que seja avaliada a heterogeneidade espacial e temporal dos ambientes quando realizadas as análises das variáveis ambientais.

Biocritérios podem ser utilizados no monitoramento de ecossistemas aquáticos visando à mensuração e a determinação do status da área impactada.

Os macroinvertebrados representam os organismos mais utilizados em programas de monitoramento em ambientes aquáticos, pois apresentam a capacidade de responder à degradação ambiental praticada pela sociedade humana.

Os macroinvertebrados bênticos têm sido recomendados como indicadores de qualidade ambiental, em virtude da sua grande aplicabilidade no entendimento da estrutura e funcionamento dos ecossistemas, visto que participam do fluxo de energia e ciclagem de nutrientes (ROSENBERG & RESH, 1993) e são considerados elos intermediários entre os microrganismos e seus predadores

invertebrados e vertebrados (CUMMINS, 1996). Estes organismos respondem de forma positiva ou negativa ao aporte de poluentes ou outros tipos de mudança do habitat (RESH & JACKSON, 1993).

Os principais impactos sobre as comunidades aquáticas com a instalação de uma usina hidrelétrica são a transformação na dinâmica da água e a alteração na profundidade. Estes dois determinantes são responsáveis pelas alterações das características físicas, químicas e biológicas da água (JULIO JR. *et al*., 1997).

Com a formação do reservatório, a composição dos macroinvertebrados é muito alterada em função da diminuição e supressão de hábitats de ambientes lóticos, modificação nos parâmetros físicos e químicos da água e textura dos sedimentos.

A maioria dos macroinvertebrados fica distribuída nos ambientes marginais que conferem áreas transicionais entre terra e água que são colonizados tanto pelos animais terrestres quanto pelos aquáticos, o que favorece a maior diversidade faunística neles observados. Além disto, estas áreas são as mais oxigenadas em função da maior movimentação pela quebra das ondas.

Neste estudo foi realizado um monitoramento dos macroinvertebrados aquáticos durante a Fase Reservatório da UHE Mauá com o objetivo de avaliar as alterações na composição e nas abundâncias dos organismos perante a instalação e operação do reservatório.

3.1.4.1 Delineamento do Monitoramento dos Macroinvertebrados

O presente relatório tem como objetivo principal a síntese dos resultados obtidos no Sub-Programa de Monitoramento das Condições Limnológicas e da Qualidade da Água através dos Macroinvertebrados Aquáticos durante as Fases de Instalação e Enchimento do Reservatório da UHE Mauá.

As oito estações de coletas utilizadas foram as preestabelecidas no termo de referência apresentado pelo contratante para o monitoramento de qualidade de água.

As localidades e coordenadas geográficas das estações de coletas encontram-se listadas na Tabela 1.

A localização das estações E1, E2 e E3 é a mesma dos dois primeiros anos do monitoramento e ficam a montante do reservatório. As estações E4, E6 e E10 localizam-se no eixo do reservatório e são descritas abaixo. As estações E7 e E9 ficam a jusante da barragem da UHE Mauá e da Usina Presidente Vargas. A estação E8 foi desativada na fase reservatório.

Na Fase Reservatório foram amostrados treze meses, consecutivos de julho/12 a maio/13, e posteriormente agosto/13 e setembro/13. No início do estudo, em julho/12, o volume do reservatório era de cerca de 40% do volume total (Figura 77).

Figura 77 - Foto do reservatório da UHE Mauá na região da barragem, no início do monitoramento na Fase Reservatório, em julho de 2012. Foto de Renan.

Abaixo uma breve descrição das estações, com ênfase àquelas localizadas no reservatório e a jusante deste que foram afetadas diretamente pelo enchimento, e que consequentemente apresentaram comprometimento para a comunidade dos macroinvertebrados aquáticos.

Estação E1

A estação E1 localiza-se no rio Tibagi a montante da cidade de Telêmaco Borba. Esta estação foi mantida desde o início da Fase Rio como uma localidade controle sem a ação dos impactos da cidade, fábrica de celulose, estação de tratamento e da usina hidrelétrica.

Durante o período do monitoramento da Fase Reservatório, foram observadas alterações no local de coleta em função da atividade de uma draga de mineração instalada a montante deste. A dragagem ocasionou deposição de sedimentos finos nos primeiros meses do monitoramento. Nos últimos meses de monitoramento a margem direta foi erodida em função de fortes chuvas aumentando a vazão e consequentemente os sedimentos finos da margem foram carregados (Figura 78).

Mesmo com as alterações descritas, as coletas dos macroinvertebrados aquáticos foram realizadas tanto na margem direita (procurando-se locais menos alterados) como no leito rochoso do rio.

Abril, 2010 Setembro, 2013

Figura 78 – Fotos da Estação E1 localizada no rio Tibagi durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim.

Estação E2

A estação E2 encontra-se na área do Parque Municipal de Telêmaco Borba sob a ponte que dá acesso à cidade. Esta localidade foi mantida durante a Fase Reservatório visando avaliar possíveis impactos do reservatório na região (Figura 79).

Março, 2010 Setembro, 2013

Figura 79 – Fotos da Estação E2 localizada no rio Tibagi, no Parque Municipal de Telêmaco Borba, durante março de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013no final do monitoramento da Fase Reservatório. Fotos de Rosemary A. Brogim.

A área está situada a jusante da empresa de celulose Klabin S.A., havendo a possibilidade de ser observado neste local um efeito sinérgico dos impactos da empresa e da formação de áreas de remanso em decorrência da formação do reservatório. Tal possibilidade não foi observada durante o

monitoramento, todavia observou-se que a margem direita foi assoreada, o que ocorreu em função de fortes chuvas na região. Para os macroinvertebrados, o efeito das chuvas foi mais significativo já que os sedimentos foram carregados rio abaixo.

Estação E3

Durante o período de monitoramento na estação E3 não foram observadas alterações ambientais significativas nas margens e no fundo do rio (Figura 80).

Esta estação está localizada no rio Imbauzinho, que sofre influência direta da cidade de Imbaú. O rio está sob forte predomínio dos efluentes orgânicos do esgoto doméstico da cidade, que são lançados *in loco* sem nenhum tratamento.

Para os macroinvertebrados, nesta localidade não houve nenhuma alteração no ambiente durante a formação do reservatório e funcionamento da usina que possa justificar as alterações na comunidade.

Abril, 2010 Setembro, 2013

Figura 80 – Fotos da Estação E3 localizada no rio Imbauzinho durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório.Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim.

Estação E4

Esta estação está localizada no rio Tibagi na região do antigo Salto do Aparado e atualmente na região central do reservatório da UHE Mauá.

O local antes da formação do reservatório era caracterizado como um ambiente lótico possuindo fortes corredeiras e pequenas cachoeiras. O leito do rio era rochoso, apresentando vegetação marginal bem preservada com presença de várias espécies nativas de macrófitas emersas e submersas exploradas como abrigo e fonte de alimento pelos macroinvertebrados (Figura 81).

Após o enchimento do reservatório, o ambiente passou para lêntico atingindo mais de 70 m de profundidade nos últimos meses. A antiga mata marginal encontra-se submersa e, em algumas porções as margens, estão cobertas unicamente pelas gramíneas das pastagens (Figura 81).

As coletas na região litorânea da estação E4 foram muito prejudicadas pela vegetação submersa, que impediu o acesso do equipamento ao fundo.

Nesta estação, o ambiente natural dos macroinvertebrados foi completamente suprimido e substituído pelo ambiente lêntico que foi colonizado por uma nova comunidade, composta basicamente de grupos de invertebrados bênticos.

Abril, 2010 Agosto, 2013

Figura 81 – Fotos da Estação E4 localizada no rio Tibagi durante abril de 2010 no início do monitoramento na Fase Rio e, em agosto de 2013 no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim.

Estação E5 e Estação E10

A estação E5, localizada no curso do rio Barra Grande nas imediações da Fazenda Santana, foi substituída durante o monitoramento na Fase Reservatório. A nova estação (E10) foi transferida para as imediações da ponte construída sob o rio Barra Grande, próxima ao Lageado Bonito, adiante da foz do rio Barra Grande.

O local da E5 possuía aproximadamente 13 m de largura, corrente fraca e águas barrentas. As margens apresentavam mata ciliar degradada com a presença de poucas espécies, sendo algumas exóticas, como o *Pinus* sp. e bambuzais. A margem direita apresentava faixas sem vegetação arbórea, com presença de apenas gramíneas utilizadas nas áreas de pastagens. No local foram verificados bancos de macrófitas do gênero *Eichhornia* sp. e *Salvinia* sp., que são utilizados pelos macroinvertebrados como abrigo e área de alimentação. A profundidade não ultrapassou os 5 m (Figura 82).

Já na estação E10, a profundidade do local ultrapassou os 30 m, contudo também foram feitas tentativas de amostragens em locais mais rasos. Boa parte das tentativas bem sucedidas (mais da metade do amostrador preenchido de material) apresentava solo de pastagens com ausência de organismos.

Nesta localidade havia vegetação submersa impedindo o acesso do amostrador ao fundo. As margens apresentavam porções cobertas por *Pinus* sp. e pastagens.

Para os macroinvertebrados aquáticos, a região foi colonizada basicamente por invertebrados bênticos e animais associados às macrófitas vindas do rio Barra Grande.

Abril, 2010 Setembro, 2013

Figura 82 – Fotos da Estação E5 localizada no rio Barra Grande durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e Estação 10 no eixo do reservatório em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim e Agência Estadual de Notícias, 2011.

Estação E6

A estação E6 está localizada no rio Tibagi a montante da barragem. O sedimento do leito do rio nesta localidade era lodoso com predominância de grãos finos. A profundidade do local durante a Fase Rio variou entre 3,0 e 12,0 m no mês com maior influência do regime de chuvas. A velocidade da água, na maioria dos meses amostrados, foi baixa. As margens encontravam-se fortemente degradada, com ausência de vegetação (Figura 83).

Com o enchimento do reservatório, toda vegetação marginal foi suprimida. No local restaram margens desnudas ou cobertas por pastagens (Figura 83).

As coletas na estação E6, na Fase Reservatório, foram difíceis em virtude da alteração da localidade - visando o atendimento de normas de segurança - e das grandes profundidades. A profundidade na porção intermediária do reservatório ultrapassou os 70 m.

Mesmo antes da formação do reservatório, a comunidade dos macroinvertebrados era muita pobre e escassa, predominando apenas o molusco exótico *Corbicula fluminea*.

Abril, 2010 Agosto, 2013

Figura 83 – Fotos da Estação E6 localizada no rio Tibagi, próxima à barragem da UHE Mauá durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em agosto de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim.

Estação E7

A estação E7 está situada a jusante da barragem, próxima à casa de força da UHE Mauá. O leito do rio é rochoso, sendo que em algumas porções possui extensas lajes. A velocidade da água nesta localidade antes da formação do reservatório era alta, apresentando águas bem oxigenadas. As margens possuem mata ciliar bem preservada, com exceção de alguns trechos na margem esquerda, onde foi construída a casa de força da usina. As rochas do leito do rio encontravam-se colonizadas por macrófitas submersas do gênero *Apinagia* sp., que representam um ótimo substrato para alguns grupos de macroinvertebrados (Figura 84).

Abril, 2010 Setembro, 2013

Figura 84 – Fotos da Estação E7 localizada no rio Tibagi durante abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim.

Durante o período de enchimento do reservatório e funcionamento da usina, houve uma diminuição significativa da vazão, sendo mantida apenas a vazão ecológica, o ambiente tornou-se lêntico em várias porções do rio.

Neste trecho o rio ficou com aproximadamente 40% das rochas do fundo expostas, ocorrendo a supressão dos hábitats dos organismos e o ressecamento das macrófitas aderidas às rochas (Figura 84).

Estação E9

A estação E9 localiza-se a jusante das barragens da UHE Mauá e da Usina Presidente Vargas de propriedade da Klabin S.A..

Nesta região o rio é rochoso com a presença de lajes. As margens estão cobertas por mata ciliar bem preservada, proporcionando um bom aporte de matéria orgânica para o ambiente. Além disto, foi observada a presença de bancos de macrófitas submersas (*Apinagia* sp.), que contribuem para o enriquecimento de hábitats para os macroinvertebrados.

Março, 2010

Abril, 2010

Setembro, 2013

Outubro, 2013

Figura 85 – Fotos da Estação E9 localizada no rio Tibagi a jusante da barragem da UHE Mauá, durante março e abril de 2010, no início do monitoramento na Fase Rio, e em setembro e outubro de 2013, no final do monitoramento da Fase Reservatório. Telêmaco Borba, Paraná. Fotos de Rosemary A. Brogim.

Já na Fase Reservatório, quando somente a vazão ecológica foi mantida, boa parte do leito do rio ficou descoberto ocorrendo a supressão de parte do hábitat rochoso, utilizado pelos invertebrados aquáticos. As macrófitas ficaram um ano sem frutificação devido ao ressecamento, o que impediu a colonização pelos animais.

3.1.5.1 Resultados

Os reservatórios são ecossistemas que estabelecem padrões distintos em relação ao tempo de renovação da água, morfometria e principalmente, o desenvolvimento da zona litoral. Quanto à sazonalidade, alterações na altura do nível do reservatório produzem mudanças na zona litoral, modificações nas margens e, em alguns casos, mortandade das macrófitas, além de interferir na sucessão das comunidades planctônicas, bênticas e de peixes (Tundisi, 1993).

A observação da sucessão ecológica após uma perturbação do ambiente está diretamente relacionada com a intensidade das modificações nos parâmetros físicos, químicos e biológicos e do período que o sistema leva para atingir a estabilidade.

O presente estudo buscou analisar o efeito das modificações ambientais com a formação do reservatório na riqueza e densidade da comunidade de macroinvertebrados aquáticos. Ao longo do período estudado - entre março de 2010 e outubro de 2013 - foram coletadas 713 amostras durante a Fase Rio e 570 amostras na Fase Reservatório.

Na Fase Rio, foram identificados 18.220 animais distribuídos em sete filos e 90 táxons. Na Fase Reservatório foram identificados 4.133 espécimes distribuídos em seis filos e 63 táxons.

Os valores brutos do número de animais capturados no programa de monitoramento já refletem alterações ambientais ao longo do período estudado. Embora tenham sido realizadas quatro campanhas a mais durante a Fase Rio, a comunidade de macroinvertebrados aquáticos apresentou uma redução bastante acentuada com relação ao número de indivíduos entre as duas estudadas. Abaixo serão tratadas as causas desta diminuição do número total de indivíduos.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são listados os 63 táxons registrados durante a ase Reservatório. A maioria dos táxons (54 táxons) corresponde a famílias e gêneros de insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera (15 táxons), Odonata (10 táxons), Diptera (9 táxons), Coleoptera (10 táxons), Trichoptera (4 táxons), Hemiptera (3 táxons), Plecoptera (2 táxons) e Lepidotera com 1 táxon. Além dos insetos foram coletados Turbellaria, Nematoda e Crustacea com 1 táxon cada um,

Annelida com 2 táxons e Mollusca com 4 táxons. Os insetos aquáticos também foram predominantes com relação ao número de indivíduos, atingindo 86 % do total da amostra.

Tabela 40 – Lista de táxons de macroinvertebrados aquáticos amostrados nas oito estações de coleta ao longo do rio Tibagi e tributários sob influência do reservatório da Usina Hidrelétrica Mauá, durante a Fase Reservatório

	Família	Taxa		Família	Taxa
Turbellaria			Ephemeroptera	Baetidae	*Askola* sp.
					Baetis sp.
Nematoda					*Baetodes* sp.
					Camelobaetidius sp.
Oligochaeta					*Campsurus* sp.
Hirudinea					*Cloeodes* sp.
				Leptophleibiidae	*Farrodes* sp.
Bivalvia	Corbiculidae	*Corbicula fluminea*			*Thraulodes* sp.
Gastropoda	Hydrobiidae	*Potamolithus* sp.			*Traveryphes* sp.
	Lymnaeidae	*Lymnaea* sp.			*Hagenulopsis* sp.
	Physidae	*Stenophysa* sp.			*Needhamella* sp.
				Leptohyphidae	*Leptohyphes* sp.
Insecta					*Hylister* sp.
Diptera	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae			*Tricorythodes* sp.
	Chaoboridae	Chaoboridae			*Tricorythopsis* sp.
	Chironomidae	Chironominae			
		Orthocladinae	Odonata	Coenagrionidae	*Argia* sp.
		Tanypodinae			*Acantagrion* sp.
	Culicidae	Culicidae (pupa)			*Ischura* sp.
	Psychodidae	*Psychodida* sp.		Gomphidae	*Archeogomphus* sp.
	Simulidae	*Simulium* sp. (pupa)			*Desmogomphus* sp.
	Tipulidae	*Tipula* sp.			*Gomphoides* sp.
					Praevigomphus sp.
Coleoptera	Dytiscidae	Dytiscidae			*Progomphus* sp.
	Elmidae	*Heterelmis* sp.		Libellulidae	*Elasmothemis* sp.
		Macrelmis sp.		Perilestidae	*Perilestis* sp.
		Hexanchorus sp.			
		Larva E	Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria* sp.
		Phanocerus sp.			*Tupiperla* sp.
	Haliplidae	Haliplidae			
	Hydrophilidae	Hydrophilidae	Trichoptera	Hydrobiosidae	*Atopsyche* sp.
	Psephenidae	*Psephenus* sp.		Hydropsychidae	*Leptonema* sp
	Scirtidae	Scirtidae			*Smicridea* sp
				Leptoceridae	*Nectopsyche* sp.
Hemiptera	Belostomatidae	*Belostoma* sp.			
	Gelastocoridae	*Gelastocoris* sp.	**Crustacea**		
	Veliidae	*Rhagovelia* sp.	Decapoda	Aeglidae	*Aegla* sp.
Lepidoptera	Pyralidae	Pyralidae			

O número de táxons variou entre as estações de amostragem e na interação das estações de amostragem e os meses do ano.

O número médio de táxons durante todo o período monitorado não ultrapassou 10,2 táxons/0,2 m^2 (estação E9 em agosto/12), inferior a maior média registrada no período da Fase Rio 13,60 táxons.m^2 (Figura 87) . No mês em que foi registrado o maior valor do número de táxons na estação E9, as macrófitas ainda estavam presentes no ambiente, servindo de substrato, alimento e abrigo para alguns grupos de macroinvertebrados. Outro fator importante é o bom estado de preservação das matas ciliares garantindo o aporte de matéria orgânica para o sistema.

Os valores médios do número de táxons registrados em todas as estações durante o período do monitoramento foi inferior ao apresentado por Jorcin & Nogueira (2008), com mais de 15 táxons coletados em uma estação situada na foz do rio Tibagi.

De maneira geral, os meses que tiveram maior pluviosidade nos dias que antecederam as coletas, foram os meses que apresentarem os menores valores do número de taxa e abundâncias médias.

Os macroinvertebrados embora possuam estruturas morfológicas e comportamentais para se fixarem no ambiente, muitas vezes são vencidos pela força da vazão em períodos chuvosos.

A deriva de macroinvertebrados é um componente da ecologia de rios que se refere ao transporte passivo de organismos rio abaixo (ALLAN, 1995). Embora seja considerado um mecanismo comportamental de muitos insetos aquáticos, outros grupos, como por exemplo insetos adultos das áreas adjacentes, podem ser transportados pela correnteza. Nas regiões tropicais, a deriva de invertebrados aquáticos ocorre ao longo de todo ano com ausência de sazonalidade (Ramirez & Pringle, 1998) ou com pequenas flutuações em regiões com períodos climáticos bem definidos (Turcotte & Harper, 1982). Por outro lado, chuvas intensas e/ou com elevada frequência podem aumentar a deriva dos macroinvertebrados (Allan, 1995).

As chuvas tendem a carrear muitas larvas e ninfas e podem dificultar a emergência, o voo e a reprodução de muitas espécies (OLIVEIRA *et al.*, 1997; PAPROCK, 1997; KIKUCHI & UIEDA, 1998).

Como as estações E1, E7, e E9 continuam apresentando ambientes lóticos, foram as estações que apresentaram maior número de táxons durante o período amostrado (Figura 86).

As estações E4 e E6 e foram as mais impactadas. Com a formação do reservatório da UHE Mauá criou-se um novo ecossistema, que passou de lótico a lêntico, determinando novos parâmetros físicos e químicos às comunidades biológicas remanescentes a montante do barramento.

As comunidades biológicas, em geral, sofrem modificações envolvendo redução da abundância de determinadas espécies, dando lugar a espécies com maior capacidade de adaptação a ambientes

lênticos, como é o caso das larvas de dípteros e a espécie invasora *Corbicula fluminea*. Isto ocorre porque nem todas as espécies possuem adaptações para estes ambientes, gerando a redução de riqueza.

Com a estabilização da zona litoral, os estoques de macroinvertebrados começaram a ser renovados como observado nos três últimos meses do monitoramento (Figura 86). Os animais começam a encontrar abrigo e alimento nos troncos, galhos e folhas das árvores submersas e nas macrófitas que iniciam a colonização da zona litoral. Lentamente a zona litoral vai sendo colonizada pela vegetação enraizada emergente, flutuantes e submersa proporcionando novos hábitats os macroinvertebrados bênticos.

Algumas espécies de insetos que passam uma parte da vida no ambiente terrestre e outra parte na terra utilizam-se das plantas emergentes como um elo para o seu desenvolvimento, como os Coleoptera aquáticos. As plantas flutuantes fornecem bons locais para repouso e postura de algumas espécies aquáticas, como os Mollusca. Já as macrófitas submersas apresentam folhas delgadas e finamente divididas, como no caso da *Apinagia* sp., e servem de alimento e sustentação para larvas e pupas de Diptera e demais comedores de detritos e de perifíton.

As abundâncias médias foram muito baixas em todos os meses amostrados (Figura 87). Os maiores valores foram registrados na estação E2 com 24,02 espécimens/0,2 m^2 e na E9 com 45,20 espécimens/0,2 m^2 (Figura 87).

Os baixos valores registrados nos primeiros meses do monitoramento nas estações localizadas no eixo do reservatório (E4, E6 e E10) devem-se à dificuldade de obtenção das amostras em função da vegetação submersa e solo impactado nas porções alagadas de pastagens. Já nas estações E7 e E9, a jusante da barragem, as baixas abundâncias estão relacionadas ao impacto causado pela redução da vazão d´água.

Para avaliar quais os táxons que mais contribuíram com o número de táxons e densidade em cada estação de coletas, os táxons foram agrupados em 14 grupos zoológicos que correspondem a filos e às ordens de Insecta.

Na estação E1, tanto o número de táxons como a abundância média foram baixos Esta estação tem sido utilizada como controle e estes resultados foram importantes para detectar a diminuição destes dois parâmetros da comunidade como resposta ao regime de chuvas. A atividade de mineração realizada com frequência na região também interferiu negativamente nos padrões temporais de distribuição dos macroinvertebrados bênticos. A atividade de mineração no rio Tibagi é

bastante antiga, fazendo parte dos processos de alteração ambiental e ocupação humana na área da bacia hidrográfica. O maior número de táxons, 5,4 táxons/0,2 m^2 foi registrado em agosto/13 e maior abundância registrada na E1 foi de 13,40 espécimens/0,2m^2 em agosto/12 (Figura 86 e Figura 87).

Os grupos mais frequentes e que mais contribuíram com a abundância média na estação E1 foram Ephemeroptera, Diptera e Coleoptera. Além destes, também foram registrados Odonata, Plecoptera e Trichoptera, que são grupos indicadores de boa qualidade de água (Figura 88). Dentre os Ephemeroptera os mais abundantes foram os gêneros *Cloeodes* sp. e *Camelobaetidius* sp., de Diptera os Chironominae e de Coleoptera *Hexanchorus* sp. Os demais táxons estiveram presentes em baixas densidades. Esta estação deve ser mantida como controle na continuidade do monitoramento.

A estação E2 foi bem constante com relação ao número de táxons não ultrapassando a média de 2,4 táxons/0,2 m^2. Já as abundâncias variaram de 3,2 a 23,4 espécimens/0,2 m^2.

A estação E2 está sob forte influência da fábrica de celulose instalada na região e dos efluentes da estação de saneamento da cidade de Telêmaco Borba, além dos resíduos sólido depositado nas margens pelos moradores do entorno. A margem direta do rio sofreu assoreamento em função da forte vazão no período das chuvas. O Ephemeroptera *Cloeodes* sp. foi o táxon mais frequente e abundante nesta estação (Figura 89).

A estação E3 foi a que menos sofreu impactos físicos no ambiente. Tanto o leito como as margens do rio Imbauzinho mantiveram-se semelhantes desde o início do monitoramento. O número médio de táxons não ultrapassou 5,0 táxons/0,2 m^2. A maior média de abundância foi de 8,6 espécimens/0,2 m^2. Nesta estação foram observados grupos frequentes como Anellida (Oligochaeta), Ephemeroptera (*Campsurus* sp.), Trichoptera (*Smicridea* sp.) e Coleptera (Larva E), sendo que estes grupos foram também os que mais contribuíram com as abundâncias (Figura 90).

Nas estações E4, E6 e E10, os números de táxons não ultrapassaram os 3,6 táxons/0,2 m^2. Foram coletados basicamente nas estações do reservatório: Oligochaeta, Hirudinea, *Corbicula fluminea*, Chironominae e Lepidoptera. Os demais grupos coletados foram registrados em macrófitas flutuantes nestas localidades (Figura 91 a Figura 95).

Um aspecto a ser acompanhado na continuidade do monitoramento nas estações do reservatório é a abundância da exótica *C. fluminea*. A maior parte dos bivalvos, incluindo a *C. fluminea,* apresenta grande influência nos processos ecológicos em sistemas de águas continentais, pois são importantes filtradores de materiais em suspensão na coluna d´água, como o fitoplâncton e bactérias. Além disso, compete com as espécies nativas. É muito provável que esta espécie esteja

colonizando a zona litoral onde ocorre maior concentração de material em suspensão e maior concentração de bactérias no sedimento.

Na lista das espécies exóticas do Paraná e de outros estados esta espécie tem sido citada como um alerta para entupimento de comportas já que podem ser arrastadas facilmente com a corrente. Estudos sobre espécies exóticas tornam-se ainda mais importantes, uma vez que os reais impactos desses organismos nos ambientes aquáticos, por eles colonizados, não podem ser claramente previstos.

Outro aspecto importante a salientar nesta porção do rio é de acompanhar a colonização da zona litorânea pelos grupos de macroinvertebrados. Esta colonização se dá de forma gradativa de acordo com a colonização das espécies vegetais.

As estações E7 e E9 foram as que apresentaram os maiores números médios de táxons e abundâncias de todas as estações analisadas.

O maior número de táxon na estação E7 foi de 4,4 táxons/0,2 m^2 e na estação E9 10,2 táxons/0,2 m^2 e as abundâncias foram de 17, e 45,2 espécimens/0,2 m^2, respectivamente. Os grupos que mais abundantes foram Ephemeroptera (*Baetodes* sp., *Cloeodes* sp. e *Farrodes* sp.), Diptera (Chironominae e *Simulium* sp.) e Trichoptera (*Smicridea* sp.) (Figura 93 e Figura 94).

Após o fechamento do reservatório, as estações E7 e E9 situadas a jusante da barragem ficaram com muitas seções de rochas expostas. A característica marcante destes locais é que eram nitidamente lóticos e passaram para lênticos em função da diminuição da vazão d´água. A velocidade da corrente passou a variar muito em diferentes partes do rio e consequentemente, os organismos que poderiam ser normalmente considerados próprios de reservatórios foram coletados em zonas estagnadas do rio em função da diminuição da vazão e do teor de oxigênio. Estas estações devem ser monitoradas para avaliar a recuperação da comunidade dos macroinvertebrados.

Nestas estações a presença da macrófita submersa *Apinagia* sp. que funcionava como produtora primária e de perifíton teve sua estrutura vegetativa reduzida para evitar o dessecamento. A espécie sustentava várias espécies de macroinvertebrados que desapareceram ou tiveram suas abundâncias reduzidas, como Plecoptera e Odonata. Os espécimes coletados passaram a depender fundamentalmente de detritos da vegetação terrestre que caem das árvores e são arrastados pelas águas da chuva ou pela ação dos ventos.

Foram registrados bancos com grande quantidade de conchas de C. *fluminea* nas estações E7 e E9. As conchas foram coletadas somente nos dois últimos meses do monitoramento. Jocim &

Nogueira (2008) também registraram grande abundância deste molusco durante o monitoramento do rio Paranapanema.

Os macroinvertebrados aquáticos apresentaram grande sensibilidade aos diversos tipos de impactos, como mineração, poluentes domésticos, industriais e ao represamento. Também responderam a fatores ambientais como o regime de chuvas local. Conclui-se então que neste programa de monitoramento a comunidade dos macroinvertebrados aquáticos foi um bom parâmetro de estimativa das influências naturais e deletérias ao ambiente e que deve ser mantido como prioridade na continuidade do monitoramento da UHE Mauá.

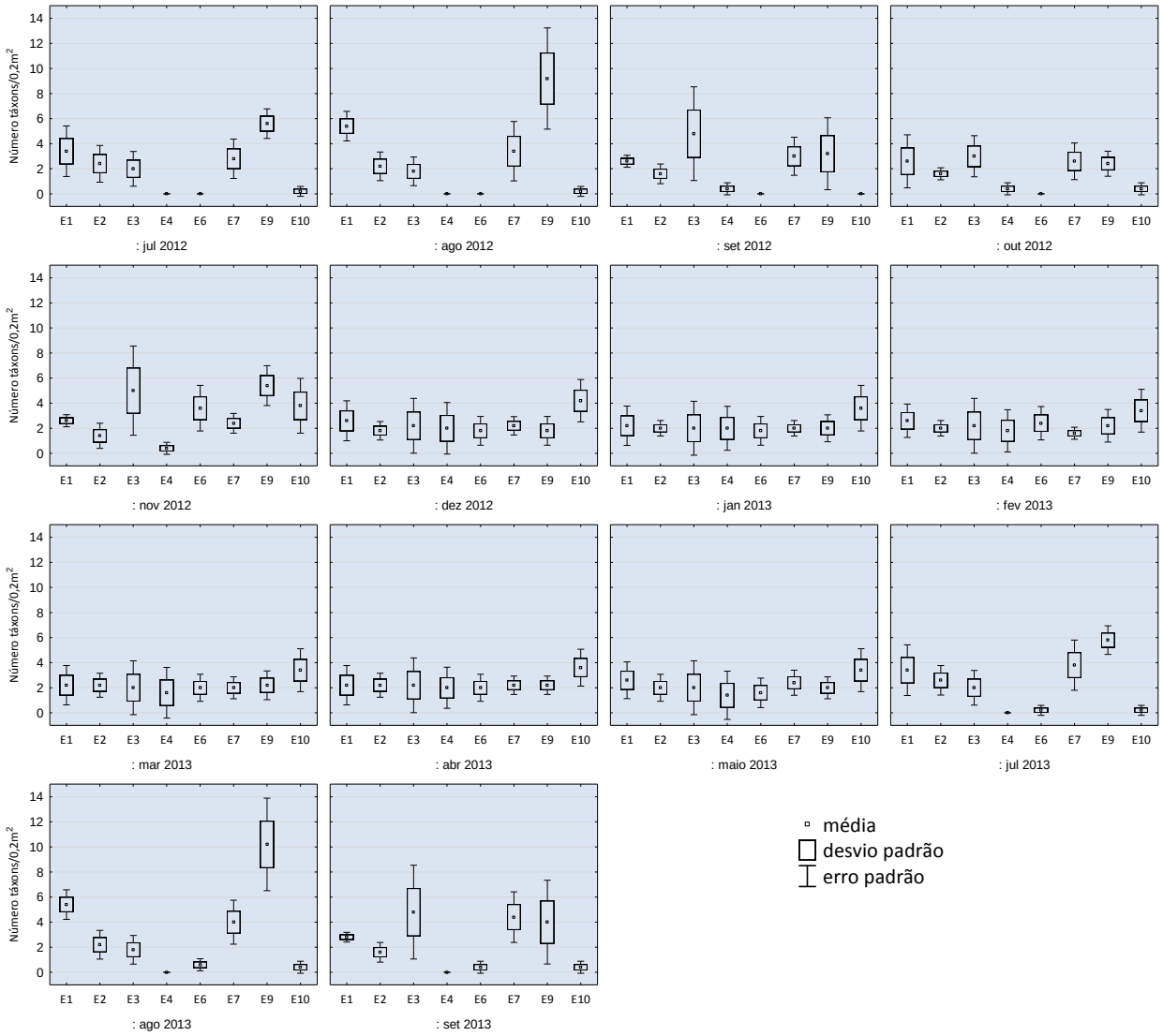

Figura 86 – Médias, desvios padrão e erros padrão do número de táxons de macroinvertebrados aquáticos nas oito estações amostrais durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

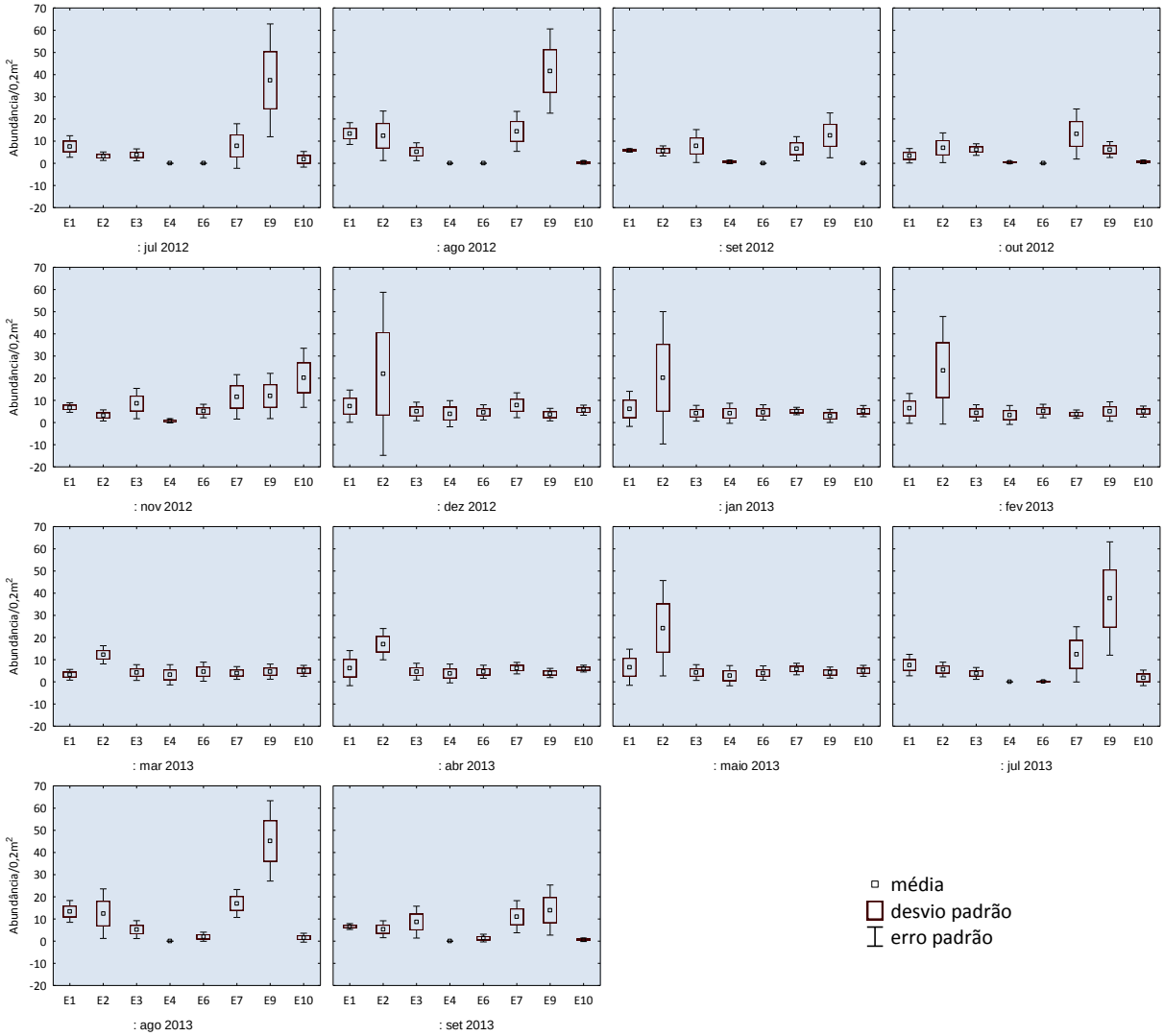

Figura 87– Médias, desvios padrão e erros padrão das abundâncias de macroinvertebrados aquáticos nas oito estações amostrais durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

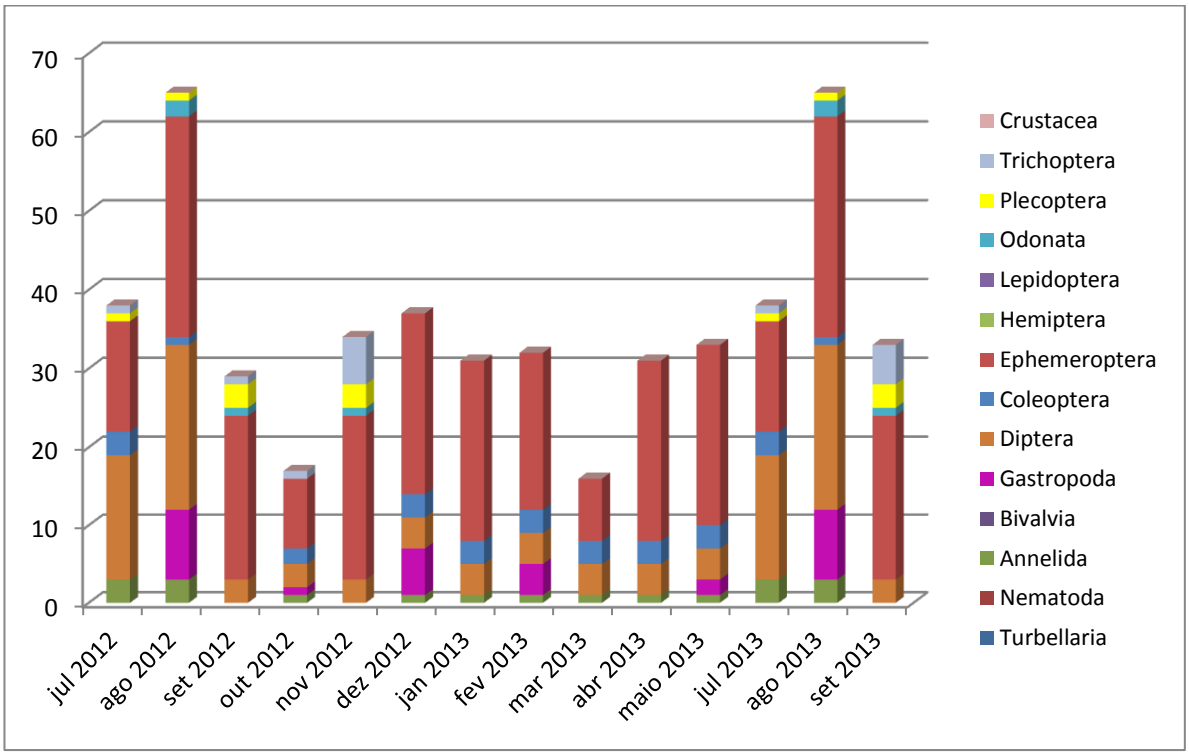

Figura 88 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E1 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

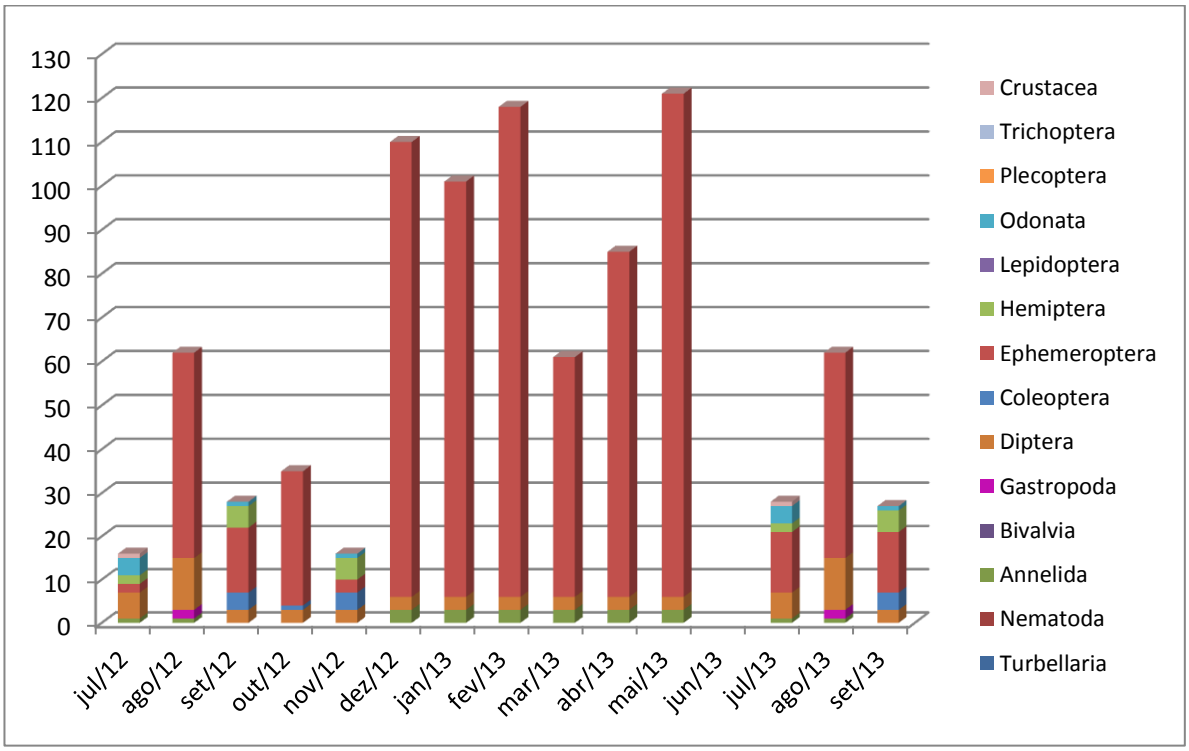

Figura 89 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E2 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

