

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DA QUALIDADE DE
ÁGUAS TROPICAIS DECORRENTES DA INSTALAÇÃO DE
BARRAMENTOS PARA FINS DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA – ESTUDO DE CASO DO RIO POMBA

André Luis Ruas

Belo Horizonte

2006

**Avaliação das Alterações da Qualidade de Águas Tropicais
Decorrentes da Instalação de Barramentos
para Fins de Geração de Energia Elétrica –
Estudo de Caso do rio Pomba**

André Luis Ruas

André Luis Ruas

**Avaliação das Alterações da Qualidade de Águas Tropicais
Decorrentes da Instalação de Barramentos
para Fins de Geração de Energia Elétrica –
Estudo de Caso do rio Pomba**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, modelagem, prevenção e recuperação de ambientes aquáticos

Orientador: Eduardo von Sperling

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2006

*“Um homem nunca se banha duas vezes no mesmo rio.
Porque o homem nunca é o mesmo.
E nunca é o mesmo rio”.*

Citação atribuída ao filósofo grego Heráclito de Éfeso (540 d.C. – 470 d.C.)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por todas as coisas boas que fazem parte e que conquistei ao longo da mesma, inclusive este mestrado;

A minha mãe, em primeiro lugar, e a minha família, pelo amor e apoio dispensados ao longo da minha vida, sem os quais eu não teria chegado aonde estou;

Ao meu orientador, professor Dr. Eduardo von Sperling, pelos conhecimentos, orientação e apoio dispensados em todas as etapas de realização deste trabalho;

A Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, e em especial ao professores e funcionários do Departamento de Engenharia Sanitária – DESA, pela minha vida acadêmica, na graduação e pós-graduação;

A Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, pela oportunidade e meios de realização deste mestrado;

Aos amigos e demais colegas da FEAM, pelo aprendizado e crescimento profissional que conquistei e pelas opiniões que contribuíram para este mestrado;

A CAT-LEO Energia S.A e a Brascan Energética e, em especial, a Marco Antônio Pinto Barbosa e Marília Salustiano Menegazzo Souza, pela utilização do estudo de caso deste trabalho;

A Iara Righi Amaral e a Fabiana Alves Fiore, por todas as dicas, ajuda e apoio na realização deste mestrado;

Ao biólogo Vinícius José Pompéu dos Santos, da Visão Ambiental, por todo o apoio;

Ao meus verdadeiros amigos da faculdade, por serem meus modelos como profissionais, alunos e pessoas para toda minha vida;

A todos os meus amigos, que me apoiaram e foram compreensivos na minha luta para a concretização deste trabalho;

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O Brasil é um país no qual a matriz energética é predominantemente constituída pela geração hidrelétrica, ou seja, pela energia gerada através de usinas hidrelétricas, de pequeno a grande porte. Embora exista um grande número de usinas hidrelétricas em instalação e operação atualmente, o Brasil possui um enorme potencial ainda a ser aproveitado para implantação de mais empreendimentos desta natureza, por ser um país rico em recursos hídricos.

Uma usina hidrelétrica consiste de um barramento instalado transversalmente a um curso d'água, ocorrendo, na maior parte dos casos, uma conseqüente inundação das áreas a montante e formação de um reservatório de acumulação de água, alterando assim, o regime e demais características do curso d'água.

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar os efeitos da instalação destes barramentos na qualidade das águas do rio em que estão inseridos, de forma individual e cumulativa. Para tal, foi desenvolvido um estudo de caso de três usinas hidrelétricas instaladas no rio Pomba, bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, estado de Minas Gerais.

Buscou-se avaliar tanto os efeitos decorrentes dos barramentos quanto de demais fatores que possam influenciar na qualidade das águas – clima, uso e ocupação do solo da bacia de drenagem, contribuição de afluentes, dentre outros. Também foi avaliada a possível implicação da alteração da qualidade da água pela instalação dos barramentos sobre os usos atuais e potenciais da água, de acordo com o estabelecido pelo enquadramento do curso d'água. Para tal, foram utilizados dados trimestrais do monitoramento de parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos da qualidade das águas de sete pontos de coleta de água, durante o período de junho de 2001 a outubro de 2005. Em seguida, foram aplicados métodos estatísticos numéricos e gráficos sobre estes dados, agrupados em quatro cenários distintos, a saber: considerando o curso d'água sem barramentos e após a implantação de um, dois e três barramentos consecutivos.

Os resultados obtidos permitem concluir que os parâmetros de qualidade da água que sofreram uma possível influência da instalação de um ou mais barramentos no curso d'água foram DBO, fosfato solúvel, sólidos sedimentáveis, fitoplâncton (densidade e riqueza) e zooplâncton (densidade). Não foram observados efeitos cumulativos significativos para estes parâmetros devido à instalação de múltiplos barramentos e não se verificaram quaisquer riscos sobre os usos da água decorrentes da alteração de sua qualidade.

ABSTRACT

Brazil is a country with its energetic resources mainly located on hydroelectric power plants, both small and big sized plants. Although there is already a large number of plants on construction and also operating, Brazil still has an enormous potential to profit by the installation of more undertakings of this nature, specially because it is a very rich country regarding water resources.

A hydroelectric power plant constitute of a dam constructed through a water course. The consequence, in most cases, is the flooding of the up river areas and the formation of a reservoir, altering the water regime and also other water characteristics.

The objective of this study was to evaluate the effects of these dams installation on river water quality, with an individually and cumulative analysis. We adopted a case study of three consecutive hydroelectric power plants constructed in Pomba River, on the Paraíba do Sul Basin, Minas Gerais State.

We searched to evaluate the effects resulted from the construction of the dams as well as those resulted from other factors that could also influence water quality, such as weather and climate, the use and occupation of the drainage basin, tributaries contribution, among others. We also assessed the possible implication of water quality alteration from the construction of the dams on the actual and potential water usage, according to the current legislation. Therefore, we used quarterly data from the monitoring of physical-chemical, bacteriological and hydrobiological water quality parameters from seven sampling stations, during the period of June 2001 to October 2005. We proceeded with both numeric and graphic statistic analysis, with the total data grouped in four distinct scenarios: (1) without the construction of any dam, and after the construction of (2) one, (3) two and (3) three consecutive dams.

The results obtained allow us to conclude that the water quality parameters that suffered a possible influence from the construction of one or more consecutive dams were the Oxygen Biochemical Demand, soluble phosphorous, sedimentable solids, phytoplankton (density and richness) and zooplankton (density). Significant cumulative effects were not observed for these parameters due to the installation of consecutive dams. We also verified that there weren't any implications on the water use resulting from water these water quality alterations.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVAS.....	3
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Objetivo geral.....	7
3.2. Objetivos específicos.....	7
4. A ÁGUA E SUA QUALIDADE.....	8
4.1. A situação e importância da água no século XXI.....	8
4.2. Parâmetros e fatores de influência da qualidade da água.....	9
4.3. Correlação entre os usos e níveis de qualidade da água desejados.....	13
4.4. Enquadramento dos corpos d'água e Padrões de qualidade da água.....	15
4.5. Reservatórios artificiais e suas diferenças em relação aos lagos naturais.....	17
4.6. Manejo de reservatórios artificiais visando usos múltiplos.....	18
5. O SETOR ELÉTRICO.....	20
5.1. Histórico da energia elétrica.....	20
5.2. Caracterização das Usinas Hidrelétricas.....	22
5.3. Panorama da energia hidrelétrica no mundo e no Brasil.....	23
5.4. Impactos ambientais associados a usinas hidrelétricas.....	27
6. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
6.1. Definição da quantidade e da frequência das campanhas de monitoramento.....	32
6.2. Definição dos parâmetros de qualidade das águas adotados.....	33
6.3. Metodologia de coleta e análise dos dados.....	36
6.4. Definição da rede de amostragem utilizada.....	39
6.5. Definição dos cenários de comparação dos dados.....	47
6.6. Métodos estatísticos empregados.....	48
6.7. Metodologias de análise dos dados.....	52
6.8. Avaliação do atendimento aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente e dos riscos e limitações da qualidade das águas pós-instalação dos barramentos para os possíveis usos das águas do rio Pomba, segundo sua classe de enquadramento.	53
6.9. Avaliação da influência da morfologia dos reservatórios sobre a qualidade das águas.....	54
6.10. Avaliação da influência de outros fatores, além da instalação dos barramentos, sobre a qualidade das águas.....	55
6.11. Avaliação do perfil da coluna d'água dos reservatórios para oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH e condutividade elétrica, e medição da transparência e altura da zona fótica.....	57
6.12. Avaliar se os resultados obtidos condizem com aqueles previstos pela literatura técnica e nos estudos ambientais dos empreendimentos.....	58

7. CARACTERIZAÇÃO DOS BARRAMENTOS ESTUDADOS E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA DE DRENAGEM.....	60
7.1. Caracterização do barramentos estudados.....	60
7.2. Processos de licenciamento ambiental dos barramentos.....	62
7.3. Regras de operação e arranjos das estruturas dos barramentos em estudo.....	63
7.4. Diagnóstico e impactos sobre os usos da água do rio Pomba na bacia de drenagem das PCH's.....	66
7.5. Síntese do diagnóstico do uso e ocupação do solo da área de influência dos empreendimentos.....	68
7.6. Condições climáticas da bacia do rio Paraíba do Sul e sua influência sobre a qualidade das águas.....	71
7.7. Principais afluentes no trecho do rio Pomba em estudo e suas influências sobre a qualidade das águas.....	72
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
8.1. Avaliação da influência da morfologia dos reservatórios sobre a qualidade das águas.....	75
8.1.1. Parâmetros morfométricos primários.....	76
8.1.1.1. Área (A).....	76
8.1.1.2. Volume (V).....	77
8.1.1.3. Profundidade máxima (Zmax).....	78
8.1.2. Parâmetros morfométricos secundários.....	79
8.1.2.1. Profundidade média (Zmed).....	79
8.1.2.2. Profundidade Relativa (ZR)	80
8.1.2.3. Desenvolvimento do volume (DV).....	81
8.1.2.4. Fator de envolvimento (F).....	84
8.1.3. Considerações gerais sobre os parâmetros morfométricos.....	85
8.2. Avaliação da influência da estratificação dos reservatórios sobre a qualidade das águas.....	89
8.2.1. Avaliação da ocorrência da estratificação do reservatório da PCH Ponte.....	93
8.2.1.1. Avaliação do perfil de temperatura da PCH Ponte.....	93
8.2.1.2. Avaliação do perfil de pH da PCH Ponte.....	96
8.2.1.3. Avaliação do perfil de condutividade elétrica da PCH Ponte.....	97
8.2.1.4. Avaliação do perfil de oxigênio dissolvido da PCH Ponte.....	98
8.2.2. Avaliação da ocorrência da estratificação do reservatório da PCH Palestina.....	102
8.2.2.1. Avaliação do perfil de temperatura da PCH Palestina.....	102
8.2.2.2. Avaliação do perfil de pH da PCH Palestina.....	104
8.2.2.3. Avaliação do perfil de condutividade elétrica da PCH Palestina.....	106
8.2.2.4. Avaliação do perfil de oxigênio dissolvido da PCH Palestina.....	107
8.2.3. Avaliação da ocorrência da estratificação do reservatório da PCH Triunfo.....	109
8.2.3.1. Avaliação do perfil de temperatura da PCH Triunfo.....	109
8.2.3.2. Avaliação do perfil de pH da PCH Triunfo.....	110
8.2.3.3. Avaliação do perfil de condutividade elétrica da PCH Triunfo.....	112
8.2.3.4. Avaliação do perfil de oxigênio dissolvido da PCH Triunfo.....	113

8.3. Avaliação da transparência e profundidade da zona fótica dos reservatórios.....	114
8.4. Avaliação dos parâmetros de qualidade da água.....	117
8.4.1. Temperatura da água.....	117
8.4.2. pH.....	123
8.4.3. Alcalinidade.....	129
8.4.4. Acidez.....	135
8.4.5. Dureza.....	139
8.4.6. Oxigênio Dissolvido.....	144
8.4.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO.....	149
8.4.8. Demanda Química de Oxigênio - DQO.....	155
8.4.9. Condutividade Elétrica.....	160
8.4.10. Cloretos.....	165
8.4.11. Fosfato Solúvel.....	170
8.4.12. Fosfato Total.....	175
8.4.13. Nitrogênio Amoniacal.....	182
8.4.14. Nitrato.....	188
8.4.15. Nitrogênio Total.....	193
8.4.16. Ferro Solúvel.....	200
8.4.17. Ferro Total.....	205
8.4.18. Manganês.....	209
8.4.19. Sólidos em suspensão.....	214
8.4.20. Sólidos sedimentáveis.....	219
8.4.21. Sólidos Totais.....	225
8.4.22. Turbidez.....	230
8.4.23. Coliformes Fecais.....	235
8.4.24. Coliformes Totais	239
8.4.25. Fitoplâncton – Densidade e Riqueza.....	243
8.4.26. Zooplâncton – Densidade e Riqueza.....	251
8.4.27. Zoobenton – Densidade e Riqueza.....	257
8.5. Avaliar se os resultados obtidos condizem com aqueles previstos pela literatura técnica e nos estudos ambientais dos barramentos.....	263
8.5.1. Resultados previstos na literatura técnica.....	263
8.5.2. Impactos ambientais previstos nos estudos ambientais das PCH's.....	264
9. CONCLUSÕES.....	271
REFERÊNCIAS.....	277

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1 – Esquema simplificado de um aproveitamento hidrelétrico.....	23
Figura 6.1 – Mapa dos pontos de coleta de água do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo.....	41
Figura 6.2 – Ponto de coleta de água PO-01A.....	44
Figura 6.3 – Ponto de coleta de água PO-01.....	44
Figura 6.4 – Ponto de coleta de água PO-01B.....	45
Figura 6.5 – Ponto de coleta de água PO-02.....	45
Figura 6.6 – Ponto de coleta de água PO-03.....	46
Figura 6.7 – Ponto de coleta de água PO-04.....	46
Figura 6.8 – Ponto de coleta de água PO-05.....	47
Figura 6.9 – Cenários utilizados em cada ponto de coleta.....	48
Figura 7.1 – Mapa de localização dos três barramentos em estudo no estado de Minas Gerais e sua posição em relação ao município de Belo Horizonte.....	60
Figura 8.1 – Representação gráfica do parâmetro Desenvolvimento do Volume (D_V).....	82
Figura 8.2 – Perfil de um reservatório em condições de estratificação (meses mais quentes).....	89
Figura 8.3 – Perfil de um reservatório em condições de mistura completa (entrada de período frio).....	90
Figura 8.4 – Gráfico do perfil térmico parcial do reservatório da PCH Ponte.....	94
Figura 8.5 – Gráfico do perfil parcial de pH do reservatório da PCH Ponte.....	96
Figura 8.6 – Gráfico do perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Ponte.....	97
Figura 8.7 – Gráfico do perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Ponte.....	100
Figura 8.8 – Gráfico do perfil térmico parcial do reservatório da PCH Palestina.....	102
Figura 8.9 – Gráfico do perfil parcial de pH do reservatório da PCH Palestina.....	105
Figura 8.10 – Gráfico do perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Palestina.....	106
Figura 8.11 – Gráfico do perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Palestina.....	107
Figura 8.12 – Gráfico do perfil térmico parcial do reservatório da PCH Triunfo.....	109
Figura 8.13 – Gráfico do perfil parcial de pH do reservatório da PCH Triunfo.....	111
Figura 8.14 – Gráfico do perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Triunfo.....	112
Figura 8.15 – Gráfico do perfil térmico parcial do reservatório da PCH Triunfo.....	113
Figura 8.16 – Séries temporais de temperatura da água dos pontos de coleta.....	119
Figura 8.17 – Temperatura no ponto PO-01A.....	121
Figura 8.18 – Temperatura no Ponto PO-01.....	121
Figura 8.19 – Temperatura no Ponto PO-01B.....	121
Figura 8.20 – Temperatura no Ponto PO-02.....	121
Figura 8.21 – Temperatura no Ponto PO-03.....	121
Figura 8.22 – Temperatura no Ponto PO-04.....	121
Figura 8.23 – Temperatura no Ponto PO-05.....	121
Figura 8.24 – Dados estatísticos de temperatura das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	122
Figura 8.25 – Dados estatísticos de temperatura das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	123
Figura 8.26 – Dados estatísticos de temperatura das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	123

Figura 8.27 – Séries temporais de pH dos pontos de coleta.....	125
Figura 8.28 – pH no Ponto PO-01A.....	127
Figura 8.29 – pH no Ponto PO-01.....	127
Figura 8.30 – pH no Ponto PO-01B.....	127
Figura 8.31 – pH no Ponto PO-02.....	127
Figura 8.32 – pH no Ponto PO-03.....	127
Figura 8.33 – pH no Ponto PO-04.....	127
Figura 8.34 – pH no Ponto PO-05.....	127
Figura 8.35 – Dados estatísticos de pH das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	128
Figura 8.36 – Dados estatísticos de pH das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	128
Figura 8.37 – Dados estatísticos de pH das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	129
Figura 8.38 – Séries temporais de alcalinidade dos pontos de coleta.....	131
Figura 8.39 – Alcalinidade no ponto PO-01A.....	132
Figura 8.40 – Alcalinidade no ponto PO-01.....	132
Figura 8.41 – Alcalinidade no ponto PO-01B.....	133
Figura 8.42 – Alcalinidade no ponto PO-02.....	133
Figura 8.43 – Alcalinidade no ponto PO-03.....	133
Figura 8.44 – Alcalinidade no ponto PO-04.....	133
Figura 8.45 – Alcalinidade no ponto PO-05.....	133
Figura 8.46 – Dados estatísticos de alcalinidade das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	134
Figura 8.47 – Dados estatísticos de alcalinidade das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	134
Figura 8.48 – Dados estatísticos de alcalinidade das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	134
Figura 8.49 – Séries temporais de acidez dos pontos de coleta.....	135
Figura 8.50 – Acidez no ponto PO-01A.....	135
Figura 8.51 – Acidez no ponto PO-01.....	135
Figura 8.52 – Acidez no ponto PO-01B.....	135
Figura 8.53 – Acidez no ponto PO-02.....	135
Figura 8.54 – Acidez no ponto PO-03.....	137
Figura 8.55 – Acidez no ponto PO-04.....	137
Figura 8.56 – Acidez no ponto PO-05.....	137
Figura 8.57 – Dados estatísticos de acidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	138
Figura 8.58 – Dados estatísticos de acidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	138
Figura 8.59 – Dados estatísticos de acidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	139
Figura 8.60 – Séries temporais de dureza dos pontos de coleta.....	140
Figura 8.61 – Dureza no ponto PO-01A.....	141
Figura 8.62 – Dureza no ponto PO-01.....	141
Figura 8.63 – Dureza no ponto PO-01B.....	142
Figura 8.64 – Dureza no ponto PO-02.....	142
Figura 8.65 – Dureza no ponto PO-03.....	142
Figura 8.66 – Dureza no ponto PO-04.....	142
Figura 8.67 – Dureza no ponto PO-05.....	142

Figura 8.68 – Dados estatísticos de dureza das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	143
Figura 8.69 – Dados estatísticos de dureza das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	143
Figura 8.70 – Dados estatísticos de dureza das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	143
Figura 8.71 – Séries temporais de oxigênio dissolvido dos pontos de coleta.....	145
Figura 8.72 – O ₂ dissolvido no ponto PO-01A.....	147
Figura 8.73 – O ₂ dissolvido no ponto PO-01.....	147
Figura 8.74 – O ₂ dissolvido no ponto PO-01B.....	147
Figura 8.75 – O ₂ dissolvido no ponto PO-02.....	147
Figura 8.76 – O ₂ dissolvido no ponto PO-03.....	147
Figura 8.77 – O ₂ dissolvido no ponto PO-04.....	147
Figura 8.78 – O ₂ dissolvido no ponto PO-05.....	148
Figura 8.79 – Dados estatísticos de oxigênio dissolvido das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	148
Figura 8.80 – Dados estatísticos de oxigênio dissolvido das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	149
Figura 8.81 – Dados estatísticos de oxigênio dissolvido das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	149
Figura 8.82 – Séries temporais de DBO dos pontos de coleta.....	151
Figura 8.83 – DBO no ponto PO-01A.....	153
Figura 8.84 – DBO no ponto PO-01.....	153
Figura 8.85 – DBO no ponto PO-01B.....	153
Figura 8.86 – DBO no ponto PO-02.....	153
Figura 8.87 – DBO no ponto PO-03.....	153
Figura 8.88 – DBO no ponto PO-04.....	153
Figura 8.89 – DBO no ponto PO-05.....	153
Figura 8.90 – Dados estatísticos de DBO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	154
Figura 8.91 – Dados estatísticos de DBO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	154
Figura 8.92 – Dados estatísticos de DBO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	155
Figura 8.93 – Séries temporais de DQO dos pontos de coleta.....	156
Figura 8.94 – DQO no ponto PO-01A.....	158
Figura 8.95 – DQO no ponto PO-01.....	158
Figura 8.96 – DQO no ponto PO-01B.....	158
Figura 8.97 – DQO no ponto PO-02.....	158
Figura 8.98 – DQO no ponto PO-03.....	158
Figura 8.99 – DQO no ponto PO-04.....	158
Figura 8.100 – DQO no ponto PO-05.....	158
Figura 8.101 – Dados estatísticos de DQO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	159
Figura 8.102 – Dados estatísticos de DQO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	159
Figura 8.103 – Dados estatísticos de DQO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	160
Figura 8.104 – Séries temporais de condutividade elétrica dos pontos de coleta.....	161
Figura 8.105 – Condutividade no ponto PO-01A.....	163
Figura 8.106 – Condutividade no ponto PO-01.....	163

Figura 8.107 – Condutividade no ponto PO-01B.....	163
Figura 8.108 – Condutividade no ponto PO-02.....	163
Figura 8.109 – Condutividade no ponto PO-03.....	163
Figura 8.110 – Condutividade no ponto PO-04.....	163
Figura 8.111 – Condutividade no ponto PO-05.....	164
Figura 8.112 – Dados estatísticos de condutividade elétrica das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	164
Figura 8.113 – Dados estatísticos de condutividade elétrica das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	165
Figura 8.114 – Dados estatísticos de condutividade elétrica das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	165
Figura 8.115 – Séries temporais de cloretos dos pontos de coleta.....	166
Figura 8.116 – Cloretos no ponto PO-01A.....	168
Figura 8.117 – Cloretos no ponto PO-01.....	168
Figura 8.118 – Cloretos no ponto PO-01B.....	168
Figura 8.119 – Cloretos no ponto PO-02.....	168
Figura 8.120 – Cloretos no ponto PO-03.....	168
Figura 8.121 – Cloretos no ponto PO-04.....	168
Figura 8.122 – Cloretos no ponto PO-05.....	168
Figura 8.123 – Dados estatísticos de cloretos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	169
Figura 8.124 – Dados estatísticos de cloretos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	169
Figura 8.125 – Dados estatísticos de cloretos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	170
Figura 8.126 – Séries temporais de fosfato solúvel dos pontos de coleta.....	171
Figura 8.127 – Fosfato solúvel no ponto PO-01A.....	172
Figura 8.128 – Fosfato solúvel no ponto PO-01.....	172
Figura 8.129 – Fosfato solúvel no ponto PO-01B.....	172
Figura 8.130 – Fosfato solúvel no ponto PO-02.....	172
Figura 8.131 – Fosfato solúvel no ponto PO-03.....	173
Figura 8.132 – Fosfato solúvel no ponto PO-04.....	173
Figura 8.133 – Fosfato solúvel no ponto PO-05.....	173
Figura 8.134 – Dados estatísticos de Fosfato Solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	174
Figura 8.135 – Dados estatísticos de Fosfato Solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	174
Figura 8.136 – Dados estatísticos de Fosfato Solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	174
Figura 8.137 – Séries temporais de fosfato total dos pontos de coleta.....	177
Figura 8.138 – Fosfato total no ponto PO-01A.....	179
Figura 8.139 – Fosfato total no ponto PO-01.....	179
Figura 8.140 – Fosfato total no ponto PO-01B.....	180
Figura 8.141 – Fosfato total no ponto PO-02.....	180
Figura 8.142 – Fosfato total no ponto PO-03.....	180
Figura 8.143 – Fosfato total no ponto PO-04.....	180
Figura 8.144 – Fosfato total no ponto PO-05.....	180
Figura 8.145 – Dados estatísticos de fosfato total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	181
Figura 8.146 – Dados estatísticos de fosfato total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	181

Figura 8.147 – Dados estatísticos de fosfato total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	181
Figura 8.148 – Séries temporais de nitrogênio amoniacal dos pontos de coleta.....	183
Figura 8.149 – N. amoniacal no ponto PO-01A.....	185
Figura 8.150 – N. amoniacal no ponto PO-01.....	185
Figura 8.151 – N. amoniacal no ponto PO-01B.....	185
Figura 8.152 – N. amoniacal no ponto PO-02.....	185
Figura 8.153 – N. amoniacal no ponto PO-03.....	186
Figura 8.154 – N. amoniacal no ponto PO-04.....	186
Figura 8.155 – N. amoniacal no ponto PO-05.....	186
Figura 8.156 – Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	187
Figura 8.157 – Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	187
Figura 8.158 – Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	187
Figura 8.159 – Séries temporais de nitratos dos pontos de coleta.....	189
Figura 8.160 – Nitratos no ponto PO-01A.....	190
Figura 8.161 – Nitratos no ponto PO-01.....	190
Figura 8.162 – Nitratos no ponto PO-01B.....	190
Figura 8.163 – Nitratos no ponto PO-02.....	190
Figura 8.164 – Nitratos no ponto PO-03.....	191
Figura 8.165 – Nitratos no ponto PO-04.....	191
Figura 8.166 – Nitratos no ponto PO-05.....	191
Figura 8.167 – Dados estatísticos de nitratos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	192
Figura 8.168 – Dados estatísticos de nitratos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	192
Figura 8.169 – Dados estatísticos de nitratos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	192
Figura 8.170 – Séries temporais de nitrogênio total dos pontos de coleta.....	196
Figura 8.171 – N. total no ponto PO-01A.....	197
Figura 8.172 – N. total no ponto PO-01.....	197
Figura 8.173 – N. total no ponto PO-01B.....	197
Figura 8.174 – N. total no ponto PO-02.....	197
Figura 8.175 – N. total no ponto PO-03.....	198
Figura 8.176 – N. total no ponto PO-04.....	198
Figura 8.177 – N. total no ponto PO-05.....	198
Figura 8.178 – Dados estatísticos de nitrogênio total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	199
Figura 8.179 – Dados estatísticos de nitrogênio total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	199
Figura 8.180 – Dados estatísticos de nitrogênio total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	199
Figura 8.181 – Séries temporais de ferro solúvel dos pontos de coleta.....	201
Figura 8.182 – Ferro solúvel no ponto PO-01A.....	202
Figura 8.183 – Ferro solúvel no ponto PO-01.....	202
Figura 8.184 – Ferro solúvel no ponto PO-01B.....	203
Figura 8.185 – Ferro solúvel no ponto PO-02.....	203
Figura 8.186 – Ferro solúvel no ponto PO-03.....	203
Figura 8.187 – Ferro solúvel no ponto PO-04.....	203

Figura 8.188 – Ferro solúvel no ponto PO-05.....	203
Figura 8.189 – Dados estatísticos de ferro solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	204
Figura 8.190 – Dados estatísticos de ferro solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	204
Figura 8.191 – Dados estatísticos de ferro solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	204
Figura 8.192 – Séries temporais de ferro total dos pontos de coleta.....	205
Figura 8.193 – Ferro total no ponto PO-01A.....	207
Figura 8.194 – Ferro total no ponto PO-01.....	207
Figura 8.195 – Ferro total no ponto PO-01B.....	207
Figura 8.196 – Ferro total no ponto PO-02.....	207
Figura 8.197 – Ferro total no ponto PO-03.....	207
Figura 8.198 – Ferro total no ponto PO-04.....	207
Figura 8.199 – Ferro total no ponto PO-05.....	207
Figura 8.200 – Dados estatísticos de ferro total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	208
Figura 8.201 – Dados estatísticos de ferro total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	208
Figura 8.202 – Dados estatísticos de ferro total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	209
Figura 8.203 – Séries temporais de manganês dos pontos de coleta.....	210
Figura 8.204 – Manganês no ponto PO-01A.....	211
Figura 8.205 – Manganês no ponto PO-01.....	211
Figura 8.206 – Manganês no ponto PO-01B.....	212
Figura 8.207 – Manganês no ponto PO-02.....	212
Figura 8.208 – Manganês no ponto PO-03.....	212
Figura 8.209 – Manganês no ponto PO-04.....	212
Figura 8.210 – Manganês no ponto PO-05.....	212
Figura 8.211 – Dados estatísticos de manganês das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	213
Figura 8.212 – Dados estatísticos de manganês das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	213
Figura 8.213 – Dados estatísticos de manganês das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	213
Figura 8.214 – Séries temporais de sólidos em suspensão dos pontos de coleta.....	215
Figura 8.215 – Sólidos em suspensão no ponto PO-01A.....	217
Figura 8.216 – Sólidos em suspensão no ponto PO-01.....	217
Figura 8.217 – Sólidos em suspensão no ponto PO-01B.....	217
Figura 8.218 – Sólidos em suspensão no ponto PO-02.....	217
Figura 8.219 – Sólidos em suspensão no ponto PO-03.....	217
Figura 8.220 – Sólidos em suspensão no ponto PO-04.....	217
Figura 8.221 – Sólidos em suspensão no ponto PO-05.....	217
Figura 8.222 – Dados estatísticos de sólidos em suspensão das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	218
Figura 8.223 – Dados estatísticos de sólidos em suspensão das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	219
Figura 8.224 – Dados estatísticos de sólidos em suspensão das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	219
Figura 8.225 – Séries temporais de sólidos sedimentáveis dos pontos de coleta.....	221
Figura 8.226 – Sólidos Sedimentáveis no ponto PO-01A.....	222

Figura 8.227 – Sólidos Sedimentáveis no ponto PO-01.....	222
Figura 8.228 – Sólidos Sedimentáveis no ponto PO-01B.....	222
Figura 8.229 – Sólidos Sedimentáveis no ponto PO-02.....	222
Figura 8.230 – Sólidos Sedimentáveis no ponto PO-03.....	223
Figura 8.231 – Sólidos Sedimentáveis no ponto PO-04.....	223
Figura 8.232 – Sólidos Sedimentáveis no ponto PO-05.....	223
Figura 8.233 – Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	224
Figura 8.234 – Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	224
Figura 8.235 – Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	224
Figura 8.236 – Séries temporais de sólidos totais dos pontos de coleta.....	226
Figura 8.237 – sólidos totais no ponto PO-01A.....	227
Figura 8.238 – sólidos totais no ponto PO-01.....	227
Figura 8.239 – sólidos totais no ponto PO-01B.....	228
Figura 8.240 – sólidos totais no ponto PO-02.....	228
Figura 8.241 – sólidos totais no ponto PO-03.....	228
Figura 8.242 – sólidos totais no ponto PO-04.....	228
Figura 8.243 – sólidos totais no ponto PO-05.....	228
Figura 8.244 – Dados estatísticos de sólidos totais das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	229
Figura 8.245 – Dados estatísticos de sólidos totais das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	229
Figura 8.246 – Dados estatísticos de sólidos totais das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	229
Figura 8.247 – Séries temporais de turbidez dos pontos de coleta.....	231
Figura 8.248 – Turbidez no ponto PO-01A.....	233
Figura 8.249 – Turbidez no ponto PO-01.....	233
Figura 8.250 – Turbidez no ponto PO-01B.....	233
Figura 8.251 – Turbidez no ponto PO-02.....	233
Figura 8.252 – Turbidez no ponto PO-03.....	233
Figura 8.253 – Turbidez no ponto PO-04.....	233
Figura 8.254 – Turbidez no ponto PO-05.....	233
Figura 8.255 – Dados estatísticos de turbidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte.....	234
Figura 8.256 – Dados estatísticos de turbidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina.....	234
Figura 8.257 – Dados estatísticos de turbidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo.....	235
Figura 8.258 – Séries temporais de coliformes fecais dos pontos de coleta.....	236
Figura 8.259 – Coliformes fecais no ponto PO-01A.....	237
Figura 8.260 – Coliformes fecais no ponto PO-01.....	237
Figura 8.261 – Coliformes fecais no ponto PO-01B.....	238
Figura 8.262 – Coliformes fecais no ponto PO-02.....	238
Figura 8.263 – Coliformes fecais no ponto PO-03.....	238
Figura 8.264 – Coliformes fecais no ponto PO-04.....	238
Figura 8.265 – Coliformes fecais no ponto PO-05.....	238
Figura 8.266 – Séries temporais de coliformes totais dos pontos de coleta.....	240
Figura 8.267 – Coliformes totais no ponto PO-01A.....	242
Figura 8.268 – Coliformes totais no ponto PO-01.....	242

Figura 8.269 – Coliformes totais no ponto PO-01B.....	242
Figura 8.270 – Coliformes totais no ponto PO-02.....	242
Figura 8.271 – Coliformes totais no ponto PO-03.....	243
Figura 8.272 – Coliformes totais no ponto PO-04.....	243
Figura 8.273 – Coliformes totais no ponto PO-05.....	243
Figura 8.274 – Séries temporais de densidade do fitoplâncton (org./mL) dos pontos de coleta.....	245
Figura 8.275 – Densidade de fitoplâncton no ponto PO-01A.....	246
Figura 8.276 – Densidade de fitoplâncton no ponto PO-01.....	246
Figura 8.277 – Densidade de fitoplâncton no ponto PO-01B.....	247
Figura 8.278 – Densidade de fitoplâncton no ponto PO-02.....	247
Figura 8.279 – Densidade de fitoplâncton no ponto PO-03.....	247
Figura 8.280 – Densidade de fitoplâncton no ponto PO-04.....	247
Figura 8.281 – Densidade de fitoplâncton no ponto PO-05.....	247
Figura 8.282 – Séries temporais de riqueza do fitoplâncton dos pontos de coleta.....	248
Figura 8.283 – Riqueza de fitoplâncton no ponto PO-01A.....	250
Figura 8.284 – Riqueza de fitoplâncton no ponto PO-01.....	250
Figura 8.285 – Riqueza de fitoplâncton no ponto PO-01B.....	250
Figura 8.286 – Riqueza de fitoplâncton no ponto PO-02.....	250
Figura 8.287 – Riqueza de fitoplâncton no ponto PO-03.....	250
Figura 8.288 – Riqueza de fitoplâncton no ponto PO-04.....	250
Figura 8.289 – Riqueza de fitoplâncton no ponto PO-05.....	250
Figura 8.290 – Séries temporais de densidade do zooplâncton dos pontos de coleta.....	252
Figura 8.291 – Densidade de zooplâncton no ponto PO-01A.....	253
Figura 8.292 – Densidade de zooplâncton no ponto PO-01.....	253
Figura 8.293 – Densidade de zooplâncton no ponto PO-01B.....	254
Figura 8.294 – Densidade de zooplâncton no ponto PO-02.....	254
Figura 8.295 – Densidade de zooplâncton no ponto PO-03.....	254
Figura 8.296 – Densidade de zooplâncton no ponto PO-04.....	254
Figura 8.297 – Densidade de zooplâncton no ponto PO-05.....	254
Figura 8.298 – Séries temporais de riqueza do zooplâncton dos pontos de coleta.....	255
Figura 8.299 – Riqueza de Zooplâncton no ponto PO-01A.....	256
Figura 8.300 – Riqueza de Zooplâncton no ponto PO-01.....	256
Figura 8.301 – Riqueza de Zooplâncton no ponto PO-01B.....	256
Figura 8.302 – Riqueza de Zooplâncton no ponto PO-02.....	256
Figura 8.303 – Riqueza de Zooplâncton no ponto PO-03.....	257
Figura 8.304 – Riqueza de Zooplâncton no ponto PO-04.....	257
Figura 8.305 – Riqueza de Zooplâncton no ponto PO-05.....	257
Figura 8.306 – Séries temporais de densidade do zoobenton dos pontos de coleta.....	258
Figura 8.307 – Densidade de zoobenton no ponto PO-01A.....	259
Figura 8.308 – Densidade de zoobenton no ponto PO-01.....	259
Figura 8.309 – Densidade de zoobenton no ponto PO-01B.....	260
Figura 8.310 – Densidade de zoobenton no ponto PO-02.....	260
Figura 8.311 – Densidade de zoobenton no ponto PO-03.....	260
Figura 8.312 – Densidade de zoobenton no ponto PO-04.....	260
Figura 8.313 – Densidade de zoobenton no ponto PO-05.....	260
Figura 8.314 – Séries temporais de riqueza do zoobenton dos pontos de coleta.....	261
Figura 8.315 – Riqueza de zoobenton no ponto PO-01A.....	262
Figura 8.316 – Riqueza de zoobenton no ponto PO-01.....	262
Figura 8.317 – Riqueza de zoobenton no ponto PO-01B.....	262
Figura 8.318 – Riqueza de zoobenton no ponto PO-02.....	262