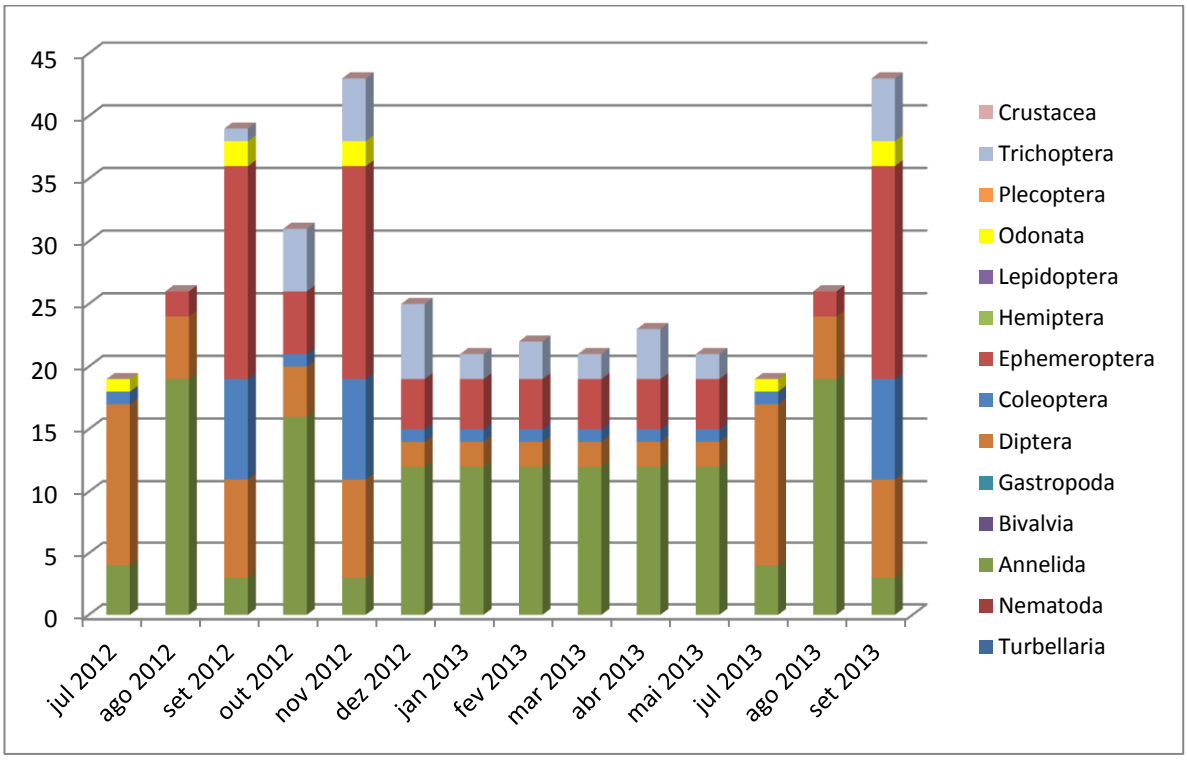

Figura 90 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E3 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

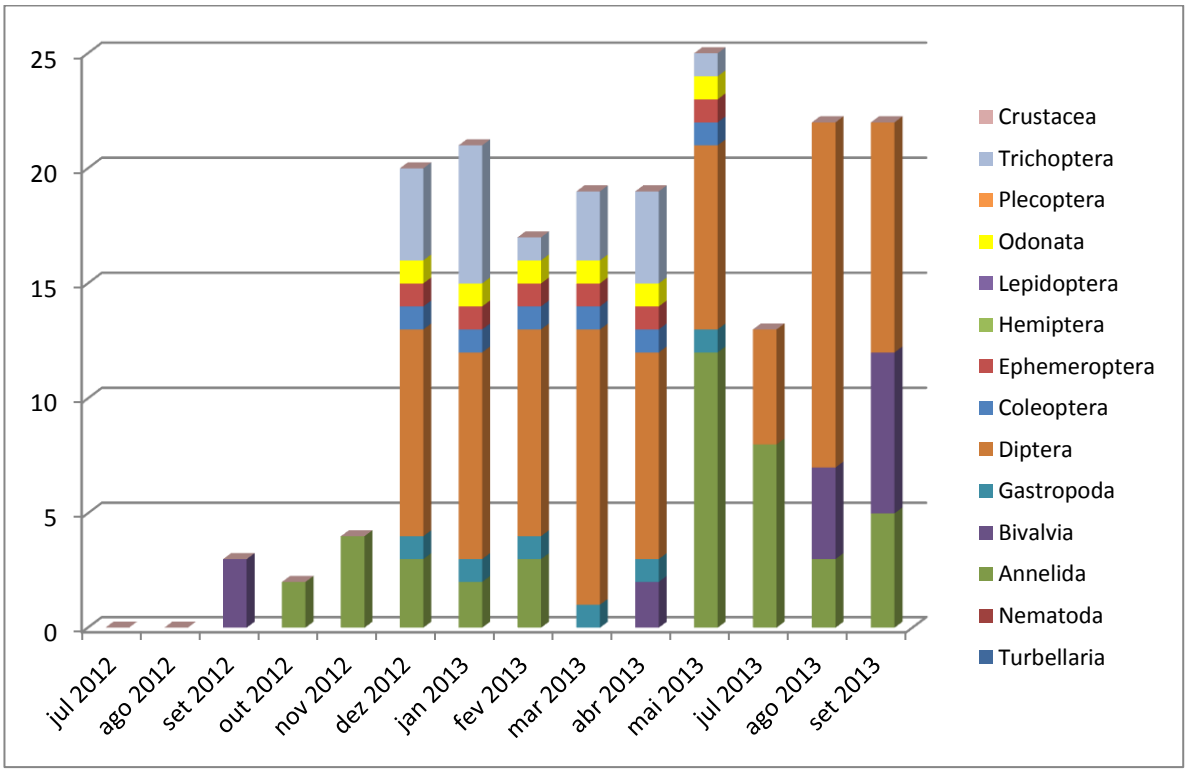

Figura 91 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E4 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

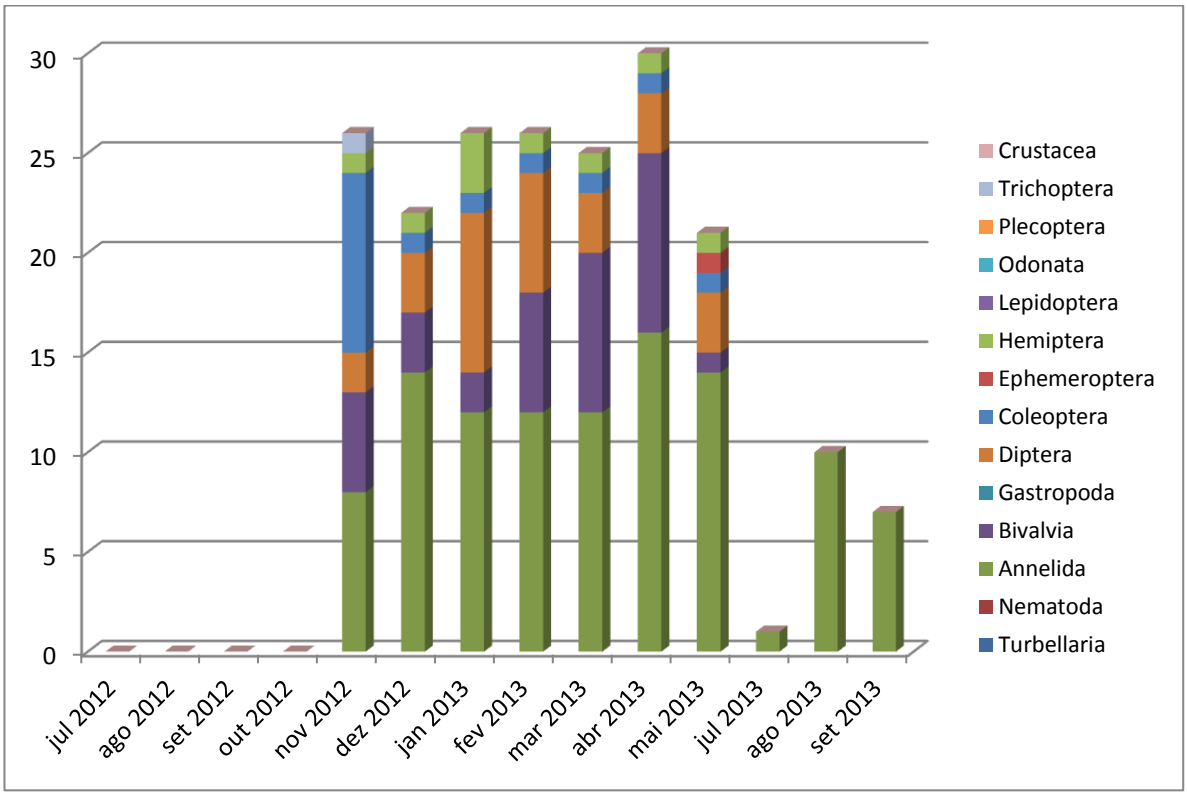

Figura 92 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E6 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

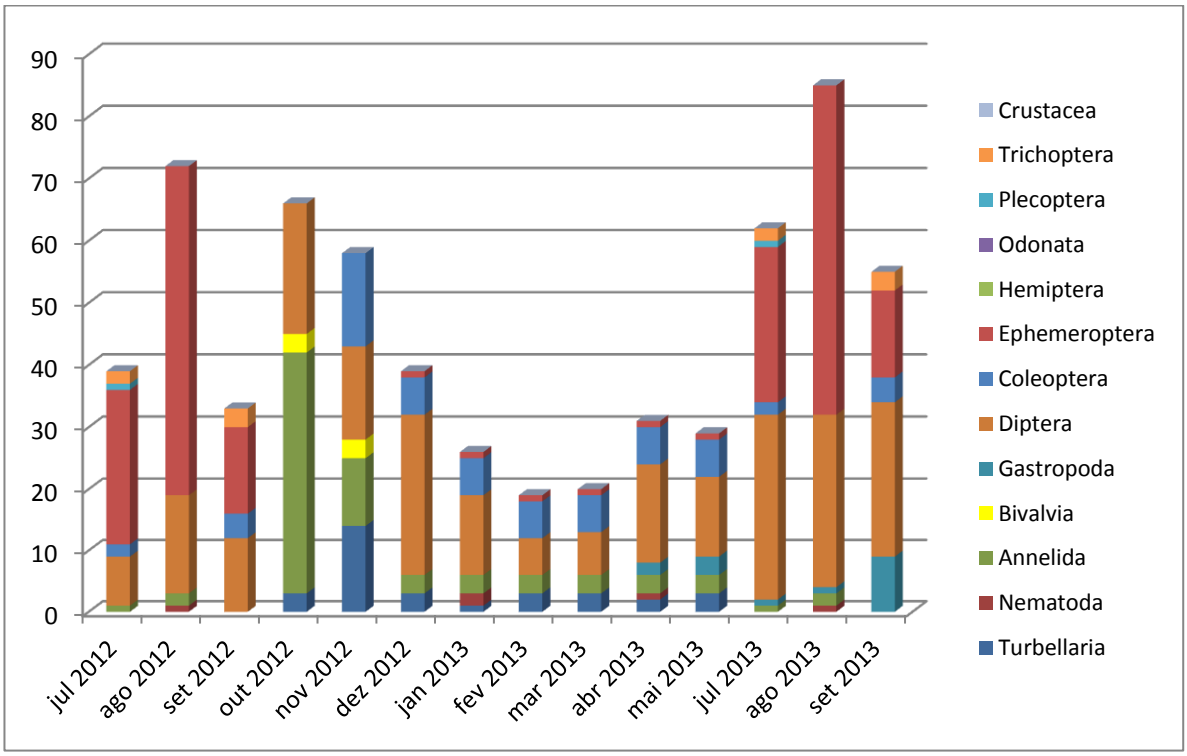

Figura 93 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E7 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

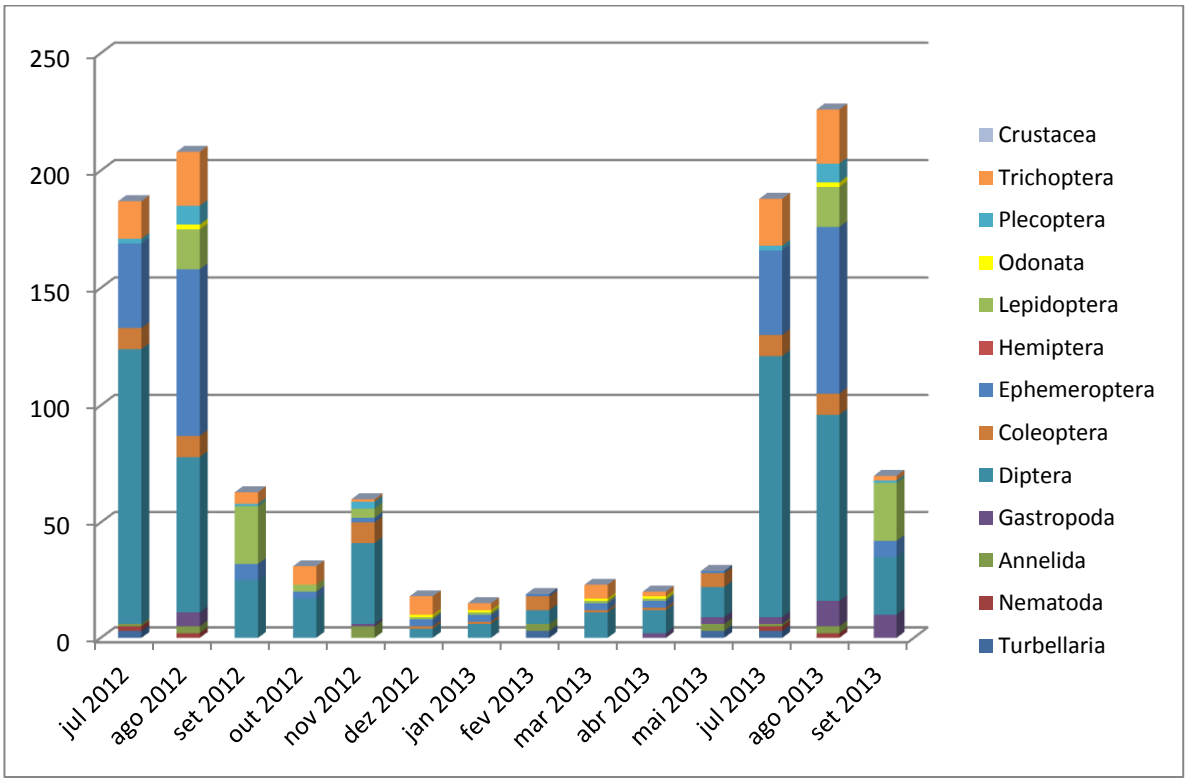

Figura 94 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E9 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

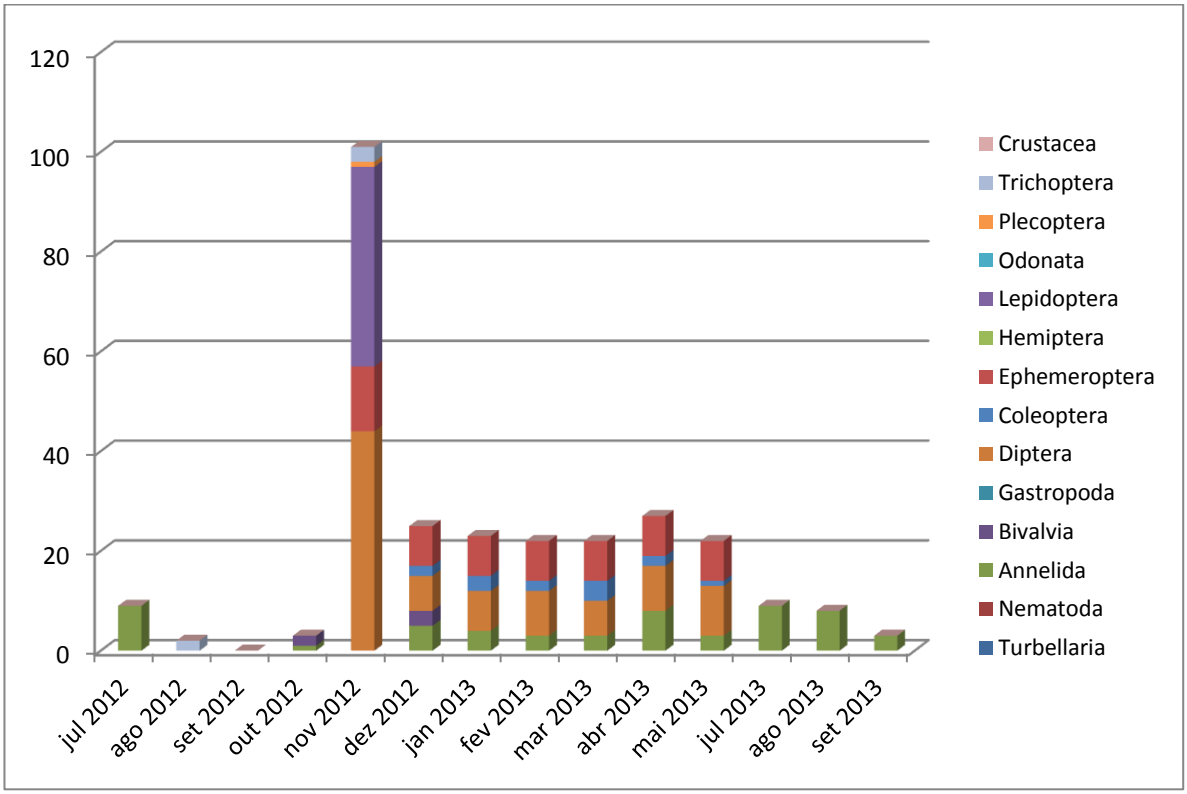

Figura 95 – Abundâncias totais de macroinvertebrados aquáticos na estação E10 durante o monitoramento da Fase Reservatório da UHE Mauá, em 2012 e 2013.

3.1.6 Monitoramento da Presença de Limnoperna fortunei (mexilhão dourado)

Na fase reservatório foram realizadas cinco coletas trimestrais de água para análise da possível presença de larvas de mexilhão dourado (*L. fortunei*) na área de influência da UEH Mauá. Foram amostradas as estações E2 (a jusante da Klabin) e E6 (próxima ao eixo da barragem) entre os dias 16 e 18 de julho de 2012, 22 e 24 outubro de 2012, 28 e 30 de janeiro, 27 de fevereiro de 2013, 15 e 16 de abril de 2013 e 3 e 4 de setembro de 2013 (Tabela 41).

Na primeira campanha de campo, realizada em julho/12, a análise morfológica sob microscópio estereoscópico revelou a ausência de larvas de moluscos nas duas amostras coletadas, portanto, ausência de larvas de mexilhão dourado. Na análise molecular as duas amostras apresentaram DNA degradado, fato que diminui a confiabilidade da análise, em algumas situações como calor intenso, excesso de matéria orgânica e substrato, o DNA pode ser degradado. Diante da ausência de larvas de molusco na análise morfológica, entretanto, as amostras podem ser consideradas negativas, levando-se em conta a menor sensibilidade da análise.

Na segunda campanha de campo, realizada em outubro/12, a estação E2 apresentou resultado negativo para a presença de larvas de mexilhão dourado na análise morfológica. A análise molecular também teve resultado negativo para a presença de DNA de mexilhão dourado. A amostra coletada na estação E6 apresentou problemas de conservação, o fixador foi ineficiente (provavelmente devido ao grande volume de substrato e matéria orgânica na amostra), inviabilizando a análise. Medidas foram tomadas para evitar que o fato voltasse a ocorrer, como o ajuste do protocolo de coleta e repetição da coleta se necessário.

Na terceira campanha de campo, inicialmente realizada no mês de janeiro/13, a análise morfológica revelou a ausência de larvas de moluscos nas duas amostras, por consequência, ausência de larvas de mexilhão dourado. A amostra coletada na estação E2 apresentou resultado negativo para a presença de DNA do mexilhão dourado, enquanto a amostra da estação E6 apresentou DNA degradado. Optou-se por realizar novamente, durante a campanha de coleta de água de fevereiro/13, a coleta de amostra de água para análise da possível presença de mexilhão dourado no ponto que apresentou DNA degradado. No dia 27 de fevereiro de 2013, portanto, foi amostrada novamente a estação E6. A análise morfológica dessa amostra também apresentou ausência de larvas de mexilhão, entretanto, a análise molecular apresentou resultado positivo para a presença do DNA do mexilhão dourado.

Na quarta campanha de campo, realizada em abril/13, as duas estações amostradas apresentaram resultado positivo para a presença de larvas do mexilhão dourado tanto na análise morfológica quanto na análise molecular. A densidade estimada de larvas na amostra coletada na estação E2 foi de menos de 1 larva/m^3, enquanto na amostra coletada na estação E6 foi de menos de 0,1 larva/m^3. O DNA da espécie foi detectado na análise molecular das duas amostras.

Na quinta campanha de campo, realizada em setembro de 2013, a amostra coletada na estação E2 apresentou presença de larvas com morfologia compatível com a do mexilhão dourado, em densidade estimada de menos de 0,5 larvas/m^3. A amostra coletada na estação E6 apresentou resultado negativo, ou seja, ausência de larvas da espécie. A análise molecular apresentou resultado inconclusivo para as duas amostras. Após o resultado inconclusivo inicial foi realizada uma segunda análise com substituição dos reagentes, essa também apresentou resultado inconclusivo. O grande volume de sedimento e matéria orgânica observado nessas amostras foi provavelmente o responsável pela degradação do DNA e, consequentemente, pelos resultados inconclusivos. Como essas amostras foram coletadas na última campanha de campo do monitoramento não foi possível repetir a coleta.

O resultado positivo observado indica uma provável invasão do mexilhão dourado no reservatório da UHE Mauá. Recomenda-se uma prospecção detalhada da espécie na Usina Hidrelétrica de Mauá através de inspeções durante paradas de máquinas, bem como em seu reservatório, realizando coletas de plâncton em diversos pontos, e inspeções visuais a fim de confirmar a presença da espécie na área e constatar em que estágio da invasão o reservatório se encontra.

Nos reservatórios, as larvas do mexilhão não se encontram uniformemente distribuídas, as larvas são livres e podem alterar a posição no corpo d' água tanto horizontalmente quanto verticalmente. As análises foram realizadas em uma amostra da água do reservatório, podendo não conter grandes quantidades de larvas, mesmo essas estando presentes em elevada densidade em outras porções de água do reservatório. Portanto, a baixa presença de larvas na amostra não está necessariamente relacionada à baixa densidade da espécie no reservatório.

Os principais problemas que o mexilhão dourado tem provocado nas usinas hidrelétricas são: entupimento ou redução das seções de tubulações, redução da velocidade de fluxo de água, decomposição de material orgânico, aumento na corrosão de tubulações, diminuição da vida útil de equipamentos, aumento de mão-de-obra para limpeza, acúmulo de valvas vazias e oclusão de filtros.

Os sistemas de resfriamento são os equipamentos mais suscetíveis à fixação do mexilhão, isso ocorre devido à velocidade da água reduzida nesses locais, necessária para que ocorra a troca térmica. A incrustação nestes sistemas pode causar o entupimento de filtros e tubulações, a corrosão de metais e diminuição na vida útil de equipamentos, e gerar perda na eficiência de troca térmica, podendo causar aumento de mão de obra e até mesmo a parada de máquinas (unidades inteiras) para manutenção.

Espécies exóticas invasoras, como o mexilhão dourado, são um problema global, depois que ocorre a invasão a eliminação dessas espécies no ambiente muitas vezes não é possível. As UHEs com esse problema em geral optam por métodos pontuais de controle da espécie dentro das usinas.

Recomenda-se a análise de medidas de controle para prevenir possíveis problemas de manutenção nos trocadores de calor e filtros do sistema de resfriamento, tendo em vista que a usina pode apresentar problemas de redução de vazão e aumento de manutenção no sistema de resfriamento. O diagnostico no início da invasão, antes da população de mexilhões atingir grandes densidades dentro da usina, junto a metodologias de controle pontuais diminuem os riscos operacionais para a usina.

Os métodos de controle químicos são utilizados com maior frequência e têm mostrado resultado satisfatório. Entre esses se destacam, utilização de cloro (não recomendada por problemas ambientais e deterioração dos equipamentos da usina), hidróxido de sódio, produto anti-incrustante a base de taninos e ozônio (ainda em etapa de aperfeiçoamento).

Tabela 41 Resultados de análises da possível presença de larvas de mexilhão dourado nas amostras coletadas na fase reservatório do Programa de Monitoramento da Qualidade de Água da UHE Mauá.

Data	Ponto	Resultado morfológico	Resultado molecular
16/07/2012	Jusante Klabin (E2)	Negativo - Larvas ausentes	DNA degradado
18/07/2012	Próximo ao eixo da barragem (E6)	Negativo - Larvas ausentes	DNA degradado
22/10/2012	Jusante Klabin (E2)	Negativo - Larvas ausentes	Negativo - DNA de *L. fortunei* ausente
24/10/2012	Próximo ao eixo da barragem (E6)	Amostra extraviada	Amostra extraviada
28/01/2013	Jusante Klabin (E2)	Negativo - Larvas ausentes	Negativo - DNA de *L. fortunei* ausente
30/01/2013	Próximo ao eixo da barragem (E6)	Negativo - Larvas ausentes	DNA degradado
27/02/2013	Próximo ao eixo da barragem (E6)	Negativo - Larvas ausentes	**Positivo Presença de DNA de *L. fortunei***
15/04/2013	Jusante Klabin (E2)	**Positivo (< 1 larva/m^3)**	**Positivo Presença de DNA de *L. fortunei***
16/04/2013	Próximo ao eixo da barragem (E6)	**Positivo (< 0,1 larva/m^3)**	**Positivo Presença de DNA de *L. fortunei***
04/09/2013	Jusante Klabin (E2)	**Positivo (<0,5 larva/m3)**	DNA degradado
03/09/2013	Próximo ao eixo da barragem (E6)	Negativo - Larvas ausentes	DNA degradado

3.2 Sub-Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas

Foram realizadas quatro campanhas, no período de um ano após o enchimento do reservatório da UHE Mauá. Nestas campanhas, foi monitorada a ocorrência das macrófitas nas margens, parcialmente emersas ou totalmente submersas, nos rios Tibagi, Imbaú, Barra Grande e áreas adjacentes. O monitoramento das espécies de macrófitas aquáticas ocorrentes no reservatório da UHE Mauá e áreas adjacentes pode dar suporte para medidas de controle e prevenção do aumento da comunidade de plantas no reservatório, que compromete a qualidade ambiental e a qualidade de serviços prestados a comunidade.

Foram encontradas espécies que já haviam sido levantadas na fase rio deste Sub-Programa *de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas*. Isto indica que a comunidade de macrófitas está se reestabelecendo e que a dispersão destas espécies está ocorrendo nas margens analisadas. O estabelecimento de novas espécies no reservatório depende, antes de tudo, de fontes de propágulos, que, através de mecanismos de dispersão, alcançam o novo ambiente (THOMAZ, 2002). As fontes fundamentais de dispersão das macrófitas são as aves aquáticas, os peixes, os próprios tributários e embarcações que transitam entre diferentes ecossistemas aquáticos (THOMAZ, 2002).

Foi possível identificar uma sazonalidade na ocorrência e abundância das espécies encontradas. As variações no nível do reservatório podem também atuar como um fator limitante à colonização e posterior crescimento de macrófitas aquáticas, pois grandes oscilações podem acarretar a morte das plantas aquáticas flutuantes, que ficam expostas sobre o solo seco ou sobre galhos quando o nível d'água diminui (THOMAZ E BINI, 2003).

Alterações sazonais no nível do corpo hídrico afetam as assembléias de macrófitas aquáticas e o resultado desse processo varia de acordo com o tipo biológico das espécies, da intensidade e duração das variações (THOMAZ *et al*., 2003). Essas observações são consistentes com outros estudos que verificaram a existência de faixas ótimas de condições ambientais para as diversas espécies de macrófitas aquáticas, em função das variáveis sazonais do ambiente e de sua localização geográfica (CAMARGO *et al.*,2003).

Foram encontradas 17 espécies de macrófitas, pertencentes a 11 famílias do grupo das Angiospermas e 2 espécies, *Azolla* sp. e *Salvinia minima* Baker, pertencentes à família Salviniaceae, do grupo das Pteridófitas (Tabela 42), totalizando 19 espécies de macrófitas aquáticas. As espécies emergentes e as flutuantes livres representam o maior número de espécies (Figura 96).

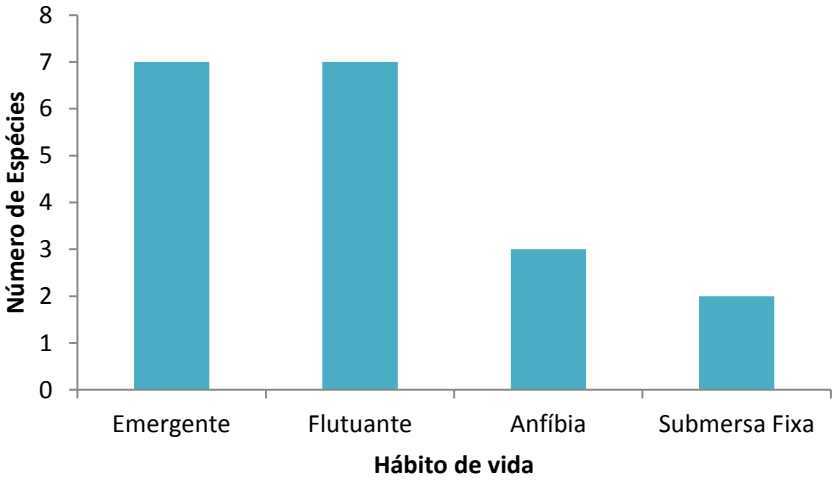

Figura 96 - Relação entre o hábito de vida e número de espécies encontradas nas margens do Rio Tibagi na região do Empreendimento UHE Mauá

Tabela 42 - Lista das espécies encontradas nas margens do Rio Tibagi (Paraná, Brasil), respectivas famílias, nome comum, hábito e ocorrência nos pontos amostrais

Espécie	Família	Nome comum	Hábito	Ocorrência
Echinodorus grandiflorus Cham. & Schltdll.	Alismataceae	Chapeu-de-couro	Flutuante	M9
Pistia stratiotes L.	Araceae	Alface-dágua	Flutuante	M3, M6, M10, M15 ,M16, M17
Commelina sp.	Commelinaceae	Trapoeraba	Anfíbia	M2, M9, M11, M13, M14
Eleocharis sp.	Cyperaceae	Junco manso	Emergente	M1 ,M9
Rhynchospora sp.	Cyperaceae	Capim-Navalha	Emergente	M1, M9
Lemna minuta Kunth	Lemnaceae	Lentilha-dágua	Flutuante	M3, M6, M10, M15, M16, M17
Ludwigia nervosa Poir.	Onagraceae	Cruz-de-malta	Emergente	M2, M9, M11
Ludwigia tomentosa (Cambess.) H. Hara	Onagraceae	Cruz-de-malta	Emergente	M2, M9, M13, M14
Urochloa plantaginea R. D. Webster	Poaceae	Capim	Emergente	M2, M9, M13, M14
Apinagia yguazuensis Chodat & Vischer	Podostemaceae	Flor-da-Cachoeira	Submersa fixa	M9, M11
Podostemum irgangii C. Philbrick & Novelo	Podostemaceae	Flor-da-Cachoeira	Submersa fixa	M9, M11
Polygonum sp.	Polygonaceae	Erva-de-bicho	Emergente	M2, M9, M11
Polygonum hydropiperoides Michx.	Polygonaceae	Erva-de-bicho	Emergente	M2, M9, M12
Polygonum ferrugineum Wedd.	Polygonaceae	Erva-de-bicho	Emergente	M9
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	Pontederiaceae	Aguapé	Flutuante	M1, M6, M15, M16, M17
Pontederia cordata L.	Pontederiaceae	Aguapé	Emergente	M1, M15, M16, M17
Azolla caroliniana Willd.	*Salviniaceae*	*Musgo-d'água*	*Flutuante*	M3, M6, M10
Salvinia minima Baker	Salviniaceae	Orelha-de-onça	Flutuante	M3, M6, M10, M15, M16, M17
Hedichyum coronarium J. König	Zingiberaceae	Lírio-do-Brejo	Anfíbia	M1,M11

A seguir, são apresentadas as descrições das espécies encontradas nos locais amostrados, incluindo aspectos morfológicos e ecológicos:

Apinagia yguazuensis: planta submersa, herbácea e fixa (Figura 97). Forma um manto denso aderido fortemente sobre as rochas, em sítios com corrente forte e pouco turbulenta.

Figura 97 - Apinagia yguazuensis. A-B: Indivíduos de A. yguazuensis. C: População de A. yguazuensis aderida nas rochas, ocorrente no ponto M9.

Essa espécie apresenta duas formas morfológicas, de acordo com a velocidade da água e exposição ao sol. Em águas mais rápidas e com insolação direta, as plantas são mais rígidas e com folhas finamente divididas e orientadas a favor da corrente, apresentando uma coloração verde amarelo brilhante. As plantas que vivem mais a sombra e em águas com menor turbulência, possuem folhas menos rígidas e com coloração verde mais escura. Essa espécie é endêmica de rios e cachoeiras.

Azolla caroliniana: Samambaia aquática, perene flutuante e que se desenvolve em todo o país, vegetando em áreas muito úmidas ou alagadas, como remansos de reservatórios de usinas hidrelétricas (Figura 98). As frondes são verde-acinzentadas, carnosas e ramificadas dicotomicamente,

providas de espaços ou lacunas onde pode ocorrer uma simbiose com um grupo de cianobactérias do gênero *Anabaena*, caracterizada como estruturas esféricas de coloração verde-azulada. Apresenta reprodução sexuada por meio de esporos e propagação vegetativa por meio de fragmentação da colônia. Tem potencial de crescimento excessivo, podendo afetar o fluxo da água em canais de irrigação e prejudicar a tomada de água em turbinas de usinas hidrelétricas.

Figura 98 A-B: Azolla caroliniana.

Commelina sp. conhecida como trapoeraba, é uma planta perene, herbácea, com caule semi-suculento e semiprostado (Figura 99). As flores apresentam coloração azulada. É bastante frequente em lavouras e margens dos corpos de água. Apresenta preferência por solos férteis e sombreados

Figura 99 - Commelina sp.

Echinodorus grandiflorus*:* planta herbácea, perene, emergente, que pode atingir até 2 m de altura (Figura 100). Possui folhas coriáceas, de grandes dimensões. A inflorescência é formada por séries florais (6 a 15) com 12 a 14 flores por série. Infesta canais, margens de lagos, lagoas e várzeas.

Apresenta crescimento vigoroso, podendo influenciar o fluxo de águas de drenagem. Utilizada ocasionalmente como ornamental e medicinal.

Figura 100 - Echinodorus grandiflorus.

Eichhornia crassipes: planta aquática flutuante, com raízes que podem atingir até 60 cm de comprimento e caule curto (Figura 101). As folhas apresentam pecíolo inflado, esponjoso. Em águas muito eutrofizadas, os pecíolos das folhas podem se alongar, alterando a forma da planta. É considerada a planta de maior poder invasor de corpos d'água em vários países, com distribuição generalizada, principalmente nas regiões tropicais. Produz milhares de sementes, que podem ficar dormentes por vários anos, além de se reproduzir vegetativamente. Apresenta um crescimento vigoroso, podendo dobrar sua biomassa em curto período de tempo (6 a 7 dias), principalmente em águas eutrofizadas. Acarreta vários danos aos ambientes aquáticos, como a cobertura total da superfície, impedindo a penetração de luz na coluna d'água, incrementa a perda de água por evapotranspiração, além de ser vetor de doenças como a esquistossomose.

Figura 101 - Eichhornia crassipes.

Eleocharis sp.*:* As espécies deste gênero são emergentes (ocasionalmente submersas), perenes, herbáceas, rizomatosas, eretas, formando touceiras. O caule é oco e seccionado internamente (Figura 102). As inflorescências são terminais, em espiguetas. A reprodução se dá por sementes e por rizomas. Possui distribuição ampla na América tropical. Apresenta um crescimento bastante vigoroso e é frequente em locais úmidos, beira de lagos, lagoas, reservatórios. Infesta lavouras de arroz inundado e águas poluídas, germinando no lodo. Alguns autores sugerem que seu controle pode ser feito por carpas, quando a planta encontra-se submersa.

Figura 102 - Eleocharis sp.

Hedychyum coronarium: Erva robusta, palustre, ereta, com rizoma, podendo chegar a 2 m. Folhas alternas, com a bainha envolvendo o caule, laminas linear-lanceoladas, até 40 cm, com margem inteira (Figura 103). Planta considerada daninha, pois pode obstruir pequenos riachos e canais com seus rizomas espessos. Ocorrem em beiras de rios, brejos, áreas alagadas. Floresce no

verão. Os fragmentos dos rizomas podem se dispensar pela água, através das bacias hidrográficas e formar novas populações. Ocorre desde os Estados Unidos até a Argentina, mas sua origem é o Himalaia.

Figura 103 - Hedychyum coronarium.

Lemna minuta: as espécies pertencentes a este gênero em geral possuem tamanho diminuto, providas apenas de folhas solitárias ou em grupos de 2 ou 4 e raízes não ramificadas (Figura 104). Propaga-se por sementes e principalmente por meios vegetativos. Apresenta grande vigor vegetativo e reprodutivo, cobrindo vastas superfícies em pouco tempo.

Figura 104 - Lemna sp.

Ludwigia nervosa: subarbusto emergente ou anfíbio, ereto, podendo atingir até 3 m de altura (Figura 105). A flor é característica do gênero, formada por quatro pétalas geralmente amarelas, que deram origem ao nome comum, cruz de malta. As flores são solitárias e florescem de outubro a maio. A semente pode ser dispersada pela água e coloniza áreas abertas, desnudas por perturbação ou devido a cheia. Invasora de culturas irrigadas.

Figura 105 - Ludwigia nervosa

Ludwigia tomentosa: Planta perene, ereta ou decumbente, subarbustiva, muito ramificada, de caule angulado e pubescente, geralmente arroxeada, com até 1 m de altura (Figura 106). Ocorre na Argentina, Uruguai, Bolivia e Brasil. É considerada daninha, florescendo no inverno e no verão.

Figura 106 - Ludwigia tomentosa.

Pistia stratiotes*:* planta flutuante, com folhas dispostas em roseta, densamente pilosas (Figura 107). Reproduz-se por propagação vegetativa e sementes. As sementes podem permanecer dormentes por vários meses, mesmo no solo seco e no frio. Acredita-se que tenha origem na América do Sul, mas atualmente, é uma das espécies de macrófitas aquáticas de maior distribuição mundial, com exceção da Europa e Antártica. Apresenta altas taxas de crescimento, sendo considerada danosa onde se prolifera, por aumentar as taxas de evapotranspiração, ser vetor de doenças (esquistossomose) e comprometer a qualidade da água.

Figura 107 - Pistia stratiotes

Podostemum irgangii: crescem firmemente aderidas as rochas e outros substratos sólidos em rios onde há um fluxo de água predominantemente turbulento (Figura 108).

Figura 108 A-C: População de Podostemum irgangii aderida as rochas, ocorrente no Ponto M11, a montante do reservatório da UHE Mauá.

O ciclo de vida das espécies de Podostemaceae está relacionado estreitamente aos ciclos sazonais dos rios, como crescimento vegetativo predominantemente no período das cheias e o florescimento e maturação das cápsulas durante a baixa.

Polygonum sp: planta geralmente emergente, ereta, com folhas alternadas. As inflorescências terminais são formadas por flores pequenas que variam de coloração entre brancas a rosáceas (Figura 109 e Figura 110). Reproduzem-se por sementes e foram densos agrupamentos nas margens dos rios, açudes. Tem propriedades medicinais.

Figura 109 - Polygonum sp.

Figura 110 - Polygonum ferrugineum

Pontederia cordata: planta enraizada e com folhas flutuantes, o que facilita o acompanhamento da subida da água, nos períodos de cheia, mantendo-se assim, parcialmente emersa (Figura 111). Floresce durante grande parte do ano e pode se reproduzir por sementes e por propagação vegetativa, por meio de pedaços de rizomas e folhas. Pode apresentar crescimento excessivo em condições favoráveis.

Figura 111 - Pontederia cordata

Rhynchospora sp.: erva anfíbia, emergente, com caule ereto, triangular, folhas com bordo cortante (Figura 112). Reproduz-se por sementes e por divisão de touceiras. Distribuição cosmopolita, principalmente em áreas tropicais. É frequente em regiões alagadas, sobre solos arenosos ou argilosos.

Figura 112 - Rhynchospora sp.

Salvinia minima: é uma pteridófita flutuante, nativa da América Tropical. Essa espécie apresenta folhas pequenas, ovais e flutuantes (Figura 113). As folhas são cobertas por pelos e destas, projetam-se raízes filiformes. Essa espécie ocorre principalmente em ambientes de água doce. A maioria das espécies do gênero *Salvinia* tem sido classificadas como uma espécie daninha devido ao

seu rápido crescimento. *Salvinia minima* tem o potencial de dobrar o seu tamanho em aproximadamente em 3,5 dias, dependendo das condições ambientais.

Figura 113 - Salvinia minima

Urochloa plantaginea: Gramínea anual, entouceirada, ereta ou com colmos decumbentes, eretos e ramificados, com até 1 metro de altura e com capacidade de emitir raízes nos nós inferiores ou ainda colmos prostrados (Figura 114).

Figura 114 - Urochloa plantaginea.

Folhas com bainha verde ou avermelhada com fenda longa, lígula membranáceo-ciliada. Lâmina verde-clara, lanceolada, base auriculada, glabra em ambas as faces e com as margens discretamente sinuosas e serrilhadas. Racemo contendo numerosas espiguetas de coloração verde-

clara, dispostas em apenas um dos lados do eixo achatado. Pode ser determinada em campo por meio da base das folhas, que se apresenta muito auriculada, quase amplexicaule, acrescentando-se ainda o número de racemos na panícula.

3.2.1.1 Eventos de coleta

No primeiro evento de coleta, relativo à estação da primavera (novembro/12), cinco meses após o inicio do enchimento do reservatório, foram identificadas áreas com *Lemna* sp., *Azolla* sp., *Pistia* sp., *Salvinia minima* e *Eichhornia crassipes* em associação (Figura 115), tanto próximo à barragem da UHE Mauá quanto plantas individuais espalhadas pelo corpo central do reservatório. Algumas áreas de remanso no reservatório estão sendo colonizadas por *E. crassipes* em conjunto com *P. cordata*, *S. minima* e *L. minuta*.

Figura 115 - Associação de espécies com potencial de crescimento excessivo encontrada nos pontos amostrados.

Figura 116 - Lemna minuta e Salvinia minima associadas flutuando pelo reservatório.