Figura 8.319 – Riqueza de zoobenton no ponto PO-03.....	263
Figura 8.320 – Riqueza de zoobenton no ponto PO-04.....	263
Figura 8.321 – Riqueza de zoobenton no ponto PO-05.....	263

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Principais características das águas.....	10
Tabela 4.2 – Usos da água de lagos e reservatórios relacionados com as condições tróficas..	14
Tabela 4.3 – Usos Pretendidos por classe de qualidade para as águas doces.....	16
Tabela 5.1 – Capacidade instalada em usinas hidrelétricas (1999).....	24
Tabela 5.2 – Capacidade Instalada Brasileira até 31/12/05.....	24
Tabela 5.3 – Dez maiores usinas em operação no Brasil.....	25
Tabela 6.1 – Data das campanhas de campo do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s em estudo.....	32
Tabela 6.2 – Dados levantados no “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo.....	34
Tabela 6.3 – Parâmetros de qualidade da água avaliados neste trabalho.....	35
Tabela 6.4 – Pontos de coleta de água do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo.....	40
Tabela 6.5 – Profundidades (m) de coleta dos pontos PO-01F, PO-02F e PO-04F.....	42
Tabela 6.6 – Pontos de coleta de água do rio Pomba a serem aproveitados neste trabalho.....	43
Tabela 6.7 – Descrição e campanhas correspondentes dos cenários de comparação.....	47
Tabela 6.8 – Parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos utilizados no presente trabalho que possuem padrões ou condições definidos pela Resolução Conama n.º 357/2005 para águas Classe 2.....	54
Tabela 6.9 – Empreendimentos hidrelétricos em fase de outorga, instalação e operação no rio Pomba.....	56
Tabela 7.1 – Dados de localização e características dos três barramentos estudados.....	61
Tabela 7.2 – Comprimento dos trechos de vazão reduzida dos três barramentos (m).....	65
Tabela 7.3 – Vazões liberadas pelos três barramentos (m ³ /s).....	65
Tabela 7.4 – Tempos de residências das águas dos três reservatórios (dias).....	66
Tabela 7.5 – Principais categorias de usos do solo nas áreas de entorno e diretamente afetadas dos três barramentos (em percentual).....	69
Tabela 7.6 – Precipitação máxima acumulada durante os meses em que ocorreram as dezoito campanhas de monitoramento da qualidade das águas do rio Pomba (mm).....	71
Tabela 8.1 - Oscilações e cotas máximas do Nível D’água (NA) e área inundada dos três reservatórios em estudo.....	76
Tabela 8.2 – Volumes dos três reservatórios em estudo, referentes ao Nível D’água (NA) máximo normal.....	77
Tabela 8.3 – Profundidade máxima dos três reservatórios em estudo.....	78
Tabela 8.4 – Volume, área e profundidade média dos três reservatórios em estudo.....	79
Tabela 8.5 – Profundidade máxima, área e profundidade relativa dos três reservatórios em estudo.....	81
Tabela 8.6 – Profundidades média e máxima, desenvolvimento do volume e formato teórico aproximado da bacia dos três reservatórios em estudo.....	83
Tabela 8.7 – Áreas da bacia de drenagem e do reservatório e fator de envolvimento dos três reservatórios em estudo.....	84
Tabela 8.8 - Parâmetros morfométricos dos reservatórios das três PCH’s em estudo.....	87
Tabela 8.9 – Influência geral e magnitude relativa entre as três PCH’s dos processos influenciados pela morfologia dos reservatórios.....	88
Tabela 8.10 – Classificação dos lagos e reservatórios quanto à frequência dos processos de desestratificação.....	91
Tabela 8.11 - Classificação dos lagos e reservatórios quanto à sua capacidade de circulação.....	91

Tabela 8.12 - Temperaturas e densidades da água na superfície e no fundo do reservatório, amplitude térmica e Resistência Térmica Relativa (RTR) da PCH Ponte.....	95
Tabela 8.13 - Amplitude dos valores de pH da PCH Ponte em cada campanha.....	97
Tabela 8.14 - Amplitude dos valores de condutividade elétrica da PCH Ponte em cada campanha.....	98
Tabela 8.15 - Amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Ponte em cada campanha.....	102
Tabela 8.16 - Temperaturas e densidades da água na superfície e no fundo do reservatório, amplitude térmica e Resistência Térmica Relativa da PCH Palestina.....	103
Tabela 8.17 - Amplitude dos valores de pH da PCH Palestina em cada campanha.....	106
Tabela 8.18 - Amplitude dos valores de condutividade elétrica da PCH Palestina em cada campanha.....	107
Tabela 8.19 - Amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Palestina em cada campanha.....	108
Tabela 8.20 - Temperaturas e densidades da água na superfície e no fundo do reservatório, amplitude térmica e Resistência Térmica Relativa da PCH Triunfo.....	110
Tabela 8.21 - Amplitude dos valores de pH da PCH Triunfo em cada campanha.....	111
Tabela 8.22 - Amplitude dos valores de condutividade elétrica da PCH Triunfo em cada campanha.....	112
Tabela 8.23 - Amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Triunfo em cada campanha.....	114
Tabela 8.24 – Transparência nos três reservatórios em estudo.....	115
Tabela 8.25 – Profundidades das zonas fóticas dos três reservatórios em estudo.....	116
Tabela 8.26 – Dados estatísticos de temperatura da água (°C) dos pontos de coleta.....	120
Tabela 8.27 - Dados estatísticos de pH dos pontos de coleta.....	126
Tabela 8.28 – Variação das formas de CO ₂ com pH, em percentagem.....	129
Tabela 8.29 - Dados estatísticos de alcalinidade (mg/L) dos pontos de coleta.....	132
Tabela 8.30 - Dados estatísticos de acidez (mg/L) dos pontos de coleta.....	136
Tabela 8.31 - Dados estatísticos de dureza (mg/L) dos pontos de coleta.....	141
Tabela 8.32 - Dados estatísticos de oxigênio dissolvido (mg/L) dos pontos de coleta.....	146
Tabela 8.33 - Dados estatísticos de DBO (mg/L) dos pontos de coleta.....	152
Tabela 8.34 - Dados estatísticos de DQO (mg/L) dos pontos de coleta.....	157
Tabela 8.35 - Dados estatísticos de condutividade elétrica (µS/cm) dos pontos de coleta....	162
Tabela 8.36 - Dados estatísticos de cloretos (mg/L) dos pontos de coleta.....	167
Tabela 8.37 - Dados estatísticos de fosfato solúvel (mg/L) dos pontos de coleta.....	171
Tabela 8.38 – Classes de trofia dos corpos d’água segundo a concentração de fósforo total nas águas.....	175
Tabela 8.39 – Associação entre os usos e os graus de trofia em um corpo d’água.....	176
Tabela 8.40 - Dados estatísticos de fosfato total (mg/L) dos pontos de coleta.....	178
Tabela 8.41 - Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal (mg/L) dos pontos de coleta.....	183
Tabela 8.42 – Padrões de nitrogênio amoniacal total para águas Classe 2.....	184
Tabela 8.43 - Dados estatísticos de nitratos (mg/L) dos pontos de coleta.....	190
Tabela 8.44 – Definição do nutriente limitante segundo a relação entre a concentração de nitrogênio e fósforo (N/P).....	194
Tabela 8.45 – Concentrações de nitrogênio e fósforo e definição do nutriente limitante dos reservatórios da PCH Ponte).....	194
Tabela 8.46 – Concentrações de nitrogênio e fósforo e definição do nutriente limitante dos reservatórios da PCH Palestina).....	194
Tabela 8.47 – Concentrações de nitrogênio e fósforo e definição do nutriente limitante dos reservatórios da PCH Triunfo).....	195
Tabela 8.48 - Dados estatísticos de nitrogênio total (mg/L) dos pontos de coleta.....	197

Tabela 8.49 - Dados estatísticos de ferro solúvel (mg/L) dos pontos de coleta.....	202
Tabela 8.50 - Dados estatísticos de ferro total (mg/L) dos pontos de coleta.....	206
Tabela 8.51 - Dados estatísticos de manganês (mg/L) dos pontos de coleta.....	211
Tabela 8.52 - Dados estatísticos de sólidos em suspensão (mg/L) dos pontos de coleta.....	216
Tabela 8.53 - Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis (mL/L) dos pontos de coleta.....	221
Tabela 8.54 - Dados estatísticos de sólidos totais (mg/L) dos pontos de coleta.....	226
Tabela 8.55 - Dados estatísticos de turbidez dos pontos de coleta.....	232
Tabela 8.56 - Dados estatísticos de coliformes fecais (NMP/100 ml) dos pontos de coleta.....	237
Tabela 8.57 - Dados estatísticos de coliformes totais (NMP/100 ml) dos pontos de coleta.....	241
Tabela 8.58 - Dados estatísticos de densidade de fitoplâncton (org/ml) dos pontos de coleta.....	246
Tabela 8.59 - Dados estatísticos de riqueza de fitoplâncton (n.º de Taxa) dos pontos de coleta.....	249
Tabela 8.60 - Dados estatísticos de densidade de zooplâncton (org/mL) dos pontos de coleta.....	253
Tabela 8.61 - Dados estatísticos de riqueza de zooplâncton (n.º de taxa) dos pontos de coleta.....	256
Tabela 8.62 - Dados estatísticos de densidade de zoobenton (org/mL) dos pontos de coleta.....	259
Tabela 8.63 - Dados estatísticos de riqueza de zoobenton (n.º de taxa) dos pontos de coleta.....	262
Tabela 8.64 - Parâmetros de classificação dos impactos ambientais previstos no EIA das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo.....	265

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANA – Agência Nacional das Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
MAB – Movimento dos Atingidos por Barragens
NMP – Número mais provável
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PROINFA – Programa de Incentivo Às Fontes Alternativas de Energia
SIMGE – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais
TVR – Trecho de Vazão Reduzida
UHE – Usina Hidrelétrica
UNT – Unidade Nefelerométrica de Turbidez

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a questão ambiental tem-se tornado cada vez mais importante e discutida nas esferas científica, política e social do Brasil e do mundo. As ações do homem sobre o meio ambiente - e seus efeitos - têm sido alvos de estudos e discussões voltados, principalmente, para os impactos negativos das mesmas.

Dentre estas ações, pode-se citar, como exemplo, a instalação de inúmeras obras ou aproveitamentos hidráulicos para diversos fins, como controle de cheias, contenção de rejeitos de indústrias e minerações, reservação para abastecimento de água e irrigação, e a geração de energia elétrica, dentre outros. Este último é de grande importância, pois a energia elétrica é um dos principais insumos utilizados em muitos setores da sociedade, principalmente naqueles de produção de bens e prestação de serviços.

Uma vez que a matriz energética brasileira é, em maior parte, constituída por esta tipologia de geração de energia - de origem hidráulica, devido à grande disponibilidade de recursos hídricos no país e, em especial, no estado de Minas Gerais - é necessário ressaltar a importância da construção destes aproveitamentos para a expansão do setor elétrico nacional e, conseqüentemente, para o desenvolvimento do país.

Contudo, as grandes intervenções sobre o meio ambiente decorrentes da instalação desta tipologia de empreendimento, que consiste na construção de barramentos e na inundação de áreas para formação de reservatórios - em muitos casos de grande porte - geram diversos impactos ambientais, em sua maioria de natureza negativa, sobre os meios físico, biótico e antrópico locais e até regionais. Há registros de experiências onde sociedades tiveram suas bases de sustentação econômica e seus valores socioculturais repentinamente solapados. Ainda que a geração elétrica seja sustentável, algumas regiões atingidas para viabilizá-la tiveram, em lugar de desenvolvimento, retrocesso insustentável (Muller, 1995).

A formação de um reservatório artificial causa uma transformação do ambiente aquático original, que passa de um ambiente de águas correntes - sistema lótico, característico de rios - para um ambiente de águas "paradas" - sistema lêntico, característico de lagos, modificando as condições físicas e químicas da massa d'água e, conseqüentemente, causando profundas diferenças na estrutura e composição das comunidades biológicas (Tundisi, 1986). Tais condições físicas, químicas e biológicas de um curso hídrico são o que definem a qualidade de suas águas.

A presente dissertação consiste de um estudo comparativo das condições da qualidade das águas de um curso hídrico, antes e após as alterações ocasionadas pela instalação de aproveitamentos hidroelétricos. Para tal, são utilizados dados secundários – mais especificamente, dados de parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos – de um estudo de caso, em escala real. O estudo de caso adotado refere-se à instalação de três aproveitamentos hidrelétricos denominados Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's Ponte, Palestina e Triunfo, instalados em seqüência no rio Pomba, bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, estado de Minas Gerais.

Pequena Central Hidrelétrica, ou PCH, conforme definido pela Resolução n.º 652 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, de 09 de dezembro de 2003, consiste dos aproveitamentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 KW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinados à produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área de reservatório inferior a 3,0 km² (salvo aqueles que atenderem o artigo 4º da referida Resolução).

2. JUSTIFICATIVAS

A água é um bem fundamental para a manutenção da vida no planeta. Apesar de existir aproximadamente $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de água no planeta, apenas 0,8% deste total encontra-se disponível como água doce, podendo ser usada mais facilmente para os diversos usos pelo ser humano. Contudo, apenas uma pequena fração (3%) das águas doces constitui as águas superficiais (rios e lagos), sendo que a fração restante (97%) encontra-se sob a forma de águas subterrâneas, de acesso mais difícil. Dessa forma, é de grande importância preservar os recursos hídricos superficiais do Planeta, em especial, quanto à qualidade de suas águas, devido à sua pequena parcela de mais fácil - e, conseqüentemente, menos onerosa - utilização, em relação ao volume total de águas doces.

Neste contexto, é cada vez mais urgente a necessidade de se investigar e diagnosticar os fatores que afetam a qualidade da água, bem como prever os impactos futuros decorrentes de determinados eventos ou condições específicas, para melhor auxiliar a administração dos recursos hídricos com propostas ou alternativas concretas e realmente eficazes (Gastaldini et al, 2002).

Para Mello (1986), nos projetos de barragens, uma importante questão é avaliar o balanço entre os benefícios esperados pelo empreendimento e os impactos e efeitos sobre o meio ambiente dele decorrentes. A resposta a essa questão obrigatoriamente força a considerar as necessidades e as disponibilidades de recursos naturais, bem como a situação sócio-econômica do país em questão. Uma vez tomada a decisão (a favor da realização) do empreendimento, ao mesmo tempo em que devem ser minimizadas as conseqüências negativas daí advindas, devem ser maximizados os seus benefícios, ou seja: mesmo que o projeto seja viável apenas para um fim, nunca devem ser desprezadas as possibilidades futuras de usos múltiplos da barragem ou do reservatório. Portanto, o projeto de uma barragem, necessariamente, deveria levar em consideração a possibilidade de usos múltiplos.

Considerando a importância dos usos múltiplos, portanto, é necessário que a qualidade das águas dos reservatórios seja garantida de modo que atenda aos requisitos para as finalidades pretendidas. Dessa forma, também se torna importante o tema de estudo do presente trabalho.

Conforme anteriormente exposto, as usinas hidrelétricas constituem a maior parcela da matriz energética brasileira. Embora o uso de outras fontes de geração de energia – tais como eólica, solar e térmica – tenha apresentado grande expansão ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento da economia do país ainda dependerá principalmente da ampliação do

potencial de geração de energia referente às usinas hidrelétricas (Reis et al., 2005). Tal ampliação se mostra viável do ponto de vista técnico-executivo, devido ao grande potencial ainda existente de recursos hídricos passíveis de serem explorados para tal finalidade.

A preocupação com a ampliação do parque gerador energético brasileiro tornou-se um tema de grande discussão não apenas do governo civil e setor produtivo, mas inclusive de setores como a sociedade civil, quando da crise de energia e conseqüente racionamento ocorridos em fins do ano de 2001 e início do ano de 2002. Neste momento, houve um significativo avanço na difusão do combate ao desperdício e conservação de energia elétrica durante o racionamento em 2001, embora este fosse resultado de uma questão conjuntural e não uma estratégia que buscasse maior eficiência, visando à menor utilização de recursos naturais (Reis et al., 2005). Apesar de superada a crise, algumas previsões apontam para um novo déficit de energia baseado em projeções de desenvolvimento do país.

Em virtude da necessidade da ampliação da oferta de energia, o governo brasileiro, tanto na esfera federal quanto na estadual, tem criado mecanismos de incentivo à criação de novos aproveitamentos hidrelétricos. Como exemplos recentes, podem ser citados o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia – PROINFA, do governo federal, regulamentado pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e o Programa Minas PCH, do governo do estado de Minas Gerais, regulamentado pelo Decreto Estadual 43.914, de 10 de novembro de 2004.

Contudo, empreendimentos hidrelétricos geram diversos impactos sobre o meio ambiente, sendo estes, em diversas vezes, de caráter negativo e de grande magnitude. A grande relevância das questões ambientais no mundo atual, retratada na evolução da legislação ambiental e na organização da sociedade civil, como no caso do Movimento dos Atingidos por Barragens - MAB, por exemplo, torna necessário que sejam realizados estudos e experimentos objetivando avaliar a real abrangência destes impactos para que, dessa forma, possam ser criadas novas medidas de controle ou avaliadas e otimizadas aquelas já existentes, visando mitigá-los, compensá-los ou, caso possível, até mesmo eliminá-los. É neste contexto que a contribuição deste trabalho para o tema estudado encontra-se justificada.

Ademais, um dos maiores impactos ambientais característicos da instalação destas obras consiste da alteração do ambiente aquático original – decorrente da mudança do sistema fluvial de águas "correntes" para águas "paradas" – que ocasiona, indiretamente, interferências sobre os usos da água, alteração na estrutura das comunidades aquáticas (favorecendo a proliferação de organismos mais bem adaptados ao novo ambiente formado

em detrimento dos organismos característicos do ambiente original), mudanças na dinâmica de processos tais como o assoreamento e a capacidade de autodepuração, dentre outros efeitos. Tais interferências estão correlacionadas à alteração da qualidade das águas, representada por parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos. Dessa forma, através do estudo da qualidade das águas, pode-se realizar a caracterização ambiental de corpos hídricos, tanto para rios quanto para lagos (von Sperling, 1996).