No segundo evento de coleta, referente ao período do verão (fevereiro/13) devido ao elevado nível do rio e período intenso de chuvas, esses agrupamentos se dispersaram e essas espécies foram encontradas flutuando por toda a extensão do reservatório. Também foram encontradas espécies emergentes e anfíbias nas margens do reservatório.

Figura 117 - Área de remanso do reservatório da UHE Mauá com ocorrência de espécies flutuantes com potencial de crescimento excessivo (imagem à esquerda). Associação de espécies flutuantes livres em área de remanso do reservatório da UHE Mauá - E. crassipes, P. cordata, S. minima, L. minuta (Imagem à direita).

Figura 118 - Área de remanso do reservatório da UHE Mauá com formação de extenso banco de macrófitas flutuantes.

No terceiro evento de coleta, referente ao período do outono (maio/13), a vegetação da margem se apresentou muito seca e com ausência de folhas, dificultando a identificação e coleta de material vegetal para a herborização (Figura 120). Houve um período de cheia no rio em que o nível da água esteve quase um metro acima do normal, refletido nas margens observadas nos pontos

amostrados (Figura 121). O período de nível elevado do rio provocou a supressão das espécies vegetais que estavam as margens do Rio Tibagi (Figura 122).

Figura 119 A-B: Associação de espécies flutuantes livres em área de remanso do reservatório da UHE Mauá (E. crassipes, P. cordata, S. minima, L. minuta).

Figura 120 - Vegetação de margem do Reservatório UHE Mauá, sob a ponte do Rio Barra Grande.

Figura 121 - Margem do reservatório da UHE Mauá evidenciando as marcas do nível elevado do rio.

Figura 122 - Margem do Reservatório da UHE Mauá, evidenciando a vegetação seca devido ao nível do rio.

No quarto evento de coleta, referente ai período do inverno (agosto/13), foi possível identificar espécies flutuantes em alguns pontos de coleta, como observados nos pontos M10, M11 e M12 (Figura 123 à Figura 125).

Figura 123 - Macrófitas flutuantes encontradas no ponto M10.

Figura 124 - Eicchornia crassipes encontrada entre a vegetação de margem no ponto M11.

Figura 125 - Eicchornia crassipes encontrada no ponto M12, próximo a ponto da PR-140, sob o Rio Tibagi, na cidade de Tibagi.

Apesar da margem estar exposta em decorrência do baixo nível do rio, a vegetação emergente e anfíbia ainda não havia se restabelecido.

Nos pontos amostrados na região do reservatório da UHE Mauá é possível identificar três grupos ecológicos distintos de macrófitas aquáticas: espécies emergentes, espécies flutuantes livres e espécies submersas fixas, aderidas as rochas. Segundo Scremim-Dias (2000), os diferentes hábitos de vida das plantas aquáticas podem representar uma zonação ecológica, em que cada forma de vida representa um conjunto de diferentes respostas adaptativas às alterações do nível da água, em função da sua capacidade de resistir à submersão ou ao dessecamento.

As espécies emergentes geralmente ocorrem nas margens do corpo hídrico, onde as condições de competição por luz e nutrientes são menores (Thomaz e Bini 2003). A comunidade de espécies emergentes encontrada neste monitoramento foi semelhante àquela encontrada no monitoramento realizado na Fase Rio. Essas espécies tendem a desaparecer com a flutuação periódica do nível do reservatório, como foi possível observar nos períodos em que o nível do reservatório esteve mais elevado. Sob condições favoráveis, podem formar agrupamentos localizados, entretanto, pouco provavelmente formarão bancos extensos de macrófitas, como as flutuantes livres. Em geral, estas espécies colonizam áreas de remanso ou locais em que a mata ciliar está ausente, com o solo exposto, e espalham-se rapidamente quando não há competidores ou predadores naturais presentes no ecossistema (THOMAZ E BINI 2003).

As espécies *E. crassipes, P. cordata, S. minima* e *L. minut*a apresentam potencial de crescimento excessivo e sua ocorrência indica a necessidade de monitoramentos periódicos (Thomaz e Bini 2003), e estão entre as que mais representam um problema para reservatórios de Usinas Hidroelétricas. Sob condições favoráveis como alta taxa de nutrientes e altas temperaturas, o crescimento das espécies flutuantes livres pode se intensificar, levando ao crescimento excessivo e cobrindo grandes áreas do reservatório. O aporte de nutrientes em ambientes aquáticos propicia a proliferação das macrófitas aquáticas o que leva a um déficit de oxigênio e a redução do pH da água, com resultados negativos para as comunidades do fitoplâncton, zooplâncton, bentos e peixes (PEDRALLI 2003).

Essas espécies têm potencial de afetar os usos múltiplos de um reservatório, tais como navegação e impedimento do fluxo da água. No trecho monitorado do reservatório da UHE Mauá, a área atual ocupada por essas espécies ainda é pequena, porém existe a possibilidade de se estabelecerem em outras áreas de remanso as quais tiverem acesso.

As espécies submersas fixas registradas pertencem à família Podostomaceae. Esta família apresenta 48 gêneros e tem como principal característica espécies que crescem em regiões tropicais e subtropicais, em rios ou cachoeiras, aderidas ao substrato rochoso (Rutishauser, 1997). A maioria das espécies desta família é endêmica, limitada a um país ou até mesmo uma bacia. Seu endemismo é relacionado com isolamento geográfico e adaptação ao habitat único (Rutishauser 1997). Possuem um ciclo de vida exclusivo, se comparadas com as distintas famílias de Angiospermas, sobretudo devido à necessidade de um sincronismo entre a floração e a frutificação com a alteração dos níveis da água dos rios (TAVARES *et al.,* 2006). As podostemáceas iniciam o seu processo reprodutivo, maturação dos frutos e dispersão das sementes em períodos com níveis hídricos baixos (TAVARES *et al.* 2006; IMAICHI *et al.* 2004).

A ocorrência das podostomáceas envolve condições ambientais restritas como rios com corredeiras e quedas d'ádgua. As atividades humanas como instalações de hidrelétricas tem determinado um impacto negativo sobre as populações de podostemáceas, acarretando na sua supressao ou até mesmo no seu desaparecimento, como observado na região de Salto Grande no Rio Uruguai e Yaciretá no Rio Paraná (TUR 1997).

As podostemáceas não sobrevivem em grandes profundidades como as encontradas em reservatórios, assim como não sobrevivem quando o fluxo de água é muito reduzido, em decorrência do represamento dos rios (PHILBRICK E NOVELO, 2004). No caso da UHE Mauá, ainda é possível encontrar uma pequena comunidade de espécies de Podostemaceae a jusante da barragem da PCH Presidente Getúlio Vargas. Estas espécies apresentam grande variação genética tanto entre populações próximas quanto dentro da mesma população, indicando que estas populações dependem da chegada de novos propágulos para sua manutenção (BAGGIO *et al.*, 2013). O represamento da água e a criação da barragem podem dificultar a chegada de propágulos através do fluxo do corpo hídrico (THOMAZ E BINI 2003), causando, a longo prazo, a supressão destas populações.

3.3 Sub-Programa de Monitoramento de Águas Subterrâneas

3.3.1 Dados obtidos

3.3.1.1 Aquífero raso

Campanhas realizadas

Foram realizadas entre dezembro de 2010 e agosto de 2013, 20 campanhas de medições nos piezômetros distribuídos nas duas baterias, BP1 e BP2, e em quatro poços profundos, conforme a Tabela 43.

Tabela 43 – Atividades de campo desenvolvidas nas baterias de piezômetros entre dezembro de 2010 e agosto de 2013.

Campanha	Data	Atividades de campo (*)	Locais
1	22-23/12/2010	a, b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
		c	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
2	23-24/02/2011	a, b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
		c, d	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
3	16-17/05/2011	a, b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
		c, d	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
4	31/08-01/09/2011	a, b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
5	06/10/2011	a, b, c,d	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13) BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
6	21-22/11/2011	a, b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
		c,d	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		a	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
7	24/01/2012	b	BP1 (P01, P05, P09 e P13) e BP2 (P01, P06, P10 e P13)
		c, d	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
8	19-20/03/2012	a,b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
		c,d	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
9	29-30/05/2012	a,b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
		c,d	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
10	04/07/2012	a,b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13)
		c,d	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
11	11-12/09/2012	a,b	BP1 (P01 a P13) e BP2 (P01 a P13) BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P4 e P7
12	17/10/2012	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7
13	13-14/11/2012	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7
14	04-05/12/2012	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7
15	16-17/01/2013	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7

Campanha	Data	Atividades de campo (*)	Locais
16	19-20/02/2013	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7
17	20-21/03/2013	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7
18	25-26/04/2013	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7
19	20-21/05/2013	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d,e	P2, P3, P5 e P7
20	19/08/2013	a,b	BP1 (P01 e P13) e BP2 (P01 e P13)
		c,d	

(*) a) Medições de nível de água do freático com sonda elétrica a cabo; b) Medições de pH e condutividade; c) Coleta de amostras para análise laboratorial de constituintes majoritários; d) Coleta de amostras para análise laboratorial de constituintes minoritários por ICP-MS; e) Coleta de água em poços profundos

Medições e coletas singulares

As baterias de piezômetros, já descritas em relatórios anteriores (LACTEC, 2011), são divididas em dois conjuntos, sendo a bateria de piezômetros BP1 implantada na margem direita do rio Tibagi, no município de Telêmaco Borba, enquanto a bateria de piezômetros BP2 está situada na margem esquerda do Tibagi na bacia do afluente Barra Grande. Atualmente ambas estão próximas à margem do reservatório da UHE Mauá.

Os resultados das medições de piezometria na BP1 e BP2 estão registrados na Tabela 44 e na Tabela 45 e de condutividade na Tabela 46 e na Tabela 47.

Tabela 44 – Perfis piezométricos anotados na BP1 nas campanhas de 09/2012 a 08/2013.

Piezômetro	Altitude ortométrica do nível de água do freático (m)									
	09/2012	10/2012	11/2012	12/2012	01/2013	02/2013	03/2013	04/2013	05/2013	08/2013
P1	626,026	627,486	630,306	631,876	632,616	633,646	634,966	634,766	633,956	634,416
P2	624,478	627,668	630,528	631,878	632,518	633,308	634,968	634,778	633,978	634,448
P3	624,760	627,930	630,760	631,830	632,550	633,560	634,960	634,800	633,970	634,480
P4	630,099	628,499	630,619	631,449	632,169	633,079	634,819	634,849	633,959	634,619
P5	631,813	630,153	632,263	631,673	632,333	634,103	634,643	634,853	634,063	634,753
P6	632,683	630,873	631,923	632,063	632,853	633,843	634,893	634,903	633,993	634,623
P7	633,270	633,270	633,490	633,640	633,880	634,510	635,300	635,150	634,470	634,800
P8	632,450	634,090	634,490	634,510	634,670	635,210	635,670	635,470	634,940	635,310
P9	632,602	634,072	634,492	634,502	634,662	635,212	635,672	635,472	634,952	635,752
P10	633,022	634,562	634,832	634,682	634,752	635,192	635,582	635,402	634,942	636,072
P11	634,460	631,860	633,950	633,890	634,550	635,110	635,540	635,360	634,870	636,390
P12	636,062	632,412	634,182	634,172	634,682	635,202	635,652	635,502	634,982	636,342
P13	637,359	636,049	636,129	635,969	635,989	636,179	636,339	636,299	636,159	636,289

Tabela 45 – Perfis piezométricos anotados na BP2 nas campanhas de 09/2012 a 08/2013.

Piezômetro	Altitude ortométrica do nível de água do freático (m)									
	09/2012	10/2012	11/2012	12/2012	01/2013	02/2013	03/2013	04/2013	05/2013	08/2013
P1	623,630	627,980	632,400	632,670	634,000	634,110	635,600	635,400	634,590	634,980
P2	625,429	629,979	632,869	633,029	634,639	634,569	635,799	635,469	634,659	635,009
P3	627,260	629,240	633,170	633,290	634,800	635,240	636,030	635,640	634,770	635,210
P4	628,991	632,851	634,321	634,251	635,401	634,561	636,321	635,871	635,111	635,401
P5	632,254	632,934	634,794	634,584	635,504	634,344	636,214	635,764	635,384	635,434
P6	629,769	633,899	635,839	634,929	635,709	633,759	636,589	635,989	635,639	635,589
P7	626,502	629,222	633,312	633,312	635,532	634,502	635,982	635,642	634,972	635,242
P8	634,354	630,814	632,874	633,904	636,164	634,334	636,404	635,974	635,674	635,824
P9	634,015	632,905	634,435	635,785	636,295	634,425	636,525	636,235	636,175	636,145
P10	636,331	631,111	632,651	633,761	636,441	634,471	637,091	636,591	636,331	636,381
P11	631,230	630,850	633,660	633,360	637,240	633,850	638,460	637,450	636,490	634,670
P12	636,753	630,843	631,903	633,093	636,943	633,553	639,783	637,143	636,523	636,873
P13	632,724	630,964	636,524	633,134	639,334	634,264	639,924	639,114	639,184	638,974

Tabela 46 – Perfis de condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$), anotados na BP1 nas campanhas de 08/2012 a 08/2013.

Piezômetro	Condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$)										
	08/2012	09/2012	10/2012	11/2012	12/2012	01/2013	02/2013	03/2013	04/2013	05/2013	08/2013
P1	16	17	32	168	206	135	134,5	94,7	150,8	151,9	120,2
P2	31	28	29	184	204	154	154,4	101	154,5	157,0	14,1
P3	169	172	178	179	206	214	214	199	198,4	197,0	88,8
P4	103	107	113	187	153	59	59,1	33,7	33	26,0	23,4
P5	217	217	222	218	134	240	240	220	222	227,0	223,0
P6	200	201	202	194	214	220	220	200	202	202,0	211,0
P7	196	199	204	195	216	231	231	205	206	207,0	209,0
P8	177	178	183	174	191	198	198	183	180,2	279,0	284,1
P9	169	155	148	145	164	174	174	164	189,5	189,0	193,3
P10	25	24	25	25,2	27,3	27	27,1	37,7	60,1	77,0	62,1
P11	27	26	26	27,8	185	30	30	29,6	57,1	32,0	25,8
P12	60	61	67	54,1	89,4	65	64,6	60,4	33,2	54,0	51,9
P13	31	29	23	29,5	32,1	32	32,4	29,8	33,7	33,0	26,2

Tabela 47 – Perfis de condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$), anotados na BP2 nas campanhas de 08/2012 a 08/2013.

Piezômetro	Condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$)										
	08/2012	09/2012	10/2012	11/2012	12/2012	01/2013	02/2013	03/2013	04/2013	05/2013	08/2013
P1	33	38	55	71,3	102	113	112,7	98,4	117,6	127,4	18,7
P2	33	37	45	43,1	50,5	42	42,2	54,3	68,1	67	68,8
P3	41	43	50	61,8	73,4	50	50,2	68,5	79,5	77,5	88,4
P4	38	40	41	46,7	48,4	52	52,4	63,5	67,2	68	66,5
P5	81	83	93	91,4	100	76	75,5	85,9	96,6	104	109,3
P6	94	98	106	111	121	116	116	117,5	118,6	113	112,7
P7	253	318	326	318	221	175	174,6	201	178,8	147	141,5
P8	114	119	124	128	153	197	197,3	170,6	181,0	185	213

Piezômetro	Condutividade elétrica (µS.cm^{-1})										
	08/2012	09/2012	10/2012	11/2012	12/2012	01/2013	02/2013	03/2013	04/2013	05/2013	08/2013
P9	161	204	216	222	250	260	260	223	229,0	228	228
P10	258	296	270	288	338	377	377	322	321,0	325	354
P11	138	145	155	155	31,2	177	176,7	133,3	120,8	123	140,4
P12	69	352	452	479	521	99	98,7	82	71,2	167	70,1
P13	63	114	277	237	118	102	101,6	85,3	81,6	76,4	73,5

Em todas as amostras coletadas foram analisados os componentes químicos majoritários, além de variáveis físico-químicas totalizadoras, conforme especificado na Tabela 48 e na Tabela 49.

Nas amostras coletadas nos piezômetros, nas cinco campanhas de 2012 e nas duas primeiras de 2013 foram realizadas análises de constituintes elementares minoritários por ICP/MS. Os resultados constam da Tabela 50, Tabela 51, Tabela 52, Tabela 53, Tabela 54, Tabela 55 e Tabela 56.

Alguns analitos foram determinados em algumas amostras através de dois conjuntos de metodologias e por dois laboratórios diferentes, como é o caso dos elementos alcalinos e alcalino-terrosos sódio, potássio, cálcio e magnésio. Os resultados obtidos não foram idênticos, porém foram coerentes, o que pode ser utilizado como validação dos resultados para os respectivos analitos.

Detalhes e especificações das metodologias adotadas foram apresentados em referências de relatórios anteriores (LACTEC, 2011).

Tabela 48 – Componentes iônicos majoritários determinados em amostras de água do freático, coletadas nas baterias de piezômetros BP1 e BP2

Local	Data	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		(mg.L^{-1})							
BP1-P01	04/07/2012	9,86	0,11	0,5	0,15	1,53	0,51	0,80	0,90
BP1-P13	04/07/2012	19,96	0,33	0,5	0,15	1,66	0,51	4,20	1,60
BP2-P01	04/07/2012	13,19	1,27	0,5	0,02	2,90	0,49	1,80	0,70
BP2-P13	04/07/2012	37,45	1,05	0,5	0,15	5,89	1,65	6,00	1,50
BP1-P01	08/08/2012	5,41	0,18	0,5	0,12	1,18	0,19	0,80	1,10
BP1-P13	08/08/2012	15,68	0,18	0,5	0,05	1,94	0,24	4,10	1,70
BP2-P01	08/08/2012	14,06	1,01	0,5	0,09	3,69	0,46	1,60	0,90
BP2-P13	08/08/2012	30,52	1,24	0,5	0,19	5,85	1,02	5,60	1,60
BP1-P01	12/09/2012	6,13	0,46	0,5	0,11	1,51	0,46	0,90	0,80
BP1-P13	12/09/2012	26,07	0,29	0,5	0,05	2,53	0,09	3,10	1,50
BP2-P01	11/09/2012	17,78	1,33	0,5	0,02	4,08	0,99	1,40	0,80
BP2-P13	11/09/2012	65,85	1,56	6,3	0,01	13,13	6,34	9,70	2,10
BP1-P01	17/10/2012	7,44	0,16	0,5	0,06	1,28	0,24	0,70	0,90
BP1-P13	17/10/2012	18,96	0,56	0,5	0,08	1,70	0,49	3,00	1,10
BP2-P01	17/10/2012	30,84	1,67	1	0,03	5,95	1,46	1,50	0,50
BP2-P13	17/10/2012	156,94	1,28	6,3	0,04	27,20	8,51	20,40	2,70

Local	Data	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		($mg.L^{-1}$)							
BP1-P01	14/11/2012	104,8	1,33	0,5	0,12	31,56	3,16	1,50	1,00
BP1-P13	14/11/2012	22,57	1,15	0,5	0,02	1,26	0,97	3,50	1,60
BP2-P01	13/11/2012	47,42	10,67	0,5	0,04	8,42	3,16	3,80	0,50
BP2-P13	13/11/2012	147,18	1,45	<1,0	0,04	26,10	8,27	15,50	2,80
BP1-P01	05/12/2012	129,93	0,36	4,22	<0,01	21,05	12,15	6,30	1,80
BP1-P13	05/12/2012	21,86	0,1	<1,0	<0,01	6,31	0,24	3,60	1,60
BP2-P01	04/12/2012	67,36	1,09	<1,0	<0,01	21,05	0,48	3,40	1,10
BP2-P13	04/12/2012	73,67	1,19	<1,0	0,03	17,68	1,21	7,20	1,40
BP1-P01	17/01/2013	84,80	0,33	<1,0	0,05	19,17	4,13	3,40	2,20
BP1-P13	17/01/2013	37,40	0,19	<1,0	0,06	2,68	3,89	4,20	1,90
BP2-P01	16/01/2013	63,97	0,84	<1,0	0,01	8,05	3,16	4,00	1,30
BP2-P13	16/01/2013	57,26	0,65	<1,0	0,09	11,88	1,94	7,30	1,60
BP1-P01	20/02/2013	55,20	0,70	<1,0	0,09	12,30	3,65	2,70	1,40
BP1-P13	20/02/2013	20,30	0,30	<1,0	0,06	2,60	0,49	3,40	1,60
BP2-P01	19/02/2013	52,10	2,41	<1,0	0,01	11,90	2,19	3,10	1,70
BP2-P13	19/02/2013	48,50	2,15	<1,0	0,18	9,78	2,43	5,60	1,90
BP1-P01	21/03/2013	94,01	0,84	<1,0	0,02	20,61	6,19	3,90	2,20
BP1-P13	21/03/2013	17,50	1,04	<1,0	<0,01	1,70	0,73	4,20	2,10
BP2-P01	20/03/2013	45,58	2,54	<1,0	<0,01	12,75	3,16	3,50	2,10
BP2-P13	20/03/2013	43,41	3,56	<1,0	0,11	8,07	1,94	6,70	2,30
BP1-P01	26/04/2013	100,24	0,53	1,0	0,06	18,28	6,56	3,60	2,10
BP1-P13	26/04/2013	21,25	0,34	<1,0	<0,01	2,13	0,97	4,10	3,10
BP2-P01	25/04/2013	82,11	0,77	<1,0	<0,01	19,55	3,89	2,80	1,90
BP2-P13	25/04/2013	45,98	0,58	<1,0	0,15	7,65	1,94	6,00	1,60
BP1-P01	21/05/2013	66,56	0,24	<1,0	0,08	11,05	6,81	3,05	2,40
BP1-P13	21/05/2013	19,07	0,28	<1,0	0,10	1,70	1,46	3,95	1,80
BP2-P01	21/05/2013	74,11	0,52	<1,0	0,02	16,58	3,65	3,80	3,20
BP2-P13	21/05/2013	43,41	2,42	<1,0	0,08	7,65	2,19	5,70	1,75

Tabela 49 – Temperatura, condutividade, pH, alcalinidade e sólidos totais dissolvidos medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros, em 2012 e 2013.

Local	Data	temp	Cond	pH	alcalinidade total	STD
		(^oC)	($\mu S\ cm^{-1}$)		($mg,L^{-1}\ CaCO_3$)	(mg,L^{-1})
04/07/2012	BP1-P01	20,5	17,2	5,83	8,08	11
04/07/2012	BP1-P13	*	29,4	6,29	29,4	19
04/07/2012	BP2-P01	22	24,8	6,13	10,81	16
04/07/2012	BP2-P13	20	61,7	6,27	30,7	40
08/08/2012	BP1-P01	*	16,0	5,16	4,43	10
08/08/2012	BP1-P13	*	31,0	5,83	12,8	20
08/08/2012	BP2-P01	*	33,0	5,68	11,52	22
08/08/2012	BP2-P13	*	63,0	5,95	25,02	41
12/09/2012	BP1-P01	20	17,0	6,82	5,02	11
12/09/2012	BP1-P13	21	29,0	6,19	21,37	19

Local	Data	temp	Cond	pH	alcalinidade total	STD
		(°C)	(µS cm^{-1})		(mg,L^{-1} $CaCO_3$)	(mg,L^{-1})
11/09/2012	BP2-P01	22	38,0	7,13	14,58	25
11/09/2012	BP2-P13	21	114	6,46	53,98	74
17/10/2012	BP1-P01	22	32,0	5,83	6,1	15
17/10/2012	BP1-P13	22	23,0	5,46	15,54	21
17/10/2012	BP2-P01	21	55,0	5,89	25,28	36
17/10/2012	BP2-P13	22	277	6,46	128,64	180
14/11/2012	BP1-P01	20,6	168	7,28	85,9	109
14/11/2012	BP1-P13	21	29,5	6,1	18,5	19
13/11/2012	BP2-P01	21	71,3	6,26	38,87	46
13/11/2012	BP2-P13	21	237	6,77	120,64	154
05/12/2012	BP1-P01	21,5	206	6,97	106,5	134
05/12/2012	BP1-P13	21	32,1	5,42	17,92	21
04/12/2012	BP2-P01	22	102,2	5,76	55,21	66,4
04/12/2012	BP2-P13	21,5	118	5,80	60,39	77
17/01/2013	BP1-P01	22	134,5	6,29	69,51	87
17/01/2013	BP1-P13	21	32,4	5,64	30,66	21
16/01/2013	BP2-P01	24	112,7	6,12	52,43	73
16/01/2013	BP2-P13	21	101,6	5,81	46,93	66
20/02/2013	BP1-P01	23,5	94,7	7,57	45,30	62
20/02/2013	BP1-P13	22	29,8	7,85	16,60	19
19/02/2013	BP2-P01	22,5	98,4	7,39	42,70	64
19/02/2013	BP2-P13	20,5	85,3	7,00	39,80	55
21/03/2013	BP1-P01	23,1	150,9	6,66	77,06	98
21/03/2013	BP1-P13	20,5	34,7	5,83	14,35	22
20/03/2013	BP2-P01	23,5	117,6	6,34	*53,34*	70
20/03/2013	BP2-P13	21,2	81,6	5,86	35,59	51
26/04/2013	BP1-P01	21,1	151,9	6,63	82,16	99
26/04/2013	BP1-P13	20,0	23,0	5,84	17,42	22
25/04/2013	BP2-P01	21,8	127,4	6,74	67,31	83
25/04/2013	BP2-P13	23,0	87,4	8,45	37,69	50
21/05/2013	BP1-P01	23,0	111,5	6,35	54,56	72
21/05/2013	BP1-P13	22,5	29,6	5,86	15,63	19
20/05/2013	BP2-P01	22,5	120,3	6,65	60,75	78
20/05/2013	BP2-P13	22,0	75,7	5,86	35,58	49

** houve falha no termômetro e os dados não foram coletados.*

Tabela 50 – Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S e Cl em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros

Local	Data	Li	Be	B	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
		PPB	PPB	PPB	PPM	PPM	PPB	PPM	PPB	PPM	PPM
20/03/2012	BP1-P01	2,7	0,09	20	1188	3,40	27	5382	126	2	1
20/03/2012	BP1-P13	4,3	<0,05	9	3795	3,40	20	12587	40	1	<1
19/03/2012	BP2-P01	5,9	0,11	12	1938	3,40	17	6254	32	2	<1

Local	Data	Li	Be	B	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
		PPB	PPB	PPB	PPM	PPM	PPB	PPM	PPB	PPM	PPM
19/03/2012	BP2-P13	4,0	<0,05	10	4706	3,40	17	13069	103	2	1
12/09/2012	BP1-P01	2,4	0,07	<5	0,80	0,73	205	4765	132	<1	<1
12/09/2012	BP1-P13	1,8	<0,05	<5	2,99	0,75	62	10957	62	<1	<1
11/09/2012	BP2-P01	3,8	<0,05	<5	1,36	0,76	48	4147	142	<1	<1
11/09/2012	BP2-P13	3,9	<0,05	6	7,57	2,70	51	11485	45	2	<1
12/10/2012	BP1-P01	2,2	<0,05	<5	0,67	0,58	8	5257	11	<1	<1
12/10/2012	BP1-P13	2,2	0,05	<5	3,32	0,78	11	12835	28	<1	<1
11/10/2012	BP2-P01	4,7	<0,05	<5	2,35	0,96	4	6870	10	<1	<1
11/10/2012	BP2-P13	6,7	0,05	19	22,23	7,84	20	11352	14	5	<1
12/11/2012	BP1-P01	3,0	<0,05	<5	1,19	2,16	14	6135	25	<1	<1
12/11/2012	BP1-P13	2,4	0,05	<5	3,30	0,81	13	12684	30	<1	<1
11/11/2012	BP2-P01	4,8	<0,05	5	3,16	1,39	98	8234	23	2	<1
11/11/2012	BP2-P13	8,5	<0,05	17	16,61	7,35	20	13048	15	2	<1
17/01/2013	BP1-P01	5,5	<0,05	6	2,33	4,14	55	7846	<10	<1	<1
17/01/2013	BP1-P13	2,4	<0,05	<5	3,29	0,81	46	12423	19	<1	<1
16/01/2013	BP2-P01	4,5	0,05	<5	2,95	1,55	25	8420	<10	<1	<1
16/01/2013	BP2-P13	8,7	<0,05	<5	6,34	2,32	32	15659	<10	<1	<1
20/02/2013	BP1-P01	4,7	<0,05	<5	2,16	3,03	18	6179	<10	<1	<1
20/02/2013	BP1-P13	2,3	<0,05	<5	3,16	0,77	20	12257	19	<1	<1
19/02/2013	BP2-P01	4,6	<0,05	<5	2,86	1,79	11	7285	<10	<1	1
19/02/2013	BP2-P13	7,1	<0,05	<5	5,60	2,14	37	14247	<10	<1	<1
21/03/2013	BP1-P01	4,8	<0,05	<5	2,78	4,91	8	7718	13	<1	<1
21/03/2013	BP1-P13	2,3	<0,05	<5	3,23	0,88	23	12478	27	<1	<1
20/03/2013	BP2-P01	4,3	0,08	<5	2,50	1,88	4	6910	<10	<1	<1
20/03/2013	BP2-P13	6,1	<0,05	<5	5,41	1,88	17	13981	<10	<1	<1

Tabela 51 – K, Ca, Sc,Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni e Cu em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.

Local	Data	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
		PPM	PPM	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
20/03/2012	BP1-P01	1,33	1,51	<1	<10	<0,2	<0,5	24,55	<10	0,31	4,0
20/03/2012	BP1-P13	1,82	1,60	2	<10	0,3	0,6	13,18	<10	0,16	1,3
19/03/2012	BP2-P01	1,32	5,47	1	<10	<0,2	<0,5	98,97	241	1,46	3,3
19/03/2012	BP2-P13	1,53	7,06	2	<10	<0,2	<0,5	212,79	<10	1,41	2,3
12/09/2012	BP1-P01	0,97	1,23	<1	<10	0,2	5,8	24,54	156	0,19	3,1
12/09/2012	BP1-P13	1,44	1,04	<1	<10	0,3	5,0	11,62	47	1,13	0,8
11/09/2012	BP2-P01	0,88	4,23	<1	<10	<0,2	5,4	64,07	101	0,77	1,9
11/09/2012	BP2-P13	1,52	10,31	<1	<10	0,2	4,6	330,87	73	1,35	1,8
12/10/2012	BP1-P01	0,89	0,79	<1	<10	<0,2	<0,5	10,22	<10	0,06	2,6
12/10/2012	BP1-P13	1,51	1,28	<1	<10	0,3	<0,5	13,41	10	0,10	0,8
11/10/2012	BP2-P01	0,97	5,49	<1	<10	<0,2	<0,5	77,27	<10	0,12	2,8
11/10/2012	BP2-P13	2,64	26,34	<1	<10	<0,2	<0,5	15,55	53	0,07	0,4
12/11/2012	BP1-P01	1,20	32,97	<1	<10	<0,2	<0,5	3,92	<10	0,31	3,2

Local	Data	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
		PPM	PPM	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
12/11/2012	BP1-P13	1,50	1,11	<1	<10	0,4	<0,5	5,58	10	0,10	0,8
11/11/2012	BP2-P01	1,36	9,23	<1	<10	0,4	2,2	289,77	999	3,25	4,5
11/11/2012	BP2-P13	2,53	27,58	<1	<10	0,5	<0,5	312,12	12	0,22	1,2
17/01/2013	BP1-P01	1,56	15,73	<1	<10	0,2	<0,5	98,33	102	0,38	2,6
17/01/2013	BP1-P13	1,55	1,15	<1	<10	0,4	<0,5	8,52	72	0,07	0,7
16/01/2013	BP2-P01	1,20	9,19	<1	<10	<0,2	<0,5	285,95	15621	1,90	1,7
16/01/2013	BP2-P13	1,60	9,75	<1	<10	0,3	<0,5	45,92	90	0,41	0,4
20/02/2013	BP1-P01	1,27	11,42	<1	<10	<0,2	<0,5	188,18	42	0,89	2,7
20/02/2013	BP1-P13	1,52	1,17	<1	<10	0,3	<0,5	27,12	25	0,12	0,9
19/02/2013	BP2-P01	1,39	10,49	<1	<10	<0,2	<0,5	298,46	5715	2,02	1,7
19/02/2013	BP2-P13	1,50	8,97	<1	<10	0,6	<0,5	256,42	74	0,94	1,5
21/03/2013	BP1-P01	1,52	18,47	<1	<10	<0,2	0,5	299,55	94	1,39	2,1
21/03/2013	BP1-P13	1,50	1,68	<1	<10	0,3	0,8	47,87	442	0,26	0,8
20/03/2013	BP2-P01	1,43	11,93	<1	<10	<0,2	0,6	300,89	4715	1,86	1,5
20/03/2013	BP2-P13	1,63	7,72	<1	<10	<0,2	0,9	240,21	18	0,71	2,0

Tabela 52 – Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr e Y em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.

Local	Data	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
20/03/2012	BP1-P01	5,9	77,2	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	25	3,92	6,40	0,04
20/03/2012	BP1-P13	2,7	63,8	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	14	4,81	10,13	0,02
19/03/2012	BP2-P01	4,0	57,2	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	11	2,48	15,76	0,03
19/03/2012	BP2-P13	1,0	32,7	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	22	2,12	31,14	0,04
12/09/2012	BP1-P01	5,8	57,6	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	3,39	7,11	0,36
12/09/2012	BP1-P13	1,7	26,3	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	4,16	9,58	0,06
11/09/2012	BP2-P01	2,3	44,8	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	1,62	13,44	0,05
11/09/2012	BP2-P13	1,8	29,4	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	7	2,16	64,04	0,16
12/10/2012	BP1-P01	0,8	37,1	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	3,47	5,20	<0,01
12/10/2012	BP1-P13	0,9	38,8	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	4,13	10,74	<0,01
11/10/2012	BP2-P01	1,2	66,3	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	1,85	20,05	<0,01
11/10/2012	BP2-P13	1,3	10,1	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	8	3,44	206,34	0,03
12/11/2012	BP1-P01	1,9	164,2	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	5	4,19	41,08	0,10
12/11/2012	BP1-P13	0,7	18,3	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	4,04	10,29	0,07
11/11/2012	BP2-P01	7,1	162,5	<0,05	<0,05	5,9	<0,5	<5	2,58	30,67	0,11
11/11/2012	BP2-P13	1,9	28,8	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	10	2,92	220,10	0,07
17/01/2013	BP1-P01	3,3	59,8	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	3,82	54,90	0,16
17/01/2013	BP1-P13	1,6	18,0	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	4,44	10,15	0,09
16/01/2013	BP2-P01	1,7	28,1	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	2,17	27,46	0,17
16/01/2013	BP2-P13	1,1	6,8	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	6	1,97	63,20	0,05
20/02/2013	BP1-P01	1,2	43,0	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	3,11	48,41	0,05
20/02/2013	BP1-P13	1,1	20,2	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	4,14	10,12	0,03
19/02/2013	BP2-P01	1,7	30,9	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	2,35	29,13	0,01

Local	Data	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
19/02/2013	BP2-P13	1,7	23,2	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	8	1,93	58,13	0,08
21/03/2013	BP1-P01	0,8	65,9	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	3,41	78,58	0,02
21/02/2013	BP1-P13	1,2	19,7	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	4,12	11,02	0,09
20/03/2013	BP2-P01	0,5	26,1	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	<5	3,16	29,36	<0,01
20/03/2013	BP2-P13	3,4	22,8	<0,05	<0,05	<0,5	<0,5	6	2,05	48,23	0,05

Tabela 53 – Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In e Sn em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.

Local	Data	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
20/03/2012	BP1-P01	0,03	<0,01	1,0	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,35	<0,01	0,07
20/03/2012	BP1-P13	<0,02	<0,01	1,0	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,12	<0,01	0,08
19/03/2012	BP2-P01	0,02	<0,01	1,1	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,16	<0,01	0,09
19/03/2012	BP2-P13	<0,02	<0,01	0,7	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,11	<0,01	<0,05
12/09/2012	BP1-P01	0,13	0,01	5,0	<0,05	<0,01	<0,2	0,07	0,52	<0,01	0,37
12/09/2012	BP1-P13	0,07	<0,01	3,4	<0,05	<0,01	<0,2	0,05	0,27	<0,01	0,25
11/09/2012	BP2-P01	0,06	<0,01	4,0	<0,05	<0,01	<0,2	0,05	0,32	<0,01	0,33
11/09/2012	BP2-P13	0,04	<0,01	3,3	<0,05	<0,01	<0,2	0,05	0,24	<0,01	0,26
12/10/2012	BP1-P01	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,06	<0,01	<0,05
12/10/2012	BP1-P13	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,06	<0,01	<0,05
11/10/2012	BP2-P01	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,19	<0,01	<0,05
11/10/2012	BP2-P13	<0,02	<0,01	0,3	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05
12/11/2012	BP1-P01	<0,02	<0,01	0,1	0,08	<0,01	<0,2	<0,05	0,72	<0,01	<0,05
12/11/2012	BP1-P13	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	<0,05	<0,01	<0,05
11/11/2012	BP2-P01	0,04	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,45	0,01	0,16
11/11/2012	BP2-P13	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	<0,05	0,06	<0,01	<0,05
17/01/2013	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,10	<0,05	<0,01	0,07
17/01/2013	BP1-P13	<0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,06	<0,05	<0,01	0,06
16/01/2013	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,06	<0,05	<0,01	<0,05
16/01/2013	BP2-P13	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	0,06	<0,05	<0,01	<0,05
20/02/2013	BP1-P01	<0,02	<0,01	0,3	<0,05	<0,01	<0,2	0,37	0,11	<0,01	0,08
20/02/2013	BP1-P13	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	0,32	<0,05	<0,01	<0,05
19/02/2013	BP2-P01	<0,02	<0,01	0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,64	0,05	<0,01	<0,05
19/02/2013	BP2-P13	<0,02	<0,01	0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,65	<0,05	<0,01	<0,05
21/03/2013	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,12	0,14	<0,01	<0,05
21/02/2013	BP1-P13	<0,02	<0,01	0,2	<0,05	<0,01	<0,2	0,20	<0,05	<0,01	<0,05
20/03/2013	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,11	<0,05	<0,01	0,07
20/03/2013	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,01	<0,2	0,15	<0,05	<0,01	<0,05

Tabela 54 – Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros

Local	Data	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB

20/03/2012	BP1-P01	<0,05	<0,05	0,01	48,24	0,02	0,05	<0,01	0,03	<0,02	<0,01
20/03/2012	BP1-P13	<0,05	<0,05	<0,01	39,31	0,03	0,07	<0,01	0,04	<0,02	<0,01
19/03/2012	BP2-P01	<0,05	<0,05	<0,01	67,93	0,02	0,06	<0,01	0,02	<0,02	<0,01
19/03/2012	BP2-P13	<0,05	<0,05	<0,01	68,63	0,02	0,07	<0,01	0,02	<0,02	<0,01
12/09/2012	BP1-P01	<0,05	<0,05	0,04	107,69	0,69	1,43	0,18	0,71	0,13	<0,01
12/09/2012	BP1-P13	<0,05	<0,05	<0,01	50,18	0,11	0,23	0,02	0,13	<0,02	<0,01
11/09/2012	BP2-P01	<0,05	<0,05	<0,01	59,09	0,08	0,17	0,01	0,06	<0,02	<0,01
11/09/2012	BP2-P13	<0,05	<0,05	0,02	104,89	0,21	0,50	0,05	0,20	0,03	<0,01
12/10/2012	BP1-P01	<0,05	<0,05	<0,01	43,69	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01
12/10/2012	BP1-P13	<0,05	<0,05	<0,01	40,14	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01
11/10/2012	BP2-P01	<0,05	<0,05	<0,01	69,49	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,02	<0,01
11/10/2012	BP2-P13	<0,05	<0,05	0,02	211,94	0,02	0,07	<0,01	0,04	<0,02	<0,01
12/11/2012	BP1-P01	<0,05	<0,05	0,04	64,77	0,10	0,10	0,07	0,09	0,06	0,04
12/11/2012	BP1-P13	<0,05	<0,05	0,03	39,14	0,08	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05
11/11/2012	BP2-P01	1,46	<0,05	0,05	97,58	0,20	0,13	0,08	0,13	0,08	0,04
11/11/2012	BP2-P13	<0,05	<0,05	0,04	220,89	0,06	0,10	0,04	0,05	0,02	<0,01
17/01/2013	BP1-P01	<0,05	<0,05	<0,01	179,64	0,10	0,28	0,02	0,14	0,04	<0,01
17/01/2013	BP1-P13	<0,05	<0,05	<0,01	40,44	0,08	0,19	0,02	0,13	0,03	<0,01
16/01/2013	BP2-P01	<0,05	<0,05	<0,01	76,57	0,21	0,50	0,05	0,20	<0,02	<0,01
16/01/2013	BP2-P13	<0,05	<0,05	<0,01	99,77	0,06	0,15	0,01	0,04	<0,02	<0,01
20/02/2013	BP1-P01	<0,05	<0,05	<0,01	161,08	0,04	0,10	<0,01	0,02	<0,02	<0,01
20/02/2013	BP1-P13	<0,05	<0,05	<0,01	40,98	0,03	0,10	<0,01	0,04	<0,02	<0,01
19/02/2013	BP2-P01	<0,05	<0,05	<0,01	74,68	0,01	0,04	<0,01	0,01	0,02	<0,01
19/02/2013	BP2-P13	<0,05	<0,05	<0,01	101,35	0,10	0,25	0,02	0,09	0,02	<0,01
21/03/2013	BP1-P01	<0,05	<0,05	<0,01	206,52	0,02	0,04	<0,01	0,03	<0,02	<0,01
21/02/2013	BP1-P13	<0,05	<0,05	<0,01	41,65	0,08	0,20	0,03	0,17	<0,02	<0,01
20/03/2013	BP2-P01	<0,05	<0,05	<0,01	70,46	0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01
20/03/2013	BP2-P13	<0,05	<0,05	<0,01	89,73	0,03	0,06	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01

Tabela 55 – Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.

Local	Data	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
20/03/2012	BP1-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
20/03/2012	BP1-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
19/03/2012	BP2-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
19/03/2012	BP2-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
12/09/2012	BP1-P01	0,12	<0,01	0,07	0,01	0,03	<0,01	0,02	<0,01	<0,02	<0,02
12/09/2012	BP1-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
11/09/2012	BP2-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
11/09/2012	BP2-P13	0,04	<0,01	0,02	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,02	<0,02
12/10/2012	BP1-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
12/10/2012	BP1-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
11/10/2012	BP2-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
11/10/2012	BP2-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02

Local	Data	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
12/11/2012	BP1-P01	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	<0,02	<0,02
12/11/2012	BP1-P13	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	<0,02	<0,02
11/11/2012	BP2-P01	0,09	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,08	<0,02	<0,02
11/11/2012	BP2-P13	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	<0,02	<0,02
17/01/2013	BP1-P01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
17/01/2013	BP1-P13	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
16/01/2013	BP2-P01	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
16/01/2013	BP2-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
20/02/2013	BP1-P01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
20/02/2013	BP1-P13	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,02	<0,02
19/02/2013	BP2-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
19/02/2013	BP2-P13	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
21/03/2013	BP1-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
21/02/2013	BP1-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
20/03/2013	BP2-P01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02
20/03/2013	BP2-P13	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,02

Tabela 56 – W, Re, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th e U em solução, medidos em amostras de água coletadas nas baterias de piezômetros.

Local	Data	W	Re	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
20/03/2012	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	0,3	0,02	9,2	<0,05	<0,05	<0,02
20/03/2012	BP1-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	0,2	<0,01	5,5	<0,05	<0,05	<0,02
19/03/2012	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	0,4	0,03	3,5	<0,05	<0,05	<0,02
19/03/2012	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	0,1	0,03	5,9	<0,05	<0,05	<0,02
12/09/2012	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	1,0	0,03	**9,9**	0,07	0,06	0,03
12/09/2012	BP1-P13	0,17	<0,01	<0,01	<0,05	0,6	<0,01	5,5	0,06	<0,05	<0,02
11/09/2012	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	1,3	0,02	4,3	0,06	<0,05	<0,02
11/09/2012	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	1,2	0,02	8,7	<0,05	<0,05	0,02
12/10/2012	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	0,8	0,02	3,8	<0,05	<0,05	<0,02
12/10/2012	BP1-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	0,4	<0,01	**13,9**	<0,05	<0,05	<0,02
11/10/2012	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	0,2	0,02	0,4	<0,05	<0,05	<0,02
11/10/2012	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,02	2,0	<0,05	<0,05	0,04
12/11/2012	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,02	**80,0**	<0,05	<0,05	0,03
12/11/2012	BP1-P13	<0,02	<0,01	0,01	<0,05	<0,1	<0,01	5,9	<0,05	<0,05	<0,02
11/11/2012	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	16,7	0,08	**13,3**	0,08	<0,05	0,03
11/11/2012	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	2,2	0,02	6,9	<0,05	<0,05	0,04
17/01/2013	BP1-P01	0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,04	**39,1**	<0,05	<0,05	<0,02
17/01/2013	BP1-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	<0,01	9,4	<0,05	<0,05	<0,02
16/01/2013	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,01	**67,9**	<0,05	<0,05	<0,02
16/01/2013	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	<0,01	8,7	<0,05	<0,05	<0,02
20/02/2013	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,03	**53,8**	<0,05	<0,05	<0,02
20/02/2013	BP1-P13	<0,02	<0,01	0,02	<0,05	<0,1	<0,01	**13,6**	<0,05	<0,05	<0,02

Local	Data	W	Re	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
19/02/2013	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,02	2,7	<0,05	<0,05	<0,02
19/02/2013	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,02	**25,3**	<0,05	<0,05	<0,02
21/03/2013	BP1-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,04	**17,1**	<0,05	<0,05	<0,02
21/02/2013	BP1-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	<0,01	**22,1**	<0,05	<0,05	<0,02
20/03/2013	BP2-P01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,02	2,1	<0,05	<0,05	<0,02
20/03/2013	BP2-P13	<0,02	<0,01	<0,01	<0,05	<0,1	0,02	6,6	<0,05	<0,05	<0,02

Observação: Os valores em negrito indicam concentrações superiores aos limites para potabilidade humana conforme a Resolução 396 do CONAMA (2008).

Medições automáticas do nível do freático e da temperatura

As medições automáticas do nível do freático e da temperatura foram realizadas por equipamentos medidores da coluna de água pela pressão exercida sobre uma célula baro-sensível, marca *Solinst* modelo *Levelogger gold 3001*.

Devido ao grande número de registros de nível de água e temperatura, os mesmos não serão aqui reproduzidos na forma de tabelas, sua representação gráfica está apresentada na interpretação dos resultados.

3.3.1.2 Aquíferos profundos

Campanhas de medições e amostragens dos aquíferos profundos

No período compreendido por este relatório foram realizadas oito campanhas de amostragem de qualidade de água nos poços profundos P2, P3, P5 e P7. A amostragem e análise de água dos aquíferos profundos, realizada em sete poços tubulares profundos, foi interrompida em 2011, visto que as principais características químicas dos respectivos corpos de água já haviam sido levantadas.

Em agosto de 2012, em vistas do período de enchimento do reservatório, foram retomadas as medidas em alguns poços selecionados dentre aqueles amostrados na fase inicial dos trabalhos.

Normalmente as águas subterrâneas profundas são consideradas como menos suscetíveis a variações em sua composição, em função do baixo fluxo que favorece o equilíbrio com as rochas, daí a necessidade de uma menor densidade de amostragens para seu monitoramento.

As medições e amostragens dos aquíferos profundos foram realizadas nas mesmas ocasiões de medições e amostragens nas baterias de piezômetros no freático, BP1 e BP2.

A partir de outubro de 2012, foram selecionados para a continuidade dos trabalhos, os poços P2, P3, P5 e P7, cujas características constam da Tabela 12. A despeito disso, a análise dos dados é

feita considerando todo o histórico disponível sobre a qualidade da água subterrânea do contexto estudado.

No período entre agosto de 2012 e março de 2013 foram realizadas oito campanhas de amostragens conforme a Tabela 57.

Tabela 57 - Poços tubulares profundos amostrados nas campanhas de 2012/2013.

Campanha	Data	Atividades de campo	Locais
11	08/08/2012	Amostragem em poços profundos	P2 e P7
12	12/09/2012	Amostragem em poços profundos	P2, P4 e P7
13	17/10/2012	Amostragem em poços profundos	P2, P4, P5 e P7
14	13/11/2012	Amostragem em poços profundos	P2, P4, P5 e P7
15	05/12/2012	Amostragem em poços profundos	P2, P4, P5 e P7
16	17/01/2013	Amostragem em poços profundos	P2, P4, P5 e P7
17	20/02/2013	Amostragem em poços profundos	P2, P4, P5 e P7
18	21/03/2013	Amostragem em poços profundos	P2, P4, P5 e P7

Resultados de medições e coletas

Nas amostras coletadas foram analisados os componentes químicos majoritários, além de variáveis físico-químicas totalizadoras, conforme especificado na Tabela 58 e na Tabela 59.

Tabela 58 - Componentes iônicos majoritários determinados em amostras de água coletadas em poços tubulares profundos em 2012/2013.

Local	Data	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		($mg.L^{-1}$)								
P2	08/08/2012	24,88	0	0,71	<1,0	0,14	2,15	1,12	5,6	2,4
P7	08/08/2012	148,66	13,36	49,08	<1,0	<0,01	4,21	0,53	91,3	0,7
P2	12/09/2012	24,39	0	0,87	<1,0	0,17	2,31	1,7	6,6	2,5
P4	12/09/2012	113,2	0	0,87	4,2	0,39	27,91	4,06	9,2	1,4
P7	12/09/2012	90,36	39,96	36,48	39,2	0,33	2,99	0,48	133,7	0,3
P2	17/10/2012	25,68	0	0,61	<1,0	0,16	2,13	1,22	4,4	2
P3	17/10/2012	79,07		0,89	<1,0	<0,01	12,75	2,67	14	1
P5	17/10/2012	90,31		0,33	<1,0	<0,01	4,25	0,73	40,5	0,6
P7	17/10/2012	93,92		26,95	28,7	<0,01	2,55	0,24	132	1,6
P2	14/11/2012	30,85	0	0,42	<1,0	0,15	2,11	1,95	5,6	2,300
P3	14/11/2012	101,56	0	1,7	<1,0	<0,01	6,32	1,22	23,3	0,500
P5	14/11/2012	106,48	0	0,42	<1,0	<0,01	4,21	0,97	40,4	0,700
P7	14/11/2012	179,79	5,1	56,48	130,8	0,01	5,47	0,49	158,8	0,500
P2	05/12/2012	42,59	0	0,16	<1,0	0,1	2,1	1,7	5,2	2,000
P3	05/12/2012	88,34	0	0,16	<1,0	<0,01	14,73	2,19	14	0,700
P5	05/12/2012	102,13	0	0,47	10	<0,01	4,63	2,19	43,6	0,500
P7	05/12/2012	185,15	5,72	38,13	109,7	<0,01	4,63	2,19	91,8	0,900

Local	Data	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		(mg,L^{-1})								
P2	16/01/2013	30,2	0	1,45	<1,0	0,09	2,68	1,46	5,5	2,200
P3	16/01/2013	97,06	0	0,98	<1,0	<0,01	15,34	1,46	14,8	1,500
P5	16/01/2013	94,62	0	0,98	<1,0	0,01	5,75	0,24	42,2	0,700
P7	16/01/2013	191,97	-	38,11	42,17	<0,01	2,30	4,13	296,80	2,40
P2	19/02/2013	26,90	0,00	0,70	<1,0	0,19	2,13	1,46	5,10	2,60
P3	20/02/2013	80,60	0,00	0,88	<1,0	0,65	11,10	1,70	15,70	0,80
P5	20/02/2013	83,48	1,48	0,39	<1,0	0,02	4,30	2,20	28,40	0,07
P7	19/02/2013	170,08	3,98	30,4	166,7	0,02	5,1	0,49	154,8	1,200
P2	21/03/2013	25,04	0	1	<1,0	0,17	1,7	1,82	5,7	2,9
P3	21/03/2013	79,05	0	1,58	<1,0	<0,01	140,25	1,7	12,6	1,1
P5	21/03/2013	94,26	0	3,06	<1,0	0,01	5,52	1,1	25,6	1,2
P7	21/03/2013	167,75	8,6	33,66	47,54	<0,01	5,1	0,72	159,6	1,1

Tabela 59 - Condutividade, pH, alcalinidade e sólidos totais dissolvidos medidos em amostras de água coletadas nos poços tubulares profundos, em 2012 e 2013.

Local	Data	Cond	pH	alcalinidade total	alcalinidade à fenolftal.	STD
		(µS.cm^{-1})		(mg,L^{-1} $CaCO_3$)		(mg.L^{-1})
P2	08/08/2012	42	6,45	20,39	0	27
P7	08/08/2012	769	9,38	144,11	11,13	500
P2	12/09/2012	44	7,55	19,99	0	29
P4	12/09/2012	183	7,59	92,78	0	119
P7	12/09/2012	697	9,34	139,67	32,80	453
P2	17/10/2012	46	6,42	21,05	0	30
P3	17/10/2012	134	7,83	64,81	0	87
P5	17/10/2012	178	8,85	74,35	*	116
P7	17/10/2012	618	9,36	129,72	26,37	420
P2	14/11/2012	45	6,35	25,29	0	29
P3	14/11/2012	141	8,38	83,25	0	92
P5	14/11/2012	164	8,25	87,28	0	107
P7	14/11/2012	862	8,68	155,87	4,25	560
P2	05/12/2012	46	6,13	34,91	0	30
P3	05/12/2012	132	8,01	0	0	86
P5	05/12/2012	169	9,41	86,19	1,24	110
P7	05/12/2012	899	8,24	161,3	4,77	584
P2	16/01/2013	53	8,26	24,76	0	34
P3	16/01/2013	187	8,29	79,56	0	121
P5	16/01/2013	144	8,32	77,59	0	93
P7	16/01/2013	133	8,35	157,34	23,83	86,00
P2	19/02/2013	44	8,38	22,00	0	29,00
P3	20/02/2013	129	8,40	66,10	0	67,00
P5	20/02/2013	164	8,43	70,90	0	107,00
P7	19/02/2013	858	8,46	146,1	3,32	557,7
P2	21/03/2013	43	8,49	20,53	0	28

Local	Data	Cond ($\mu S.cm^{-1}$)	pH	alcalinidade total (mg,L^{-1} $CaCO_3$)	alcalinidade à fenolftal. (mg,L^{-1} $CaCO_3$)	STD ($mg.L^{-1}$)
P3	21/03/2013	128	8,52	64,8	0	83
P5	21/03/2013	163	8,54	77,26	0	106
P7	21/03/2013	861	8,57	151,84	7,17	560

* dados inconsistentes.

A Tabela 60 à

Tabela 66 são continentes dos resultados analíticos por ICP-MS, obtidos nos poços tubulares profundos nas campanhas realizadas em 2012 e 2013.

Tabela 60 – Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S e Cl em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Local	Data	Li	Be	B	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
		PPB	PPB	PPB	PPM	PPM	PPB	PPM	PPB	PPM	PPM
P2	08/08/2012	1,7	<0.05	11	1,84	0,52	5	7014	87	<1	<1
P7	08/08/2012	125,6	0,14	715	171,09	0,19	10	5280	99	48	31
P2	12/09/2012	4,4	<0.05	<5	5,10	1,48	38	17299	164	<1	2
P4	12/09/2012	10,4	<0.05	15	10,01	4,24	16	14200	54	2	<1
P7	12/09/2012	96,1	<0.05	937	130,35	0,23	65	8739	118	36	22
P2	05/12/2012	4,0	<0.05	<5	4,87	1,41	3	19652	53	<1	<1
P3	05/12/2012	5,0	<0.05	<5	13,54	1,95	4	15504	60	<1	<1
P5	05/12/2012	3,9	<0.05	5	34,97	0,45	6	8135	16	4	<1
P7	05/12/2012	118,3	<0.05	612	196,17	0,39	6	5966	15	63	41
P2	16/01/2013	4,6	<0.05	<5	4,95	1,69	4	19256	18	<1	<1
P3	16/01/2013	5,1	<0.05	<5	11,63	2,01	<1	14717	46	<1	<1
P5	17/01/2013	4,1	<0.05	<5	33,48	0,44	3	8110	<10	3	<1
P2	20/02/2013	5,1	<0.05	<5	5,15	1,48	6	18938	41	<1	<1
P3	20/02/2013	5,7	<0.05	<5	17,47	1,57	7	13866	42	<1	<1
P5	20/02/2013	4,1	<0.05	<5	34,88	0,48	45	8040	<10	3	<1
P7	20/02/2013	115,9	<0.05	701	190,55	0,43	38	6622	11	66	40
P2	20/03/2013	4,5	<0.05	<5	4,54	1,36	<1	18076	31	<1	<1
P3	20/03/2013	5,2	<0.05	<5	11,92	2,02	8	14390	54	<1	<1
P5	20/03/2013	5,0	<0.05	<5	30,25	0,61	10	8765	11	3	<1
P7	20/03/2013	123,4	<0.05	686	187,21	0,43	10	6325	<10	66	40

Tabela 61 - K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co e Ni em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Local	Data	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
		PPM	PPM	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	08/08/2012	0,73	0,60	<1	<10	<0.2	0,5	1,63	<10	<0.02	<0.2
P7	08/08/2012	0,63	3,23	<1	<10	<0.2	0,9	13,02	<10	0,06	<0.2
P2	12/09/2012	2,21	1,81	<1	<10	0,3	5,9	2,95	56	<0.02	0,8
P4	12/09/2012	1,32	25,25	<1	<10	2,2	<0.5	1,78	<10	<0.02	<0.2
P7	12/09/2012	0,63	3,23	<1	<10	1,3	6,8	9,47	76	0,04	8,1
P2	05/12/2012	2,00	1,57	1	<10	0,2	0,8	1,50	<10	<0.02	<0.2
P3	05/12/2012	0,75	12,01	<1	<10	1,5	<0.5	2,26	<10	<0.02	<0.2
P5	05/12/2012	0,35	4,06	<1	<10	<0.2	<0.5	1,76	<10	<0.02	<0.2
P7	05/12/2012	0,64	4,75	<1	<10	0,4	<0.5	7,39	<10	<0.02	<0.2
P2	16/01/2013	2,23	1,89	<1	<10	<0.2	0,5	2,85	81	<0.02	0,3
P3	16/01/2013	0,80	11,79	<1	<10	1,3	<0.5	1,64	<10	<0.02	<0.2
P5	17/01/2013	0,37	4,27	<1	<10	<0.2	<0.5	1,79	34	<0.02	<0.2

Local	Data	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
		PPM	PPM	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	20/02/2013	2,21	1,76	<1	<10	<0.2	0,6	1,82	35	<0.02	<0.2
P3	20/02/2013	0,75	11,14	<1	<10	1,4	<0.5	6,71	<10	<0.02	<0.2
P5	20/02/2013	0,39	4,55	<1	<10	<0.2	<0.5	6,53	60	0,03	0,3
P7	20/02/2013	0,69	5,03	<1	<10	0,3	<0.5	12,14	55	0,03	0,3
P2	20/03/2013	2,05	1,45	<1	<10	<0.2	1,0	0,93	35	<0.02	0,2
P3	20/03/2013	0,79	11,32	<1	<10	1,5	0,7	4,61	<10	<0.02	<0.2
P5	20/03/2013	0,41	5,81	<1	<10	<0.2	0,8	3,59	<10	<0.02	<0.2
P7	20/03/2013	0,67	4,98	<1	<10	0,6	0,7	5,91	<10	<0.02	0,3

Tabela 62 - Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr e Y em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Local	Data	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	08/08/2012	1,8	15,3	<0.05	<0.05	<0.5	<0.5	<5	0,25	8,24	<0.01
P7	08/08/2012	1,3	434,3	<0.05	0,72	<0.5	<0.5	50	1,00	123,24	0,02
P2	12/09/2012	30,9	55,1	<0.05	<0.05	<0.5	<0.5	<5	0,74	25,50	0,02
P4	12/09/2012	9,7	44,9	<0.05	<0.05	3,1	6,0	<5	0,93	156,15	0,02
P7	12/09/2012	5,4	625,2	0,18	2,13	1,0	<0.5	38	1,11	128,28	0,05
P2	05/12/2012	4,4	26,7	<0.05	<0.05	<0.5	<0.5	<5	0,59	24,14	<0.01
P3	05/12/2012	0,2	35,3	<0.05	0,05	2,4	2,4	<5	0,46	194,75	<0.01
P5	05/12/2012	0,6	9,8	<0.05	0,19	**18,9**	<0.5	<5	0,68	183,58	<0.01
P7	05/12/2012	0,7	108,5	0,12	2,29	0,9	<0.5	60	1,05	229,39	<0.01
P2	16/01/2013	7,9	21,7	<0.05	<0.05	<0.5	<0.5	<5	0,69	26,71	<0.01
P3	16/01/2013	0,3	36,6	<0.05	<0.05	1,8	3,1	<5	0,41	176,25	0,01
P5	17/01/2013	1,2	9,2	<0.05	0,20	**13,2**	<0.5	<5	0,75	188,71	<0.01
P2	20/02/2013	3,9	17,3	<0.05	<0.05	<0.5	<0.5	<5	0,68	25,05	<0.01
P3	20/02/2013	0,6	23,2	<0.05	0,07	3,4	2,2	<5	0,65	220,72	<0.01
P5	20/02/2013	2,5	16,2	<0.05	0,16	**14,6**	<0.5	<5	0,73	199,58	0,06
P7	20/02/2013	1,2	66,8	0,15	2,64	1,0	<0.5	50	1,16	262,38	0,05
P2	20/03/2013	4,1	9,2	<0.05	<0.05	<0.5	<0.5	<5	0,65	23,71	<0.01
P3	20/03/2013	0,8	39,2	<0.05	<0.05	1,6	1,9	<5	0,37	164,61	<0.01
P5	20/03/2013	1,4	13,3	<0.05	0,21	**11,3**	<0.5	<5	0,69	176,48	<0.01
P7	20/03/2013	1,1	130,9	0,14	2,49	0,6	<0.5	49	1,12	251,31	<0.01

Observação: Os valores em negrito indicam concentrações superiores aos limites para potabilidade humana conforme a Resolução 396 do CONAMA (2008)

Tabela 63 - Zr, Nb, Mo, Ru,Rh, Pd, Ag, Cd, In e Sn em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Local	Data	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	08/08/2012	<0.02	<0.01	0,4	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05
P7	08/08/2012	<0.02	<0.01	6,8	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05

Local	Data	Zr	Nb	Mo	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	12/09/2012	0,06	<0.01	3,9	<0.05	<0.01	<0.2	0,05	0,32	<0.01	0,40
P4	12/09/2012	0,05	<0.01	0,9	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	0,07	<0.01	<0.05
P7	12/09/2012	0,21	<0.01	9,4	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	0,25	<0.01	0,24
P2	05/12/2012	<0.02	<0.01	<0.1	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05
P3	05/12/2012	<0.02	<0.01	0,9	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05
P5	05/12/2012	<0.02	<0.01	2,0	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05
P7	05/12/2012	0,04	<0.01	6,1	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	0,07
P2	16/01/2013	<0.02	<0.01	<0.1	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	0,38
P3	16/01/2013	<0.02	<0.01	0,6	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05
P5	17/01/2013	<0.02	<0.01	2,3	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05
P2	20/02/2013	<0.02	<0.01	0,3	<0.05	<0.01	<0.2	0,29	<0.05	<0.01	<0.05
P3	20/02/2013	<0.02	<0.01	1,2	<0.05	<0.01	<0.2	0,87	<0.05	<0.01	0,06
P5	20/02/2013	<0.02	<0.01	1,9	<0.05	<0.01	<0.2	0,34	<0.05	<0.01	<0.05
P7	20/02/2013	0,04	<0.01	7,2	<0.05	<0.01	<0.2	1,20	<0.05	<0.01	0,15
P2	20/03/2013	<0.02	<0.01	<0.1	<0.05	<0.01	<0.2	0,12	<0.05	<0.01	<0.05
P3	20/03/2013	0,06	<0.01	0,7	<0.05	<0.01	<0.2	<0.05	<0.05	<0.01	<0.05
P5	20/03/2013	<0.02	<0.01	2,1	<0.05	<0.01	<0.2	0,16	<0.05	<0.01	<0.05
P7	20/03/2013	0,02	<0.01	6,3	<0.05	<0.01	<0.2	0,11	<0.05	<0.01	<0.05

Tabela 64 – Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm e Eu em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Local	Data	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	08/08/2012	<0.05	<0.05	<0.01	14,48	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P7	08/08/2012	0,57	<0.05	0,06	28,22	<0.01	0,03	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P2	12/09/2012	0,12	0,05	<0.01	47,76	0,04	0,08	<0.01	0,04	<0.02	<0.01
P4	12/09/2012	0,22	<0.05	0,02	196,38	0,02	0,05	<0.01	0,03	<0.02	<0.01
P7	12/09/2012	1,80	<0.05	0,11	34,19	0,13	0,29	0,03	0,12	0,02	<0.01
P2	05/12/2012	<0.05	<0.05	<0.01	41,68	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P3	05/12/2012	<0.05	<0.05	<0.01	158,76	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P5	05/12/2012	0,06	<0.05	0,03	188,03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P7	05/12/2012	0,13	<0.05	0,07	18,49	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P2	16/01/2013	<0.05	<0.05	<0.01	47,01	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P3	16/01/2013	<0.05	<0.05	<0.01	136,01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P5	17/01/2013	<0.05	<0.05	<0.01	200,53	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P2	20/02/2013	<0.05	<0.05	<0.01	46,45	<0.01	0,01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P3	20/02/2013	<0.05	<0.05	<0.01	186,00	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P5	20/02/2013	0,11	<0.05	<0.01	210,55	0,08	0,15	<0.01	0,07	0,02	<0.01
P7	20/02/2013	0,11	0,10	0,05	20,56	0,06	0,11	0,03	0,05	<0.02	0,01
P2	20/03/2013	<0.05	<0.05	<0.01	43,02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P3	20/03/2013	<0.05	<0.05	<0.01	125,78	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01
P5	20/03/2013	<0.05	<0.05	<0.01	205,27	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01

Local	Data	Sb	Te	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P7	20/03/2013	<0.05	<0.05	0,02	17,49	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01

Tabela 65 – Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf e Ta em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Local	Data	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	08/08/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P7	08/08/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P2	12/09/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P4	12/09/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P7	12/09/2012	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P2	05/12/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P3	05/12/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P5	05/12/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P7	05/12/2012	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P2	16/01/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P3	16/01/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P5	17/01/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P2	20/02/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P3	20/02/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	<0.02	<0.02
P5	20/02/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	<0.02	<0.02
P7	20/02/2013	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	<0.02	<0.02
P2	20/03/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P3	20/03/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P5	20/03/2013	0,01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02
P7	20/03/2013	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02

Tabela 66 - W, Re, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th e U em solução em poços profundos, medidos por ICP-MS nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Local	Data	W	Re	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
		PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB	PPB
P2	08/08/2012	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,2	<0.05	<0.05	<0.02
P7	08/08/2012	2,20	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	1,2	<0.05	<0.05	0,04
P2	12/09/2012	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	0,5	<0.01	7,1	0,11	0,21	<0.02
P4	12/09/2012	<0.02	0,03	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,9	<0.05	<0.05	2,21
P7	12/09/2012	1,97	<0.01	<0.01	<0.05	0,7	<0.01	**22,0**	<0.05	0,06	0,21
P2	05/12/2012	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	1,9	<0.05	<0.05	<0.02
P3	05/12/2012	<0.02	0,01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,2	<0.05	<0.05	0,57
P5	05/12/2012	0,29	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,2	<0.05	<0.05	<0.02
P7	05/12/2012	2,36	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,7	<0.05	<0.05	0,09
P2	16/01/2013	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,9	<0.05	<0.05	<0.02
P3	16/01/2013	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,1	<0.05	<0.05	0,40
P5	17/01/2013	0,26	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,4	<0.05	<0.05	<0.02
P2	20/02/2013	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	1,4	<0.05	<0.05	<0.02
P3	20/02/2013	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,9	<0.05	<0.05	0,60
P5	20/02/2013	0,24	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	**15,3**	<0.05	<0.05	<0.02
P7	20/02/2013	2,29	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	6,4	<0.05	0,20	0,10
P2	20/03/2013	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,4	<0.05	<0.05	<0.02
P3	20/03/2013	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,4	<0.05	<0.05	0,43
P5	20/03/2013	0,29	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,4	<0.05	<0.05	<0.02
P7	20/03/2013	2,13	<0.01	<0.01	<0.05	<0.1	<0.01	0,2	<0.05	<0.05	0,06

Observação: Os valores em negrito indicam concentrações superiores aos limites para potabilidade humana conforme a Resolução 396 do CONAMA (2008)

Alguns analitos foram determinados em algumas amostras através de duas metodologias e em dois laboratórios diferentes, como é o caso dos elementos alcalinos sódio, potássio, cálcio e magnésio. Os resultados obtidos não foram idênticos, porém apresentaram coerência, o que pode ser utilizado como validação dos resultados para os respectivos analitos.

3.3.2 Interpretação dos resultados

3.3.2.1 Aquífero freático

Medições e coletas singulares

As informações que embasaram o conhecimento sobre as características do freático na área de influência direta da UHE Mauá foram obtidas no conjunto de piezômetros das baterias BP1 e BP2. Os resultados obtidos indicaram claramente que o substrato na área de interesse é bastante anisotrópico no que se refere à água subterrânea.

A expectativa de que as propriedades hidráulicas do manto de alteração ou das rochas subjacentes seriam desfavoráveis ao acúmulo de água subterrânea se verificou pelo fato de que os poços implantados em maio de 2010 para o monitoramento do nível e da qualidade da água do aquífero freático, apesar da profundidade de 20 m, apresentaram-se secos até meados de novembro de 2010.

A variação dos níveis de água (Figura 126 e Figura 127) observados entre poços adjacentes, distanciados de apenas 12,5 m entre eles, atesta o caráter heterogêneo das propriedades hidráulicas do aquífero freático nas baterias BP1 e BP2. Notem-se as variações do nível da água entre os poços P10, P11, P12 e P13 na bateria BP1 e entre os poços P2, P3 e P4 e entre os poços P6, P7 e P8, na bateria BP2.

Na BP1, a Figura 126 indica que a influência do reservatório se manifesta em termos de nível da água até o P7, ficando do P8 a P13 acima de uma influência mais direta. Em outras palavras, a influência vai até cerca de 70 metros da margem da área alagada. No caso da BP2 a influência aparenta ser da mesma ordem de 70 metros.

A bateria BP2 (Figura 127) apresenta uma maior anisotropia nas condições de fluxo de água subterrânea.

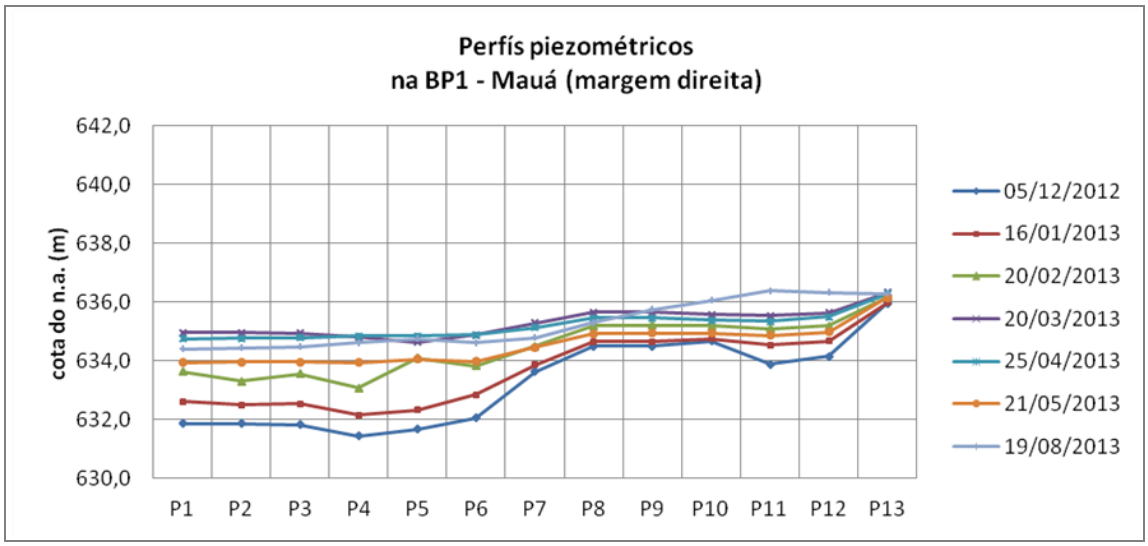

Figura 126 – Perfis piezométricos medidos em dez campanhas na BP1, situada na margem direita do rio Tibagi, no município de Telêmaco Borba. A figura foi construída com os dados constantes da Tabela 44.

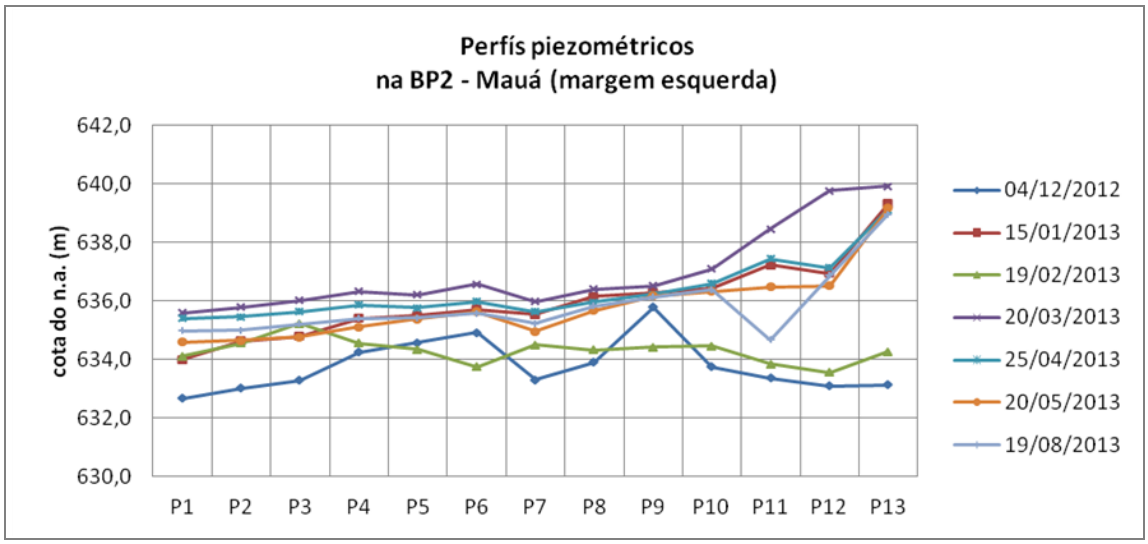

Figura 127– Perfis piezométricos medidos nas oito últimas campanhas na BP2, situada na margem esquerda do rio Tibagi no município de Ortigueira. A figura foi construída com os dados constantes da Tabela 45.

O padrão de fluxo indica, como seria de se esperar, a tendência geral de uma elevação no nível do freático entre P1 e P13, no entanto ocorrem no mínimo três importantes descontinuidades, caracterizando um padrão de fluxo transversal à linha da bateria de piezômetros. O perfil da BP2 é cruzado por duas ou três faixas de maior facilidade para o fluxo de água subterrânea, caracterizadas por abaixamentos sensíveis no nível piezométrico do aquífero livre, perto do P3, P7 e do P10.

O perfil da condutividade (Figura 128) evidencia descontinuidades no perfil da BP1. Nas últimas campanhas a variação de medidas de cada ponto foi pequena, sendo as maiores variações anotadas no P1 e P2. No P13 a condutividade praticamente não variou.

Na BP2, o comportamento da condutividade foi bem mais regular do que as cotas do nível da água (Figura 129). Os valores mais elevados se manifestaram no P10, provavelmente por influência de contaminação por sal fornecido no local ao gado que permaneceu na área por grande parte do tempo das medidas. Saliente-se que ainda em agosto existia sal em um coxo coberto nas vizinhanças da bateria de piezômetros.

Quanto ao pH, nas últimas campanhas foi mantida a maior regularidade de comportamento no perfil BP2 em relação ao BP1 (Figura 129 e Figura 131). Os valores mais baixos foram medidos em P4, P10 e P11, da BP1, seguindo o comportamento da condutividade.

O comportamento da condutividade na BP1 indica uma semelhança nas águas acessadas pelos pontos P4, P10 e P13. Por outro lado, nesta bateria a água acessada pelos piezômetros P3, P5, P6 e P7 tem características físico-químicas comuns.

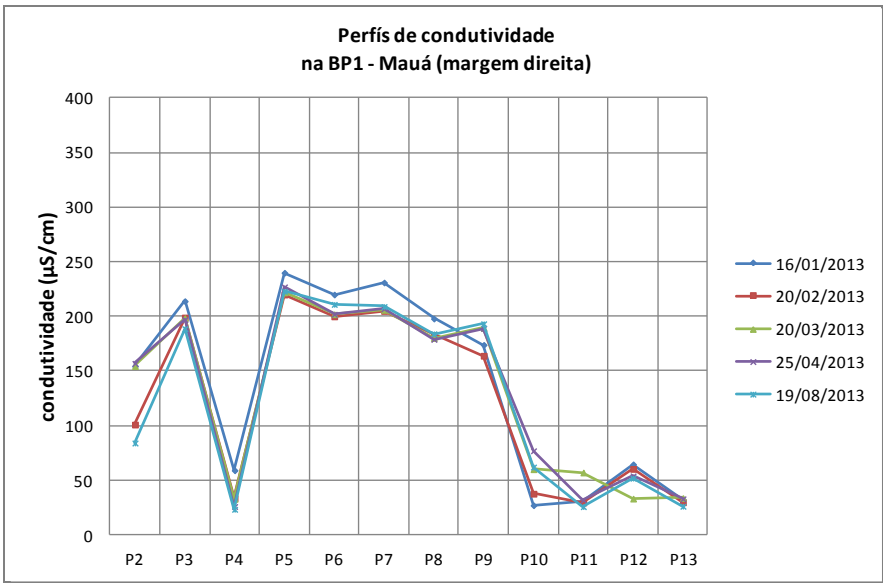

Figura 128– Variação na condutividade da água medida nas amostras coletadas na BP1 em 2013, nos piezômetros P1 a P13. Os dados apresentados na figura constam da Tabela 46.

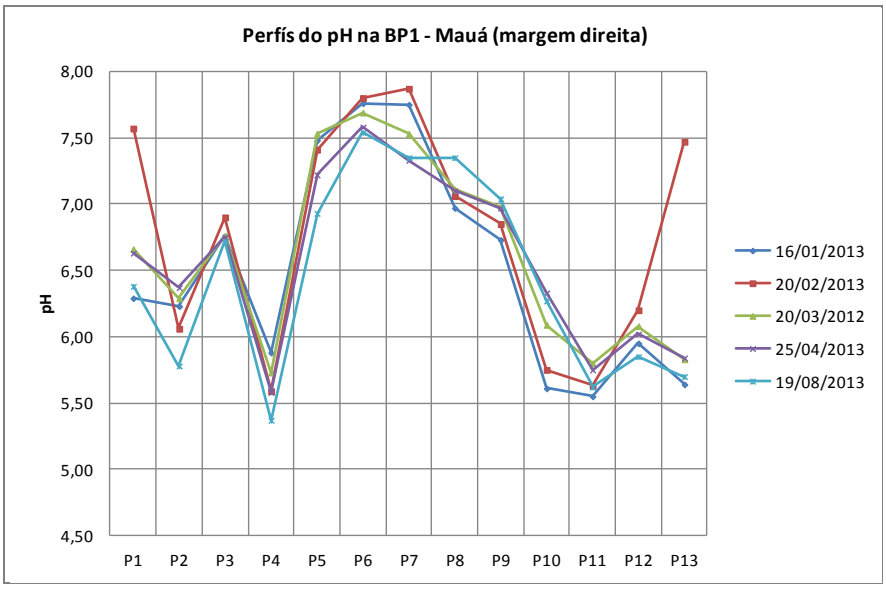

Figura 129– Valores de pH ao longo da secção do terreno coberta pela bateria de piezômetros BP1, Os dados usados nos gráficos constam da Tabela 29

Os dados apresentados nos gráficos sugerem que algumas variáveis podem conter dados espúrios, o que é comum em se tratando de dados obtidos majoritariamente no campo. Este aspecto reforça a ideia de que é importante se poder contar com séries de dados de monitoramento, para assim poder evitar interpretações errôneas. Nestas condições, se pode reputar como suspeitos os dados de pH da campanha de fevereiro de 2013 para os pontos P1 e P9 da BP1. Também a condutividade das amostras coletadas em 19/02/2013 no ponto P7 e em 25/04/2013 no P12 devem ser consideradas com cautela.

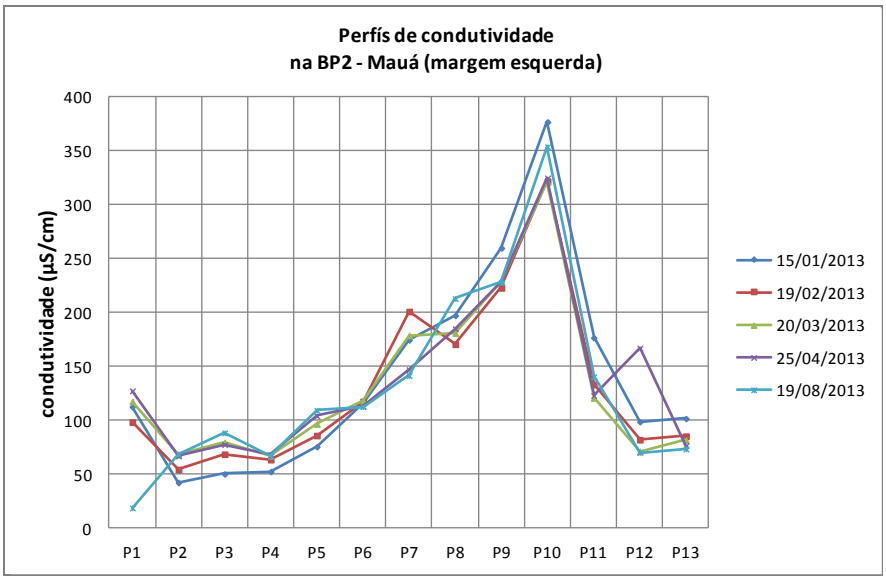

Figura 130– Variação na condutividade da água medida em amostras coletadas na BP2 nas campanhas realizadas em 2008, nos piezômetros P1 a P13. Os dados apresentados na figura constam da Tabela 47.

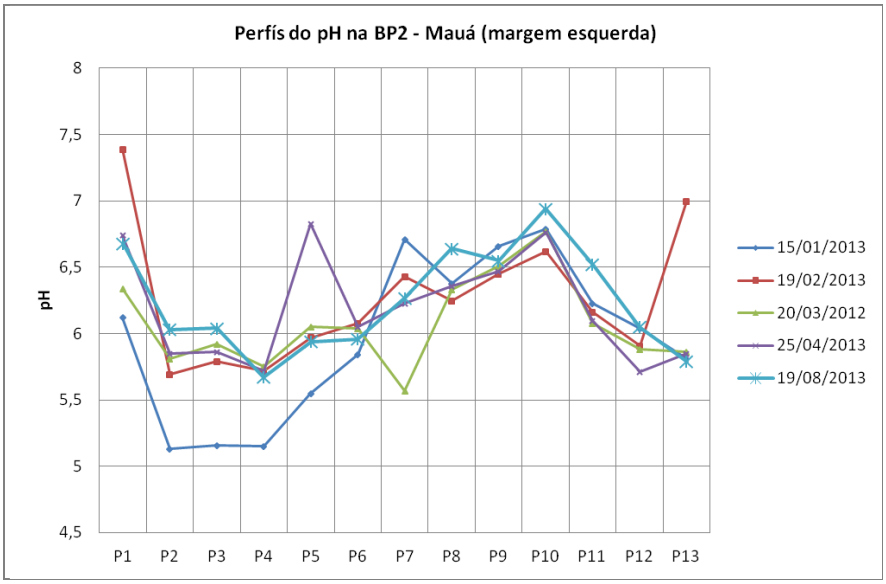

Figura 131– Valores de pH ao longo da secção do terreno coberta pelos pela bateria de piezômetros BP2.

Um panorama geral do quimismo das águas do freático nos dois sítios estudados é possibilitado pela análise da distribuição relativa dos macro-constituintes iônicos, por meio de dois diagramas de Durov. Os valores correspondentes aos piezômetros da BP1 compõem a Figura 132 e os da BP2 estão representados na Figura 133. Para facilitar visualização e interpretação dos dados, os pontos individuais não são locados individualmente, porém agrupados em PRICs (polígonos de relações interiônicas) envolventes da nuvem de pontos correspondente a cada piezômetro. Cada lado do polígono é constituído pelas máximas e mínimas relações entre as variáveis que se situam no lado oposto da variável que está em cada vértice (BITTENCOURT, 1993).