Outra justificativa para realização do presente trabalho provém do fato de que, no Brasil, os corpos d'água devem atender determinados padrões de qualidade, determinados em função dos seus usos previstos, por meio de força da lei – a saber, da Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Nas bacias em que a condição de qualidade dos corpos d'água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, a referida Resolução define que deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade das águas para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados nos parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais. Ademais, dentre as considerações da referida Resolução, estabelece-se que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade da águas. Uma vez que, conforme exposto, a instalação de um barramento em um curso hídrico altera a qualidade das águas, justifica-se o estudo para que esta alteração não entre em desacordo com as exigências desta Resolução.

As questões relacionadas aos impactos ambientais destas usinas são avaliadas e discutidas no âmbito dos processos de licenciamento ambiental das mesmas. A Resolução CONAMA n.º 237, de 19 de dezembro de 1997, define o Licenciamento Ambiental como o “procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso”. O licenciamento ambiental é, então, um instrumento de política e gestão ambiental, de caráter preventivo, composto por um conjunto de leis, normas técnicas e procedimentos administrativos, que define as obrigações e responsabilidades do poder público e dos empreendedores, com vistas à autorização para implantar, ampliar ou iniciar a operação de empreendimento potencialmente poluidor (Mazzini, 2003).

Dessa forma, o licenciamento ambiental é um processo importante para que a implantação e operação de empreendimentos que geram impactos significativos ao meio ambiente sejam realizadas visando ao desenvolvimento sustentável. As barragens com fins de geração de energia são uma tipologia, dentre muitos outros, de empreendimentos previstos na legislação ambiental cujo licenciamento ambiental é obrigatório.

Dentre os diversos programas ambientais integrantes dos processos de licenciamento ambiental e implementados para mitigação e controle dos impactos oriundos das três PCH's em estudo, foi instituído o "Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água", comum a esta tipologia de empreendimento, cujo objetivo principal consiste de "avaliar e caracterizar a qualidade das águas do rio Pomba e do rio Paraopeba, este último afluente da margem esquerda do rio Pomba na área do reservatório da PCH Triunfo, no trecho de influência das três PCH's" (Limiar, 2005).

Este programa utiliza-se de diagnósticos baseados no levantamento de dados de qualidade da água. Assim, ao longo dos anos, são gerados grandes volumes destes dados, cuja utilização e aproveitamento acaba por se restringir aos respectivos processos de licenciamento ambiental. Assim sendo, as aplicações destes dados são, muitas vezes, subaproveitadas e pouco difundidas. A utilização de dados secundários do licenciamento ambiental nesta dissertação torna-se, portanto, um contraponto deste cenário e, assim sendo, uma justificativa para a mesma.

Ademais, a utilização de um estudo de caso justifica-se pela disponibilidade de uma série histórica de dados já existentes, o que diminui os custos e o período de tempo necessários para concretização deste trabalho. Outra justificativa pertinente é que, sendo os dados obtidos através de experimento em escala real, espera-se que seus resultados sejam mais significativos do que caso houvessem sido obtidos em uma escala piloto que, por sua vez, devido à natureza do tema estudado, seria inviável de ser utilizada.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

- Avaliar a evolução dos parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos de um curso d'água superficial - e seus efeitos sobre o meio ambiente - decorrente da transformação do sistema lótico em lântico, ocasionada pela instalação em série de barramentos com fins de geração de energia elétrica, ao longo da fase anterior à instalação destes barramentos até sua fase de operação, através do estudo de caso do rio Pomba, Minas Gerais.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar e comparar o corpo hídrico por meio de seus parâmetros indicadores de qualidade ambiental e sanitária - parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos - em duas condições distintas: como ambiente lótico e lântico;
- Avaliar os riscos e limitações para os potenciais usos da água após a transformação do ambiente aquático;
- Avaliar as interferências cumulativas sobre o curso d'água e identificar quais parâmetros sofrem alterações mais significativas devido à instalação de um conjunto de barramentos em série;
- Avaliar se os resultados obtidos condizem com aqueles previstos pela literatura técnica - abordada pela revisão bibliográfica - e nos estudos ambientais dos barramentos do estudo de caso.

4. A ÁGUA E SUA QUALIDADE

4.1. A situação e importância da água no século XXI

A água é um recurso mineral essencial para a manutenção da vida na Terra. Durante grande parte da história da humanidade, acreditou-se que este seria um bem inesgotável. Contudo, nos tempos atuais, sabe-se que nosso planeta possui cerca de $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de água disponíveis. Deste total, a parcela de águas doces (passível de ser mais facilmente aproveitada para diversos usos) é de apenas 0,8%, subdividida em águas superficiais (3%) e subterrâneas (97%) (von Sperling, 1996).

von Sperling (1999a) afirma que, em linhas gerais, a disponibilidade de água doce no planeta é perfeitamente suficiente para cobrir a demanda da população, incluindo-se as atividades industriais e de irrigação e que, na verdade, a preocupação existente refere-se à distribuição desigual dos recursos hídricos entre as várias regiões do planeta. O autor lembra também que o volume total de água doce, embora enormemente inferior ao de água salgada, apresenta um tempo de renovação muito mais rápido, da ordem de semanas para os rios e de anos ou décadas para os lagos.

Contudo, ainda mais importante que a distribuição desigual da quantidade de água disponível para os diversos usos pelo homem e para a manutenção dos ecossistemas naturais, encontra-se a qualidade da mesma para tal. Atualmente, várias partes do planeta já sofrem por sua escassez, seja tanto pela diminuição da quantidade quanto pela má qualidade das águas doces disponíveis para consumo humano e animal, principalmente nos grandes aglomerados urbanos. Esta má qualidade é, em diversas vezes, ocasionada pela poluição decorrente de ações do ser humano (Reis et al, 2005).

Com base neste quadro, conclui-se que a água, em melhores condições técnicas e econômicas para sua utilização, é um bem que, caso não seja preservado, pode vir a se esgotar em um futuro próximo, tornando de grande importância a preservação dos rios e lagos.

Diante do exposto, a água se tornou também um tema de grande discussão e importância neste início de século, em todo o mundo. Até um passado recente, a água havia sido explorada sem critério algum – e, em muitos casos, de forma inadequada – como motor de desenvolvimento de muitos países, seja na agricultura, na geração de energia, na indústria e dentre outros setores. Atualmente, alguns países têm feito, através de medidas conservacionistas, um controle rigoroso do consumo de água e da sua contaminação. Estima-se que 1,5 milhão de

peças no mundo sofram com a falta de água e 25 milhões morram por ano devido a doenças transmitidas por águas poluídas e impróprias para consumo (Reis et al, 2005).

Nas últimas décadas, vários países vêm implantando políticas públicas para gestão de seus recursos hídricos e as sociedades deixaram de ver a água como um bem gratuito e aprenderam a vê-la como um recurso natural limitado – e, mais recentemente, como um bem econômico de grande valor e um direito humano (Comissão Mundial de Barragens, 2000). Um dos instrumentos que estão sendo utilizados para mostrar ao usuário deste recurso o real valor da água e incentivar seu uso de forma racional é a cobrança pelo uso, por meio do princípio usuário-pagador. Este princípio, aplicado aos recursos hídricos, leva em conta a gestão compartilhada e participativa dos recursos hídricos e o valor econômico da água, estabelece que o usuário que faz captação em cursos d'água deve pagar proporcionalmente à vazão captada, e o usuário que lança poluição nos cursos d'água deve pagar pela carga de poluição lançada (Mazzini, 2003).

No Brasil, a gestão de recursos hídricos esteve por longo tempo reduzida à avaliação quantitativa das reservas hídricas, especialmente para fins de produção de energia, resultado do modelo de gestão centralizado então em vigor, basicamente voltado às necessidades de planejamento do setor de hidroeletricidade (Muñoz, 2000, *apud* Libânio et al, 2005).

As leis estaduais de recursos hídricos editadas a partir do início da década de 1990 e, posteriormente, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433/1997, ao incorporarem o princípio do aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, afirmaram a opção brasileira por um modelo de gestão de águas que contemplasse simultaneamente aspectos quantitativos e qualitativos (Libânio et al, 2005).

4.2. Parâmetros e fatores de influência da qualidade da água

Segundo Tundisi (1986), considera-se a qualidade da água como uma integral espacial e temporal que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas de um corpo hídrico. A interação dos diversos processos no espaço e no tempo deve ser, portanto, um somatório cujo resultado principal é a qualidade da água.

De forma semelhante, Mazzini (2003) conceitua a qualidade da água como “termo utilizado para designar as características químicas, físicas e biológicas da água, que deve ter uma qualidade compatível com o uso específico a que se destina”.

A Tabela 4.1, apresentada a seguir, enumera algumas das principais características da água.

Tabela 4.1 - Principais características das águas

Características da água	Exemplos
Físicas	Estado (líquido, sólido, gasoso), cor, sabor, odor, turbidez, e comportamento desses em função da temperatura, pressão, presença de sais, entre outros
Químicas	Líquido solvente, dureza, acidez e alcalinidade (medidos pelo pH), radioatividade, presença de oxigênio e dióxido de carbono, entre outros sais como cálcio, magnésio, sódio, potássio.
Biológicas	Presença de organismos produtores, consumidores e decompositores que, dependendo do grupo a que pertencem (vírus, bactérias, algas, peixes, moluscos, entre outros), podem ser benéficos ou maléficos à saúde humana e animal.

Fonte: adaptado de Reis et al (2005)

As características acima descritas, por sua vez, podem ser representadas através de parâmetros de qualidade da água, que também são classificados em físicos, químicos e biológicos. Os parâmetros biológicos, por sua vez, são usualmente subdivididos em bacteriológicos (associados ao saneamento ambiental, como os coliformes fecais e totais) e hidrobiológicos (microorganismos animais ou vegetais, como fitoplâncton e zooplâncton).

Para Marques (1993), os dados referentes aos parâmetros físicos podem ter valores bastante amplos dentro de uma faixa considerada de normalidade. Entretanto, quando se alcança uma zona de poluição, os mesmos podem ter variações tão relevantes que poucas determinações podem definir a região afetada pelos poluentes. Já os parâmetros químicos constituem os índices mais importantes na caracterização da qualidade da água. Estes permitem classificá-la do ponto de vista de sua mineralização, da necessidade de nutrientes para preservação de vida aquática, caracterização e rastreamento de poluentes, etc. Por fim, a análise bacteriológica é o parâmetro mais importante para se definir a qualidade sanitária de qualquer água.

Segundo von Sperling (1996), os parâmetros de qualidade da água podem ser utilizados para caracterizações diversas, como:

- caracterização de águas superficiais e subterrâneas para abastecimento;
- caracterização de água residuárias brutas e tratadas; e
- caracterização ambiental de corpos d'água (rios e lagos).

Segundo este autor, os principais parâmetros a serem investigados numa avaliação das águas de rios e lagos – caso do presente trabalho – são: cor, turbidez, temperatura da água, pH, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, organismos indicadores e algas. Também devem ser analisados micropoluentes orgânicos e inorgânicos caso haja indícios para tal, devido ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Esta última diretriz se justifica pois, segundo este mesmo autor, “a qualidade de uma determinada água é função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica”. Assim sendo, a qualidade das águas pode ser indiretamente determinada tanto por condições naturais quanto pelas ações do homem.

A bacia hidrográfica, mesmo quando preservada em suas condições naturais, influencia na qualidade das águas de seus corpos hídricos através do carreamento de partículas, substâncias e impurezas dos solos decorrente da precipitação atmosférica. Neste caso, a cobertura e composição do solo da bacia hidrográfica em questão terão grande influência na definição da qualidade de suas águas. Pode-se observar, também, que as condições sazonais do clima influenciam indiretamente na qualidade das águas.

Dentre algumas das ações antropogênicas que podem afetar, direta ou indiretamente, a qualidade das águas, von Sperling (1996) e Reis et al (2005), citam, por exemplo:

- O carreamento de **defensivos agrícolas e fertilizantes** utilizados em atividades agropecuárias, pelas ações das chuvas, pode contaminar o lençol freático e a água dos córregos e rios, tornando-a imprópria para consumo humano e animal e para a proliferação de espécies aquáticas;
- O **desmatamento** e a **alteração da cobertura vegetal** diminuem o processo de evapotranspiração, o que influencia no ciclo hidrológico. O solo torna-se mais úmido e tem sua capacidade de infiltração alterada, resultando na ocorrência de alagamentos e cheias. Também influenciam o meio aquático devido à alteração na composição do sedimento e ao aumento dos materiais em suspensão. Com a implantação de uma agricultura sem controle de erosão, ocorre um aumento do fluxo superficial de águas, carreando solos que promovem o assoreamento de rios, lagos e reservatórios;
- A **impermeabilização advinda da urbanização** diminui a capacidade de infiltração das águas pluviais no solo e aumenta a velocidade de escoamento superficial, o que propicia a ocorrência de enchentes nos períodos chuvosos. Ao se reduzir a infiltração, ocorre uma

alteração no lençol freático, pois este deixa de ser alimentado pelas águas pluviais. Conseqüentemente, ocorre uma menor alimentação das águas superficiais pelas subterrâneas nos períodos secos;

- A **mineração**, cuja prática é extensiva no Brasil, provoca a contaminação dos mananciais devido à exploração de minérios, como a bauxita e o ouro. Os metais chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, arsênico, entre outros, devido à toxicidade, podem provocar doenças cancerígenas. A exploração de ouro, na região norte do Brasil e no pantanal mato-grossense, tem poluído as águas com mercúrio;
- O **lançamento de efluentes domésticos e industriais**, muitos desses sem nenhum tratamento prévio, nos lençóis freáticos, rios, lagos e mares, pode causar poluição por matéria orgânica, contaminação por microorganismos patogênicos e elementos tóxicos, afetando principalmente a biota aquática;
- A **presença de reservatórios artificiais**, construídos para diversos fins (controle de cheias, abastecimento de água, irrigações, piscicultura, recreação e lazer, navegação e geração de energia elétrica), altera o fluxo natural das águas. Os reservatórios alteram o ecossistema aquático, contribuem para o aumento do efeito estufa devido à emissão de gás metano produzido na decomposição da biomassa submersa, causam alterações nos lençóis freáticos, surgimento de lagos e secagem de outros e assoreamento das margens. O acúmulo de nutrientes, que aparecem seja pela erosão do solo, irrigação ou decomposição da matéria orgânica submersa, aumenta os riscos da eutrofização. A eutrofização é um processo indesejado, que consiste no “crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d’água” (Thomann e Mueller, 1987, apud von Sperling, 1996);
- **Alterações climáticas causadas pelo efeito estufa**. A elevação na quantidade de gases causadores do efeito estufa na atmosfera é decorrente da queima de combustíveis fósseis, mudança no uso da terra e atividades agrícolas. Tais alterações são caracterizadas pelo aumento da temperatura do planeta, o que ocasiona inúmeros problemas, como o derretimento das geleiras, resultando na alteração da quantidade e qualidade das águas nas regiões litorâneas.

No caso específico de reservatórios, a qualidade das águas também depende de inúmeros outros fatores, relacionados com as características morfológicas do sistema, os mecanismos de circulação, estratificação e desestratificação térmica e química, as relações da profundidade

da zona eufótica com a profundidade máxima e a profundidade da zona afótica, e as inter-relações do sedimento/água, também reguladas pelo grau de oxigênio na coluna d'água e potencial de óxido-redução do sedimento (Tundisi, 1986). Com exceção das inter-relações do sedimento/água, os demais itens serão avaliados no presente trabalho.

4.3. Correlação entre os usos e níveis de qualidade da água desejados

A água, além de bem essencial para a manutenção da vida no planeta, também é utilizada pelo ser humano para os mais diversos fins. Os principais usos da água, conforme enumerados por von Sperling (1996), são:

- Abastecimento doméstico
- Abastecimento industrial
- Irrigação
- Dessedentação de animais
- Aquicultura
- Preservação da flora e da fauna
- Recreação e lazer
- Harmonia paisagística
- Geração de energia elétrica
- Navegação
- Diluição de despejos

Dentre estes, apenas os abastecimentos doméstico e industrial, irrigação e dessedentação de animais são usos que consomem (implicam a retirada) das águas de sua fonte. Os demais usos são desempenhados no próprio corpo d'água.

Para cada tipologia de uso, é exigido um nível desejável de qualidade da água distinto. Os usos considerados mais nobres, como abastecimento doméstico e industrial, devem cumprir requisitos de qualidade mais exigentes, o que implica, em muitos casos, na necessidade de um tratamento prévio da água.

Para consumo humano e animal, a água precisa apresentar características sanitárias e toxicológicas adequadas. Deve ser potável, limpa, isenta de bactérias, vírus, concentrações

tóxicas e outros organismos que possam provocar doenças como diarreia, disenterias, cólera, febre tifóide, esquistossomose, dentre outras. Os padrões de “potabilidade da água” (conjunto de valores máximos permissíveis das características da qualidade da água destinada ao consumo humano) são definidos pela Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.

Já para usos como lavagem de carros, calçadas e fachada de edificações, geração de energia elétrica, os requisitos de qualidade são menos restritivos. Outros usos, como a diluição de despejos, por exemplo, não possuem nenhum requisito especial em termos de qualidade.

Nos casos de corpos hídricos que apresentam vários usos, é necessário que estes possuam uma qualidade hídrica que atenda simultaneamente todos os critérios dos usos previstos. Estes casos se aplicam, muitas vezes, a represas construídas com finalidade de abastecimento de água, geração de energia, recreação, irrigação e outros. No caso de uso da água para geração de energia elétrica, por exemplo, um requisito de qualidade da água é que a mesma possua baixa agressividade. A agressividade é a característica que confere às águas tendência de corroer os metais, ferrosos e não-ferrosos, e materiais à base de cimento pela presença, em solução, de oxigênio, gás carbônico e gás sulfídrico (Mazzini, 2003).

No caso de lagos e reservatórios, Tundisi (1986) correlaciona, ainda, como um dos critérios de qualidade a serem atingidos, o grau de trofia permissível em relação aos usos pretendidos, conforme exposto na Tabela 4.2, a seguir.