Em cada um dos diagramas correspondentes a BP1 e BP2, estão locados , como referência, os resultados de uma análise da água coletada durante a campanha de maio de 2013 no reservatório, em ponto situado a cerca de um metro da borda na linha da bateria correspondente. Também como referências da composição do reservatório estão nos diagramas locados os polígonos envolventes de um conjunto de análises de água coletadas em uma campanha no reservatório em uma seção em frente à face de montante da barragem da UHE Mauá.

As análises de cada piezômetro estão separadas em dois grupos, um englobando as análises do período 2011-2013 e outro de 2013.

Observa-se que, enquanto em termos de cátions o reservatório possui águas caracteristicamente mistas, no BP1-P1 as águas são cálcicas a mistas, em BP1-P13 são sódicas a mistas (Figura 132). Todas são bicarbonatadas.

Na Figura 132 , que representa a concentração das águas, se evidencia que as águas de BP1-P1 são mais concentradas do que o reservatório, notadamente em 2013, enquanto em BP1-P13 são equivalentes ou mais diluídas, refletindo um substrato mais pobre em constituintes solúveis. Seguindo um comportamento considerado normal, a variação entre a composição das águas nos dois períodos foi menor em BP1-P13, pela não influência direta da água do reservatório neste último caso.

No que se refere ao BP2 (Figura 133), se observa uma maior homogeneidade na composição entre a água dos dois piezômetros, ambas de composição variando entre bicarbonatada cálcica a bicarbonatada mista. A água de P1 é mais cálcica e a de P13 tem tendência mais para mista.

Observa-se que em BP2-P13 houve uma variação relativamente grande na concentração de material dissolvido, o que não se repetiu em 2013.

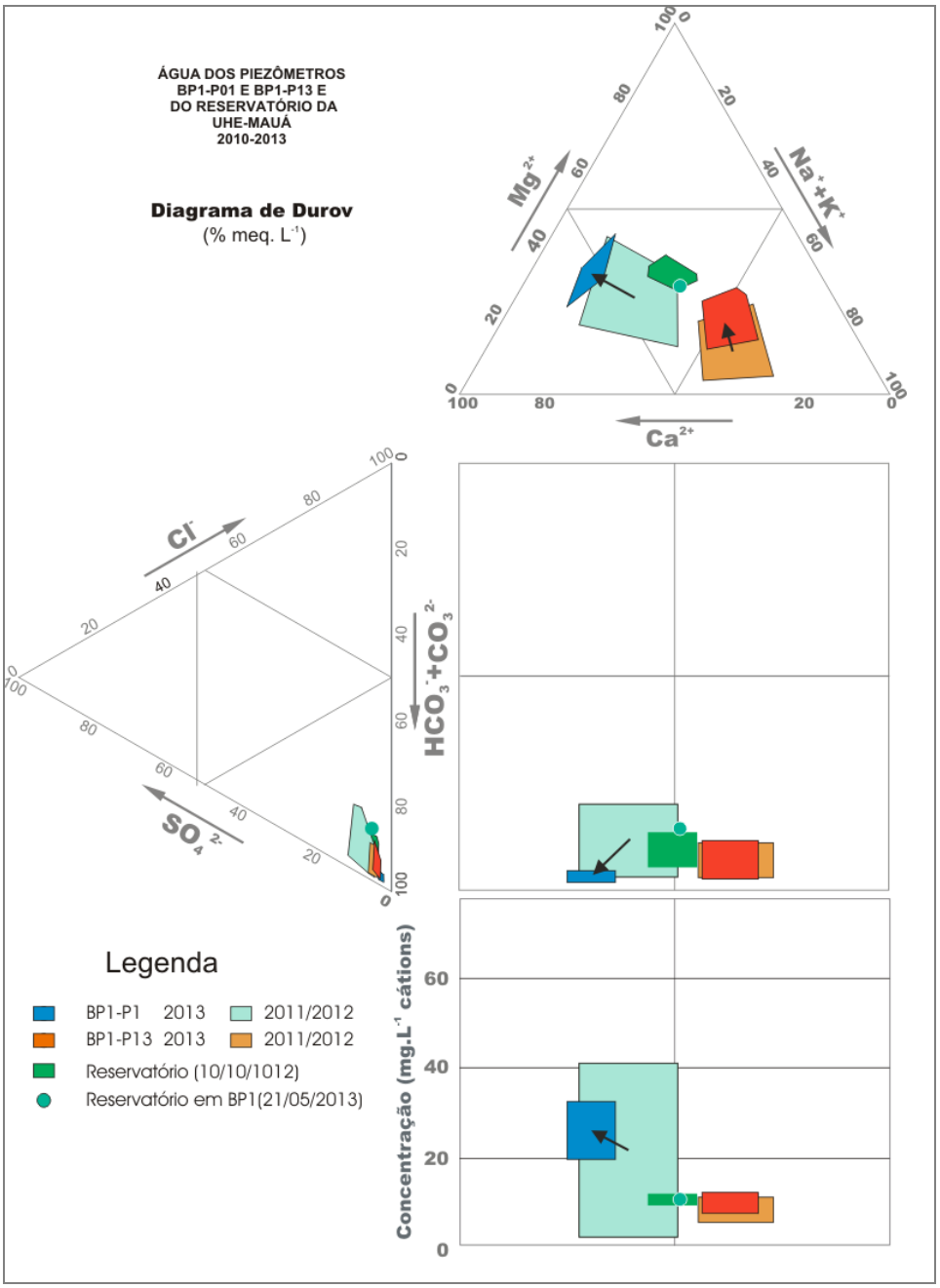

Figura 132 – Diagrama de Durov modificado representando os PRI (polígonos de relações inter-iônicas) dos piezômetros da BP1 e do Reservatório no período 2012-2013.

Em P1, os últimos dados, correspondentes a 2013, quando a influência do reservatório já se fez sentir no nível da água, indicam concentrações maiores de material dissolvido. Como a água do reservatório é mais diluída do que a água do aquífero freático, a elevação na concentração de sólidos dissolvidos se deve a modificações nas condições de fixação dos constituintes iônicos no arcabouço mineral do aquífero freático. Fator que seguramente foi alterado com a passagem do ambiente insaturado para ambiente saturado, pela ascensão do nível freático foi o potencial de oxidação. A

modificação na composição do freático está evidenciada no perfil temporal de concentração individual dos constituintes dissolvidos, que será discutida neste texto mais adiante.

Na BP2 a composição da água do reservatório na linha dos piezômetros, a cerca de um metro da borda mostra uma água mais rica em sódio e cloreto do que o conjunto de análises, a diversas profundidades, do reservatório próximo à face de montante da barragem. Este fato pode ter sido provocado por condições estritamente locais, pois o ponto de coleta singular estava próximo à margem.

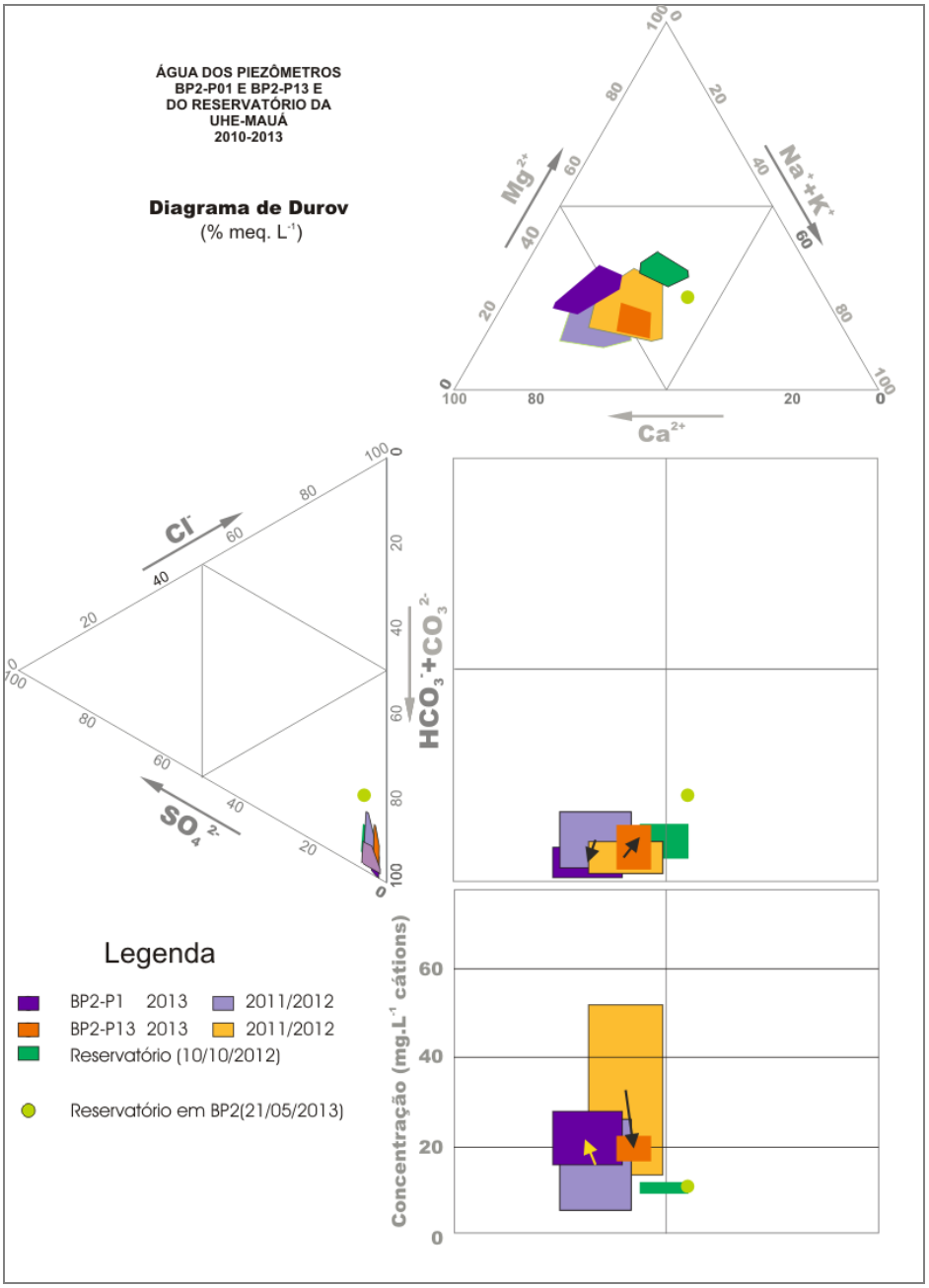

Figura 133 – Diagrama de Durov modificado representando os PRI (polígonos de relações inter-iônicas) dos piezômetros da BP2 no período 2012-2013 e do Reservatório.

Na bateria BP2 o BP2-P01 apresentou a maior variação e a BP2-P13 a menor. Este aspecto poderia, em princípio, ser atribuído à influência do nível do reservatório, nos últimos meses do monitoramento.

A influência do reservatório nas águas dos piezômetros se dá, pela alteração do nível do freático e não por mistura com a água do reservatório, em razão da baixa condutividade hidráulica do aquífero. Assim sendo, no clima reinante da região, na zona de interface entre o freático e o reservatório o fluxo dominante, mesmo durante o enchimento do reservatório da UHE Mauá é do aquífero em direção ao reservatório. Houve uma redução na velocidade de fluxo e uma redistribuição interna de fluxos no seio do aquífero. Em parte, este processo está evidenciado pelo aumento na salinidade da água dos piezômetros P1 em 2013, enquanto a salinidade do reservatório é mais baixa (Figura 132 e Figura 133). Se houvesse uma mistura simples entre a água do freático e a água do reservatório, a solução resultante teria um acréscimo na concentração de material dissolvido, sendo que isto não ocorre.

Um volume muito interessante de informações sobre os aquíferos monitorados é fornecido pelas análises de elementos por ICP-MS, especialmente aqueles relacionados aos constituintes elementares minoritários.

Tabela 67– Quadro de identificação das datas de coletas de amostras e os números das representações gráficas das figuras

Data da amostragem	Nº BP1-P01	Nº BP1-P13	Nº BP2-P01	Nº BP2-P13	Observação
02/2011	1	17	33	49	
03/2011	2	18	34	50	
05/2011	3	19	35	51	
08/2011	4	20	36	52	
10/2011	5	21	37	53	
03/2012	6	22	38	54	
07/2012	7	23	39	55	
08/2012	8	24	40	56	
09/2012	9	25	41	57	
10/2012	10	26	42	58	Início dos reflexos do enchimento do reservatório no nível de água
11/2012	11	27	43	59	
12/2012	12	28	44	60	
01/2013	13	29	45	61	
02/2013	14	30	46	62	
03/2013	15	31	47	63	

Para maior clareza das representações gráficas, utilizou-se de uma numeração sequencial para os valores de diferentes campanhas, correspondentes às análises de elementos individuais representados nos gráficos (Tabela 67).

O controle da presença dos elementos com baixas concentrações na água não se dá por equilíbrios químicos baseados na estabilidade de minerais próprios destes elementos. Devido às baixas concentrações a saturação do mineral não ocorre e eles se fixam em substâncias minerais, ou mesmo compostos orgânicos formados pelos elementos macro-constituintes. A liberação destes constituintes minoritários para a solução depende da solubilização dos hospedeiros ou de alterações no ambiente físico-químico que promovam trocas iônicas ou o deslocamento do referido elemento minoritário da superfície da fase sólida para o corpo hídrico.

A Figura 134 representa a variação na concentração do elemento alcalino lítio em BP1-P1, BP1-P13, BP2-P1 e BP2-P13, em 15 campanhas. Fica marcado um aumento na concentração do elemento coincidindo com o enchimento do reservatório. Tal comportamento não se repetiu no BP2-P1, o que afasta a possibilidade do elemento provir do lago. Notar que em BP1-P2 as últimas medidas apresentam baixos teores. Fica também evidenciada uma homogeneidade maior na BP2. Nos gráficos abaixo, o eixo x corresponde a eventos de amostragens nas baterias de piezômetros, da seguinte forma: números de 1 a 15, correspondem às coletas em BP1-P1; de 17 a 31, BP1-P13; de 33 a 47, a BP2-P1 e de 49 a 63, a BP2-P13.

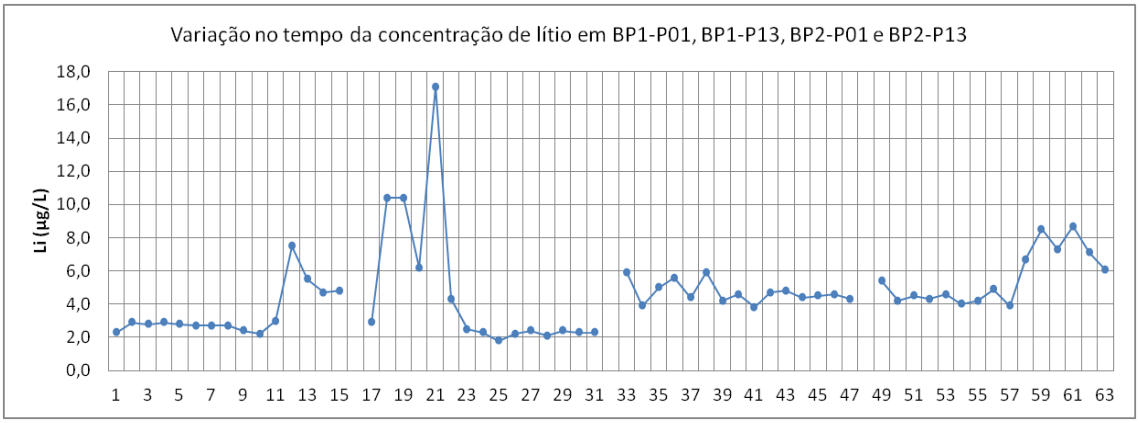

Figura 134- Variação da concentração de lítio em 2011/2012 nos piezômetros.

O sódio em BP1-P1 (Figura 135) tem o mesmo comportamento do lítio, o que também acontece no BP2-P1 sugerindo uma origem comum, o que não é observado no BP1-P13 e BP2-P13.

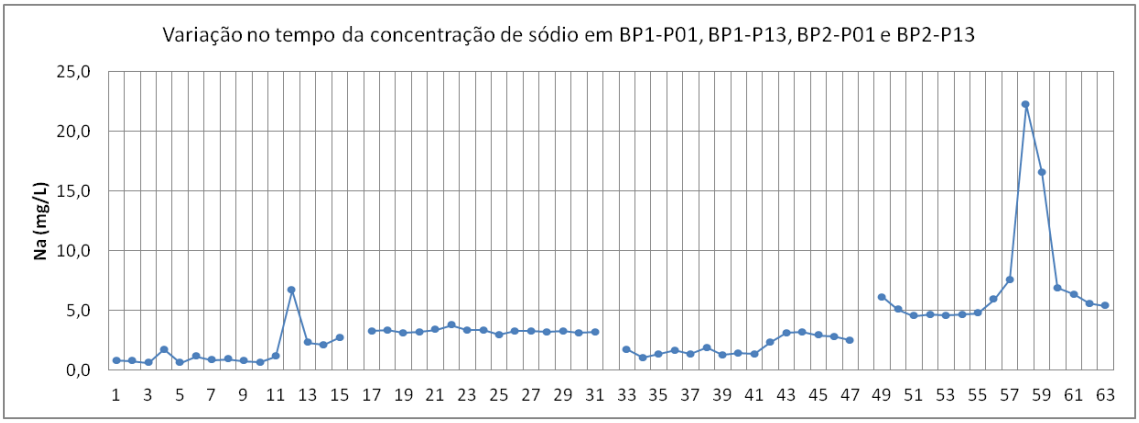

Figura 135- Variação da concentração de sódio em 2011/2012 nos piezômetros.

O comportamento do potássio se assemelha ao comportamento do sódio e do lítio em alguns casos (Figura 136).

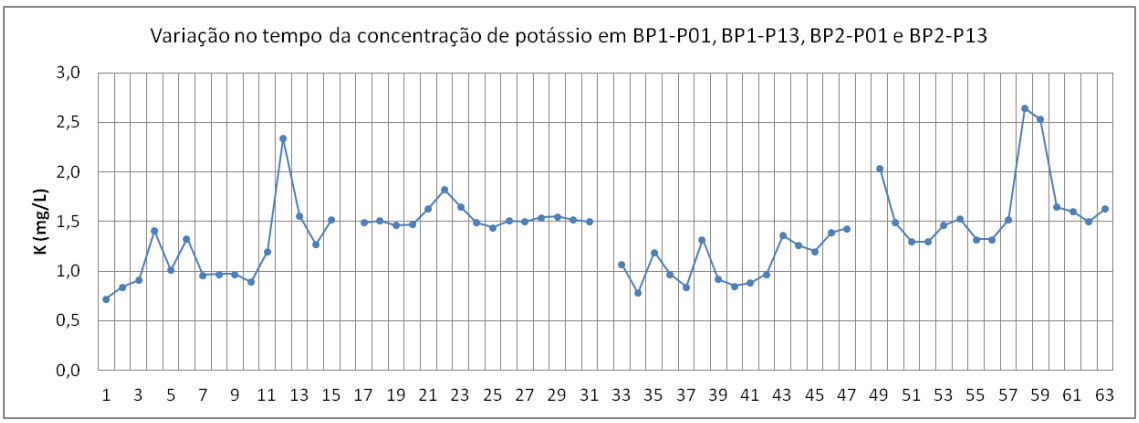

Figura 136- Variação da concentração de potássio em 2011/2012 nos piezômetros.

O rubídio (Figura 137), outro elemento alcalino tem algumas características quanto aos teores, semelhantes aos anteriores. Enquanto o lítio na BP1 tem um nível de concentração mais elevado em BP2, o rubídio está mais concentrado na BP1.

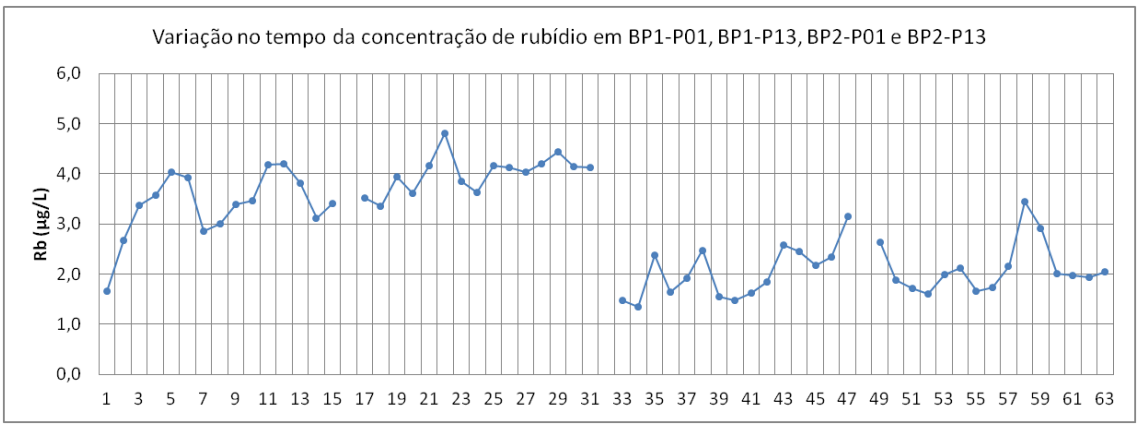

Figura 137- Variação da concentração de rubídio em 2011/2012 nos piezômetros.

Os elementos alcalino-terrosos magnésio (Figura 138), cálcio (Figura 139), estrôncio (Figura 140) e bário (Figura 141) têm um comportamento semelhante aos alcalinos em BP1-P1. No BP1-P2 divergem bastante do comportamento do lítio, porém se assemelham ao sódio. Os alcalino-terrosos em rochas sedimentares se associam com frequência a carbonatos, comum em rochas de origem subaquática marinha ou mesmo continental.

Igualmente comum é o alojamento de elementos minoritários alcalinos e alcalino-terrosos na estrutura de filossilicatos, dentre os quais minerais de argila do tipo das ilitas e montmorillonitas, tanto entre as camadas estruturais da estrutura dos minerais como substituindo magnésio ou cálcio, ou ainda adsorvidos na superfície da fração argilosa.

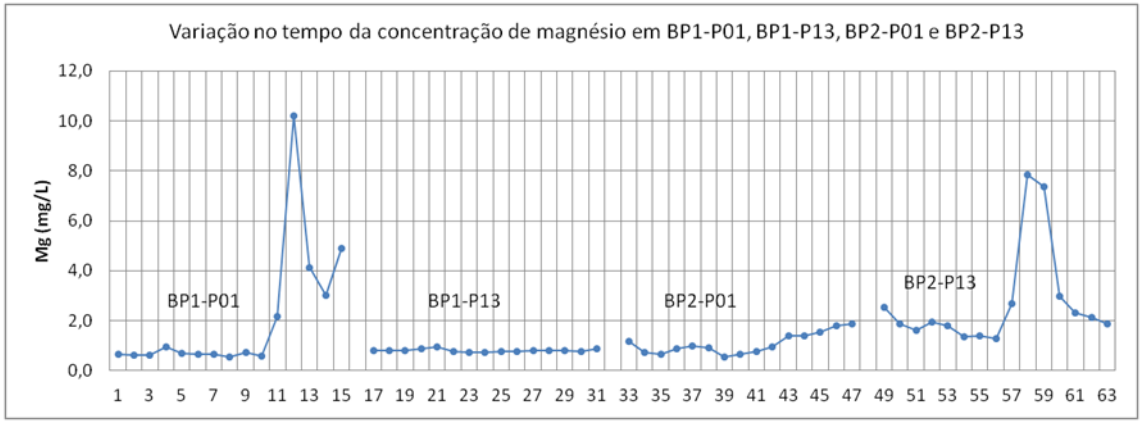

Figura 138- Variação da concentração de magnésio em 2011/2012 nos piezômetros.

Com exceção do lítio, todos os outros alcalinos e alcalino-terrosos apresentaram um aumento na concentração no BP2-P13 desde a campanha de setembro com um pico na campanha de outubro de 2012, com valores decrescentes desde então.

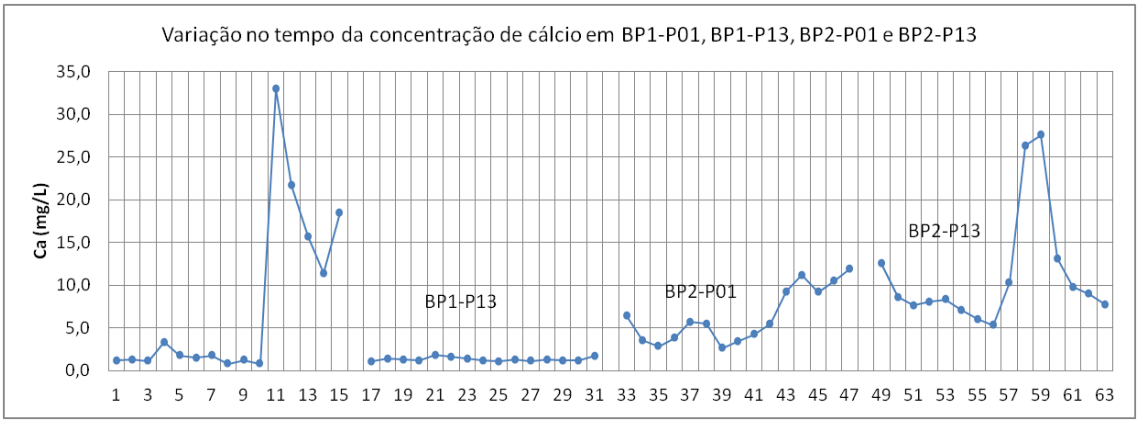

Figura 139- Variação da concentração de cálcio em 2011/2012 nos piezômetros.

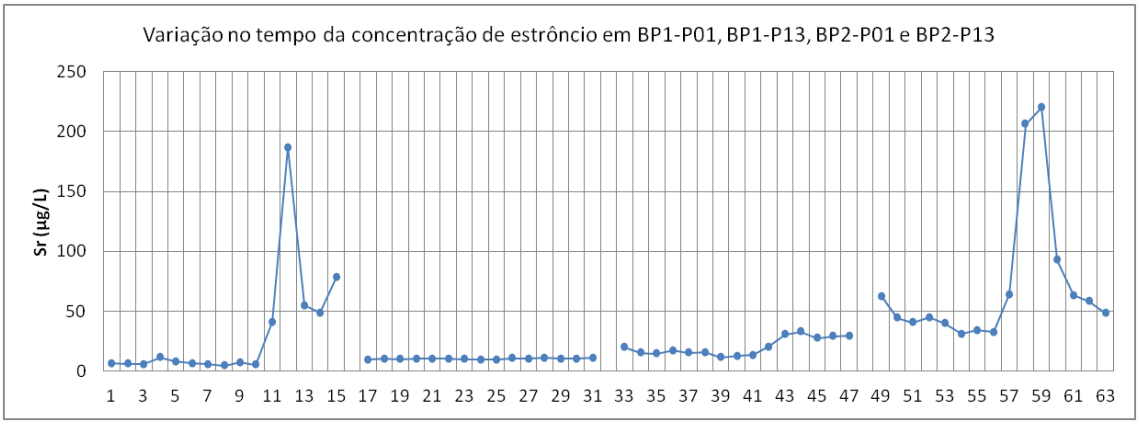

Figura 140 - Variação da concentração de estrôncio em 2011/2012 nos piezômetros.

O manganês (Figura 142) apresentou em BP1 um pico de concentração em dezembro de 2012. Este elemento também se associa a carbonatos, porém, em ambientes oxidantes ele se deposita sob a forma de óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos. Uma característica destes minerais é sua capacidade de adsorção de íons metálicos. Assim sendo, a elevação da cota do freático acarreta a transformação de ambiente eluvial (aerado e oxidante) em ambiente aqual (saturado de água e redutor). O manganês em condições oxidantes transformadas em redutoras se solubiliza, passando para a água e libertando outros metais associados aos minerais que se solubilizaram.

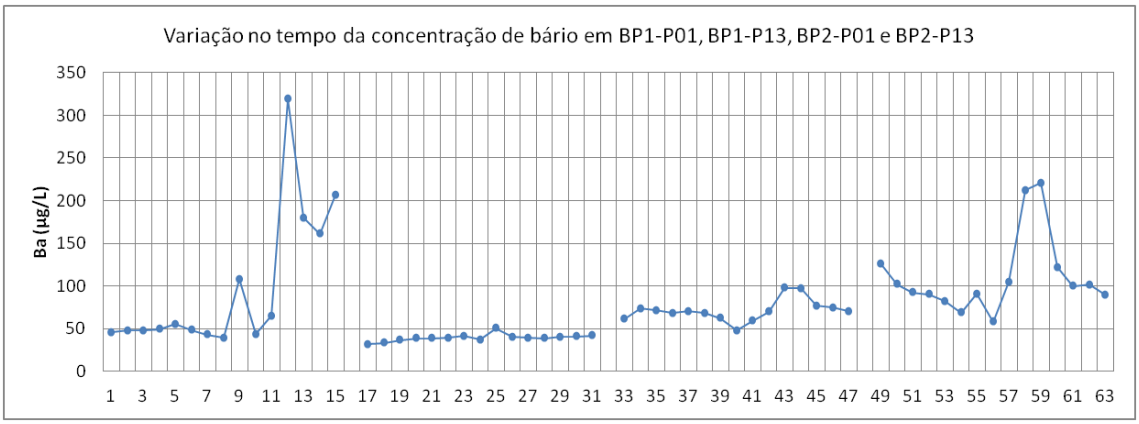

Figura 141 - Variação da concentração de bário em 2011/2012 nos piezômetros.

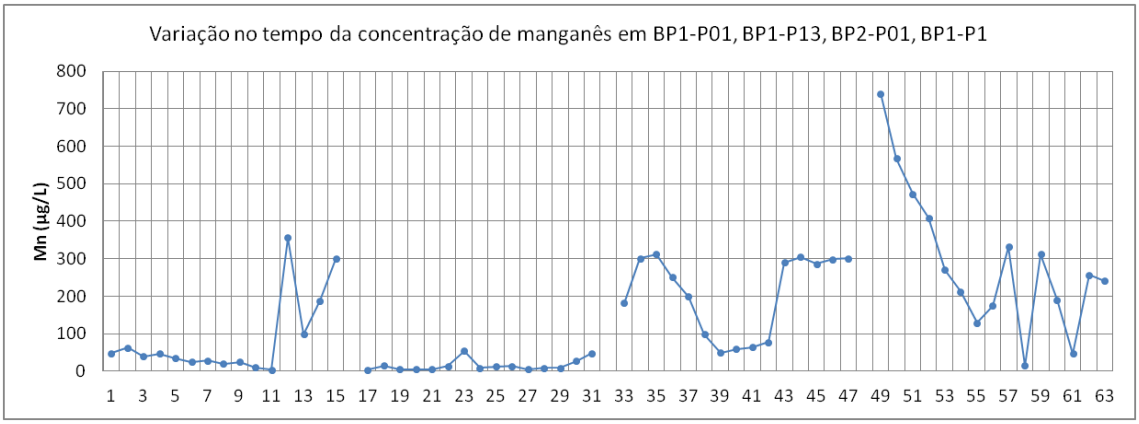

Figura 142 - Variação da concentração em manganês de 2011 a 2012 nos piezômetros.

O cobalto (Figura 143) é um elemento que caracteriza bem os aquíferos livres acessados por cada bateria de piezômetros, sendo que na BP1 as concentrações variando mais regularmente, enquanto na BP2 a variação é bem maior e muitos valores são relativamente elevados, sem no entanto, estarem desconformes com parâmetros sanitários ambientais.

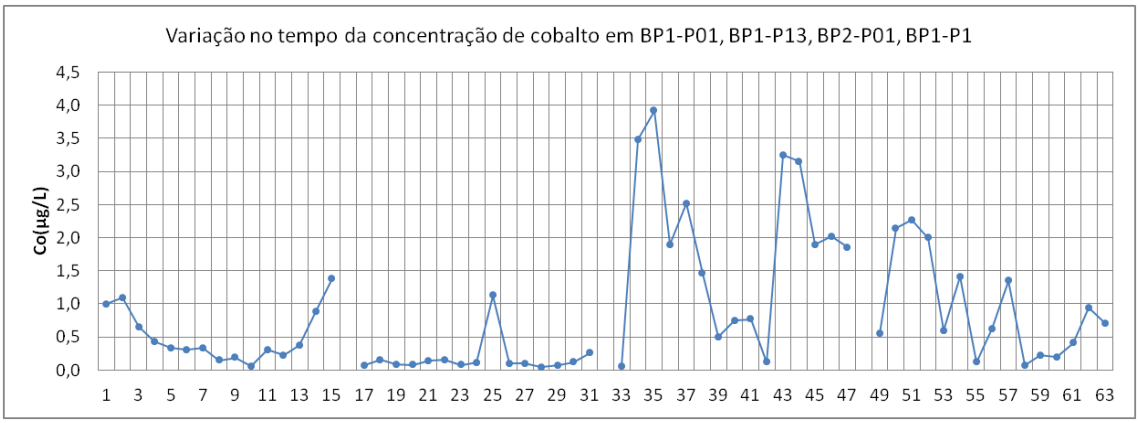

Figura 143 - Variação da concentração de cobalto em 2011/ 2012 nos piezômetros.

O chumbo (Figura 144) é um elemento que deve ser especialmente considerado no contexto geoambiental sob análise. Este monitoramento identificou a presença sistemática de chumbo na água subterrânea de aquíferos paleozoicos seja no freático como também em unidades aquíferas que alimentam poços profundos. Em todos os piezômetros, porém especialmente no BP1-P1, foram detectadas concentrações de chumbo superiores ao recomendado para águas potáveis, que é de 10 µg L^{-1}. Note-se que a presença de chumbo acima da recomendação legal nas águas (BRASIL , 2008) se manifesta em corpos de água naturais não influenciados pelo reservatório, como é o caso do poço P5 do Viveiro Ambiental da Klabin.

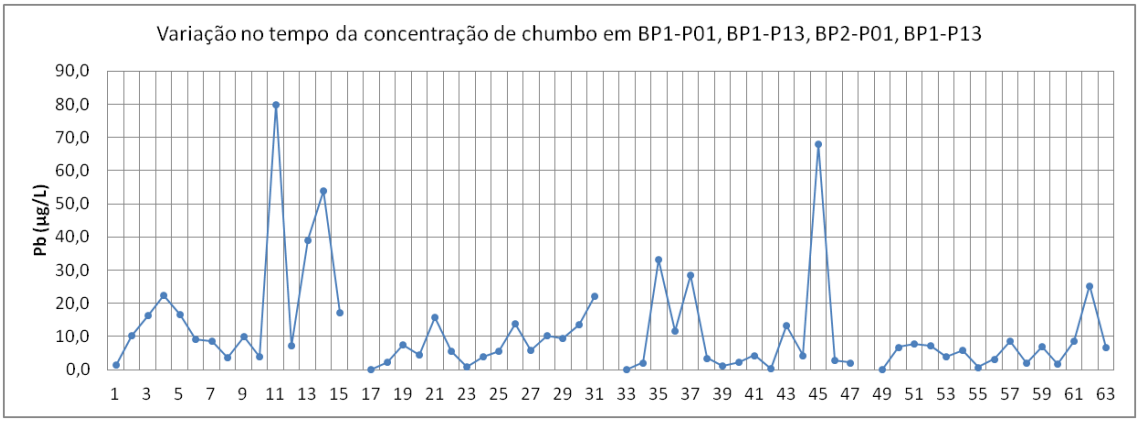

Figura 144 - Variação da concentração de chumbo de 2011/ 2012 nos piezômetros.

O cádmio (Figura 145) apresenta as concentrações todas inferiores aos limites de potabilidade, sendo que os valores mais elevados ocorrem sobretudo no BP1-P1, havendo também alguns picos no BP2-P1.

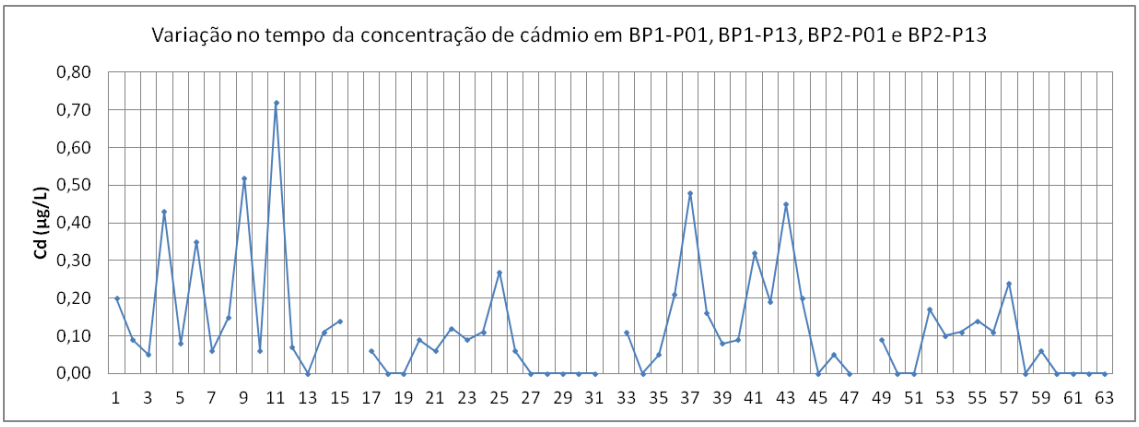

Figura 145 - Variação da concentração de cádmio de 2011/ 2012 nos piezômetros.

O zinco (Figura 146), nos piezômetros BP1-P1, BP2P1 e BP2-P2, apresentou picos de concentração superiores a 100 µg L^{-1}. A exceção foi o BP1-P13, que não apresentou grandes picos de concentração.

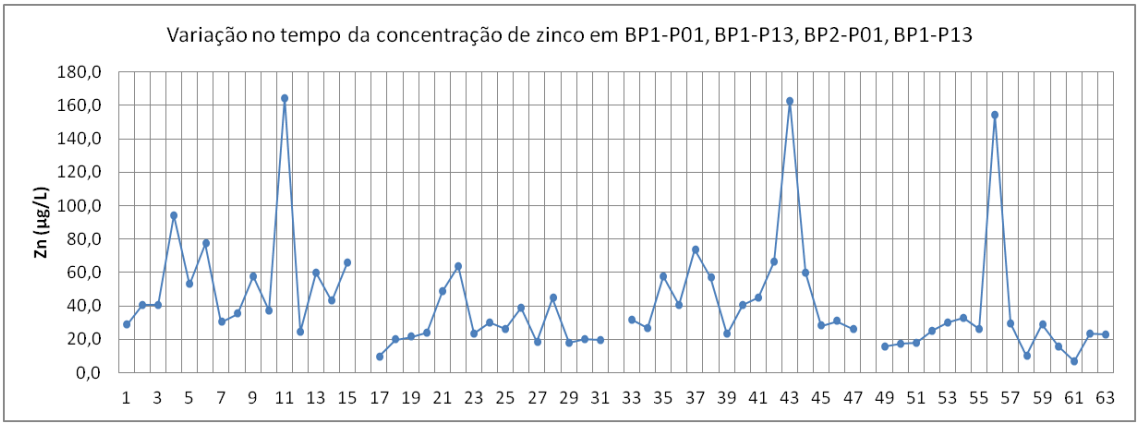

Figura 146 - Variação da concentração de zinco de 2011/ 2012 nos piezômetros.

Outro aspecto interessante sobre a contribuição dos aquíferos representados pelos piezômetros para o reservatório. Para tal análise se utilizou da relação entre a composição da água acessada pelos piezômetros e a água do rio Tibagi, coletada antes da implantação do Reservatório da UHE Mauá.

Nesta análise, com apoio de Figura 147, Figura 148 Figura 149 e Figura 150 visualiza-se que os valores inferiores à unidade representam concentrações de elementos superiores no rio Tibagi frente às concentrações nas águas dos poços avaliados.

Os quatro elementos mais concentrados nos aquíferos do que no rio são, na ordem do mais concentrado para o menos concentrado: tálio, molibdênio, estrôncio e chumbo. A exceção é o BP1-P13, no qual o segundo mais abundante é o estrôncio, vindo em seguida o chumbo e depois o molibdênio.

Por outro lado, o zinco é o elemento relativamente mais concentrado no rio, mais de 100 vezes, vindo em seguida o fósforo, mais de dez vezes e depois o lítio, ferro e outros elementos.

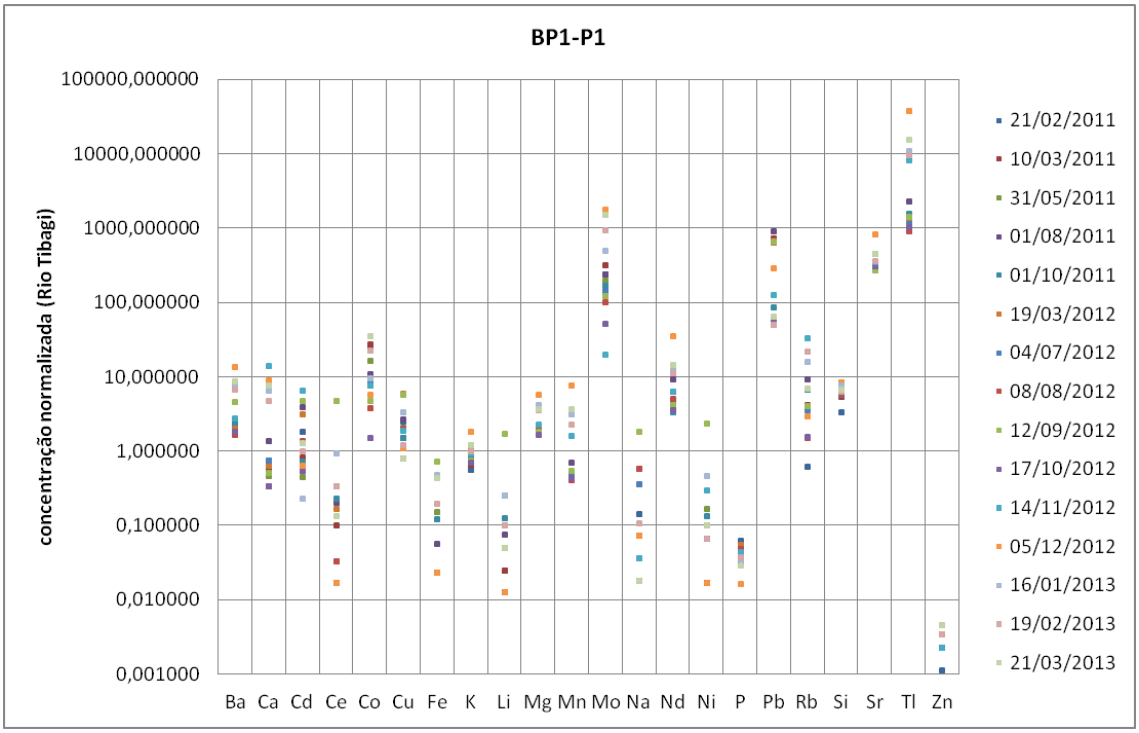

Figura 147 - Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP1-P1, em comparação com a água do rio Tibagi.