Tabela 4.2 - Usos da água de lagos e reservatórios relacionados com estado de trofia

Utilização desejada	Estado de trofia	
	Necessário	Ainda tolerável
Água potável	Oligotrófico	Mesotrófico
Água para recreação (banho)	Mesotrófico	Ligeiramente eutrófico
Cultivo de peixes salmonídeos	Oligotrófico	Mesotrófico
Cultivo de peixes ciprinídeos	-	Eutrófico
Água para processos	Mesotrófico	Ligeiramente eutrófico
Água para resfriamento	-	Eutrófico
Água para recreação (banho, esportes)	Mesotrófico	Eutrófico
Irrigação (em canais)	-	Eutrófico
Produção de energia	-	Eutrófico

Fonte: Tundisi (1986) – Modificado de Welch (1982)

O manejo dos reservatórios com a finalidade de adequar a qualidade da água para usos múltiplos é, portanto, de fundamental importância (Tundisi, 1986). Outras associações entre os usos da água e os níveis de trofia são discutidas no Capítulo 8 do presente trabalho.

4.4. Enquadramento dos corpos d'água e Padrões de qualidade da água

Em função de seus usos previstos, os corpos d'água são enquadrados em classes, conforme a legislação ambiental pertinente. No Brasil, a legislação que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, dentre outras providências, no âmbito federal, é a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Dentre as considerações da referida Resolução, estabelece-se que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas.

Esta resolução define a classificação das águas doces (que possuem salinidade inferior a 0,05%), salobras (salinidade entre 0,05% e 3%) e salinas (salinidade superior a 3%) do território nacional, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade, sendo que cada classe estabelece condições e padrões específicos a serem atingidos e/ou mantidos no corpo d'água. Também define o enquadramento dos corpos d'água como sendo o “estabelecimento de uma meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento do corpo d'água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo” (CONAMA, 2005).

Conforme pode ser observado, o enquadramento de um corpo hídrico é definido pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos. Nas bacias em que a condição de qualidade dos corpos d'água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, a Resolução Conama n.º 357/2005 define que deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados nos parâmetros que excedam ao limites devido às condições naturais.

Um meio de facilitar a fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos consiste do monitoramento, que é um instrumento para avaliar a evolução da qualidade das águas, em relação às classes estabelecidas no enquadramento (CONAMA, 2005).

A Resolução Conama n.º 357/2005 determina os limites individuais (ou padrões de qualidade) para cada substância, em cada classe. Os padrões devem ser cumpridos, por força da legislação, pelas entidades envolvidas com a água a ser utilizada. Além de padrões, também é previsto que a qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se de organismos e/ou comunidades aquáticas.

A Tabela 4.3, a seguir, apresenta as classes de enquadramento e respectivos usos possíveis para as águas doces.

Tabela 4.3 - Usos Pretendidos por classe de qualidade para as águas doces

Classes de qualidade	Usos pretendidos
especial	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral
1	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado • Proteção das comunidades aquáticas • Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (a) • Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película • Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas
2	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional • Proteção das comunidades aquáticas • Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho (a) • Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto • Aquicultura e à atividade de pesca
3	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado • Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras • Pesca amadora • Recreação de contato secundário • Dessedentação de animais
4	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação • Harmonia paisagística

(a) conforme Resolução Conama n.º 247, de 2000

Fonte: Resolução Conama n.º 357/2005

Para avaliação na presente dissertação, o rio Pomba, de suas cabeceiras até sua foz no rio Paraíba do Sul, foi enquadrado na Classe 2, pela Portaria/GM n.º 86, de 04 de junho de 1981.

Cumprе ressaltar que a perda de capacidade de autodepuração de um corpo hídrico decorrente da transformação do sistema lóxico em lântico faz com que seja mais difícil atingir os padrões de qualidade estabelecidos, no caso de determinados parâmetros.

4.5. Reservatórios artificiais e suas diferenças em relação aos lagos naturais

Reservatórios são ambientes lacustres provenientes do barramento artificial de cursos d'água. O objetivo de construção de um barramento é o armazenamento de água, seja para obtenção de um volume adequado às diversas utilizações (principalmente abastecimento de água para centros urbanos e indústrias, além de irrigação), seja para garantir uma altura de queda d'água suficiente para a geração de energia (von Sperling, 1999a).

Ao contrário dos lagos naturais, os reservatórios apresentam tempos médios de residência da água bastante curtos, tendo em vista o escoamento de grandes vazões de água através dos equipamentos nele existentes (vertedores, turbinas, torres de tomada, canais de desvio). Em geral, as bacias de drenagem de reservatórios são de grande porte, de formato alongado e apresentam uma pequena área de contribuição direta, enquanto que, para o caso de lagos naturais, tais bacias apresentam um porte reduzido e um formato próximo ao circular. Desta forma, ocorre uma distribuição aproximadamente equitativa da vazão afluente ao longo do perímetro do corpo hídrico. Já os tributários de reservatórios são normalmente grandes cursos d'água, com seu fluxo dirigido ao longo do vale original (von Sperling, 1999a).

A variação do nível d'água é muito mais intensa em reservatórios do que em lagos, devido aos aspectos operacionais inerentes ao funcionamento dos mesmos. As diferenças se estendem também à estratificação térmica (natural em lagos, com regime irregular em reservatórios) e conseqüentemente à dinâmica de nutrientes e de outros compostos químicos: em lagos predominam gradientes verticais, ao passo em que reservatórios ocorrem com mais freqüência gradientes horizontais (von Sperling, 1999a).

No Brasil, os reservatórios de maior volume foram construídos para fornecimento de energia, dada a farta disponibilidade de recursos hídricos e a existência de condições favoráveis à construção de usinas hidrelétricas. O aumento no consumo de água da população e na demanda dos parques industriais também tem levado à crescente necessidade de construção de barramentos ou reservatórios para abastecimento de água. No nordeste brasileiro, existem centenas de açudes construídos para fornecimento de água para uso humano e irrigação. Tais ambientes cumprem ainda a importante função de perenização dos cursos d'água localizados a jusante: em períodos de estiagem, quando os rios situados em regiões áridas chegam freqüentemente a secar, os açudes liberam, através de comportas ou descargas de fundo, vazões suficientes para manutenção de condições de escoamento que permitam o uso da água (von Sperling, 1999a).

Deve ainda ser destacada a presença de pequenos reservatórios construídos com a finalidade de aquicultura (criação de peixes, moluscos, crustáceos). Em geral, estes ambientes são muito produtivos, com cadeias alimentares bem estabelecidas e apresentando intenso crescimento de vegetação. Estima-se que, em todo o planeta, haja alguns milhões destes pequenos reservatórios, normalmente formados pelo barramento de córregos ou ribeirões com baixa vazão (von Sperling, 1999a).

4.6. Manejo de reservatórios artificiais visando usos múltiplos

Muitas vezes, os reservatórios podem prestar-se a diversas utilizações, mesmo tendo sido construídos com um único objetivo específico. É o que ocorre, por exemplo, com os inúmeros barramentos para geração de energia existentes em nosso país, os quais freqüentemente servem também como fonte de suprimento de água para as populações ribeirinhas, além de constituírem-se em ambiente para recreação (natação, mergulho, esqui aquático), lazer (pesca), harmonia paisagística, melhoria climática (aumento da umidade do ar) e navegação. Já os barramentos construídos para armazenamento de água para abastecimento doméstico e industrial necessitam de maiores cuidados para preservação da qualidade do ambiente, cuja degradação implica em uma forte elevação dos custos para tratamento da água. Desta forma, é recomendável que estes reservatórios sejam protegidos do acesso indiscriminado da população, devendo tais cuidados serem estendidos por toda a bacia de contribuição. A adequada prática de usos múltiplos de reservatórios exige evidentemente a implantação de um sistema de gerenciamento bastante eficiente, cuja responsabilidade é normalmente atribuída a agências de bacias ou a consórcios administradores (von Sperling, 1999a).

Segundo Tundisi (1986), o manejo de reservatórios, mesmo aqueles de grande porte, é factível desde que se conheçam profundamente quais são os principais sistemas de inter-relações que interferem no funcionamento físico, químico, biológico e hidrodinâmico. Estas inter-relações sofrem a influência da manipulação dos reservatórios, a qual é principalmente dirigida para a geração de energia elétrica. Entretanto, o manejo de reservatórios para usos múltiplos deve ser a meta principal e, neste caso, o problema assume grande complexidade, demandando séries muito detalhadas de informações durante longos períodos.

A gestão de reservatórios pode ser realizada através da implementação de Planos Diretores de Uso e Ocupação do Solo (de seu entorno) e do Uso de suas Águas.

Para Goldemberg e Pádua (1986), os Planos Diretores de Uso e Ocupação do Solo dos reservatórios visam atingir três objetivos principais:

1. Assegurar a regularidade do abastecimento de água e a melhoria da sua qualidade. Relacionam-se com esse objetivo as seguintes finalidades:

- Organização das atividades agropecuária em função da capacidade de usos dos solos;
- Controle das fontes de contaminação da água;
- Proteção das matas naturais e remanescentes secundários;
- Controle da erosão nas áreas marginais do reservatório.

2. Aproveitamento múltiplo dos recursos naturais na área de influência do reservatório. Relacionam-se com esse objetivo as seguintes finalidades:

- Repovoamento e manejo da ictiofauna e dos recursos pesqueiros do reservatório;
- Incentivar a atividade de piscicultura na área de influência do reservatório;
- Estimular o aproveitamento racional das terras agrícolas;
- Incentivar as atividades relacionadas com o turismo e recreação;
- Desenvolver reflorestamento para fins cênicos ou industriais

3. Assegurar a proteção da diversidade genética nas margens e áreas de influência do reservatório. Relacionam-se com esse objetivo as seguintes finalidades:

- Manutenção e enriquecimento das matas naturais;
- Reflorestamento com espécies nativas;
- Controle de caça;
- Criação e reintrodução da fauna autóctone

Para fins de registro, cumpre informar que, em relação aos três empreendimentos hidrelétricos objetos do estudo de caso, foi apresentado ao órgão ambiental de Minas Gerais, o “Plano Diretor de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório”, que visa “estabelecer uma série de proposições, procedimentos e critérios, com objetivo de disciplinar a conservação, o uso e ocupação do solo da área do entorno dos reservatórios”. Contudo, foge ao escopo do presente trabalho avaliar a eficácia dos Planos elaborados para essas finalidades.

5. O SETOR ELÉTRICO

5.1. *Histórico da energia elétrica*

A energia elétrica, ou eletricidade, exerce fascínio na humanidade desde que os relâmpagos foram vistos pela primeira vez. Na Grécia antiga, Tales (640-546 a.C.) observou que cargas elétricas podiam ser geradas ao esfregar o âmbar, que em grego denomina-se elektron. O físico alemão Otto von Guericke (1602-1686 d.C.) fez experiências com a geração de eletricidade em 1650, o físico inglês Stephen Gray (1670-1736 d.C.) descobriu a condutividade elétrica, em 1729, e o estadista e inventor norte-americano Benjamim Franklin (1706-1790) estudou propriedades da eletricidade com seu famoso experimento, empinando uma pipa com uma chave pendurada durante tempestades elétricas (Yenne, 2003).

A água já utilizada como recurso energético desde o início do primeiro milênio, difundindo-se com maior intensidade no século XVIII, na Europa, por meio dos sistemas conhecidos como moinhos hidráulicos, utilizados para obter energia mecânica necessária no bombeamento de água, trituração de grãos, entre outras aplicações (Reis et al, 2005). Um moinho hidráulico, ou roda-d'água, é uma roda parcialmente submersa com pás que giram com o movimento da água que vêm ao seu encontro ou que cai nelas. Os primeiros moinhos movidos à água foram construídos sobre riachos, com as rodas montadas horizontalmente embaixo deles (Yenne, 2003).

Com a descoberta da eletricidade, já no final do século XIX, o recurso hidráulico passou a ser utilizado para gerar eletricidade num conjunto turbina-gerador. Para tal, um grande volume de água é armazenado num reservatório (para assegurar o fornecimento adequado por meio de um fluxo controlado) e liberado, passando através de uma turbina para gerar eletricidade. A turbina moderna é na verdade uma sofisticada roda hidráulica que transforma a energia cinética da água em movimento em energia mecânica no eixo de sua roda e, assim, gera eletricidade.

A energia hidrelétrica foi vislumbrada, pela primeira vez, em 1891, na Alemanha. Com a possibilidade de transmitir energia elétrica via fios condutores, passou-se a aproveitar as quedas d'água de bacias hidrográficas situadas distantes dos grandes centros consumidores e transmitir a energia elétrica através das linhas de transmissão. À medida em que a indústria elétrica foi se desenvolvendo, redes elétricas iam sendo construídas, possibilitando o atendimento de novas regiões.

Nos dois últimos séculos observou-se um forte incremento na construção de barramentos para geração de energia elétrica, inicialmente com o intuito de abastecer pequenas indústrias (moinhos, serrarias, tecelagens), e posteriormente com a finalidade de suprir a demanda energética da população (von Sperling, 1999a).

A primeira usina hidrelétrica brasileira entrou em operação no ano de 1883. Tratava-se de uma pequena barragem, com desnível de apenas 5 (cinco) metros, construída no município de Diamantina, estado de Minas Gerais, e denominada Ribeirão do Inferno. Apesar do porte diminuto, este sistema apresentava a mais longa linha de transmissão existente na época em todo o mundo, com um extensão de 2 (dois) quilômetros.

Em 1889, ano da proclamação da república, entrou em funcionamento a primeira usina hidrelétrica brasileira pertencente ao serviço público. Ela foi implantada no rio Paraibuna, município de Juiz de Fora, Minas Gerais, recebendo a denominação de Usina de Marmelos. As duas turbinas existentes forneciam uma potência total de 250 kW.

A partir da década de 1950, com o aumento da demanda de energia no país, observou-se a construção de barragens de grande porte, tendo como marco inicial a Usina de Paulo Afonso, no rio São Francisco. Nas décadas de 1960 e 1970, esta tendência consolidou-se com a entrada em operação de usinas geradoras de grandes potências energéticas, como por exemplo as usinas de Três Marias, Furnas e, mais recentemente, Itaipu (von Sperling, 1999a).

Na região amazônica, que apresenta uma elevadíssima densidade pluvial, as principais usinas hidrelétricas (como, por exemplo, Tucuruí e Balbina) foram construídas ao longo da década de 1980. Muito embora na década de 1990 tenha havido uma redução nos investimentos para construção de usinas hidrelétricas de grande porte, aliada à preocupação ambiental decorrente do alagamento de grandes áreas, existem ainda projetos de implantação de várias usinas de grande porte, notadamente nas regiões Norte e Centro-oeste (von Sperling, 1999a).

No Brasil, a participação da geração hidrelétrica na produção total de energia é de 78,4% (ANEEL, 2006), portanto, bastante superior à média mundial, de 19% (ELETROBRÁS, Plano Decenal de Expansão 1994-2004, apud von Sperling, 1999a). Estima-se que em todo o mundo existam cerca de 45.000 represas caracterizadas como grandes barragens. De acordo com a Comissão Mundial de Barragens (2000), uma grande barragem tem altura igual ou superior a 15 metros, contados do alicerce – neste critério, encontram-se as PCH's Ponte, Palestina e Triunfo, objetos de estudo deste trabalho. Se a barragem tiver entre 5 e 15 metros e

seu reservatório tiver capacidade superior a 3 milhões de m³, esta também é classificada como de grande porte. Hoje, quase metade dos rios do mundo tem ao menos uma grande barragem. Na entrada do novo século, um terço dos países do mundo tem ao menos uma grande barragem (Comissão Mundial de Barragens, 2000).

O setor elétrico brasileiro despendeu enormes investimentos em grandes obras de geração de energia a partir de usinas hidrelétricas no início da década de 1980, deixando o país por alguns anos com sobras de energia elétrica. Dessa forma, esse setor (inteiramente estatal na época) foi forçado a implantar políticas de incentivos tarifários para estimular as indústrias a investirem em eletrotermia, a fim de cobrir os investimentos realizados pelas empresas de energia. Durante alguns anos, a ilusão de que a energia elétrica era ilimitada, as baixas tarifas praticadas e a crença de que sempre se poderia captar dinheiro no exterior a juros baixos, conduziram o país a grandes níveis de desperdício e, apesar da sobra de energia, um enorme contingente de pessoas não teve acesso a este precioso bem (Reis et al, 2005).

Já a partir da década de 1950, inúmeros relatos de problemas ambientais sucederam-se e, como consequência, inúmeros estudos científicos foram surgindo, revelando os princípios geofísicos e ecológicos causados pela exploração e pelo uso descontrolado de recursos naturais. No caso das usinas hidrelétricas, além dos problemas ambientais, estas também causam impactos sociais, principalmente relacionados ao reassentamento de populações (Reis et al, 2005).

Dessa forma, nos últimos anos, a temática ambiental tem estado no centro das discussões de diversos segmentos da sociedade. Neste contexto, incluem-se as discussões acerca das usinas hidrelétricas.

5.2. Caracterização das Usinas Hidrelétricas

O aproveitamento da energia elétrica contida nos cursos d'água é feito através das usinas hidrelétricas. Tais usinas aproveitam a diferença de energia potencial existente entre o nível de água a montante e a jusante para gerar eletricidade. Normalmente, são construídas barragens e reservatórios para fazer este aproveitamento. A água usada para produzir energia elétrica é retirada do reservatório na tomada d'água e é conduzida à casa de máquinas por meio de tubulações, os condutos. Ao atingir a casa de máquinas, toda energia potencial é transformada em energia cinética utilizada para girar uma turbina que transforma a energia cinética em energia mecânica. Um gerador acoplado ao eixo da turbina transforma a energia mecânica em elétrica (Reis et al, 2005).

A Figura 5.1 apresenta um esquema simplificado de um aproveitamento hidrelétrico.

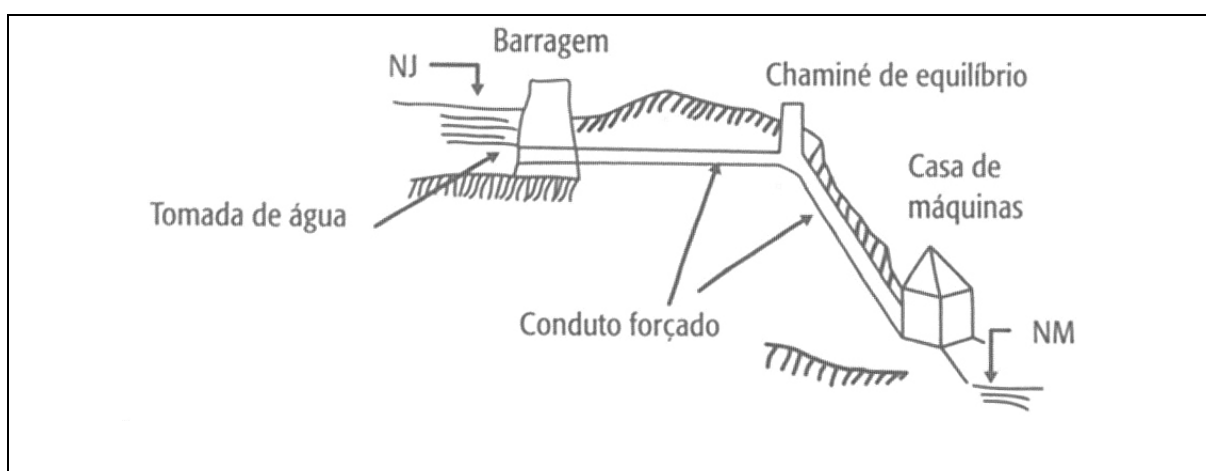


Figura 5.1 – Esquema simplificado de um aproveitamento hidrelétrico
Fonte: Reis et al (2005)

Usinas hidrelétricas possuem um custo de investimento bastante variável em função do tamanho do reservatório. Usinas de grandes reservatórios têm grande parte dos seus custos baseados nas obras civis. Além disso, as usinas hidrelétricas na atualidade não são mais projetadas visando única e exclusivamente à geração de eletricidade. Hoje, qualquer proposta de aproveitamento de recurso hídrico deve ser analisada pelo poder concedente e este avalia a inserção das hidrelétricas na bacia hidrográfica e no Sistema Elétrico Interligado. Portanto, no caso das usinas com reservatório, configuram-se duas outorgas: uma referente ao uso da água e outra referente ao aproveitamento do potencial hidráulico. Atualmente, na construção de um reservatório, são avaliados no projeto os usos múltiplos das águas, tais como: controle de enchentes, navegação, saneamento básico, lazer, irrigação, etc. (Reis et al, 2005).

5.3. Panorama da energia hidrelétrica no mundo e no Brasil

A exploração da energia hidráulica é limitada a países que possuem recursos hídricos disponíveis para tal, como é o caso do Brasil. Mundialmente, a hidreletricidade participava, no ano de 1999, com aproximadamente 22% de toda a energia elétrica gerada (Reis et al, 2005), sendo que a energia hidrelétrica é responsável por mais de 90% da produção total de eletricidade em 24 países, entre eles, o Brasil e a Noruega (Comissão Mundial de Barragens, 2000).

A Tabela 5.1 apresenta a situação da geração de hidreletricidade em alguns países em 1999.

Tabela 5.1 - Capacidade instalada em usinas hidrelétricas (1999)

País	Capacidade instalada (GW)	Participação no país (%)
EUA	776	12,62
China	277	23,46
Japão	226	9,29
Rússia	204	21,56
Canadá	110	60,9
França	108	19,4
Alemanha	108	2,7
Índia	103	21,35
Reino Unido	70	1,4
Itália	66	19,6
Brasil	65	87,7
Ucrânia	55	9,1
Coréia do Sul	46	4,3
Espanha	45	26,7
México	39	25,64
Austrália	38	15,8
África do Sul	38	2,6
Suécia	33	48,5

Fonte: Reis et al (2005)

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, criou o Banco de Informações de Geração – BIG, para divulgar, “on-line”, uma série de dados que esta Agência reúne sobre o parque gerador brasileiro, visando universalizar e uniformizar as informações, dando pleno conhecimento aos agentes de mercado, investidores estrangeiros e nacionais, autoridades governamentais, bem como a sociedade em geral, sobre a geração de energia elétrica no Brasil (

ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: X_GraphicRGBCS

STACK:

1.0
0
0

6. MATERIAL E MÉTODOS

Conforme já explicado nos capítulos anteriores, os dados utilizados no presente trabalho são provenientes do monitoramento da qualidade das águas do rio Pomba, objeto do estudo de caso adotado. Mais precisamente, estes dados são parte dos resultados do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” Odas Pequenas Centrais Hidrelétricas Ponte, Palestina e Triunfo, de propriedade da Brascan Energia S.A., e foram obtidos junto aos processos de licenciamento ambiental das mesmas (LIMIAR, 2005 e Visão Ambiental, 2005).

Assim sendo, uma vez que os dados utilizados foram obtidos em fontes secundárias, não há materiais e custos relativos à realização do presente trabalho a serem demandados para obtenção dos mesmos.

Em relação à metodologia de obtenção dos dados adotada neste trabalho, esta, por sua vez, está restrita e vinculada à metodologia utilizada no Programa supracitado. Os tópicos a seguir apresentam a metodologia utilizada no mesmo, seguida dos critérios e justificativas para sua utilização, parcial ou total, na presente dissertação.

6.1. Quantidade e frequência das campanhas de monitoramento adotadas

As campanhas de monitoramento da qualidade das águas do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” são apresentadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Data das campanhas de campo do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH's em estudo

Campanha	Data	Período	Campanha	Data	Período
1 ^a	24/07/2001	seca	10 ^a	15/10/2003	Início das chuvas
2 ^a	18/10/2001	Início das chuvas	11 ^a	14/01/2004	chuva
3 ^a	26/01/2002	chuva	12 ^a	13/04/2004	início da seca
4 ^a	17/04/2002	Início da seca	13 ^a	14/07/2004	seca
5 ^a	24/07/2002	seca	14 ^a	27/10/2004	início das chuvas
6 ^a	28/10/2002	início das chuvas	15 ^a	05/01/2005	chuva
7 ^a	15 e 16/01/2003	chuva	16 ^a	13/04/2005	início da seca
8 ^a	08 e 09/04/2003	início da seca	17 ^{a*}	13/07/2005	seca
9 ^a	02/07/2003	seca	18 ^a	26/10/2005	início das chuvas

Fonte: Limiar (2005) e Visão Ambiental (2005)

Para este trabalho, optou-se por avaliar toda a série histórica de dados, ou seja, com todas as campanhas já realizadas, excetuando-se aquelas que foram efetuadas durante os enchimentos dos reservatórios das respectivas PCH's. Esta última condição é justificada pelo fato de que,

durante o enchimento dos reservatórios, a qualidade das águas pode sofrer grande influência de ações inerentes à execução das obras, tais como a grande movimentação dos solos, geração de resíduos sólidos e efluentes sanitários do canteiro de obras e a manutenção de veículos e equipamentos, que podem levar ao risco de carreamento ou lançamento de sólidos, lixo, esgotos, óleos e graxas nos cursos d'água locais. Esta poluição e a conseqüente degradação da qualidade das águas ocasionadas por fatores associadas às obras de construção dos barramentos são, em geral, temporárias e restritas aos períodos em que ocorrem estas ações, e não são de interesse dos objetivos deste trabalho.

Os períodos de enchimento dos reservatórios estudados são:

- PCH Ponte: entre 24/04/2003 e 05/05/2003
- PCH Palestina: entre 29/09/2003 e 03/10/2003
- PCH Triunfo: entre 04/12/2004 e 11/12/2004

Posto isso, pode-se observar pela Tabela 6.1 que nenhuma das campanhas de monitoramento coincidiu com os períodos de enchimento dos reservatórios dos três empreendimentos. Dessa forma, são aproveitados os dados de todas as campanhas.

Cumprê ressaltar que o “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade das Águas” prevê a continuidade da realização de coletas pelo período de, no mínimo, dois anos após o início da operação de cada empreendimento (FEAM, 2004).

Quanto à frequência das coletas dos dados, as campanhas de monitoramento foram realizadas trimestralmente, conforme também pode ser observado na Tabela 6.1. Uma vez que são utilizadas todas as campanhas, a frequência das coletas no presente trabalho também é trimestral.

6.2. Parâmetros de qualidade das águas adotados

Os dados levantados no “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo referem-se a parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos de qualidade de água, e são apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Dados levantados no “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo

Tipo de parâmetro	Parâmetros avaliados
físico-químicos	acidez*, alcalinidade total, cloretos, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio – DQO, dureza total*, ferro solúvel, ferro total, fosfato total, manganês*, nitratos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, óleos e graxas*, ortofosfato, oxigênio dissolvido, pH, sólidos em suspensão, sólidos totais, sólidos sedimentáveis*, temperatura da água, temperatura do ar, turbidez
Bacteriológicos	coliformes fecais (ou termotolerantes), coliformes totais, estreptococos fecais*
Hidrobiológicos	Fitoplâncton, zooplâncton e zoobenton

* *Parâmetros amostrados a partir da quinta campanha - julho de 2002*

Fonte: Limiar (2005) e Visão Ambiental (2005)

Contudo, dentro do escopo do presente trabalho, não é utilizado todo o conjunto de dados disponíveis do programa de monitoramento, segundo os seguintes critérios:

- não são utilizados parâmetros que não sofrem influência direta da transformação do ambiente lântico em lótico. Nesta categoria, inclui-se o parâmetro temperatura do ar;
- não são utilizados parâmetros que não dependem de processos tais como autodepuração e sedimentação, e que são dependentes apenas de fatores como diluição. Nesta categoria, incluem-se óleos e graxas;
- são utilizados os parâmetros que apresentam padrões ou limites definidos pela legislação ambiental vigente – Resolução CONAMA n.º 357/2005 e Deliberação Normativa COPAM n.º 10/1986 – segundo a classe de enquadramento do rio Pomba (Classe 2).

Segundo a Resolução CONAMA n.º 357/2005, nesta categoria, incluem-se: cloreto total, coliformes termotolerantes (fecais), DBO, ferro dissolvido (solúvel), fósforo total, manganês total, nitrato, nitrogênio amoniacal total, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, pH e turbidez.

Segundo a Deliberação Normativa COPAM n.º 10/1986, para esta mesma categoria, incluem-se todos os parâmetros abrangidos pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, incluindo o parâmetro coliformes totais.

- são utilizados os parâmetros mais indicados pela literatura técnica para o monitoramento de corpos hídricos.

Conforme exposto no item 4.2, segundo von Sperling (1996), os principais parâmetros investigados para caracterização ambiental de rios e lagos são: cor, turbidez e temperatura (parâmetros físicos), pH, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica e micropoluentes orgânicos e inorgânicos (parâmetros químicos) e organismos indicadores e algas (parâmetros biológicos).

Segundo Marques (1993), num programa mínimo de estudo de um corpo d'água, pelo menos os seguintes parâmetros devem ser analisados: íons maiores (cloretos, bicarbonatos, sulfatos, cálcio, magnésio, sódio), oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio e carbono total. Outros parâmetros, como série nitrogenada, fosfatos, ferro e demanda bioquímica de oxigênio também podem ser considerados. Nos programas de monitoração sistemática, os poluentes mais comuns como fenóis, derivados do petróleo, detergentes e pesticidas também são analisados. Nos programas mais abrangentes e detalhados são monitorados ainda o fosfato inorgânico e o nitrogênio sob as formas orgânicas e inorgânicas, além de fluoretos, metais pesados, etc.

- são utilizados os parâmetros mais significativos do ponto de vista sanitário e ecológico de acordo com as características regionais de uso e ocupação do solo. Nesta categoria, estão incluídos os parâmetros que não foram englobados pelos critérios anteriores, mas que são considerados úteis para complementação da análise dos demais parâmetros. Portanto, nesta categoria, incluem-se os parâmetros acidez, alcalinidade total, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio – DQO, dureza total, ferro total, nitrogênio total, ortofosfatos, sólidos em suspensão, sólidos sedimentáveis, temperatura da água e hidrobiológicos (fitoplâncton, zooplâncton e zoobenton)

Dessa forma, dentre os parâmetros que foram objeto de monitoramento, aqueles utilizados neste trabalho são apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Parâmetros de qualidade da água avaliados neste trabalho

Tipo de parâmetro	Parâmetros avaliados
físico-químicos	acidez*, alcalinidade total, cloretos, condutividade elétrica, DBO, DQO, dureza total*, ferro solúvel, ferro total, fosfato total, manganês*, nitratos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, ortofosfato, oxigênio dissolvido, pH, sólidos em suspensão, sólidos totais, sólidos sedimentáveis*, temperatura da água, turbidez
Bacteriológicos	coliformes fecais, coliformes totais
Hidrobiológicos	fitoplâncton, zooplâncton e zoobenton

* Parâmetros amostrados a partir da campanha de julho de 2002

Fonte: Limiar (2005) e Visão Ambiental (2005)

Os parâmetros hidrobiológicos fitoplâncton, zooplâncton e zoobenton são avaliados de acordo com sua densidade e riqueza, segundo a mesma metodologia utilizada para os parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. A densidade do fitoplâncton e zooplâncton refere-se à quantidade de organismos por mL de água, enquanto que, no caso do zoobenton, a densidade é medida em quantidade de organismos por m². A riqueza refere-se ao n.º de taxa encontrados em cada ponto de coleta, para cada campanha realizada.

6.3. Metodologia de coleta e análise dos dados

A metodologia de coleta e análise dos dados foi definida pelo laboratório responsável pela sua execução. Dessa forma, é apresentada a seguir a descrição da metodologia utilizada, transcrita dos Relatórios do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água dos três empreendimentos, datados de outubro e dezembro de 2005 (Visão Ambiental, 2005).

Os trabalhos de coleta e análise laboratorial foram desenvolvidos tomando-se como referências de análises e amostragens as normas e métodos estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20^a edição, 1998.

As normas, cuidados e análises empregados na coleta se basearam na NBR 9898, que dispõe sobre a preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Utilizaram-se também as terminologias indicadas pela NBR 9896 e as disposições sobre procedimentos e planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores descritos na NBR 9897. As metodologias de coleta empregadas para as amostras hidrobiológicas seguiram as normas e indicações sugeridas no Guia de Coleta e Amostragem da CETESB, 1^a edição, 1998, e Manual de Amostragem de Águas da CEMIG.

Com relação aos parâmetros físico-químicos, os frascos de coleta foram preservados e etiquetados em laboratório. As etiquetas dos frascos indicaram o parâmetro a ser analisado, o modo e o tipo de preservação empregados. Os tipos de frascos, o volume mínimo a ser coletado, o tipo de preservação e preservantes utilizados, assim como o prazo de análise para cada parâmetro seguiram as normas já especificadas.

Para as amostragens dos parâmetros físico-químicos, as coletas foram feitas diretamente no corpo hídrico. As determinações de temperatura, pH e oxigênio dissolvido foram realizadas em campo através de sondas lançadas diretamente nos cursos d'água.

As amostras para análises de óleos e graxas foram retiradas pela submersão direta dos frascos específicos, de vidro âmbar, com o intuito de evitar a subestimação pela possível adsorção de óleos nas paredes do balde de coleta.

A água coletada no balde foi distribuída para os frascos utilizados respectivamente para cada parâmetro analisado, tomando-se o máximo cuidado para não borbulhar e nem deixar aparecer bolhas de ar. Após tais procedimentos, as amostras foram enviadas, no mesmo dia, para o laboratório.

A coleta de amostras para exame bacteriológico foi sempre a primeira a ser realizada a fim de evitar o risco de contaminação do local de amostragem com frascos ou amostradores não estéreis. Optou-se pela coleta em sacos estéreis, não reaproveitáveis, esterilizados de fábrica (NASCO – Whirl-PaK) e prontos para uso em campo.

Todas as amostras foram imediatamente acondicionadas em caixas de isopor, contendo gelo picado e em pedaços, suficiente para refrigerá-las até cerca de 4°C e posteriormente foram enviadas para o laboratório.

Para as análises qualitativas do fitoplâncton, as amostras foram obtidas por meio de rede de plâncton com 25,0 µm de interstício. A amostragem foi feita colocando-se a rede de amostragem contra a correnteza por tempo determinado, filtrando-se aproximadamente 100 litros de água. O material filtrado foi distribuído em dois frascos de polietileno (com cerca de 100 mL em cada). O primeiro mantido vivo sob refrigeração, o segundo adicionou-se cerca de 2 mL de solução de Transeau (solução de álcool e formol), para preservação.

As amostras quantitativas de fitoplâncton foram tomadas *in natura*, na profundidade subsuperficial, com o auxílio de um caneco de plástico com capacidade para 1,0 litro, sendo estocadas em frascos de polietileno (plástico). A preservação foi feita com a adição de cerca de 0,5 mL de solução de lugol acético.

As identificações do fitoplâncton (análises qualitativas) foram realizadas por microscopia ótica, com lâminas simples, esforço de amostragem de 2 horas e mínimo de duas lâminas analisadas.

As análises quantitativas de zooplâncton foram realizadas em microscópio invertido com o uso de cubetas de Utermohl. Foram contados 100 indivíduos do organismo mais abundante ou 100-150 campos quando o valor de 100 indivíduos não era atingido.

As amostras para a análise qualitativa e quantitativa do zooplâncton foram obtidas pela filtragem, na rede de 30,0 µm de interstício, esta sendo colocada contra a correnteza estimando-se uma filtragem mínima de 100 litros. O concentrado obtido foi corado com aproximadamente 0,5 mL de solução de rosa de bengala, sendo que, após cerca de 5 minutos, foi fixado com cerca de 0,5 mL de solução de formaldeído neutralizado a 40%.

Para realização do exame qualitativo, uma alíquota da amostra foi colocada em uma lâmina para a observação no microscópio, sendo toda a lâmina analisada. Foi analisado um número mínimo de 10 lâminas por ponto de coleta. Os organismos zooplancônicos foram identificados, sempre que possível, ao nível de espécie. Para isso foram utilizadas técnicas usuais de microscopia óptica e chaves taxonômicas e consulta à literatura especializada.

Para a contagem dos organismos zooplancônicos, toda a amostra da água foi transferida para uma proveta que foi deixada em repouso por um período de 24 a 48 horas. Após o período de repouso, a amostra foi concentrada através de retirada do excesso de água. A água retirada foi observada sob lupa para se verificar a ocorrência da perda de algum organismo.

Todo o material concentrado foi utilizado para a contagem em câmara de Sedwick-Rafter de 1 ml de capacidade. A densidade dos organismos foi obtida através de uma regra de três simples.