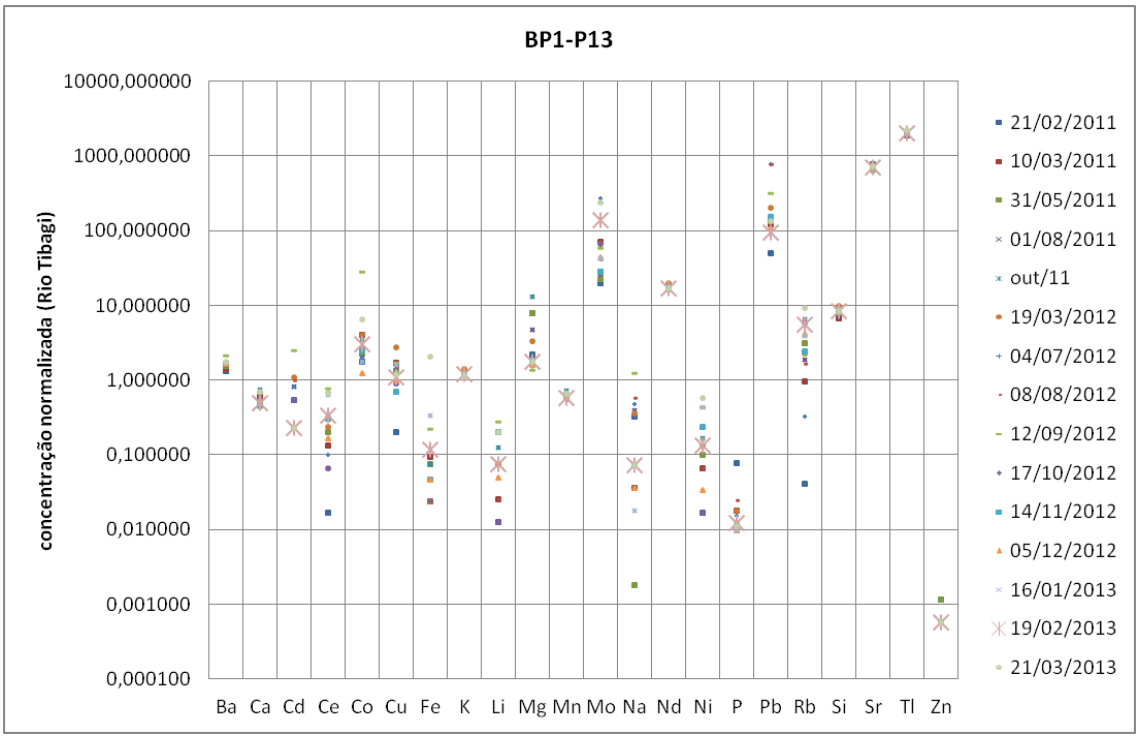

Figura 148 - Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP1-P13, em comparação com a água do rio Tibagi.

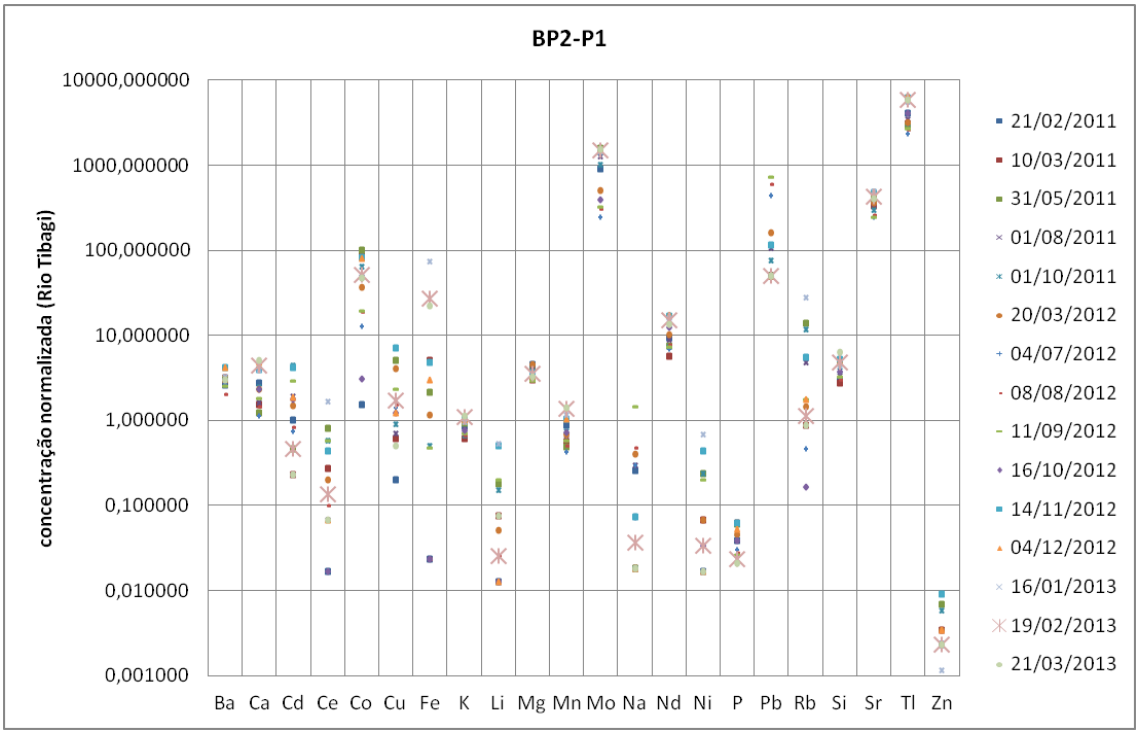

Figura 149- Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP2-P1, em comparação com a água do rio Tibagi.

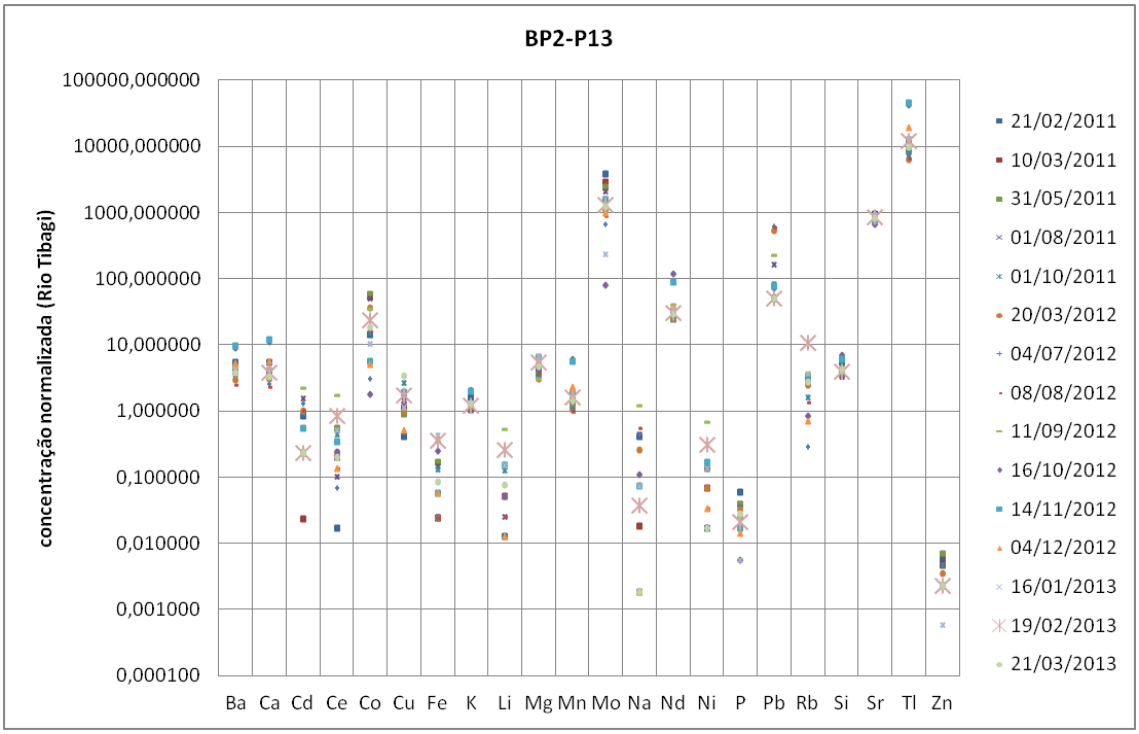

Figura 150- Variação da concentração de elementos químicos na água do freático de 2011/ 2012 no piezômetro BP2-P13, em comparação com a água do rio Tibagi.

O comportamento dos elementos constituintes minoritários na água dos piezômetros pode ser percebido em alguns aspectos, por intermédio de diagramas triangulares relacionando as

concentrações molares de grupos de três constituintes com características relacionadas. Para esta abordagem se utilizou de dois grupos de três elementos cada um: a) metais de transição cobalto, níquel e cobre; metais alcalino e alcalino-terrosos rubídio, estrôncio e bário.

No diagrama triangular foram locadas as concentrações molares de três amostras de diabásio do local e a composição de amostras de água do reservatório da UHE Mauá, como referência. Como este tipo de diagrama não registra diretamente a concentração da solução se utilizou como indicador deste parâmetro a somatória da concentração dos três elementos considerados. Os valores da concentração estão representados em um apenso retangular abaixo do diagrama triangular.

A Figura 151 apresenta a distribuição dos pontos de BP1-P1 e BP1-P13 em um sistema cobalto, níquel e cobre.

Observa-se que BP1-P13 apresenta uma nuvem de pontos um pouco mais concentrada do que BP1-P1 e que a água do reservatório da UHE Mauá possuem proporções molares Co-Ni-Cu próximas àquelas registradas para amostras de diabásio do local da barragem. Estas rochas magmáticas ocorrem com frequência naquele segmento da bacia do Tibagi e possuem proporções um pouco mais ricas em cobalto do que o reservatório.

Na Figura 151 também está explícito que a água de BP1-P13 é geralmente mais diluída do que BP1-P1 e que sua composição se assemelhando à água do Tibagi, sugere que a maior parte da contribuição para o rio vem do fluxo de base originário em rochas com composição semelhante.

A maior dispersão de pontos em BP1-P1 pode indicar o efeito do distúrbio dos fluxos subterrâneos pela barreira criada pela imposição do corpo de água do reservatório.

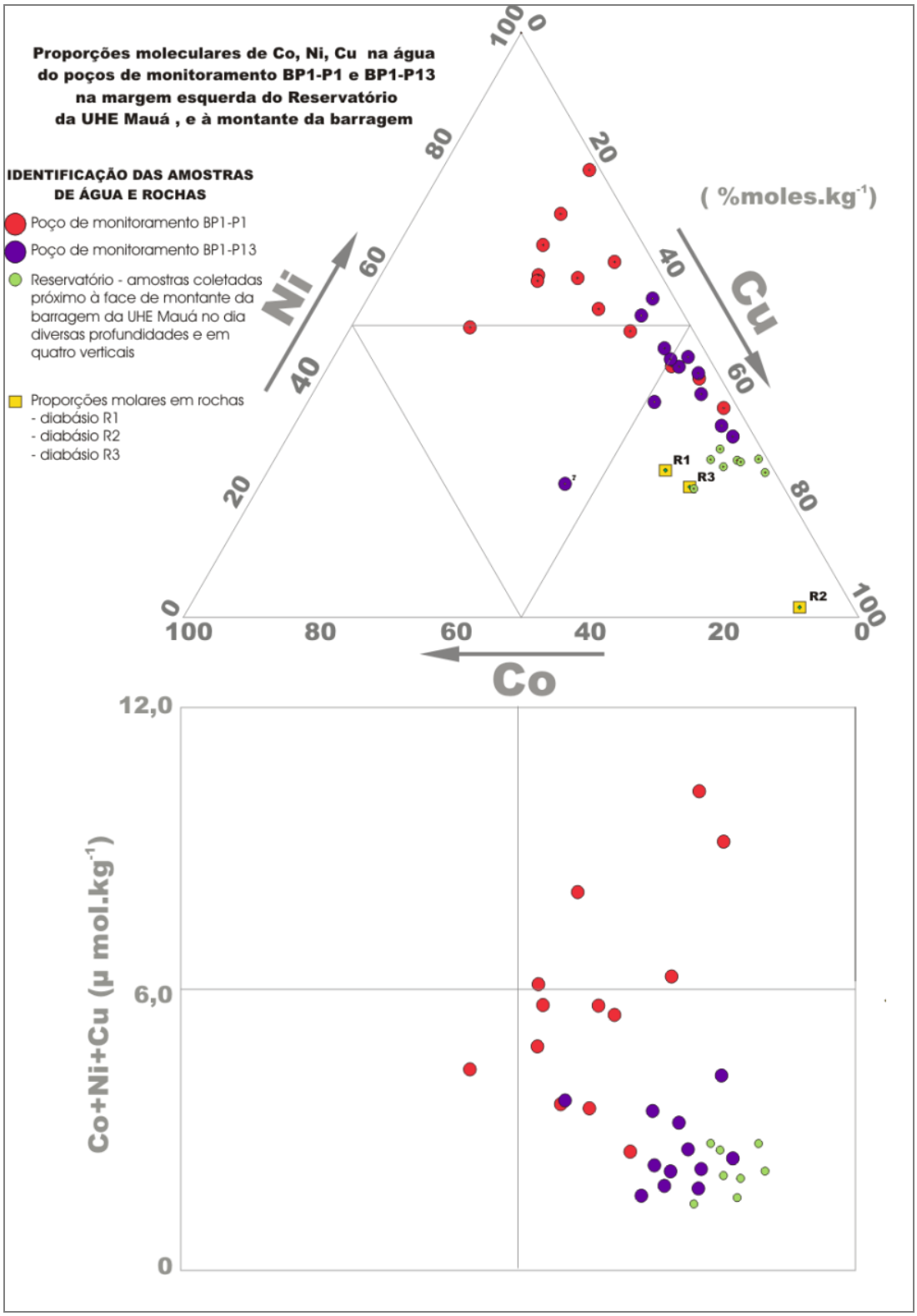

Figura 151– Proporções molares de cobalto níquel e cobre no BP1-P1, BP1-P13 em águas do reservatório da UHE Mauá e em diabásios do local.

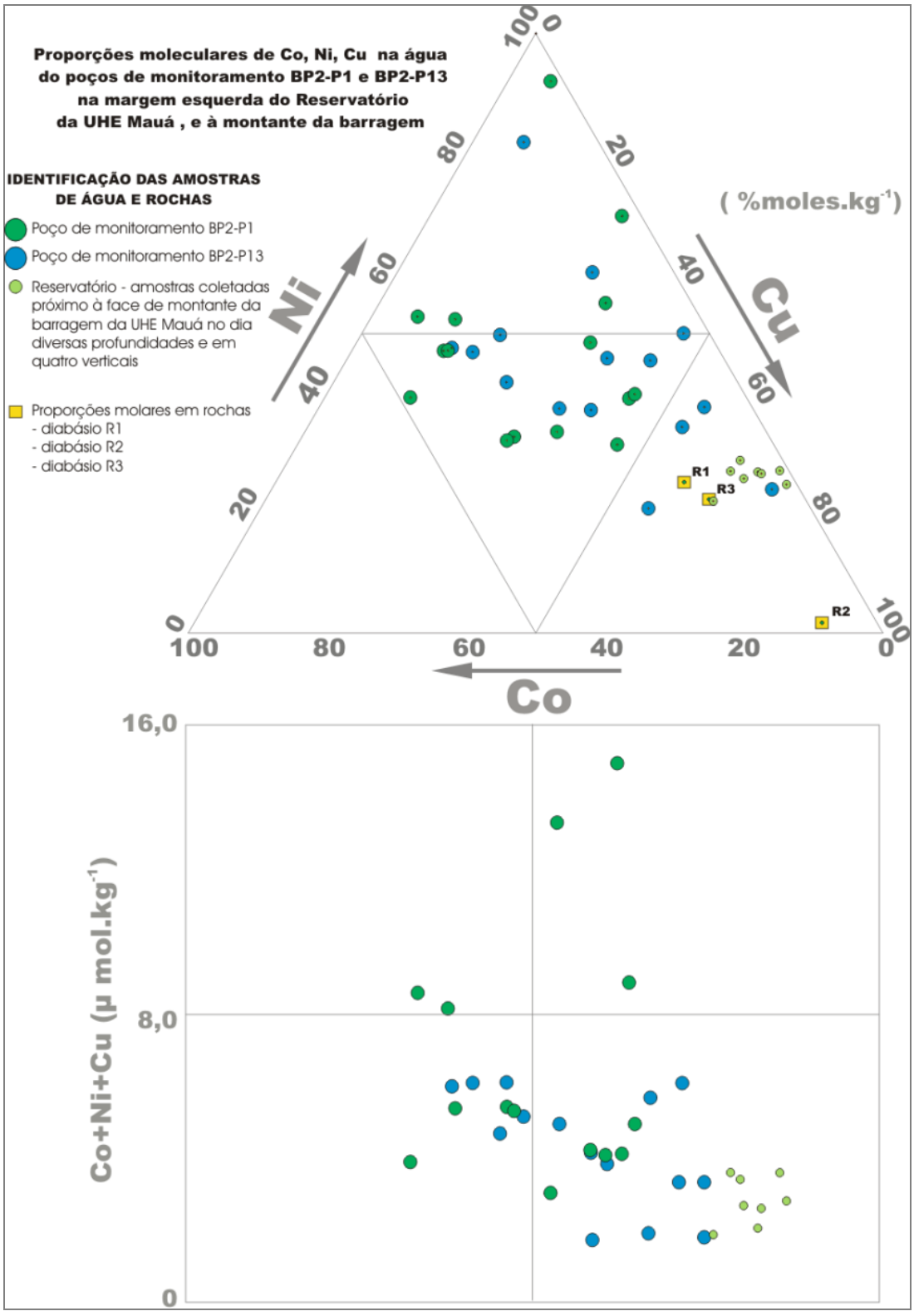

Figura 152 – Proporção molar de cobalto, níquel e cobre no BP2-P1, BP2-P13 e em água do reservatório da UHE Mauá e em diabásios do local.

A Figura 152 apresenta a distribuição dos pontos de BP2-P1 e BP2-P13 em um sistema cobalto, níquel e cobre.

A água dos piezômetros, como em BP1, são relativamente mais pobres em cobre do que as águas do reservatório da UHE Mauá e em sua maioria mais concentradas do que aquelas. Neste caso também nota-se que há muita semelhança na composição da água dos dois piezômetros. Esta semelhança repete, em parte, o que se observou para os constituintes catiônicos majoritários em diagrama de Durov.

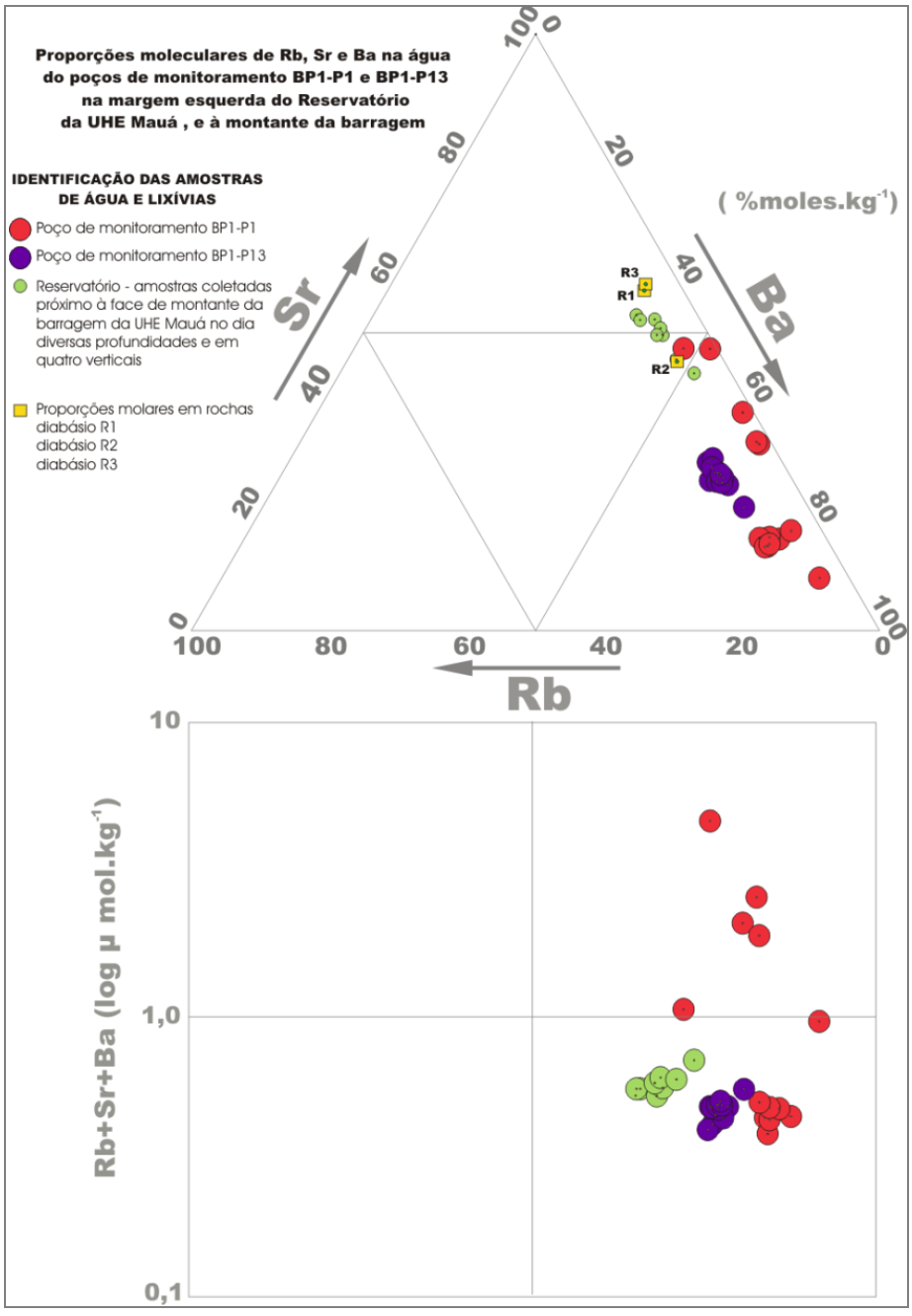

Figura 153 – Proporção molar relativa de rubídio, estrôncio e bário na BP1-P1 e BP1-P13, em água do Reservatório da UHE Mauá e em diabásios do local.

O trio de elementos alcalinos e alcalino-terrosos rubídio, estrôncio e bário fornecem mais informações, expressas na Figura 153 e naFigura 154. Neste caso é notável a concentração dos pontos de BP2-P13 e também de BP2-P1 antes do estabelecimento do reservatório.

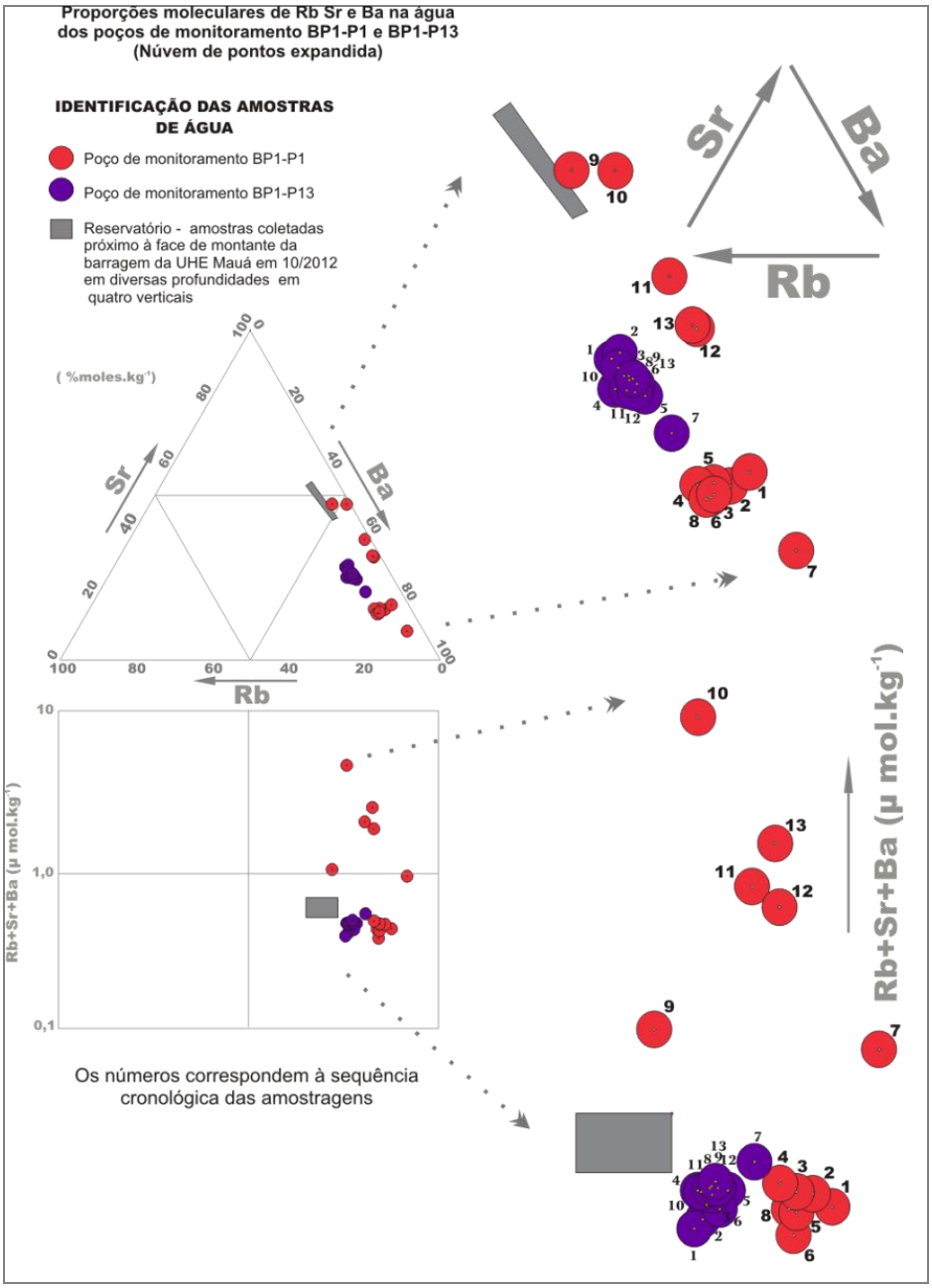

Figura 154 – Concentração de rubídio, estrôncio e bário em BP1-P1 e BP1-P13 com a nuvem de pontos expandida.

Um ponto interessante salientado pelo diagrama da Figura 154 está no complemento inferior, onde se observa que os pontos antes do enchimento do reservatório estão em ambos os piezômetros com concentração inferior ao do reservatório. As amostras coletadas durante e após o enchimento do reservatório são mais concentradas do que as águas do lago, logo a carga de solutos não é

proveniente do reservatório, porém da remobilização de elementos antes fixados em minerais solubilizados ou dessorvidos do complexo sortivo do aquífero raso.

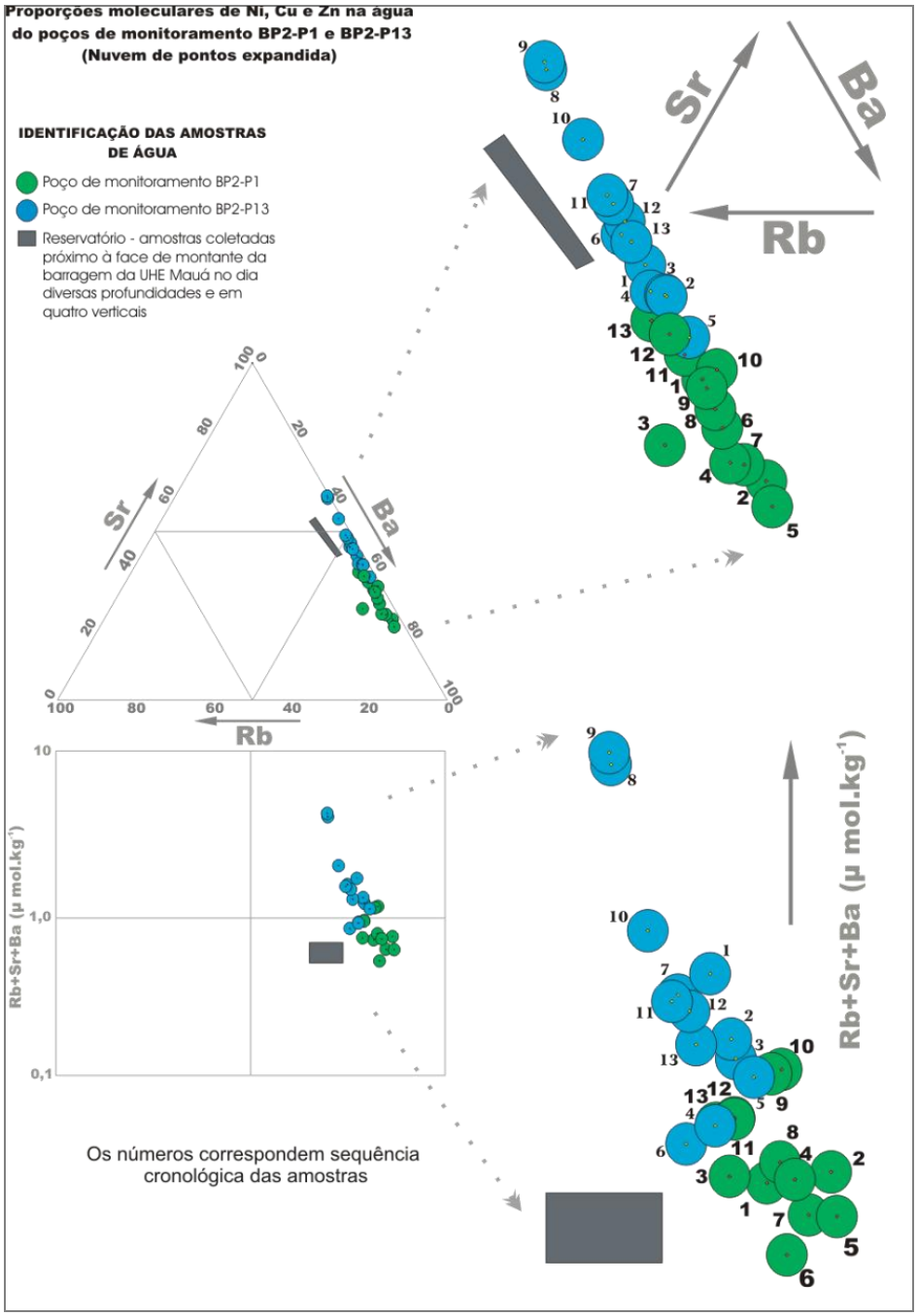

Figura 155 – Concentração de rubídio, estrôncio e bário em BP2-P1 e BP2-P13, com a nuvem de pontos expandida.

Na BP2 é notável a menor concentração relativa de rubídio, ficando o estrôncio e o bário responsáveis pela separação entre os dois grupos de água (Figura 155). BP2-P1 é mais rico em bário enquanto o estrôncio domina em BP2-P13. Também neste caso, as últimas amostras de BP2-P1 são mais concentradas do que no lago.

Outras associações de elementos podem também compor arranjos gráficos semelhantes.

Como um dos controles mais importantes da composição de águas em contato com as rochas são os argilominerais e outros compostos aluminosos e silicáticos, utilizou-se também de diagramas de estabilidade dos sistemas Al–Si-H_2O – Na (Figura 156), Al-Si-H_2O-K (Figura 157) e Al-Si-H_2O-Ca (Figura 158).

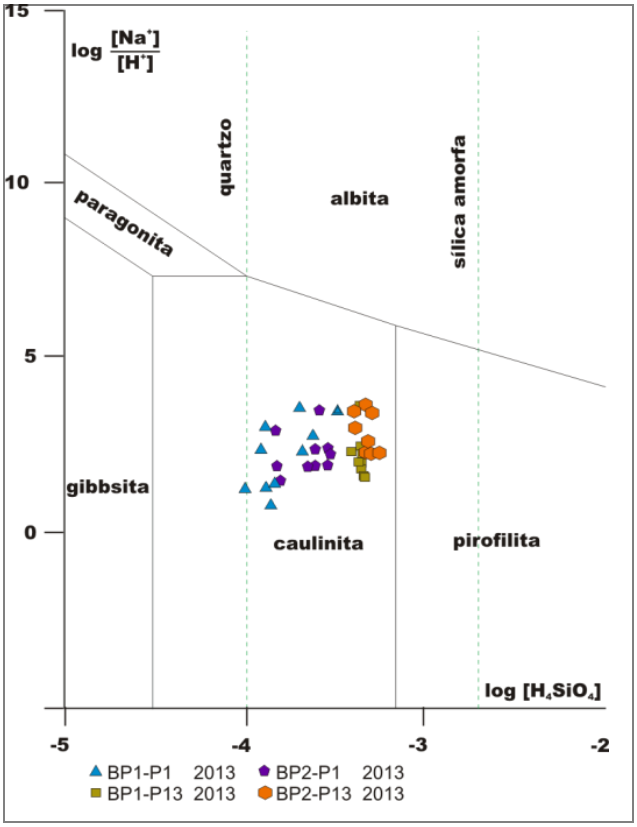

Figura 156 – Diagrama de estabilidade de compostos sílico-aluminosos do sistema Al-Si-Na-H_2O.

Sobretudo controlado pela sílica dissolvida, a água de BP1-P13 e BP2-P13 são as mais ricas, estão no campo da caulinita, porém próximas ao campo da pirofilita, que representa uma tendência de controle por minerais 2:1, do tipo montmorillonita. As amostras da bateria BP1 são mais pobres em sílica. No caso do sistema sódico, não há indicação do controle da composição do elemento ser exercido por equilíbrio com minerais micáceos e feldspatos.

Ao se observar o diagrama de estabilidade do sistema Al-Si-K-H_2O a 25^0C, é notável a proximidade da nuvem de pontos, do campo do microclínio e da muscovita, esta última representando, na realidade uma ilita, em se tratando de ambiente superficial. Sabe-se que as ilitas possuem déficits de carga no interior de sua estrutura cristalina, que podem favorecer a adsorção de elementos em sua superfície ou no interior das camadas.

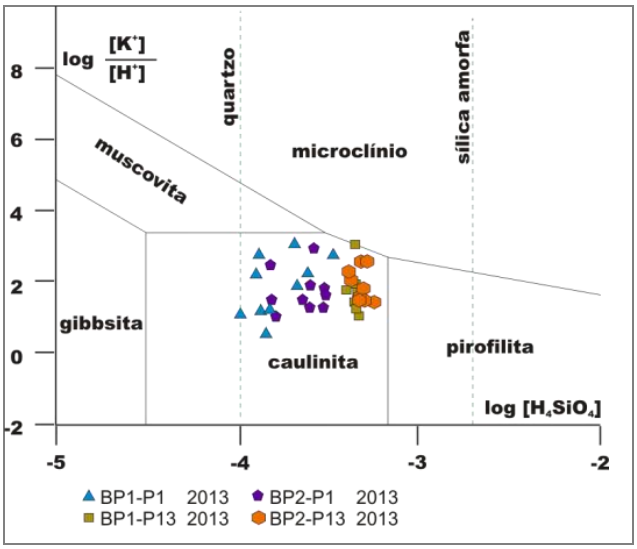

Figura 157– Diagrama de estabilidade de compostos sílico-aluminosos do sistema Al-Si-Na-H_2O.

O sistema Al-Si-Ca-H_2O indica que a água está no campo da caulinita, porém também adentra o campo da calcita, dependendo da pressão parcial de CO_2. A possibilidade de formação de carbonatos indica que este pode ser um dos controles existentes no seio do aquífero freático.

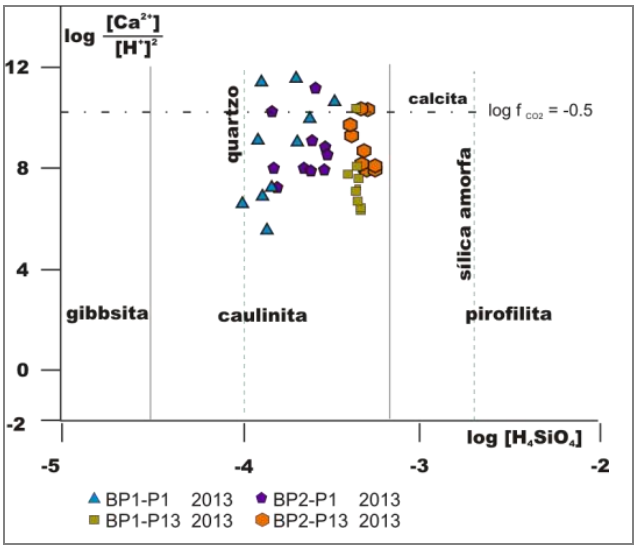

Figura 158 – Diagrama de estabilidade de compostos sílico-aluminosos do sistema Al-Si-Ca-H_2O.

Variações do nível do freático e da temperatura

As altitudes do nível da água anotadas nos piezômetros podem ser observadas na Figura 159 e Figura 160 correspondentes a BP1-P1 e BP1-P13, bem como na Figura 161 e Figura 162, correspondente a BP2-P1 e BP2-P13. Os valores foram obtidos a partir dos registros automáticos dos *dataloggers* e foram calculados utilizando-se valores da pressão barométrica levantada na estação meteorológica operada pelo Simepar em Telêmaco Borba. Os registros automáticos de nível e

temperatura utilizados para comporem desde a Figura 163 até a Figura 167 totalizaram 1864 medidas nos piezômetros BP1-P1, BP1-P13 e BP2-P13. No piezômetro BP2-P1, por problemas técnicos os registros totalizaram 1534 medidas.

Os registros dos níveis da água subterrânea indicou claramente a influência direta do reservatório nos poços próximos à margem, ou seja, BP1-P1 e BP2-P2. Se observou em BP1-P1 uma cota máxima de 635,06 m, uma mínima de 627,24 m e média de 630,30 m. Em PB1-P13, a máxima foi de 640,52 m, mínima de 639,10 m e a média de 639,472 m.

A Figura 159 mostra bem as variações durante o enchimento do reservatório, aspecto bem evidenciado quando se observa que o nível anterior ao enchimento se situava entre 627 m e 628 m, passando para um patamar máximo equivalente ao nível do próprio lago, ao redor de 635 m.

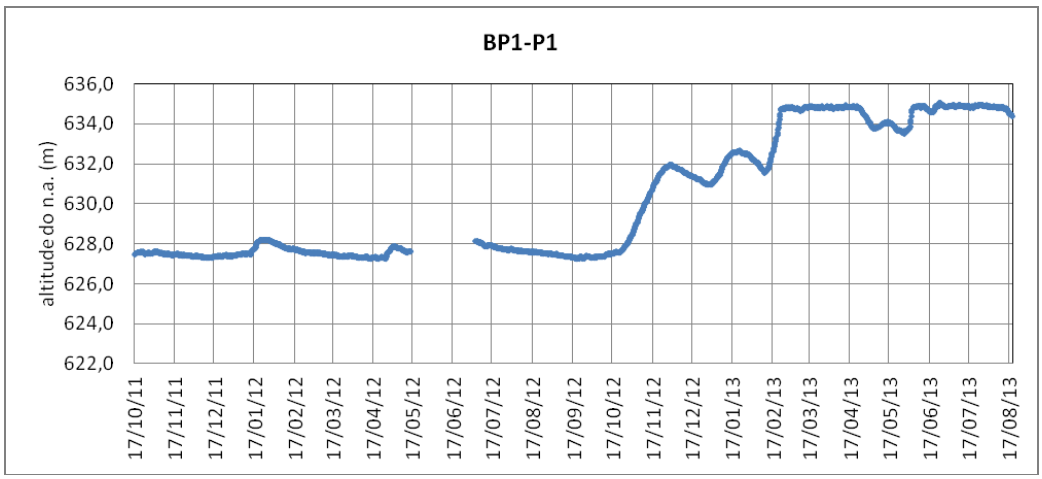

Figura 159 - Altitude do nível da água no BP1-P1 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de agosto de 2013.

O piezômetro BP1-P13 (Figura 160), apresentou variação do nível da água de 1,42 m, bastante reduzido frente aos outros piezômetros. A causa está na litologia e distribuição de fluxos no substrato.

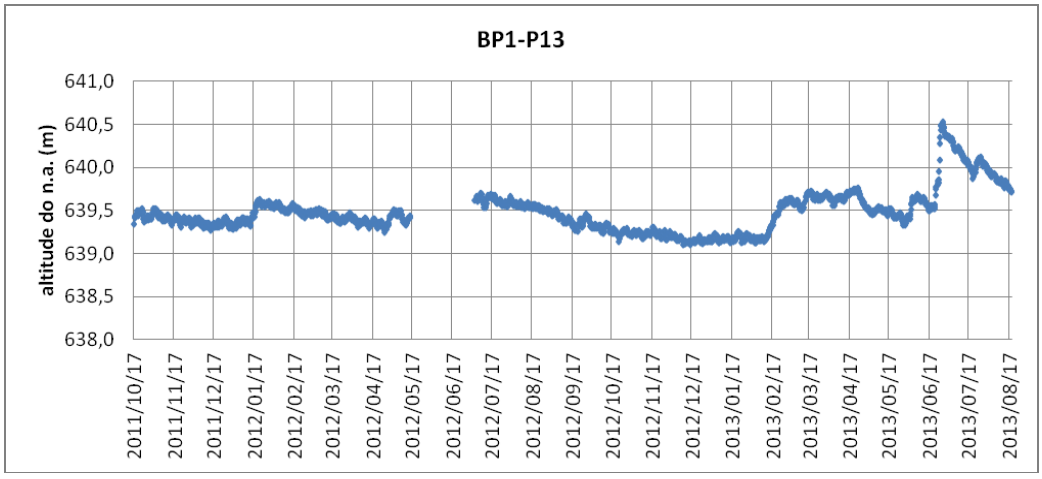

Figura 160- Altitude do nível da água no BP1-P13 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de agosto de 2013.

O comportamento das cotas do freático em relação ao nível do reservatório pode ser observada para BP1-P1, na Figura 161. São dignos de registro os períodos em que a cota do reservatório se situou acima da cota do BP1-P1, notadamente durante o enchimento. É o efeito do retardo do fluxo permeante no solo e rochas pela baixa condutividade hidráulica do aquífero. Nestas ocasiões houve tendência da água do reservatório adentrar o aquífero. Como a permeabilidade dos aquíferos locais é baixa, este efeito não foi marcante na alteração da composição química do freático em BP1-P1, como será salientado neste documento.

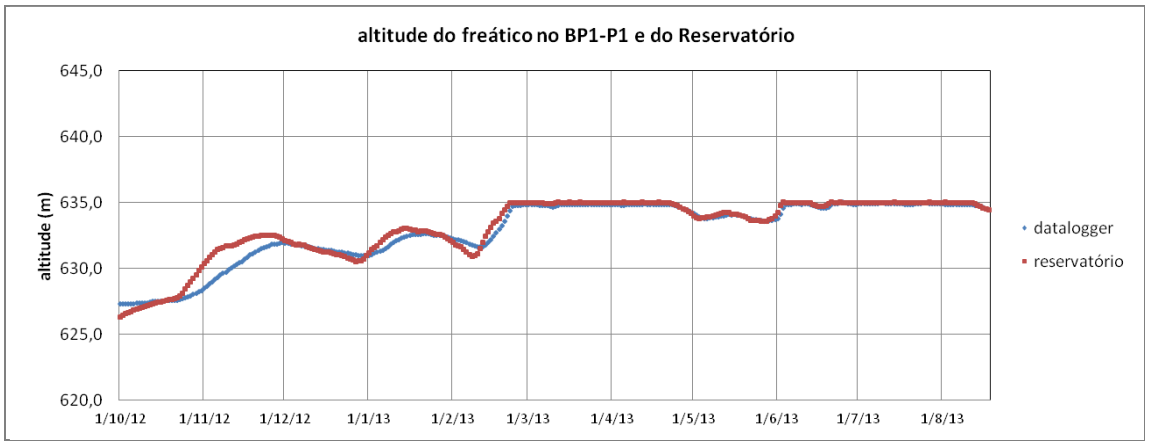

Figura 161- Altitude do nível da água no BP1-P1 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento.

A Figura 162 evidencia a independência do nível do freático em BP1-P13, cuja variação foi muito pequena.

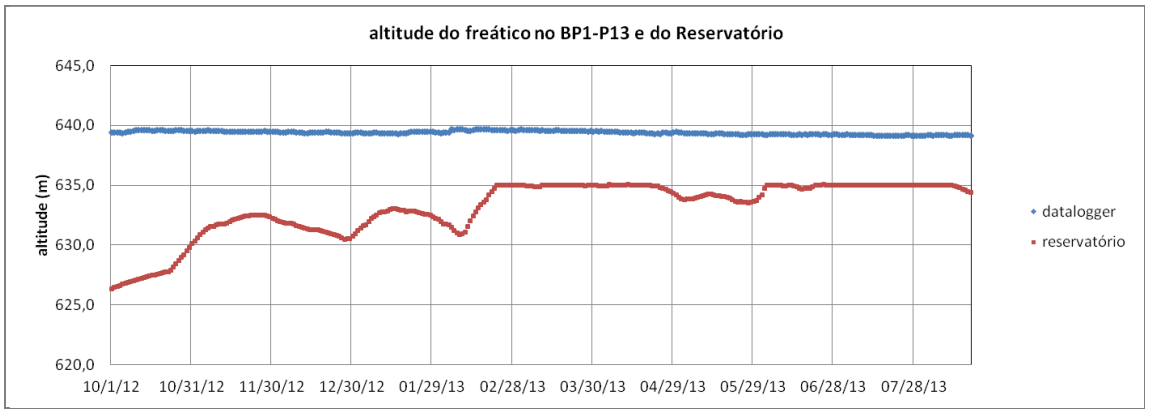

Figura 162 - Altitude do nível da água no BP1-P13 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento.

No piezômetro BP2-P1 a cota máxima do nível da água foi de 636,014 m, a cota mínima foi de 624,85 m, enquanto no BP2-P13 a média foi de 637,36 m, a máxima atingiu 641,31 m e a mínima 630,84 m. Uma falha técnica promoveu interrupção no registro das altitudes do nível da água do

freático, como visualizado na Figura 163, todavia a partir do período do enchimento do reservatório, as cotas foram devidamente registradas.

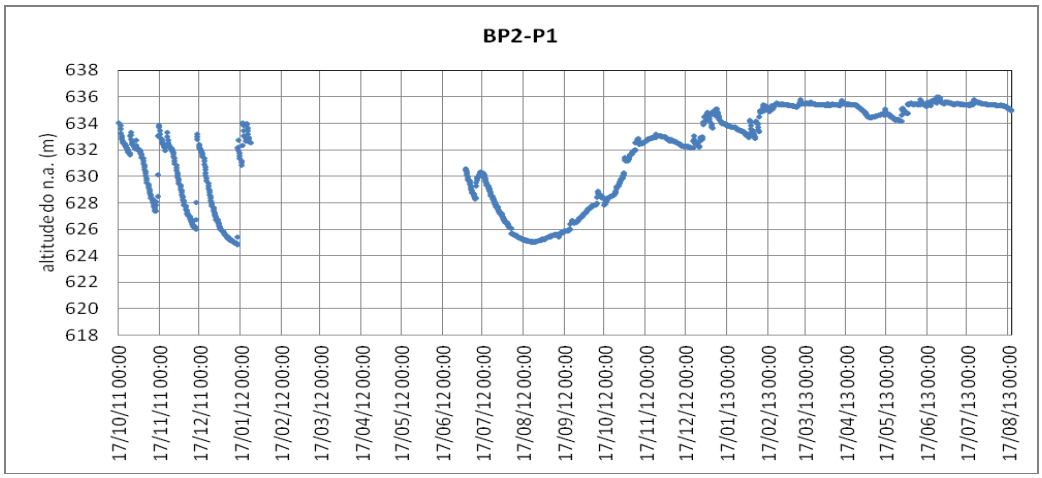

Figura 163- Altitude do nível da água no BP2-P1 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de agosto de 2013.

Em BP2-P13 (Figura 164), as variações se devem essencialmente a variáveis climáticas, várias delas com registro coincidente com variações de nível também manifestadas no BP2-P1 (Figura 163).

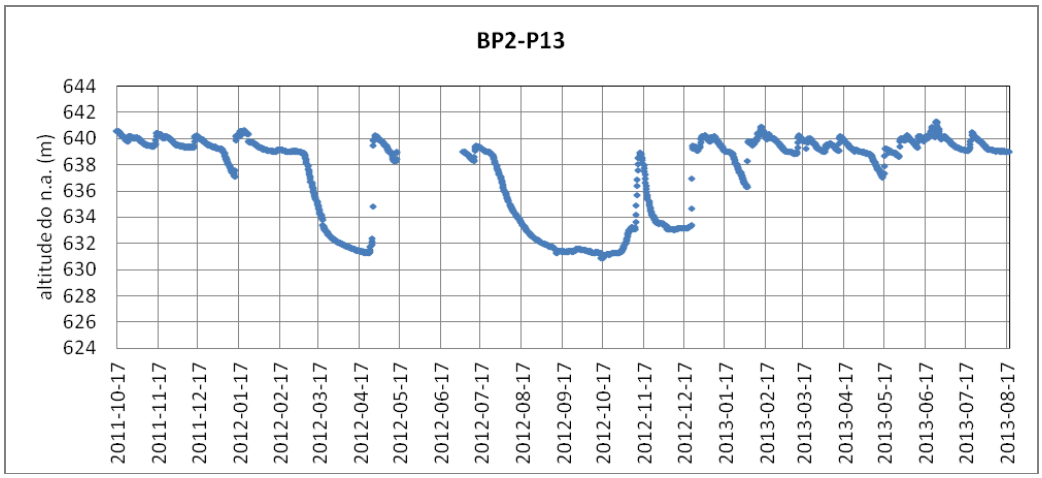

Figura 164- Altitude do nível da água no BP2-P13 entre 17 de dezembro de 2011 e 18 de Figura 163agosto de 2013.

Em BP2-P1 (Figura 165), O nível do freático ficou sempre acima do nível do reservatório, o que não ocorreu com BP1-P1, o que indicaria um fluxo local sempre do freático em direção ao lago. As diferenças de nível maiores ocorreram durante o enchimento do reservatório.

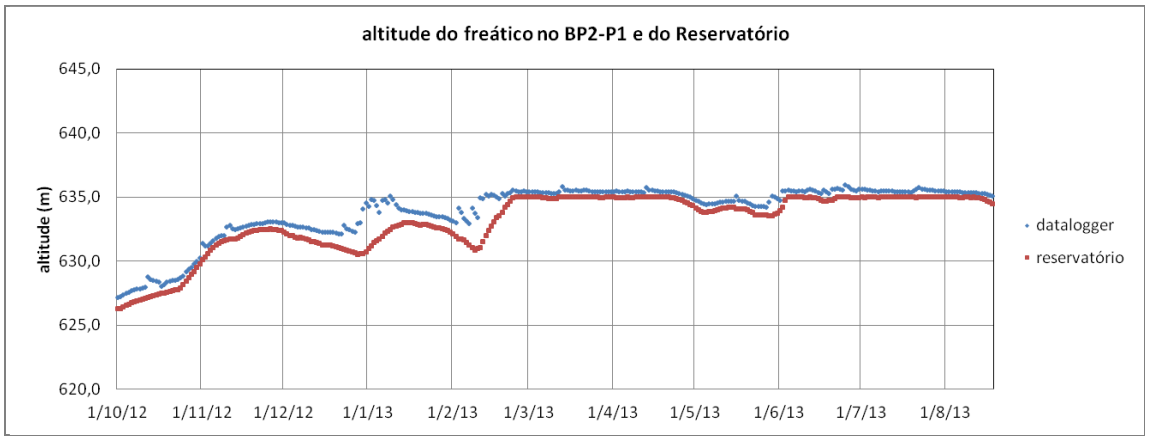

Figura 165 - Altitude do nível da água no BP2-P1 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento.

No caso do BP2-P13, (Figura 166 e Figura 164) também fica evidenciada a influência de alguns episódios climáticos que atuam tanto no nível do reservatório como no afluxo atmosférico de água ao aquífero monitorado.

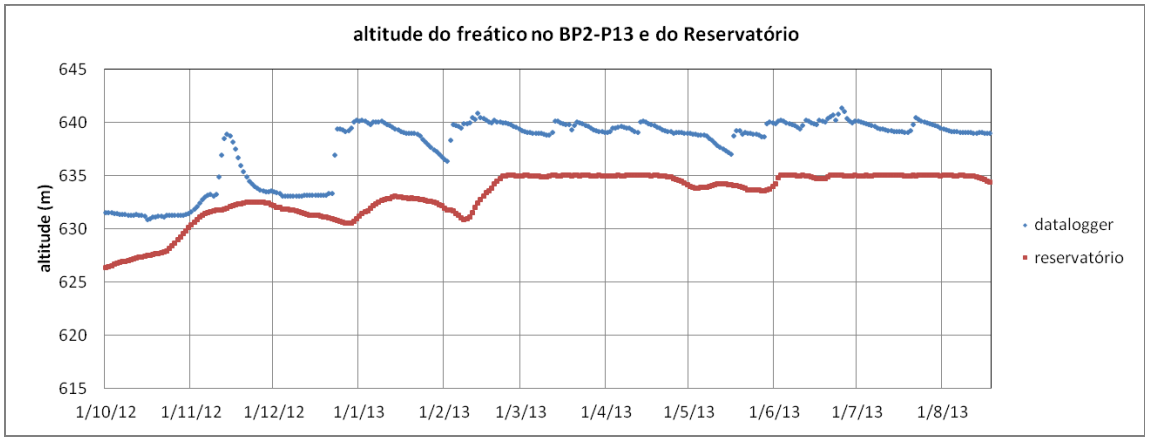

Figura 166 - Altitude do nível da água no BP2-P13 e as cotas do Reservatório durante o seu enchimento.

Os registros automáticos da temperatura estão ilustrados na Figura 167. Como nos períodos anteriores, as variações de temperatura continuaram sendo mais regulares e de menor amplitude no BP1-P13. As maiores variações foram observadas no BP1-P01 e as temperaturas mais baixas foram registradas no BP1-P13.

No BP1-P1 a temperatura maior registrada foi de 19,34°C, enquanto a menor foi de 18,97°C, uma amplitude térmica de 0,37°C, com média de 19,19°C.

No BP1-P13 a máxima foi de 19,04°C, a mínima de 18,97°C e a média, de 19,19°C e a amplitude térmica de 0,74°C.

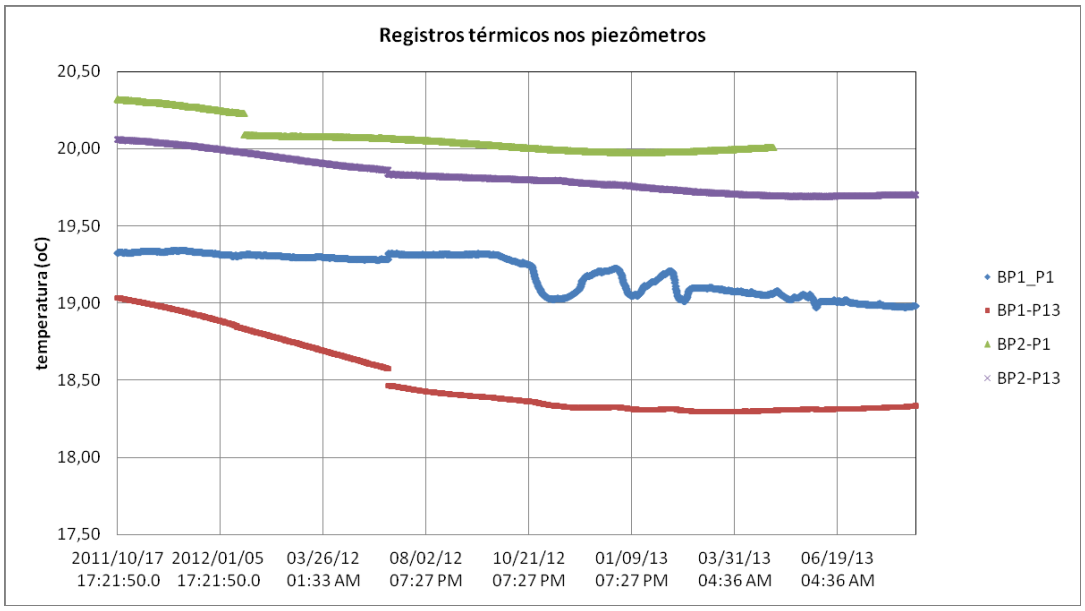

Figura 167 – Temperaturas obtidas por medidores automáticos nos piezômetros BP2-P01 e BP2-P13 entre 17/10/2011 e 19/08/2013.

As maiores amplitudes térmicas foram observadas nos piezômetros de montante, o que é coerente com o fato destes dispositivos se situarem mais afastados do reservatório, e próximos às áreas de recarga do aquífero, tendo a sua água, um menor contato com as rochas do substrato, em relação a pontos de jusante do fluxo subterrâneo.

Outro aspecto notável é a tendência de decréscimo da temperatura, com o tempo. Este decréscimo ocorre com uma taxa menor a partir do enchimento do lago.

O monitoramento dos perfis piezométricos através de dados obtidos em todas as campanhas confirmou comportamentos distintos entre os sítios das duas baterias de piezômetros, o que é reforçado pelos dados dos *datallogers*. A BP1 apresentou uma boa homogeneidade no perfil piezométrico, sendo que nas três últimas campanhas o enchimento do reservatório elevou regularmente o nível da água subterrânea do P1 até o P8. Na BP2 o quadro é mais complexo, em função da variação do comportamento hidrogeológico do substrato.

3.3.2.2 Aquíferos profundos

De início há que ser considerado que os fatores naturais reguladores da concentração em água de um dado elemento depende do mesmo ser um constituinte majoritário ou minoritário. Os cátions majoritários, ou macro-constituintes em solução na grande maioria das águas naturais como é o caso do sódio, potássio, cálcio e magnésio, formam minerais próprios, principalmente silicatos, carbonatos e sulfatos. No caso dos ânions majoritários, se destacam nas águas subterrâneas as espécies

carbônicas, principalmente o bicarbonato e o carbonato, o cloreto e o sulfato. Em águas subterrâneas do freático, em alguns casos, o nitrato também está presente. Como espécie dissolvida majoritária, porém sem carga iônica está a sílica, presente principalmente sob a forma de ácido silícico.

Os elementos metálicos majoritários nas águas, naturalmente estão presentes também como macroconstituintes das rochas, porém alguns daqueles que predominam nas rochas, por suas características, apresentam baixa solubilidade na maioria dos ambientes aquosos próximos à superfície. Este é o caso do alumínio e do ferro, respectivamente o terceiro e o quarto elementos mais abundantes da crosta terrestre (O > Si > Al > Fe > Ca > Na > K >).

O alumínio é um elemento que apresenta características muito tóxicas quando presente nas águas, porém para que ele seja liberado para a solução em quantidades que possam causar problemas, o pH normalmente precisa ser muito elevado (>8) ou muito baixo (<5), o que não é o caso das águas subterrâneas avaliadas neste projeto. Os valores encontrados para o Al sempre estiveram abaixo de 65 µg L^{-1}, frente ao máximo para consumo humano recomendado pela Resolução CONAMA nº 396 (BRASIL, 2008) que trata do enquadramento das águas subterrâneas, que é de 200 µg L^{-1}.

Os constituintes minoritários, por outro lado, se alojam de diversas maneiras na estrutura de minerais formados por constituintes mais abundantes. Sua presença em solução depende da liberação do sítio onde está alojado, o que pode se dar ou por troca iônica ou pela dissolução da espécie mineral ou mesmo composto orgânico que hospeda o elemento considerado.

Notável, porém não preocupante, é a presença na amostra coletada no P7 na campanha de setembro de 2012 que apresentou concentração de chumbo de 22 µg L^{-1}, portanto superior ao limite recomendado para potabilidade para consumo humano, que é de 10 µg L^{-1}. Na amostra coletada no P5 na campanha de fevereiro de 2013, foi anotado o valor de 25,3 µg L^{-1}. Observe-se que os valores limites para recreação e dessedentação de animais são de, respectivamente, 50 µg.L^{-1} e 100 µg.L^{-1}.(BRASIL, 2008). Como as amostragens em poços profundos se dá após a água percorrer tubulações metálicas, valores anômalos não persistentes podem ter causa na dissolução de partes da tubulação, como é o caso de soldas.

No caso dos constituintes minoritários, como dificilmente atingem o ponto de saturação em relação a um mineral próprio, dependem mais da exposição de seus hospedeiros para contato com a água dos aquíferos.

A composição detalhada em termos dos constituintes minoritários, avaliada por ICP-MS, evidencia o P7 como veículo de águas geralmente as mais concentradas também em elementos

minoritários. No caso do bário, pelo fato da presença de sulfato ser a mais elevada naquele poço, devido à formação de barita, a concentração no elemento é a mais baixa dentre os poços P2, P3, P5 e P7, analisados em 2012 e 2013.

O poço P3 produz as águas mais concentradas em urânio, elemento que tem presença conhecida na formação Rio Bonito, que suporta um dos aquíferos mais significativos da sequencia paleozoica na área monitorada pelo presente Plano Básico Ambiental. A concentração neste elemento, todavia, em nenhum dos casos ultrapassa o valor máximo permissível que é de 20 µg L^{-1}.

Uma característica persistente da água do poço P5 perfurado no Viveiro Florestal da Klabin são as concentrações de arsênio frequentemente superiores ao limite recomendável para potabilidade, que é de 10 µg L^{-1}, sendo observados valores de 18,9 µg L^{-1}, 13,2 µg L^{-1}, 14,6 µg L^{-1} e 11,3 µg L^{-1}.

Para os elementos majoritários, os equilíbrios termodinâmicos entre água e minerais são fatores controladores primordiais. Neste caso, avaliações dos equilíbrios termodinâmicos fornecem informações importantes sobre os controles da composição das águas. Neste trabalho foi utilizado o programa computacional PHREEQc (PARKHURST,1995) que calcula a especiação química da água e avalia os níveis de saturação em relação a alguns minerais. Foram selecionados alguns minerais de ocorrência esperada no arcabouço litológico dos aquíferos paleozoicos da região monitorada neste trabalho. A Tabela 68 apresenta os valores do índice de saturação dos minerais: calcita ($CaCO_3$), gipsita ($CaSO_4$), gibbsita ($Al(OH)_3$), quartzo (SiO_2), calcedônia (SiO_2) e sílica amorfa (SiO_2). Os valores foram obtido pelo programa computacional PHREEQc, através do programa DIAGRAMME (SIMMLER, 2013).

Tabela 68 – Índices de saturação para alguns minerais, nas amostras coletadas em poços profundos, calculados pelo programa computacional PHREEQC nas campanhas de setembro de 2012 a março de 2013.

Amostra		calcita	gipsita	gibbsita	quartzo	calcedonia	s.amorfa
data		Índices de saturação de minerais (SI= logK – log Q)*					
P2	08/08/2012	-3,74	-5,13	1,32	0,90	-0,05	-0,91
P2	12/09/2012	-2,19	-4,68	1,38	0,79	0,34	-0,51
P2	05/12/2012	-3,42	-4,75	1,00	0,84	0,40	-0,46
P2	16/01/2013	-3,37	-4,66	1,19	0,84	0,39	-0,47
P2	20/02/2013	-2,15	-4,69	0,57	0,83	0,38	-0,48
P2	20/03/2013	-3,55	-4,77	0,29	0,81	0,36	-0,49
P3	05/12/2012	-0,40	-3,94	-0,06	0,74	0,29	-0,57
P3	16/01/2013	-0,81	-3,96	-0,59	0,71	0,26	-0,60
P3	20/02/2013	-0,78	-3,95	-0,55	0,72	0,27	-0,59
P3	20/03/2013	-0,20	-3,97	-0,10	0,68	0,24	-0,62
P5	05/12/2012	0,40	-3,58	-1,29	0,39	-0,11	-0,47
P5	17/01/2013	-0,24	-3,62	-0,80	0,44	-0,01	-0,86
P5	20/02/2013	-0,28	-3,59	0,40	0,43	-0,01	-0,87
P7	08/08/2012	-0,43	-3,48	0,07	0,48	0,04	-0,82

Amostra	data	calcita	gipsita	gibbsita	quartzo	calcedonia	s.amorfa
		Índices de saturação de minerais (SI= logK – log Q)*					
P7	12/09/2012	0,30	-2,80	-1,05	0,15	0,04	-1,15
P7	05/12/2012	0,10	-2,85	-0,19	0,38	-0,06	-0,92
P7	17/01/2013	0,48	-2,56	-1,22	0,22	-0,23	-1,08
P7	20/02/2013	0,14	-2,47	0,02	0,33	-0,11	-0,97
P7	20/03/2013	0,48	-2,47	-0,44	0,32	-0,12	-0,98

** KT constante de equilíbrio em relação ao mineral na temperatura da amostra*
Q produto de solubilidade correspondente ao mineral

Os resultados constantes da Tabela 68 indicam que a água do P7 têm as concentrações de Ca controladas pelo equilíbrio com a calcita, o que ocorre também, com menor intensidade, em P5. Por outro lado, as águas de P2 e P3 estão nitidamente insaturadas com respeito ao referido mineral. A despeito dos valores de sulfato presentes em P7, o equilíbrio com a gipsita não é atingido.

A sílica contribui para uma série de minerais silicosos, sendo que as águas todas estão levemente supersaturadas em relação ao quartzo, porém insaturadas em relação à sílica amorfa. No caso da calcedônia, a saturação é atingida em P2 e P3, porém a água de P2 se apresentou sempre insaturada. A estabilidade das águas com respeito a minerais aluminosos pode ser observada por meio dos diagramas de Korjinski (Figura 168 e Figura 169), que tiveram os limites entre os campos de estabilidade dos minerais construídos com dados termodinâmicos compilados por FRITZ (1981).

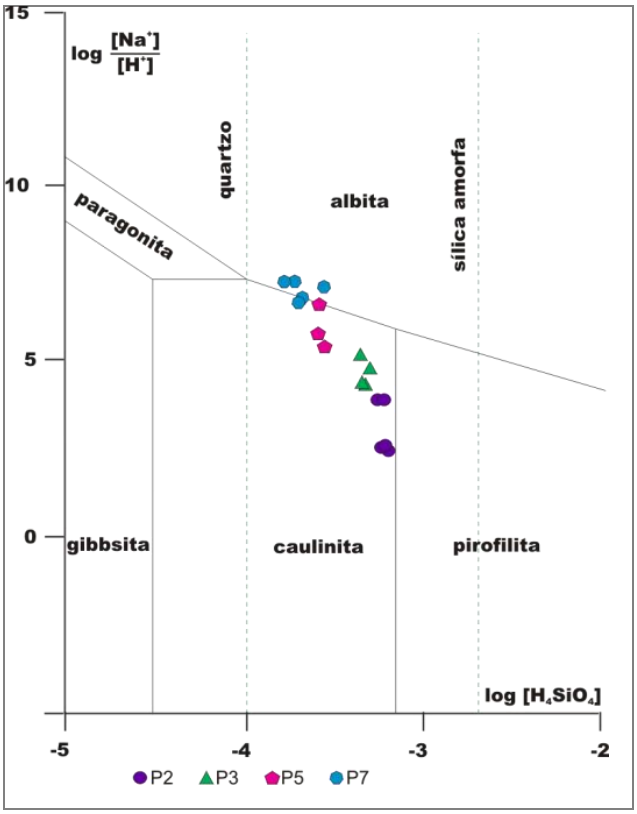

Figura 168 – Diagrama de Korjinski para minerais do sistema Na – Al – SiO_2 – H_2O para águas dos aquíferos profundos coletadas nos poços P2, P3, P5 e P7 entre agosto de 2012 e março de 2013.

Considerando as espécies minerais nominais do sistema Al-Na–SiO_2–H_2O, gibbsita, caulinita, pirofilita, paragonita, albita foi construído o diagrama de estabilidade da Figura 168. No diagrama fica evidenciado que as águas do P7 e em parte do P5, estão no limite do equilíbrio simultâneo caulinita-feldspato, enquanto o total das amostras dos aquíferos que alimentam P2 e P3 estão no campo da caulinita.

Como os minerais cálcicos são elementos importantes da interação água-rocha nos aquíferos, foi também utilizado um diagrama de Korjinski do sistema Al-Ca–SiO_2–H_2O, representado na Figura 169. Neste sistema, mesmo as águas mais concentradas acessadas pelo P7, não atingem o equilíbrio com feldspatos cálcicos. Este aspecto é comum na maioria das águas naturais, visto que as soluções se saturam em relação à calcita antes do ponto de saturação com os feldspatos. Dependendo da pressão parcial de CO_2, mesmo águas de P2 poderiam estar sofrendo controle pela calcita. Neste caso porém este fato não ocorre, como está indicado pelos valores do índice de saturação apresentado na Tabela 68.

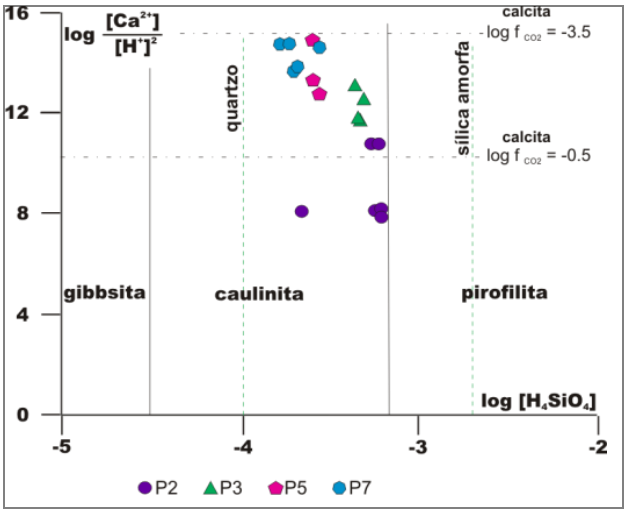

Figura 169 – Diagrama de Korjinski para minerais do sistema Ca – Al – SiO_2 – H_2O para as águas dos aquíferos profundos amostradas nos poços P2, P3, P5 e P7 entre agosto de 2012 e março de 2013.

Os dados obtidos para os constituintes majoritários permitem também a avaliação da vocação das águas dos aquíferos amostrados para irrigação. Para tal informação lançou-se mão de um diagrama de Wilcox, elaborado com o auxílio do programa computacional Diagramme (Simmler, 2013).

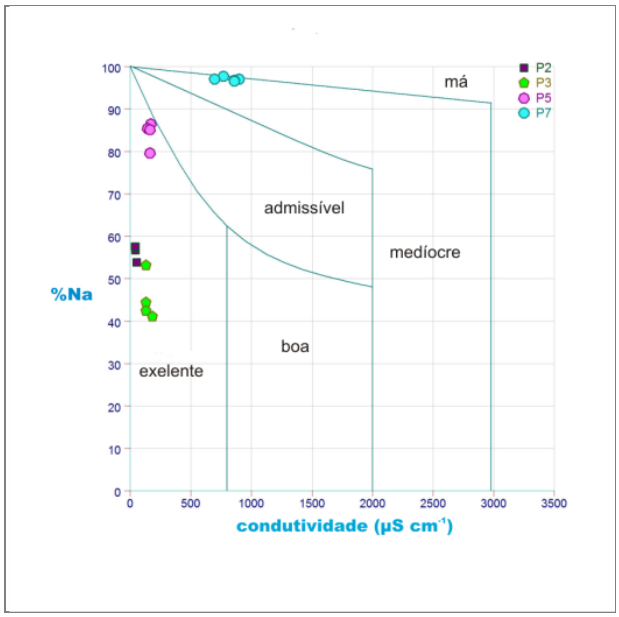

Figura 170 – Diagrama de Wilcox para águas dos aquíferos profundos dos poços P2, P3, P5 e P7, coletadas entre agosto de 2012 e março de 2013.

Como pode ser observado na Figura 170, as águas acessadas pelos poços P2 e P3 apresentam condições tidas como excelentes para irrigação, o que também ocorre com o efluente do poço P5, se bem que este está em condições limítrofes com o campo das condições tidas como admissíveis. O poço P7, por sua vez, apresenta águas no campo das medíocres, muito próximo a más.

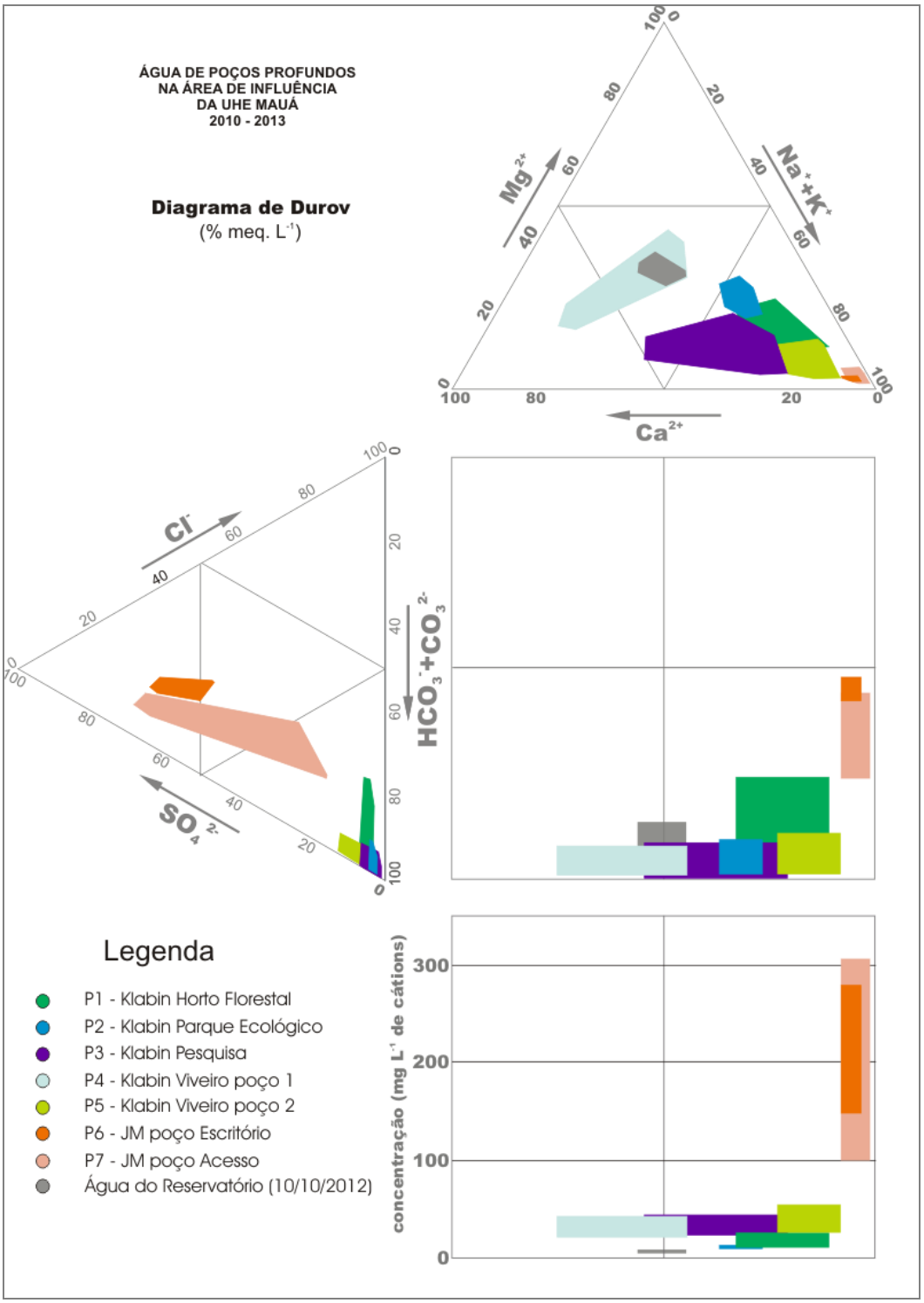

Figura 171 – Diagrama de Durov contendo os polígonos de relações interiônicas envolventes da água dos aquíferos profundos em amostras coletadas entre 2010 e 2013.

Um panorama geral do quimismo das águas dos aquíferos profundos amostrados nos poços pode ser representado pela distribuição relativa dos macro-constituintes iônicos, por meio de diagrama de Durov (Figura 171 e Figura 172).

No presente documento o diagrama foi refeito tendo sido acrescidos os pontos correspondentes às campanhas de 2012 e 2013.

O diagrama elaborado com os macro-constituintes catiônicos e aniônicos mostra aquíferos com características distintas, evidenciando a diversidade dos corpos de água subterrânea das unidades paleozoicas da região. O Parque Ecológico da Klabin é abastecido por P2, com água de baixa concentração de sólidos dissolvidos e caráter bicarbonatado-sódico a bicarbonatado misto. Sua composição difere daquela das águas do corpo do reservatório, estas últimas são mais diluídas e tem caráter menos sódico.

O corpo de água acessado pelo P1, que abastece o Horto Florestal, também é bicarbonatado sódico é pouco mais concentrado em sólidos dissolvidos do que a água do P2 (Figura 171).

No caso do poço P3, as águas são bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas mistas, sendo relativamente grande a variação na composição de macro-constituintes iônicos.

A água dos poços P4 e P5 são muito diferentes, sendo em P4 as águas bicarbonatadas mistas a cálcicas, enquanto em P5 a água é essencialmente bicarbonatada sódica.

A composição que mais se destaca dentre as águas amostradas é a dos poços P6 e P7, que abasteceram durante algum tempo o canteiro de obras da UHE Mauá. P6 verte águas com composição sulfatada sódica, sendo abandonado como fonte de abastecimento do canteiro da UHE, por sua baixa vazão e presença reiterada de flúor de origem natural, que passou a contar apenas com o poço P7. Este último produz água com composição aniônica mista à sulfatada sódica. Esta água apresenta uma grande gama de variação em sua salinidade, marcada no diagrama da Figura 70 pela concentração total de cátions. O poço P7, que abastece o escritório da UHE Mauá, é aquele mais próximo ao reservatório da usina e que, nos períodos de alta demanda foi incapaz de suprir as necessidades por sua baixa vazão e apresentou concentrações mais altas de material dissolvido. Este fato sugere que a capacidade do reservatório é relativamente pequena, porém o fluxo forçado pode ter induzido a que fluxos incidentes de outros aquíferos contíguos menos salinos tenham contribuído para uma baixa na concentração das águas.

Na Figura 172, os pontos recentes estão locados individualmente no diagrama para visualizar sua relação com os polígonos envolventes dos pontos obtidos na fase rio. No período coberto pelas análises ainda não foi possível detectar qualquer mudança na composição das águas induzida pelo enchimento do Reservatório da UHE Mauá.

Em termos gerais, o caráter químico das amostras respeitou a posição ocupada pelas amostras coletadas anteriormente nos mesmos pontos, todavia em alguns casos ocorrem variações. Para o caso dos poços tubulares profundos, uma grande diferença em relação aos piezômetros é que os poços profundos têm sido continuamente utilizados. Para a utilização é feito um bombeamento, o que provoca fluxo forçado no interior do aquífero.

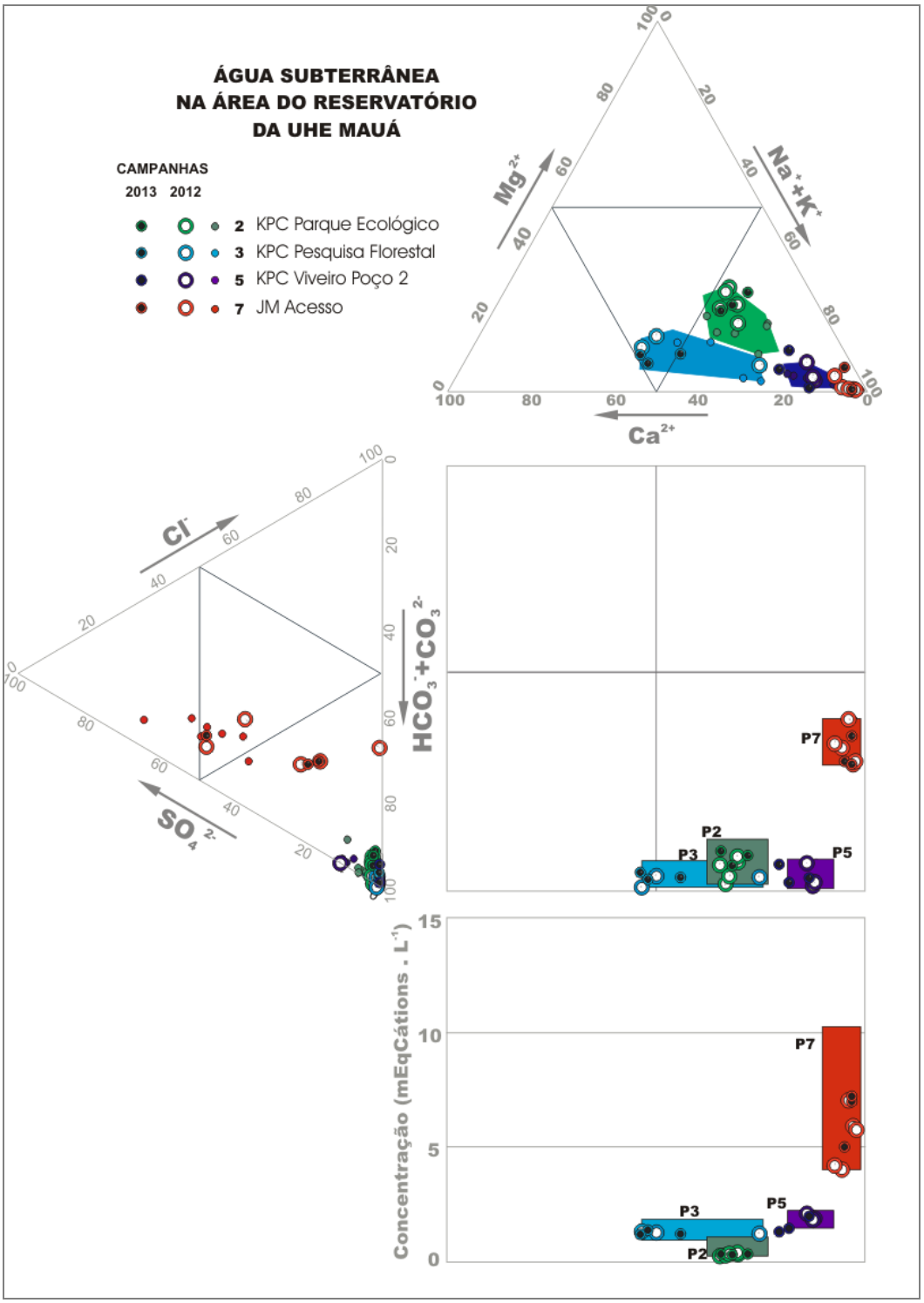

Figura 172 – Diagrama de Durov representando a água dos aquíferos profundos coletadas em 2012 e 2013.

Pelo pequeno tempo decorrido após o enchimento da barragem da UHE Mauá, certamente a diluição observada nas águas não é provocada pela maior carga hidráulica devida ao reservatório.

O poço P2, que abastece o Parque Ecológico da Klabin apresenta valores mais baixos de concentração de material dissolvido nas últimas determinações. Também no poço P5, que serve ao Viveiro Florestal da Klabin, ocorre o mesmo fenômeno. Estes fatos provavelmente também estão relacionados a uma captação intensa em relação ao volume da água disponível no aquífero.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados do presente monitoramento de águas superficiais, no que concerne as suas características físico-químicas e bacteriológicas, destaca-se:

1) Durante todo o a fase reservatório, variáveis de qualidade de água analisadas e contempladas pela Resolução CONAMA 357/05 que se apresentaram em não conformidade com os limites dispostos para rios de Classe 2, em algum momento do monitoramento, foram pH, fenol, fósforo total, coliformes termotolerantes, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, densidade de cianobactérias e clorofila-a.
    a. Na estação E1, no rio Tibagi, a montante da cidade de Telêmaco Borba, foi registrado valor de 5,6 (julho/12) para o pH, valor este inferior ao limite mínimo de 6,0 estabelecido para rios de Classe 2. Já na estação E6, no reservatório nas proximidades do barramento, outro desacordo, agora com relação ao limite superior também foi registrado (9,6). Esta última não conformidade pode estar relacionada ao aumento da produtividade primária.
    b. Na estação E2 é feita avaliação da concentração de fenóis totais. Esta variável vem apresentando-se acima do limite da Resoluão CONAMA 357/05 (0,003mg.L^{-1}) desde o início do monitoramento, na maior parte dos eventos de amostragem. Tal situação também foi observada durante o monitoramento da fase reservatório.
    c. Desacordos com relação ao fósforo total foram registrados nas estações de montante: E1, E2 e E3; de reservatório: E4, E6 e E10. Ainda sobre o fósforo, as concentrações mais elevadas foram registradas nas estações E1, E2. Temporalmente, no mês de julho/12 foram registrados mais desacordos.
    d. Coliformes termotolerantes foram registrados em concentrações superiores a 1.000 NMP.100mL^{-1} nas estações E1, E2, E3 e E7, situadas a montante ou a jusante do reservatório da UHE Mauá. Valor mais elevado ocorreu na estação E3, rio Embauzinho, no mês de novembro/12 (7.900 NMP.100mL^{-1}).
    e. As menores concentrações de OD de superfície foram registradas nas estações E4 (2,3 mg.L^{-1} em agosto/12), E7 (2,8 mg.L^{-1} em fevereiro/13) e E9 (1,6 mg.L^{-1} em janeiro/13).

f. Óleos e graxas são monitorados apenas nas estações de montante (E1) e jusante (E7) e foram observados como não conformidades apenas na estação de montante, E1, no mês de março/13 (1,5 $mg.L^{-1}$) e de abril/13 (1,1 $mg.L^{-1}$), quando estiveram acima do limite de detecção do método, uma vez que a resolução CONAMA 357/05 não é clara quanto ao limite desta variável. Na estação E7, a jusante da casa de força da UHE Mauá, não foram registrados desacordos.