O local de coleta da comunidade bentônica foi estudado em campo, para a escolha das áreas representativas a serem caracterizadas. Após a escolha do local, foram delimitadas visualmente áreas com substratos diferentes onde seria realizada a amostragem. A partir da campanha de janeiro de 2005 a metodologia de coleta bentônica passou a contemplar diferentes tipos de substratos.

Foi dada ênfase aos substratos do tipo pedregoso/rochoso/cascalhoso, arenoso/lamoso, com folhedo, mas com possibilidades de coleta em substratos alternativos na ausência destes, ou em adição a esses, caso fossem predominantes no local de coleta (ex.: folhiço, macrófitas). Cada tipo de substrato foi amostrado separadamente, ou seja, as estações que possuíam diversidade de substratos tiveram as comunidades coletadas em cada um deles. O método utilizado para coleta das comunidades bentônicas foi o método de rede (Kick Net), tendo em vista os locais e tipos de substrato amostrados.

Empregou-se, como instrumento de coleta para as comunidades bentônicas, uma rede (tipo pulsar) adaptada a uma haste metálica de alumínio. O saco da rede possui 40 cm de

comprimento e uma abertura triangular de 30 x 30 x 40 cm (aproximadamente 0,05 m²). A malha da rede utilizada foi de aproximadamente 1 mm. A haste possui um cabo telescópico, cujo comprimento varia de 2 a 5 metros de comprimento.

A coleta de bentons foi realizada “varrendo-se” a área escolhida, preferencialmente contra a correnteza. O fundo do leito amostrado foi revolvido com a rede de forma a filtrar toda a área. Ao término da varredura, procedeu-se a lavagem do material batendo a rede contra a correnteza de forma a não perder o material coletado pela abertura da rede. O esforço de coleta empregado tentou amostrar um mínimo de 100 indivíduos por ponto.

As amostras coletadas em cada substrato foram acondicionadas separadamente em sacos plásticos transparentes, devidamente etiquetadas com o tipo de substrato e a identificação do ponto de coleta. Cada amostra foi preservada com volume aproximado de 5 mL de formol 70%.

As amostras colhidas foram lavadas em tamizadores de malha de 200 µm. O material lavado de cada substrato foi dividido em alíquotas para a triagem manual. As alíquotas foram sorteadas e triadas em seqüência, até atingir-se um mínimo de 200 organismos em cada.

Para amostras com pequeno número de organismos, todo o sedimento lavado foi triado (Plafkin et al, 1989 apud Visão Ambiental, 2005). Os organismos colhidos foram examinados com auxílio de lupas estereoscópicas, fazendo-se a determinação taxonômica e contagem do número de organismos por taxon.

Ressalta-se que todo o equipamento (redes, conchas, baldes e equipamentos) utilizado nas amostragens hidrobiológicas e físico-químicas são lavados (em água corrente) e, no caso de redes de plâncton, emersas em solução de água sanitária. Estas medidas se fazem necessárias haja vista a possibilidade de contaminação entre rios e bacias, de plâncton ou exemplares bentônicos (como o caso de moluscos) que podem acabar povoando e invadindo outros ambientes.

6.4. Rede de amostragem adotada

Os pontos de coleta de água que compõem a rede de amostragem do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” são apresentadas na Tabela 6.4, a seguir.

Tabela 6.4 - Pontos de coleta de água do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo

Código	Localização do ponto	Coordenadas UTM
PO-01A*	Rio Pomba, a montante do remanso do reservatório da PCH Ponte	702928 E 7632931 N
PO-01	Rio Pomba, no reservatório da PCH Ponte, a aproximadamente 200 metros da barragem	707711 E 7635143 N
PO-01B*	Rio Pomba, no trecho de vazão reduzida da PCH Ponte	708567 E 7635442 N
PO-02	Rio Pomba, no reservatório da PCH Palestina, a aproximadamente 200 metros da barragem	710095 E 7637990 N
PO-03A**	Rio Pomba, a jusante da PCH Palestina e a montante da localidade de Barcas	710879 E 7639387 N
PO-03	Rio Pomba, a montante do reservatório da PCH Triunfo	711775 E 7640906 N
PO-04	Rio Pomba, a jusante da confluência com o rio Paraopeba e a montante do eixo da PCH Triunfo	715618 E 7642791 N
PA-01	Rio Paraopeba, próximo a confluência com o rio Pomba	713588 E 7644476 N
PO-05	Rio Pomba, a jusante da casa de força da PCH Triunfo	718672 E 7642154 N

* Pontos monitorados a partir de julho de 2002

** Ponto monitorado a partir de outubro de 2003

Fonte: Limiar (2005) e Visão Ambiental (2005)

A Figura 6.1 apresenta o mapa com os pontos de coleta de água do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo.

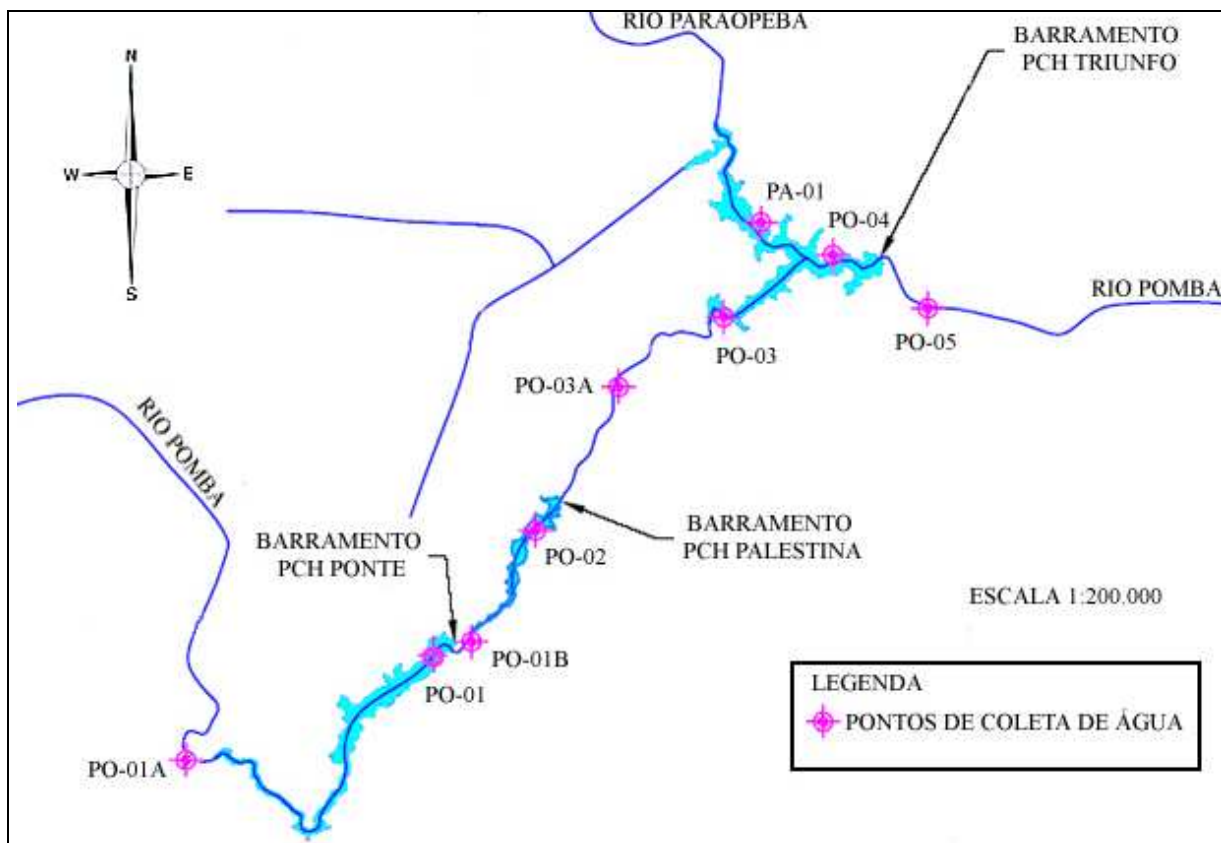


Figura 6.1 – Mapa dos pontos de coleta de água do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo.
 Fonte: Adaptado de Limiar (2005)

Assim como os parâmetros avaliados, a rede de amostragem sofreu alterações ao longo do período avaliado, seja de forma a obter uma melhor caracterização do sistema hídrico em estudo quanto para adaptar às novas condições dos ambientes formados.

Do início do Programa de Monitoramento, na campanha de julho de 2001, até a campanha de abril de 2002, foram avaliadas as condições dos pontos de amostragem PO-01, PO-02, PO-03, PO-04, PA-01 e PO-05. A partir da 5ª campanha (de julho de 2002), foram acrescentados à rede de amostragem os pontos PO-01A e PO-01B, de forma a permitir uma caracterização mais ampla da área de influência da PCH Ponte, de forma a atender a solicitação do órgão ambiental responsável pelo licenciamento ambiental (Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM), expressa através da condicionante n.º 3.3.3.1 das Licenças de Instalação – LI, das três PCH’s, que solicita “À rede de monitoramento proposta deverá ser acrescida de um ponto de coleta no rio Pombo, a montante do reservatório da PCH Ponte e um ponto no trecho de vazão reduzida de Ponte para as campanhas trimestrais subseqüentes”.

De forma similar, a partir da 10ª campanha, de outubro de 2003, foi estabelecido o ponto de coleta PO-03A, para atendimento da condicionante n.º 2.3.3 da Licença de Operação – LO, da PCH Palestina que solicita “incluir um ponto de coleta na rede de monitoramento da qualidade da água na localidade de Barcas, situada no trecho de vazão restituída da PCH Palestina”. Durante esta campanha, foram avaliados apenas parâmetros físico-químicos para este novo ponto de coleta.

Após a formação dos reservatórios, os pontos de coleta correspondentes aos mesmos (PO-01, PO-02 e PO-04) passaram a ser avaliados em duas profundidades distintas: na superfície e no “fundo”. Os resultados das coletas das amostragens da superfície passaram a receber a denominação “E”, e as coletas das amostragens no fundo dos reservatórios passaram a receber a denominação “F”, após o código dos pontos de amostragem. Assim, a partir da primeira campanha pós-enchimento de cada reservatório, os pontos de coleta PO-01, PO-02 e PO-04 passaram a ser denominados PO-01E e PO-01F, PO-02E e PO-02F, e PO-04E e PO-04F.

Embora os estudos ambientais denominem a segunda profundidade como “fundo”, em fato, estas coletas foram realizadas em profundidades diversas ao longo das campanhas de monitoramento, conforme pode ser observado na Tabela 6.5, a seguir.

Tabela 6.5 - Profundidades (m) de coleta dos pontos PO-01F, PO-02F e PO-04F

Campanha	Data	Ponto PO-01F	Ponto PO-02F	Ponto PO-04F
09	Julho/2003	6,0	-	-
10	Outubro/2003	4,0	4,0	-
11	Janeiro/2004	3,0	3,0	-
12	Abril/2004	3,0	3,0	-
13	Julho/2004	3,0	4,0	-
14	Outubro/2004	6,0	6,0	-
15	Janeiro/2005	6,0	6,0	6,0
16	Abril/2005	3,0	4,0	4,0
17	Julho/2005	6,0	6,0	6,0
18	Outubro/2005	6,0	6,0	6,0

Fonte: Limiar (2003, 2004), Visão Ambiental (2005)

Durante a fase de operação das PCH's, nas coletas realizadas na superfície – metade da zona fótica dos reservatórios – foram monitorados os parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos (fitoplâncton e zooplâncton), além da transparência; enquanto que, na coleta realizada no fundo dos reservatórios, foram analisados apenas os parâmetros físico-químicos (FEAM, 2004).

Para realização do presente trabalho, considerou-se que a rede de monitoramento necessária deveria ser suficiente para cobrir a extensão do corpo hídrico afetado pela instalação das usinas. Dessa forma, ela deveria apresentar, no mínimo, três pontos de coleta para cada usina, localizados nos seguintes trechos de interesse: a montante dos reservatórios, nos reservatórios e a jusante dos reservatórios. Cumpre ressaltar que, de acordo com estes conceitos, um mesmo ponto de coleta poderá cumprir o papel tanto de ponto a jusante do reservatório de uma determinada PCH quanto o de ponto a montante do reservatório da PCH subsequente. Uma vez definidos os pontos mínimos, de forma a cumprir estas funções suficientemente, os outros pontos de monitoramento não foram utilizados para aquisição e análise dos dados.

Assim, a rede de pontos de coleta aproveitados para a realização deste trabalho, de forma a atender as especificações acima mencionadas, está representada no Tabela 6.6, que se segue.

Tabela 6.6 - Pontos de coleta de água do rio Pomba a serem aproveitados neste trabalho

Código	Correspondência aos critérios
PO-01A*	Montante do reservatório da PCH Ponte
PO-01	No reservatório da PCH Ponte
PO-01B*	Jusante do reservatório da PCH Ponte Montante do reservatório da PCH Palestina
PO-02	No reservatório da PCH Palestina
PO-03	Jusante do reservatório da PCH Palestina Montante do reservatório da PCH Triunfo
PO-04	No reservatório da PCH Triunfo
PO-05	Jusante do reservatório da PCH Triunfo

* Pontos monitorados a partir de julho de 2002

Fonte: Limiar (2005) e Visão Ambiental (2005)

Concluindo, dos 09 (nove) pontos de coleta originalmente utilizados no monitoramento, são utilizados 07 (sete) pontos de coleta, como apresentado na Tabela 6.6. Cumpre ressaltar que o ponto PO-01A (Ponto 01), apesar de não sofrer influência dos três barramentos, é incluído no conjunto de pontos avaliados tendo-o como referência das condições naturais do rio Pomba, com a finalidade de comparação com os pontos subsequentes, que apresentam características alteradas pela mudança do sistema hídrico – de lótico para lântico.

As figuras 6.2 a 6.8 apresentam as fotos dos pontos de coleta de água utilizados no presente trabalho.



Figura 6.2 – Ponto de coleta de água PO-01A



Figura 6.3 – Ponto de coleta de água PO-01



Figura 6.4 – Ponto de coleta de água PO-01B



Figura 6.5 – Ponto de coleta de água PO-02



Figura 6.6 – Ponto de coleta de água PO-03



Figura 6.7 – Ponto de coleta de água PO-04



Figura 6.8 – Ponto de coleta de água PO-05

6.5. Definição dos cenários para comparação dos dados

Como método comparativo entre o comportamento da qualidade da água em duas condições distintas – sistemas lótico e lântico – são realizados tratamentos estatísticos sobre cada conjunto de parâmetros e para cada ponto de coleta em diferentes momentos – aqui denominados “cenários” – conforme definidos na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 - Descrição e campanhas correspondentes dos cenários de comparação

n.º	Descrição do cenário	Campanhas correspondentes
01	Sem a instalação de nenhum empreendimento	1 ^a a 8 ^a
02	Após a entrada em operação da PCH Ponte	9 ^a
03	Após a entrada em operação das PCH's Ponte e Palestina	10 ^a a 14 ^a
04	Após a entrada em operação das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo	15 ^a a 18 ^a

Fonte: Limiar (2005) e Visão Ambiental (2005)

Em virtude da distribuição espacial, os sete pontos de coleta avaliados não serão contemplados por todos os cenários. Cada ponto de coleta será influenciado apenas pela instalação/operação das usinas hidrelétricas localizadas a montante e cujos reservatórios os atingem. Por exemplo, o ponto PO-01A, localizado a montante das três usinas hidrelétricas, não sofre influência de nenhuma delas. Assim sendo, este ponto será analisado apenas de acordo com o cenário 01: sem a instalação de nenhum empreendimento. O Ponto PO-05, por outro lado, sofre a influência das três usinas por se localizar a jusante destas, devendo, portanto, ser avaliado segundo os quatros cenários. Estas situações podem ser melhor

visualizadas por meio do diagrama dos pontos de coleta e cenário a serem avaliados, apresentado na Figura 6.9.

Pontos de Coleta							
Campanha	PO-01A	PO-01	PO-01B	PO-02	PO-03	PO-04	PO-05
01							

ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: X_GraphicRGBCS

STACK:

1.0
1.0
0

7. Caracterização dos barramentos estudados e diagnóstico ambiental da bacia de drenagem

7.1. Caracterização do barramentos estudados

O estudo de caso avaliado no presente trabalho consiste de um conjunto de três barramentos, construídos para fins de geração de energia elétrica, denominados Pequenas Centrais Hidrelétricas Ponte, Palestina e Triunfo.

As PCH's Ponte, Palestina e Triunfo estão instaladas no rio Pomba, afluente do rio Paraíba do Sul. Ocupam áreas dos municípios de Guarani, Astolfo Dutra, Piraúba e Descoberto, no estado de Minas Gerais, Brasil. Compreendem uma extensão de 22 km do rio Pomba entre a sede do município de Guarani e sua confluência com o rio Paraopeba – seu afluente de primeira ordem – já na divisa com os municípios de Astolfo Dutra e Piraúba.

A Figura 7.1 apresenta a região onde está localizada os três barramentos em estudo no contexto estadual e sua posição em relação ao município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais.