2) Segundo a metodologia do Índice de Qualidade de Água (IQA) proposto pela CETESB, de forma geral, as águas do rio Tibagi e de seus afluentes, na região do empreendimento UHE Mauá, apresentaram qualidade boa e ótima, nos eventos de amostragem ocorridos entre os meses de julho/12 a setembro/13.
3) Com relação ao grau de trofia do ecossistema, de acordo com o Índice de Estado Trófico (IET) proposto pela CETESB, na maior parte do período monitorado, as águas do rio Tibagi e afluentes na região de estudo, apresentaram característica mesotrófica ou superior, indicando águas enriquecidas por nutrientes.
4) As estações de reservatório E6 e E10 foram avaliadas pelo método do IQAR, sendo ambas classificadas de Classe IV, ambiente classificado como degradado a criticamente poluído.
5) Os resultados dos índices de estabilidade da água LSI (Índice de Langelier) e RSI (Índice de Ryzsnar) indicaram que as águas da região de estudo apresentaram característica corrosiva. O Índice de Larson-Skold, relacionado à corrosão/incrustração do aço, todavia, não ressaltou este aspecto. No que diz respeito às variáveis que compõem os referidos índices e que possuem limites em legislação (Resolução CONAMA 357/05 e Portaria MS 2914/11), as mesmas apresentaram valores dentro da normalidade, inclusive o pH, que na média tendeu à neutralidade, contrariando os resultados dos índices LSI e RSI. Recomenda-se à Concessionária avaliar estas características da água mais a fundo para averiguação da necessidade de pré-tratamento em caso de utilização para o resfriamento das unidades geradoras.
6) O perfil de temperatura e oxigênio mostrou-se estratificado nas estações monitoradas para tal fim (E4, E6 e E10), com registro de hipóxia ou anóxia na região de fundo das estações ou ainda em regiões mais superficiais.

a. Na estação E4, concentrações mais baixas de OD foram registradas a partir dos primeiros metros de profundidade, entre 5 e 10 m, nos meses de setembro/12 a janeiro/13. A partir do mês de fevereiro/13, esta situação não foi mais observada, com concentrações mais elevadas de OD nos primeiros metros de profundidade do reservatório, naquela estação.
b. Na estação E6 também foi registrada estratificação química e térmica, em todos os meses de monitoramento. Além do hipolímnio anóxico ou em condições de hipóxia, baixas concentrações de oxigênio dissolvido nas profundidades nos primeiros metros de prodfundidade (a partir de 5 a 15 metros) foram registradas de agosto/12 a maio/13. Nos meses de agosto/13 e setembro/13 tal situação não foi observada, sendo as concentrações de OD mantidas em valores mais elevados (superiores a 4,0 $mg.L^{-1}$) da superfície ao fundo.
c. Na estação E10, a estratificação térmica e química também foi observada ao longo de todo o monitoramento da fase reservatório. Hipóxia ou anóxia hipolimnética foram observadas em todos os meses monitorados. Com relação às concentrações de oxigênio nos primeiros metros de profundidade, de agosto/12 a maio/13 foi observada perda significativa de OD a partir de 5 a 15 m. Já nos meses de agosto/13 e setembro/13, a situação observada foi mais adequada, com concentrações de OD mais elevada nos primeiros metros de profundidade.

Com base nos resultados do presente monitoramento de sedimentos, destaca-se:

1) As variáveis no sedimento que apresentaram algum desacordo com a o CONAMA 454/12 foram carbono orgânico total, nas estações E5 em fevereiro/10 e em dezembro/11 e na estação E6 em junho/11 e dezembro/11 e zinco em maio/10 em todas as estações. Não foram encontradas relações entre a pluviometria ou a vazão para o acréscimo da concentração nestas amostras pontuais.
2) Quanto à granulometria, houve uma mudança no tamanho das partículas das amostras, principalmente quanto ao aumento da porcentagem de areia das mesmas.
3) A concentração de carbono orgânico total aumentou após a formação do reservatório, enquanto a concentração de carbono inorgânico diminuiu. Quanto ao carbono orgânico dissolvido, este apresentou maiores concentrações nos pontos E5, E6 e E10.

4) O fósforo total apresentou tendência ao aumento da concentração após a formação do reservatório nas estações E4 e E6. A concentração de nitrogênio apresentou tendência ao decréscimo após o enchimento do reservatório.
5) Comparando as concentrações de carbono orgânico total, fósforo total e de nitrogênio total Kjedahl em água e em sedimento, observa-se que a concentração destas variáveis, em ppm, no sedimento é muito maior.

Com base nos resultados do presente monitoramento de águas superficiais, no que concerne à comunidade fitoplanctônica, destaca-se:

1) A riqueza de microalgas alcançou 265 táxons na fase reservatório, praticamente igual as encontradas na fase rio do empreendimento (262).
2) Os valores correspondentes à densidade do fitoplâncton e clorofila-a registrados na fase reservatório foram mais elevados em relação aos registrados na fase lótica do monitoramento do empreendimento, mas de acordo com o esperado, pois as algas encontram maior facilidade de crescimento em águas mais lênticas, sendo maior a dificuldade de sobrevivência diante da maior turbulência e turbidez das águas dos rios.
3) Durante as análises processadas na fase reservatório ocorreram os seguintes eventos de floração:
    a. *Aphanocapsa delicatissima* (73.357 cél.mL^{-1}) em outubro/2012 na estação a montante do reservatório (E2),
    b. *Eutetramorus fotti* nas estações E6, E7 e E9 em agosto/2012 (90.476, 95.843 e 78.466 céls.mL^{-1}, respectivamente),
    c. *Eutetramorus* sp. (92.018 cél.mL^{-1}) em novembro/2012 no rio Barra Grande (E10);
    d. *Sphaerocavum brasiliense* durante a primavera (setembro/2013) na estação da barragem (E6) e no rio Barra Grande (E10) (120.126 e 74.313 cél.mL^{-1}, respectivamente). Não são microalgas com potencialidade hepato ou neurotóxica, mas indicam as condições mais eutróficas das águas.
4) A comunidade de cianobactérias foi representada por 47 táxons, dos quais 29 ocorreram durante a fase rio e 32 na fase reservatório. De maneira geral, quase a metade das cianobactérias (ca. 49%) presentes no fitoplâncton na área de estudo investigada são espécies toxigênicas, sendo capazes de produzir hepatoxinas (ex.

Dolichospermum spp., *Aphanocapsa* spp., *Microcystis* spp.) ou neurotoxinas (ex. *Cylindrospermopsis racinorskii*, *Planktothryx* sp., *Pseudanabaena* spp., *Planktolyngbya limnetica*, *Raphidiopsis*). Entretanto, foram detectadas em densidades baixas na maior parte do período analisado, exceto em outubro/2012 onde houve predominância de *Aphanocapsa delicatissima* (73.357 cél.mL^{-1}).

5) Com a formação do reservatório, é importante o monitoramento das condições tróficas do sistema e da fonte de origem dos inóculos de cianobactérias potencialmente tóxicas, para direcionar medidas mitigatórias em relação à possível superpopulação destes microorganismos.

Com base nos resultados do presente monitoramento de águas superficiais, no que concerne à comunidade zooplanctônica, destaca-se:

1) Com a formação do reservatório está ocorrendo um incremento de táxons. Nos pontos localizados no corpo central do reservatório (pontos E4, E6 e E10) foram registrados os maiores picos de abundância, principalmente para os rotíferos. Comparando os períodos amostradoa anteriormente, os microcrustáceos dominaram quantitativamente em relação os rotíferos.
2) Como abordado anteriormente, a formação de um reservatório pelo represamento de um rio tende a favorecer espécies colonizadoras oportunistas capazes de tolerar a instabilidade ambiental ou que se adaptem facilmente às condições do meio.

Com base nos resultados do presente monitoramento de águas superficiais, no que concerne à comunidade de macroinvertebrados bênticos, destaca-se:

1) O número de taxa e a abundância foram baixos na maioria das estações quando comparados com os da Fase Rio. Este fato pode ser atribuído às chuvas frequentes durante os períodos que antecederam as coletas, além das alterações ambientais geradas pela formação do reservatório como no caso das estações E4, E6, E7, E9 e E10.
2) Os macroinvertebrados já colonizaram a zona litoral propriamente dita no reservatório, embora ainda esteja coberta por vegetação submersa das margens.
3) A espécie exótica *Corbicula fluminea* se faz presente nas três estações monitoradas na área do reservatório.

4) As estações a jusante do reservatório foram muito afetadas pela redução da vazão da água causando a supressão de hábitats para os macroinvertebrados aquáticos e formação de ambientes lênticos.
5) Também sugere-se:
    a. Coletas mensais em estações localizadas na região litoral do reservatório por serem mais diversas que a profundal, mas também por melhor retratarem as condições de qualidade da água e do estado geral do ambiente para a biodiversidade aquática.
    b. Utilizar métodos de amostragem que permitam o cálculo de densidade da fauna e o cálculo de Índice da Comunidade Bentônica.
    c. Efetuar coletas semestrais de sedimento no local amostrado.
    d. Manutenção da estação E1 como controle do monitoramento e extinção da estação E2 que não apresentou muita contribuição para o monitoramento na Fase Reservatório e manutenção das demais nos mesmos locais demarcados.
    e. Incluir uma estação de coletas localizada aproximadamente a 10 Km a jusante da barragem.

Com base nos resultados do presente monitoramento da presença de *Limnoperna fortunei*, destaca-se:

1) O resultado positivo para a presença de DNA do mexilhão dourado indica uma provável invasão da espécie no reservatório da UHE Mauá. Recomenda-se uma prospecção detalhada da espécie na usina e em seu reservatório, bem como realização de acompanhamento e monitoramento da presença do mexilhão dourado dentro da usina.
2) Medidas de controle para prevenir possíveis problemas operacionais devem ser tomadas.

Com base nos resultados do presente monitoramento de macrófitas aquáticas, destaca-se:

1) Há necessidade de monitoramento periódico nas áreas analisadas por dois motivos distintos:
    a. A ocorrência de espécies com alto potencial de crescimento excessivo *(E. crassipes, P. stratiotes, P. cordata, S. minima e L. minuta*) em vários pontos amostrais. Em condições ambientais ideais, essas espécies podem crescer rapidamente e ocupar grandes superfícies dos reservatórios; causando danos para as Usinas Hidroelétricas.

Principalmente as áreas de remanso no reservatório que apresentam características favoráveis ao estabelecimento das espécies flutuantes devem ser monitoradas afim de evitar que as espécies desenvolvam extensos bancos de macrófitas, cujo crescimento excessivo pode ser prejudicial à geração de energia pela UHE Mauá.

b. A supressão das espécies reófilas (*P. irgangii* e *A. yguazuensis*), endêmicas, cujas populações podem ser reduzidas, devido ao baixo fluxo de água e restrição da chegada de propágulos causada pelo represamento do Rio Tibagi. Assim, tanto as áreas de corredeiras a montante e como a jusante do reservatório da UHE Mauá devem ser monitoradas para avaliar se está ocorrendo a supressão das espécies de Podostemaceae encontradas.

Com base nos resultados do presente monitoramento de águas subterrâneas, destaca-se:

1) As diferenças nas características químicas entre os aquíferos paleozóicos rasos e profundos se manifestam na qualidade química das águas;
2) Não foram observadas alterações na qualidade da água dos aquíferos profundos monitorados, que possam ser atribuídas à implantação do Reservatório;
3) O aquífero raso nas áreas monitoradas, sofreu influência direta no nível da água, mostrando uma sensível variação no nível da água até o P-6 (cerca de 60 m da borda do reservatório), diminuindo a partir do P-7 na bateria BP1. Na bateria BP2, essa variação se manifesta até o P-7 (cerca de 75 m da margem do reservatório), diminuindo a partir do P-8;
4) O nível do freático, após o enchimento do reservatório, nos poços de monitoramento BP1-P1 e BP2-P1 passaram a acompanhar sincronicamente o nível do lago.
5) A implantação do reservatório alterou a qualidade da água no aquífero raso, percebida, nos poços de monitoramento mais próximos do lago, pela modificação nas características físico-químicas após a elevação do nível do freático;
6) As alterações na qualidade da água não foram provocadas por inclusão no aquífero de componentes veiculados pelas águas do lago, porém por alterações no seio do aquífero raso pela elevação do nível da zona saturada;
7) O aquífero raso acessado pelo poço de monitoramento BP1-P1, situado na margem direita do reservatório, mesmo antes de ser influenciado por este, apresentou

sistematicamente concentrações em chumbo superiores aos limites recomendados para potabilidade pela resolução CONAMA 396;

8) O poço tubular profundo P5, que abastece o Viveiro Florestal da Klabin, em Telêmaco Borba, apresentou concentração de arsênio acima do recomendado (10µg L^{-1}) em todas as amostras analisadas em 2012 e 2013;
9) A elevação do nível do reservatório promoveu um aumento da concentração de estrôncio em solução, em relação ao bário, o que provavelmente é reflexo da liberação do estrôncio anteriormente fixado no complexo minerálico da zona insaturada;
10) A concentração total de Ba+Sr+Rb na água, anteriormente era inferior à concentração da mesma variável no reservatório, porém após o enchimento a concentração passou a ser superior àquela do lago, o que contraria hipótese de origem do elemento nas águas do lago;
11) Em termos de ânions as águas amostradas do aquífero raso e no reservatório são todas bicarbonatadas. Quanto aos cátions são cálcicas a mistas nos poços de monitoramento BP1-P1, BP2-P1 e BP2-P13, sódicas a mistas no BP1-P1 e mista no reservatório;
12) Os elementos minoritários possibilitam uma diferenciação importante entre os aquíferos acessados pelos diversos poços de monitoramento;
13) As águas acessadas pelos poços P2 e P3 apresentam condições tidas como excelentes para irrigação, o que também ocorre com o efluente do poço P5, se bem que este está em condições limítrofes com o campo das condições tidas como admissíveis. O poço P7, por sua vez, apresenta águas no campo das medíocres, muito próximo das más.
14) Com base nos dados e análise das informações levantadas durante o período monitorado, recomenda-se:
    a. Prosseguir monitorando as baterias de poços BP1 e BP2, por um período mínimo de um ano, com campanhas bimensais, nos moldes do que foi realizado no período relatado, de modo a se identificar quando o sistema reservatório/aquíferos será estabilizado, se é que isto irá acontecer no período considerado;
    b. Acrescentar no monitoramento de cada bateria de poços, um ponto no corpo do reservatório, no prolongamento da linha dos poços;
    c. Deverão ser monitorados tanto os constituintes químicos majoritários como também os minoritários;

d. As águas dos aquíferos Paleozóicos que estão sendo usadas para abastecimento na região ou no Estado do Paraná ou venham a ser utilizadas, independentemente de estarem próximas ou não a reservatório de qualquer usina hidrelétrica, devem ser monitorados regularmente, por quem de direito, quanto à concentração de elementos minoritários potencialmente deletérios à saúde, tais como o arsênio e o chumbo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, J.D. Stream ecology: structure and function of running Waters. Champman & Hall, London, 388pp. 1995.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Bacia do Paraná – Coluna Estratigráfica, 2000. Disponível em: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round2/Pdocs/Pbacias/Pbacia1 /PB1strat.htm. Acesso em 25/07/2012.

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 20ed. Washington, 1998.

AZEVEDO, P. & SANT'ANNA, C.L. Sphaerocavum, a new genus of planktic Cyanobacteria from continental water bodies in Brazil. Algological Studies 109(1): 79-92. 2003.

BAGGIO, R.A.; FIRKOWSKI, C.R.; BOEGER, M.R.T.; BOEGER, W.A. 2013. Differentiation within and between river basins of Podostemum irgangii (Podostemaceae), a rapid-water macrophyte of southern Brazil. Aquatic Botany 107: 33-38.

BEYRUTH, Z. & PEREIRA, H. The isolation of rio Grande from Billings reservoir, São Paulo, Brazil: effects on the phytoplankton. Boletim do Instituto da Pesca 28(2):111-123. 2002.

BIANCHINI Jr., I., PACOBAHYBA, L.D. e CUNHA-SANTINO, M.B. 2002. Aerobic and anaerobic decomposition of Montrichardia arborescens (L.) Schott. Acta Limnologica Brasiliensia, 14 (3): 27-34.

BICUDO, C.E.M. & BICUDO, D.C. Amostragem em Limnologia. Rima, São Carlos. 371 pp.2004.

BINI, L.M.; THOMAS, S.M.; MURPHY, K.J., CAMARGO, A.F.M. 1999. Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu Reservoir, Brazil. Hydrobiologia, 415: 147-154.

BITTENCOURT, A.V.L. ; LIMA, A Contribuição à Caracterização hidroquímica de águas relacionadas ao Grupo Caiuá. Anais do: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1993 Anais p. 339-341.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. A comunidade fitoplanctônica do rio Tibagi: uma abordagem preliminar de sua diversidade. In: MEDRI, M. E. et al. A bacia do rio Tibagi, Londrina, p. 373-402, 2002.

BIUDES, J.F.V.; CAMARGO, A.F.M. Changes in biomass, chemical composition and nutritive value of Spartina alternifl ora due to organic pollution in the Itanhaem River Basin (SP, Brazil). Brazilian Journal of Biology, 66(3): 781-789. 2006.

BIUDES, J.F.V.; CAMARGO, A.F.M. Estudos dos Fatores Limitantes à Produção Primária por Macrófitas Aquáticas no Brasil. Oecologia Brasiliensis, 12: 7-19. 2008.

BOUVY, M.; FALCÃO, D.; MARINHO, M.; PAGANO, M. & MOURA, A. Occurrence of Cylindrospermopsis (Cyanobacteria) in 39 brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. Aquatic Microbial Ecology 23:13-27. 2000.

BOZELLI, R.L. & HUSZAR, V.L.M. Comunidades fito e zooplanctônicas continentais em tempo de avaliação. Limnotemas, SBL. 2003.

BRAGA, B.; PORTO, M & TUCCI, C.E.M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: Aldo Rebouças; Benedito Braga & José Galizia Tundisi. Águas doces no Brasil. Capital ecológico, uso e conservação. 3ª Ed. Escrituras, São Paulo. Cap. 5. 145-160. 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Classifica as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, segundo os usos preponderantes, revogando a Resolução CONAMA no 20. Diário Oficial da União, Brasília, DF., 18 de março de 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 344 de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. – Diário Oficial da União nº 87, de 07/05/2004, pág. 56-57. 2004.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 454 de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. – Diário Oficial da União nº 216, de 08/11/2012, pág. 66. 2012.

BURONE, L.; MUNIZ, P.; PIRES-VANIN, A. M. S.; RODRIGUES, M. Spatial distribution of organic matter in the surface sediments of Ubatuba Bay (Southeastern – Brazil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 75, n. 1, p. 77-90, 2003.

CALIJURI, M.C.; ALVES, M.S.A. & SANTOS, A.C.A. Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais. São Carlos, RIMA. 2006

CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, M. M.; HENRY-SILVA, G. G. 2003. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. . IN: S. M. Thomaz e Bini L. M. (eds.) Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas. Ed. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2003.

CASANOVA, S.M.C. Análise da estrutura da comunidade zooplanctônica na região de desembocadura do rio Paranapanema na represa de Jurumirim (SP), com ênfase na dinâmica populacional de Rotifera [Tese]. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo; 2005.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canada, 2001.

CDC - CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. E. coli (Escherichia coli). Atlanta, GA, 2011. Disponível em: < http://www.cdc.gov/ecoli/general/index.html >. Acesso em: 10 de maio de 2013.

CESCONETTO-NETO, G. Decomposição de fenol e efluente da indústrua de papel e celulose por fotocatálise heterogênea. Dissertação de Mestrado (Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. 82p.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2010. Índice de Estado Trófico (IET) (online). Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iva_iet.asp. [Acesso em 09 de dezembro de 2010]. 2010.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. CQS – Critério de Avaliação de Qualidade dos Sedimentos. (on-line). Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/.../10.pdf (Acesso em 23 de abril de 2013).

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. (on line). Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf . [Acesso em 10 de fevereiro de 2011]. 2009.

CHORUS I. & BARTRAM J. (eds.) 1999. Toxic Cyanobacteria in water: A guide to the Public Health Consequences, Monitoring and Management. E & FN Spon, London. Pp 416.

CONAMA, 2008 - RESOLUÇÃO CONAMA no 396, de 3 de abril de 2008 Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

CUMMINS, K.W. Invertebrates. In: PETTS, G. & CALOW, P. (Eds.) River biota: diversity e dynamics. New York. Blackwell Science. 75-91. 1996.

DENNY, P. 1980. Solute movement in submerged angiosperms. Biological Reviews, 50:65-92

DORGELO, J.; DONK, E.; BIERBRAUWER, I. G. The late winter/spring Bloom and sucession of diatoms during four years in Lake Maarsseven (The Netherlands). Verh.Internat.Verein.Limnol. 21: 938-947. 1981.

DUARTE, P. B. Microrganismos indicadores de poluição fecal em recursos hídricos. Monografia (Especialista em Microbiologia). Pós-Graduação em Microbiologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 52p. 2011.

EPA – Environmental Protection Agency (US). Lake and reservoir bioassessment and biocriteria. Technical guidance document. United States Environmental Protection Agency. Part-2. 1998

FARIAS, A. M. L. Conteúdos digitais em matemática e estatísticac: O Boxplot. On line. Disponível em www.uff.br/cdme/conheceboxplot/conheceboxplot-html/boxplot.pdf. Acesso em 20 de maio de 2013.

FERRAZ, H.D.A. Associação da ocorrência de cianobactérias às variações de parâmetros de qualidade da água em quatro bacias hidrográficas de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012.

FONSECA, B.M. & BICUDO, C.E.M. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). Hydrobiologia 600(1): 267-282. 2008.

FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.2, n.2-4, p.147-191, 1988

FRITZ, B. Étude thermodynamique et modélisation des reactions hydrothermales et diagénétiques. Sciences Géologiques. Mem. 65, Strasbourg, 1981. 197p.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição de sedimentos da Bacia do Rio Barigüi. Química Nova, Aceito, 2007.

FUNASA. Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano. Brasília, Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde. 2003.

FURTADO, A. L. dos S.; PETRUCIO, M. M.; Concentração de nitrogênio e fósforo na coluna d'água da Lagoa Imboassica. Em: ESTEVES, F. A., Ecologia das Lagoas Costerias do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ), 1998.

GENEVIERE, M.C.; DUTHIE, H.C.; TAYLOR, W.D. 1997. Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth. Aquatic Botany, 59: 195-215.

GENTIL, R.C.; TUCCI, A. & SANT'ANNA, C.L. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica e aspectos sanitários de um lago urbano eutrófico em São Paulo, SP. Hoehnea 35(2): 265-280. 2008.

HEM, J. D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. United States Geological Survey, 1985.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M.; PEZZATO, M.M. 2002. Effect of nutrient concentration on the growth of Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes and Salvinia molesta. EWRS on Aquatic Weeds, 1, 40-43.

HUSZAR, V. L. M.; GIANI, A. Amostragem da comunidade fitoplanctônica em águas continentais: reconhecimento de padrões espaciais e temporais. In: BICUDO, C. E. M. B., D. C. (Ed.). Amostragem em limnologia. São Carlos: RiMa, 2004. p.133-147.

HYNES, H.B.N. The biology of polluted Waters. Toronto: University of Toronto Press. 202pp. 1974.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Monitoramento da Qualidade das Águas de Reservatórios do Estado do Paraná no período de 2005 a 2008. Curitiba (PR): IAP - Instituto Ambiental do Paraná: 120 p. p. 2009.ALLAN, J.D. Life history patterns in zooplankton. American Naturalist; 110:165-180. 1976.

IMAICHI, R.; MAEDA, R.; SUZUKI, K.; KATO, M. 2004. Developmental morphology of foliose shoots and seedlings of Dalzellia zeylanica (Podostemaceae) with special reference to their meristems. Botanical Journal of the Linnean Society 144: 289-302

IRGANG, B.E.; GASTAL Jr. C.V.S. 1996. Plantas aquáticas da planície costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1996.

JEFFERY, S. W.; HUMPHREY, G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1, and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. . Biochem. Physiol. Pflanz. , v. 167, p. 191-194, 1975.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória – ES. Química Nova, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.

JORCIN, A. & NOGUEIRA, M.G. Macroinvertebrados bentônicos dos reservatórios em cascata do rio Paranapanema (sudeste, Brasil). Brazilian Journal of Biology. 68(4)suppl. São Carlos. 2008

JULIO JR., H.F.; BONECKER, C.C. & AGOSTINHO, A.A. Reservatório de Segredo e sua inserção na Bacia do Rio Iguaçu. In: Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo. Capítulo 1. P.1-17. EDUEM. 1997.

KELMAN, J.; PEREIRA, M.V.; ARARIPE NETO, T.A.; SALES, P.R.H. & VIEIRA, A.M. Hidreletricidade. In: Aldo Rebouças; Benedito Braga & José Galizia Tundisi. Águas doces no Brasil. Capital ecológico, uso e conservação. 3ª Ed. Escrituras, São Paulo. Cap. 16. 507-543. 2006.

KIKUCHI, R.M. & UIEDA, V.S. Composição da comunidade de invertebrados de um ambiente lótico tropical e sua variação espacial e temporal. 157-173. In: Nessimian, J.L & Carvalho, E.A.L. (eds.): Ecologia de insetos aquáticos. Série Oecologia Brasiliensis. Vol.5. PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro, 309pp. 1998.

KLEINE, P. & TRIVINHO-STRIXINO, S. Chironomidae and other aquatic macroinvertebrates of a first order stream: community response after habitat fragmentation. Acta Limnologica Brasiliensia. 17(1):91-99. 2005.

KOROVCHINSKY, N.M. 1996. How many species of Cladocera are there? Hydrobiologia, 321: 191-204

KRIVTSOV, V.; BELLINGER, E. G. & SIGEE, D. C. Changes in the elemental composition of Asterionella Formosa during the diatom spring bloom. Journal of plankton research 22(1):169-184. 2000.

KUHLMANN, M.L. et al. Aplicação da tríade na avaliação da qualidade de sedimentos em redes de monitoramento. São Paulo: CETESB, 2007.

LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Diagnóstico das condições limnológicas e da qualidade da água superficial e subterrânea na região do empreendimento UHE Mauá - Relatório Fase Rio. Curitiba: Lactec, 2011. 198p. Disponível em http://consorciocruzeirodosul.com.br/upload/tiny_mce/arquivos/meio_ambiente/Qualidade_da_agua/Relatorio_FINAL_Fase_rio_-_UHE_Maua.pdf

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos de água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 235 p. p. (Doutorado em Ciências - Ecossistemas Terrestres e Aquático). Instituto de Biociências, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

LANSAC-TOHA, F. A.; BONECKER, C. C. & VELHO, L. F. M. 2005. Estrutura da comunidade zooplanctônica em reservatórios do Estado do Paraná. In: Liliana Rodrigues; Sidinei Magela Thomaz; Angelo Antonio Agostinho; Luiz Carlos Gomes. (Eds). Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais. São Carlos: RiMA, p. 115-127.

LARCHER, W. 2000. Ecofisiologia Vegetal. Rima, Sao Carlos. 531p.

LARSON, T. E.; SKOLD, R. V. Laboratory Studies Relating Mineral Quality of Water to Corrosion of Steel and Cast Iron. Illions State Water Survey. Corrosion. Vol.14. Nº6. p. 285-288. 1958.

LIMA, M. C.; GIACOMELLI, M. B. O.; STÜPP, V.; ROBERGE, F. D.; BARRERA, P. B. Especiação de cobre e chumbo em sedimento do Rio Tubarão (SC) pelo método Tessier. Química Nova, v. 24, n. 6, p. 734-742, 2001.

MARGALEF, R. 1983. Limnologia. Barcelona: Omega, 1100 p

MARZOLF, R.G. 1990. Reservoirs as environments for zooplankton. In: THORNTON, K.W.; KIMMEL, L.B. & PAYNE, F.E. (Ed.). Reservoir limnology: ecological perspectives. New York: John Wiley & Sons, p. 195-208.

MATSUMURA TUNDISI, T. 1999. Diversidade de Zooplâncton em Represas do Brasil. In: HENRY, R. (Ed.). Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais. Botucatu Fundibio/Fapesp, cap. 2, p.39-54

MELÃO, M.G.G. A 1999. Produtividade secundária do zooplâncton: métodos, implicações e um estudo na lagoa Dourada. In: Henry R. Editor. Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: Fapesp/Fundibio. p. 151-183.

MERKEL, B.J.; PLANER-FRIEDRICH, B. Geoquímica de águas subterrâneas. Org. Darrell Kirk Nordstrom. Trad. Ed. Unicamp, Campinas, 2012. 244p.

MILANI, E.J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná . Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.265-287, 2007.

MITCHELL, D.S. 1974. Aquatic vegetation and its control. UNESCO.135 p.

NEEDHAM, J.G. & NEEDHAM, P.R. Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. Editorial Reveté, S.A. 131 pp.1978.

NEIFF, J.J. 1990 Ideas for an ecological interpretation of the Paraná. Interciencia, 15 (6): 424-441.

NOGUEIRA, I.N.; GAMA-JÚNIOR, W.A. & D'ALESSANDRO, E.B. Cianobactérias planctônicas de um lago artificial urbano na cidade de Goiânia, GO. Revista Brasileira de Botânica 34(4): 575-592. 2011.

OLIVEIRA, L.G.; BISPO, P.C. & SÁ, N.C. Ecologia de comunidades de insetos bentônicos (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), em córregos do Parque Ecológico de Goiânia, Goiás, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia. 14: 867-876. 1997.

PANOSSO, R., COSTA, I.A.S., SOUZA, N.R., ATTAYDE, J.L., CUNHA, S.R.S. & GOMES, F.C.F. 2007. Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus). Oecol. Bras., 11 (3): 433-449.

PAPROCK, H. Aspectos da ecologia de comunidade de insetos aquáticos em dois riachos de 1a ordem na Serra do Cipó, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo. 48pp. 1997.

PEDRALLI, G. 2003. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água: alternativa para usos múltiplos de reservatórios. IN: S. M. Thomaz e Bini L. M. (eds.) Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas. Ed. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2003.

PÉREZ, G.R. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo para la Protección del Medio Ambiente – FEN Colombia & Fondo Colombiano de Invetigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas" – COLCIENCIAS. 217 pp. 1988.

PHILBRICK, C.T.; NOVELO, A. 2004. Monograph of Podostemum (Podostemaceae). Systematic Botany Monographs 70: 1-72.

POTT, V.J.; POTT, A. 2000. Plantas Aquáticas do Pantanal. Embrapa. 404 p.

RAMIREZ, A. & PRINGLE, C.M. Invertebrate drift and benthic community dynamics in a lowland neotropical STREAM, COSTA RICA. HYDROBIOLOGIA, 386: 16-26. 1998.

RESH, V.H. & JACKSON, J.K. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. In: ROSEMBERG, D.M. & RESH, V.H. (Eds.). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York: Champman & Hall. 155-233. 1993.

ROCHA, O.; SENDACZ, S.; MATSUMURA-TUNDISI, T. 1995. Composition, biomass and productivity of zooplankton in natural lakes and reservoirs of Brazil. In: Tundisi JG; Bicudo CEM; Matsumura-Tundisi T, Editors. Limnology in Brazil. Rio de Janeiro: ABC/SBL. p. 151-165.

ROLLA, M.E. 1992. Inventário limnológico do rio Grande na área de influência da futura Usina Hidrelética (UHE) de Igarapava. Acta Limnologica Brasiliensia, São Paulo, v. 4, p. 139-162.

ROSEMBERG, D.M. & RESH, V.H. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: ROSEMBERG, D.M. & RESH, V.H. (Eds.). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York: Champman & Hall. 1-9. 1993.

ROUND, F. The ecology of Algae. Cambridge:University press. 1979.

RUTISHAUSER, R. 1997. Structural and developmental diversity in Podostemaceae (river-weeds). Aquatic Botany 57: 29-70.

RYZNAR, J. W. An Index for determining the Amount of Calcium Carbonate formed by Water. 1944. Nalco Chemical Company. Re-impressão R-20. Impresso nos EUA. 8-86.

SANT'ANNA, C.; AZEVEDO, M.T.P.; WERNER, V.R.; DOGO, C.R.; RIOS, F. & CARVALHO, L.R. Rewiew of toxic species of Cyanobacteria in Brazil. Algological Studies 126: 251-265. 2008.

SANTAMARÍA, L. Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment. Acta Oecologica 23:137-154. 2002.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. Hidrometria Aplicada, Curitiba: Editoração CEHPAR – Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza. 2001. 372 p.

SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. Anais do... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v. 1, p. 41-65.

SCREMI-DIAS, E. A plasticidade fenotípica das macrófitas aquáticas em resposta à dinâmica ambiental. In: CAVALCANTI, T. B. et al. (Orgs.) Tópicos atuais em botânica. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-SBB, 2000. p. 187-194.

SENDACZ, S. 1993. Distribuição geográfica de alguns organismos zooplanctônicos na América do Sul. Acta. Limnol. Bras., 6:31-41.

SERAFIM JÚNIOR, M. et al. 2011. Zooplâncton. In: CUNHA, C. L. N. et al. Eutrofização em Reservatórios: Gestão Preventiva. Estudo Interdisciplinar na Bacia do Rio Verde, PR. Curitiba: UFPR, cap. 14, p. 307-322.

SESHAVATHARAM, V. Traditional uses and problem of noxious growth. Pp. 201-218. In: B. GOPAL (ed.). Ecology and Management of Aquatic Vegetation in the Indian Subcontinent. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 1990.

SILBERT, M. W-index. Water INDEX Calcutalion. Version 5.0 for Excel. Marvi Silbert & Associa. Toronto. Canadá. 2006. Disponível em http://www.silbert.org/W-index-Spreadsheet.pdf. Visitado em 28 de setembro de 2010.

SIMMLER, R. Diagrammes hydrochimiques. Disponível em: http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm. Acesso em 4/10/ 2013.

SIPAÚBA-TAVARES, ROCHA,O. 2003. Produção de Plâncton (Fitoplâncton e Zooplâncton) para Alimentação de Organismos Aquáticos. Suprema.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. 1999. Reservoir Ecosystem Functioning: Theory and Applications. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. (Ed.). Theorethical Reservoir Ecology and its Applications, Holanda: Backhuys, p. 565-597.

TAVARES, A.S.; ODNETZ, O.; ENRICONE, A. A família Podostemaceae em rios amazônicos e comunidades de insetos associados. Insula 35: 19-50. 2006.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá. 2003

THOMAZ, S. M.; BINI, L.M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu p: 39-40. In: Simpósio de Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Livro de Resumos. Botucatu, 25 a 28 de maio de 1998. 1999.

THOMAZ, S. M.; BINI, L.M.; PAGIORO, T.A. Macrófitas aquáticas em Itaipu: ecología e perspectivas para o manejo. p: 319-341. . IN: S. M. Thomaz e Bini L. M. (eds.) Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas. Ed. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2003.

THOMAZ, S.M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. Planta Daninha, 20: 21-33. 2002.

THORNTON, K. W. 1990. Perspectives on reservoir limnology. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (Ed.). Reservoir Limnology: ecological perspectives. New York: John Wiley & Sons, p. 1-13.

TUCCI, A. & SANT´ANNA, C. Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszynska) Seenayya & Subba-Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relação com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Botânica 26(1): 97-112. 2003.

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

TUNDISI, J.G. Represas do Paraná superior: limnologia e bases científicas para o gerenciamento. In: Boltovskoy, A. & Lopez, H.L. (Eds.) Conferencias de Limnología, La Plata, Argentina. 41-42. 1993.

TUR, N.M. Taxonomy of Podostemaceae in Argentina. Aquatic Botany 57: 213-241. 1997.

TURCOTTE, P. & HARPER, P.P. Drift patterns in a high Andean stream. Hydrobiologia, 89: 141-151. 1982.

TURNER, S.P.; REGELORES, M.; KELLEY, S.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision 40Ar-39Ar geochronology. Earth and Planetary Science Letters, Amsterdam, v.121, p.333-348, 1994.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkomrnnung ver quantitativen Phytoplankton Methodic. Mitt. Int. Verein. Limnol., v. 9, p. 1-38, 1958.

VAN den BRINK. F.W.B.; VAN KATWIJK, M.M. & VAN der VELDE, G. 1994. Impact of hidrology and phyto- and zooplankton community composition in floodplain lakes along the Lower Rhine and Meuse. J. Plankton. Res., 16 (4) :351-373.

VESELY, F.F.; ASSINE, M.L. Sequências e tratos de sistemas deposicionais do Grupo Itararé, norte do Estado do Paraná . Revista Brasileira de Geociências , v.34, n.2, p.219-230, 2004

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3a ed. Belo Horizonte : Ed. UFMG. 452p. 2005.

WARD, J.V. & STANFORD, J.A. 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: FONTAINE, T.D. & BARTELL, S.M. (Ed.). Dynamics of lotic ecosystems. Ann Arbor: Ann Arbor Science, p. 29-42.

WETZEL, R.G. 1993. Limnologia. Segunda Edição. Fundação Calouste Gunbenkian. 999pp + app.

WINSTON, M. D.; CLAYTON, J. S. The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments. Aquatic Botany, 53: 31-45. 1996.

YABE, M.J.S.; GIMENEZ, S.M.N.; BISINOTI, M.C.; PAES, M.A.A.; LOBO, R.R.; FIGUEIREDO, E.S. Influência de Fenóis na Bacia do rio Tibagi. (on line) In: 23ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Poços de Caldas, MG. 2000. Disponível em http://www.sbq.org.br/ranteriores/23/ resumos /1260/index.html . Acesso em 20 de fevereiro de 2011.

6 ANEXO I - DADOS PLUVIOMÉTRICOS

UHE MAUÁ - Estação: Telemaco Borba
Código ANA: 2450064
Alturas Pluviométricas Diárias (mm)

Dia	2012							2013								
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	12,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00
2		0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,30	18,40	0,00	18,00	0,00	51,60	0,00	0,00	3,00
3		0,00	0,00	0,00	0,40	13,00	0,00	0,00	29,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,20
4		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	3,20	5,80	3,80	0,20	0,00	0,00	0,00
6		4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	9,00	0,00	36,60	0,20	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00
7		8,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	58,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
8		0,00	0,00	0,00	0,00	5,60	0,00	33,80	6,40	0,00	0,00	0,00	0,20	1,20	0,00	0,00
9		0,00	0,00	0,00	0,00	29,60	1,40	0,00	4,80	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10		0,00	0,00	0,40	0,00	1,60	0,00	0,00	40,80	63,60	0,00	0,00	3,40	0,00	0,00	0,00
11		28,40	0,00	1,80	7,00	0,00	3,60	0,00	42,80	31,00	0,00	0,00	13,00	0,20	0,00	0,00
12		7,00	0,00	0,00	0,20	10,60	0,00	0,00	29,40	57,60	28,80	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00
13		0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	2,80	3,00	13,20	21,40	17,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,40	14,30	15,80	0,80	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00
15		0,20	0,00	0,00	0,00	2,80	11,50	14,90	13,60	2,60	0,00	0,00	5,40	0,00	0,00	0,00
16		0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	5,40	0,00	4,20	0,00	0,00	46,00	27,00	0,00	0,00	8,00
17		7,40	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	5,00	6,20	15,20	0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	37,20
18		0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	3,40	14,80	2,40	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19		0,00	0,00	0,80	2,20	0,00	11,80	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	15,80	13,80	0,00	0,00
20		0,20	0,00	0,20	1,60	0,00	0,00	0,00	15,40	9,20	0,00	0,00	24,00	29,60	0,00	0,00
21		0,20	0,00	42,20	0,80	0,00	0,80	0,00	10,40	0,00	0,00	0,00	43,80	55,00	0,00	5,60
22		0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	0,20	0,00	5,60	0,00	15,20	0,00	32,40
23		0,00	0,00	0,00	30,40	0,90	0,00	0,00	0,00	3,20	0,20	8,00	1,20	0,40	0,00	5,00
24		0,00	0,00	0,00	1,40	4,60	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	17,40	131,40	0,00	0,00	5,00
25		1,40	0,00	4,40	16,60	0,00	12,50	2,10	24,60	0,00	0,00	0,00	41,00	0,00	0,00	0,00
26		0,20	0,00	0,00	4,20	8,50	7,20	0,00	48,20	14,00	0,00	0,00	4,60	0,00	7,00	0,00
27		1,60	4,40	0,00	4,80	0,00	23,50	0,00	0,20	0,20	0,00	3,40	0,40	0,00	0,20	0,00
28		0,40	4,00	0,00	2,60	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	38,60	0,00	0,00	0,00	8,20
29		0,20	0,00	0,00	0,00	0,80	29,00	0,00	-	0,00	0,00	10,00	13,20	0,00	0,00	9,80
30		0,00	0,20	0,20	0,00	0,00	8,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	20,80	0,00	0,00	4,80
31	-	0,00	0,00	-	7,60	-	0,90	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	0,00	4,80
Total	**0,0**	**60,6**	**8,6**	**50,2**	**81,8**	**78,6**	**168,6**	**171,4**	**414,4**	**264,0**	**88,4**	**133,2**	**398,0**	**116,4**	**7,2**	**124,0**
Máx	**0,0**	**28,4**	**4,4**	**42,2**	**30,4**	**29,6**	**39,4**	**57,3**	**58,8**	**63,6**	**28,8**	**46,0**	**131,4**	**55,0**	**7,0**	**37,2**
	Datas de coleta															