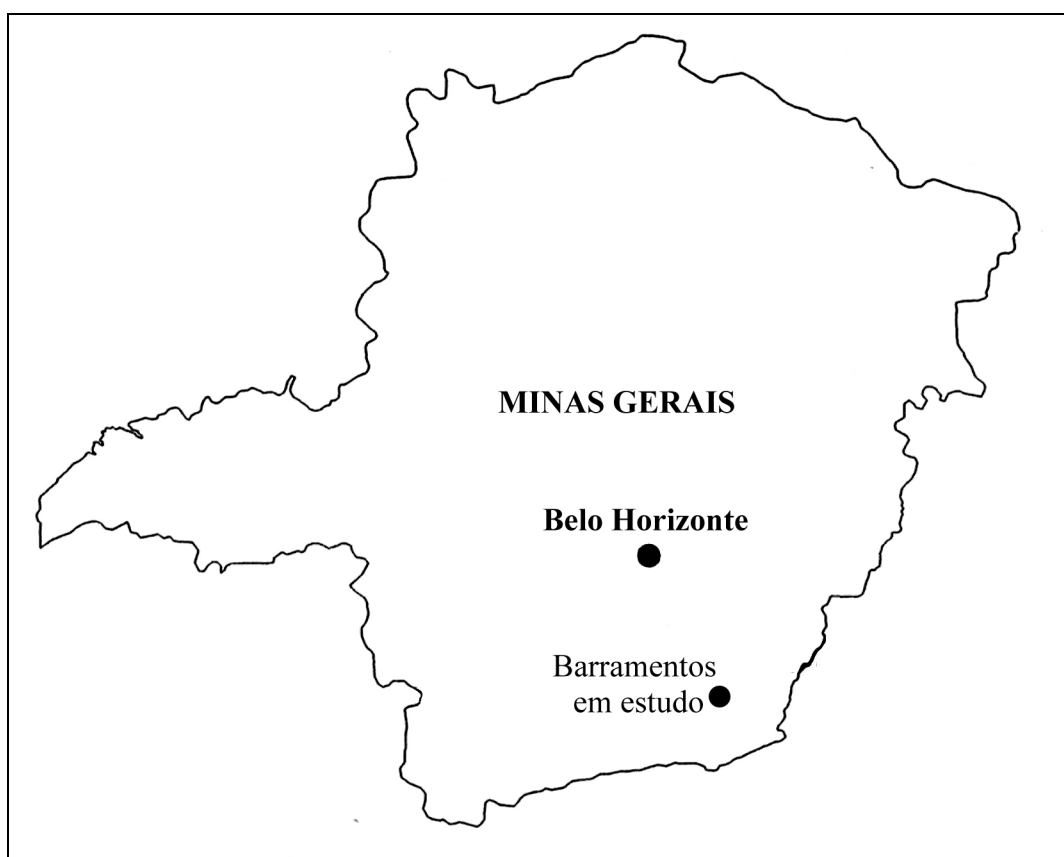


Figura 7.1 – Mapa de localização dos três barramentos em estudo no estado de Minas Gerais e sua posição em relação ao município de Belo Horizonte
Fonte: Adaptado de Cat-Leo (2004)

O rio Pomba nasce na parte meridional da Serra da Mantiqueira, nos domínios de Minas Gerais, no município de Santa Bárbara do Tugúrio (MG). Constitui-se na sub-bacia pertencente à macrorregião hidrográfica do rio Paraíba do Sul que, por sua vez, pertence à bacia do Atlântico Leste. Abrange os estados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro e percorre a Zona da Mata mineira no sentido SW-NE. O rio Pomba representa um dos mais importantes afluentes do rio Paraíba do Sul, e percorre 290 km desde a sua nascente, numa altitude de cerca de 1.200 m, até a sua foz no rio Paraíba do Sul, a jusante da cidade de Itaocara (RJ), na cota 50 m. Sua área de drenagem atinge 8.700 km² (Cat-Leo Energia, 2004).

A Tabela 7.1 apresenta alguns dados de localização e características dos três barramentos.

Tabela 7.1 - Dados de localização e características dos três barramentos estudados

Barramento	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Distância do eixo do barramento à foz do rio Paraíba do Sul (km)	120	116	108
Municípios afetados	Guarani e Descoberto	Guarani	Astolfo Dutra, Piraúba e Guarani
Coordenadas Geográficas			
Latitude	21° 24' S	21° 21' S	21° 18' S
Longitude	43° 01' W	42° 58' W	42° 54' W
Área de drenagem (km ²)	1771	1796	2318
Área Inundada ¹ (km ²)	1,78	0,60	1,39
Cota do reservatório ¹ (m)	390,0	335,0	286,0
Volume do reservatório ¹ (m ³)	15,05 x 10 ⁶	5,213 x 10 ⁶	22,314 x 10 ⁶
Altura máxima da barragem (m)	33,0	35,0	40,0
Vida útil (anos)	50	50	50
Cronograma de implantação (meses)	25	25	25
Potência Instalada (MW)	24	13	23

⁽¹⁾ no NA máximo normal

Fonte: ESSE (1998)

Segundo os critérios definidos pela Comissão Internacional sobre Grandes Barragens, as barragens com altura igual ou superior a 15 metros, contada a partir do alicerce, ou barragens com altura entre 5 e 15 metros e reservatório com capacidade superior a 3 milhões de metros cúbicos, podem ser classificadas como grandes (Comissão Mundial de Barragens, 2000). Nesta categoria, de acordo com os dados da Tabela 7.1, incluem-se os barramentos das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo.

Nos próximos itens, serão apresentadas informações sobre os processos de licenciamento ambiental e a regra de operação das PCH's, seguidos dos diagnósticos de usos da água e do solo e das condições climáticas na bacia de drenagem, obtidos principalmente junto aos processos de licenciamento ambiental.

7.2. Processos de licenciamento ambiental dos barramentos

Segundo definição adotada pela Resolução CONAMA n.º 237, de 19 de dezembro de 1997, o Licenciamento Ambiental é um “procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso”.

Neste sentido, o licenciamento é um instrumento de política e gestão ambiental, de caráter preventivo, composto por um conjunto de leis, normas técnicas e procedimentos administrativos, que define as obrigações e responsabilidade do poder público e dos empreendedores, com vistas à autorização para implantar, ampliar ou iniciar a operação de empreendimento potencialmente poluidor (Mazzini, 2003).

No âmbito do estado de Minas Gerais, o dispositivo legal responsável por definir os empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental é a Deliberação Normativa COPAM n.º 74, de 09 de setembro de 2004. Dentre as inúmeras tipologias de empreendimentos e atividades listadas por esta Deliberação, estão as barragens para geração de energia elétrica.

Assim sendo, as Pequenas Centrais Hidrelétricas Ponte, Palestina e Triunfo estiveram sujeitas ao processo de licenciamento ambiental, em todas as suas etapas, e às suas obrigações, tais como a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental – EIA, e respectivo Relatório Ambiental – RIMA, estabelecidas pela Resolução CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986. O Estudo de Impacto Ambiental aborda, dentre outras questões, o diagnóstico ambiental da área de influência, a análise dos impactos ambientais e a definição de medidas ambientais para as três PCH's. Diversos dados bibliográficos utilizados neste capítulo e ao longo do presente trabalho foram obtidos junto a este documento, tais como, por exemplo, o “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo.

Os processos de licenciamento ambiental destes três barramentos foram realizados pelo órgão ambiental estadual competente, a saber, a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Estes processos foram iniciados em 1998 e encontram-se atualmente em fase de acompanhamento das condicionantes ambientais da Licença de Operação (LO) – da última fase de licenciamento ambiental – por parte da FEAM. Os barramentos obtiveram Licença

para Instalação em momentos diferentes, o que resultou em épocas distintas de construção e enchimento do reservatório, conforme apresentado no item 6.1 do capítulo 6 – “Metodologia”.

Cabe ressaltar as seguintes mudanças ocorridas ao longo dos processos de licenciamento ambiental:

1. Modificação na denominação das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo, que passaram a ser denominadas PCH's Ivan Botelho I, Ivan Botelho II e Ivan Botelho III, respectivamente. A alteração da denominação social destes empreendimentos foi autorizada por meio das Resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, n.º 509, 502 e 504, de 30 de setembro de 2003, respectivamente. Conforme exposto no Capítulo 6 (metodologia), uma vez que as referências bibliográficas utilizam as antigas denominações, optou-se por mantê-las no presente trabalho;
2. Modificação do empreendedor responsável pelas PCH's, cuja propriedade foi transferida da Cat-Leo Energia S.A para a Brascan Energética.

Nos próximos itens, são apresentadas algumas informações operacionais e o diagnóstico ambiental dos barramentos em estudo.

7.3. Regras de operação e arranjos das estruturas dos barramentos em estudo

As usinas hidrelétricas – inclusive as PCH's – são projetadas de forma a aproveitar ao máximo possível o potencial dos recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica. Contudo, sua operação depende do regime do curso hídrico no qual estão inseridas, que varia ao longo das épocas do ano – de chuvas e de estiagem. As formas como as usinas hidrelétricas utilizam-se da vazão do curso hídrico para geração de energia definem sua regra de operação.

A priori, existem dois tipos de regra de operação: operação em ponta e a fio d'água. A operação em ponta prioriza a geração de energia em determinados horários do dia, geralmente durante o pico de consumo de energia, que ocorre entre as 18:00 e 21:00 horas. Nos demais horários do dia – denominado horário fora de ponta – a usina hidrelétrica acumula água em seu reservatório, liberando para jusante, por meio de seus dispositivos, uma vazão inferior à vazão afluente. Em seguida, durante o horário de pico de consumo – denominado horário de ponta – é turbinada uma vazão superior à vazão afluente, graças ao volume de água acumulado durante o horário fora de ponta.

As usinas com operação a fio d'água, por sua vez, priorizam a geração de energia uniformemente ao longo do dia. A vazão afluente é aproximadamente igual à vazão turbinada e liberada a jusante. Dessa forma, a operação deste tipo de usina é mais dependente das variações naturais de vazão do curso hídrico.

No caso das Pequenas Centrais Hidrelétricas Ponte, Palestina e Triunfo, estas foram concebidas para serem operadas em regime de ponta, ou seja, com a capacidade máxima de geração durante as três horas de maior consumo energético. Quando a vazão afluente aos reservatórios é inferior à vazão mínima turbinável, as usinas liberam continuamente a vazão afluente, sem reservação.

Contudo, cabe ressaltar ainda uma característica especial no arranjo de suas estruturas. As “casas de força” (estruturas que abrigam as turbinas hidrelétricas) estão posicionadas a algumas centenas de metros em separado de seus barramentos, visando um melhor aproveitamento da “queda” (diferença de nível) do curso hídrico – neste caso, do rio Pomba – e, assim, a aumentar sua capacidade potencial de geração de energia. Simplificadamente, a vazão a ser turbinada é captada em uma tomada d'água e aduzida através de um canal ou conduto forçado, do barramento até a casa de força, para então ser restituída ao curso hídrico após passar pelas turbinas. Entretanto, este tipo de arranjo, comum em diversas usinas hidrelétricas de pequeno porte – caso das PCH's – ocasiona uma redução de vazão no trecho do curso hídrico situado entre o barramento e a casa de força. Este trecho é comumente denominado Trecho de Vazão Reduzida – TVR.

Todas as três pequenas centrais hidrelétricas estudadas possuem TVR's. Apesar de que toda usina hidrelétrica prioriza o maior aproveitamento possível da queda de nível e da vazão do curso hídrico para maior capacidade de geração de energia, parte da vazão deve ser mantida no TVR de forma a garantir a manutenção dos demais usos da água além da geração de energia – caso existam – e da vida aquática neste trecho, minimizando da melhor forma possível os impactos ambientais e sociais decorrentes da redução da vazão natural. Neste sentido, a definição da vazão sanitária mínima a ser mantida foi objeto de avaliação e discussão entre o empreendedor – na época, a Cat-Leo Energia S.A. – e o órgão ambiental – FEAM – no decorrer dos processos de licenciamento ambiental das três PCH's. Os comprimentos dos TVR's e as vazões mantidas nos mesmos são apresentados nas tabelas 7.2 e 7.3, respectivamente.

Tabela 7.2 – Comprimento dos trechos de vazão reduzida dos três barramentos (m)

Barramento	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Comprimento do trecho de vazão reduzida ⁽¹⁾ (m)	750	150	100

⁽¹⁾ Distância da casa de força ao barramento

Fonte: ESSE (1998)

Tabela 7.3 – Vazões liberadas pelos três barramentos (m³/s)

Vazões liberadas (m ³ /s)	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Entre o barramento e a casa de força ⁽¹⁾	0,10	0,00	0,00
A jusante da casa de força	-	-	-
Durante o período fora de ponta – vazão mínima turbinada	7,76	7,84	10,32
Durante o período de ponta – vazão máxima turbinada	51,00	58,0	76,60

⁽¹⁾ Exceto na ocorrência de vertimento em época de cheias, quando a vazão deverá ser maior

Fonte: ESSE (1998)

Conforme exposto nas tabelas 7.2 e 7.3, os comprimentos dos TVR's das PCH's Palestina e Triunfo – iguais a 150 e 100 m, respectivamente – foram considerados desprezíveis, não sendo proposta, portanto, a permanência de uma vazão mínima para os mesmos, exceto quando da ocorrência de vertimento do barramento. Apenas no caso da PCH Ponte foi proposta a permanência de uma vazão mínima, no trecho de 750 m de extensão, igual a 0,10 m³/s, de forma a atender os critérios ambientais.

O Parecer Técnico da Licença Prévia das três PCH's, emitido pela FEAM, afirmava que “foi informado que, considerando-se a extensão do trecho de vazão residual e os valores da depleção para cada empreendimento, não deverão ocorrer comprometimentos ambientais que possam resultar em condições conflitantes. No entanto, este trecho, entre a PCH Ponte e a PCH Triunfo, será monitorado a fim de que sejam observadas modificações que possam ser substanciais para o empreendimento e o meio ambiente local” (FEAM, 2000). Neste contexto, incluiu-se o Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade das Águas das três PCHS.

Baseados nos dados de volumes e de vazões liberadas dos empreendimentos pode-se calcular o tempo de residência para cada uma das situações de operação – durante os horários de operação em ponta e fora de ponta das PCH's. Os tempos de residência são obtidos pela soma das vazões liberadas no trecho de vazão reduzida e a jusante da casa de força dividida pelos volumes dos reservatórios. O tempo de residência geral de cada reservatório é calculado através da média ponderada entre os tempos de residência nos períodos de ponta e fora de ponta, e são apresentados na Tabela 7.4, a seguir.

Tabela 7.4 – Tempos de residências das águas dos três reservatórios (dias)

Reservatório	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Durante o período fora de ponta	22,16	7,70	25,03
Durante o período de ponta	3,41	1,04	3,37
Geral	19,82	6,87	22,32

Fonte: Dados calculados

O tempo de residência da água nos reservatórios é um parâmetro de grande influência na qualidade das águas, e será útil principalmente para se avaliar os riscos de eutrofização.

7.4. Diagnóstico e impactos sobre os usos da água do rio Pomba na bacia de drenagem das PCH's

Segundo dados da FEAM (2001), os usos preponderantes da água na bacia do rio Paraíba do Sul são: abastecimentos doméstico e industrial, dessedentação de animais, geração de energia elétrica, pesca e recreação de contato primário.

Em caráter geral, os estudos ambientais afirmam que, para as três usinas, a utilização das águas do rio Pomba e de seus afluentes é voltada principalmente para a dessedentação do gado. Porém, em algumas das propriedades rurais atingidas pela implantação das usinas, ocorrem usos pontuais de maior porte.

O EIA estabelece a geração de energia como principal uso da água para os três reservatórios. Segundo este estudo, os reservatórios não apresentam restrições em relação a possíveis usos complementares como, por exemplo, a recreação e a pesca, nem para abastecimento público, atual e potencial. Afirma, ainda, que a vazão de água liberada nos trechos a jusante das casas de força durante o horário fora de ponta é superior ao volume de água total consumido em todas as propriedades rurais localizadas nestes trechos, até os pontos em que ocorrem oscilações do nível d'água. Assim sendo, haveria disponibilidade quantitativa de água suficiente após a instalação e operação dos barramentos para atender aos usos existentes nas propriedades rurais na época em que os mesmos foram levantados.

A seguir, são apresentadas análises individualizadas dos usos da água para cada PCH.

Dentre os três empreendimentos avaliados, o EIA afirma que a PCH Ponte é aquela em que há uma utilização maior das águas do rio Pomba, em seu trecho de influência. Foram identificadas seis famílias residentes na área do reservatório e nenhuma no trecho de vazão reduzida. Os principais usos da água na área de influência da PCH Ponte e os impactos sofridos são:

- No trecho do reservatório: dessedentação animal (principal uso), irrigação e, em um único caso, extração de areia. A extração de areia foi desativada em função da formação do reservatório da PCH Ponte. Três famílias residentes lançavam seus esgotos diretamente no rio Pomba, sem tratamento.
- No trecho de vazão reduzida: atividades de lazer, pouco frequentes, em uma cachoeira denominada Cachoeira da Fumaça. Estas atividades foram inviabilizadas em função da restrição da vazão neste trecho. Demais impactos sobre os usos da água neste trecho foram considerados desprezíveis, pois não há nenhum uso específico de grande porte que possa ser alterado com a redução de vazão e, não há aporte de nenhum afluente com vazão ou carga poluidora significativa no referido trecho.
- A água utilizada para uso doméstico em ambos os trechos provém de nascentes nas propriedades.

Para a área de influência da PCH Palestina, os principais usos da água e suas restrições identificadas foram:

- No trecho do reservatório: apenas para a dessedentação do gado (uso mais expressivo) e a pesca (como lazer). Dentre as 11 (onze) famílias residentes na área do reservatório da PCH Palestina, 10 (dez) delas utilizavam as águas do rio Pomba e seus afluentes para dessedentação animal (gado). A pesca na região é feita, em grande parte, por população externa à área afetada pela PCH, geralmente de outros municípios, e apenas por uma família residente na área.
- No trecho de vazão reduzida: nenhum uso e impactos identificados;
- No trecho de vazão restituída: não foram avaliados os efeitos da oscilação do nível d'água do rio Pomba a jusante da casa de força decorrentes da regra de operação sobre os usos da água neste trecho.

Por fim, para a área de influência da PCH Triunfo, os principais usos da água e suas restrições identificadas foram:

- No trecho do reservatório: Das 30 famílias pesquisadas residentes na área afetada pela PCH Triunfo, 13 (treze) utilizavam água do rio Pomba e seus afluentes. A principal utilização da água é para a dessedentação animal (em 11 das propriedades registradas), irrigação (em 5 propriedades), para geração de energia (em uma propriedade, através de um pequeno gerador, para consumo próprio), pesca (em 1 propriedade) e para manter o nível de água dos tanques de piscicultura existentes em uma propriedade. Também foi

identificado um areal que utilizava a água do rio Pomba, e que foi impossibilitado de exercer suas atividades devido à formação do reservatório da PCH Triunfo.

- No trecho de vazão reduzida: A alteração da vazão do rio Pomba neste trecho durante a fase de operação foi considerada desprezível em função da pequena extensão do trecho e por considerar a liberação de uma vazão mínima.
- No trecho de vazão restituída: os efeitos das oscilações de vazão sobre os usos da água neste trecho foram considerados poucos significativos, inclusive sobre as estruturas de captação de água e lançamentos de esgotos, uma vez que os estudos ambientais afirmaram que as oscilações estariam sempre contidas dentro da calha natural do rio Pomba e que as mesmas ocorrerão durante a noite - quando não existe ocupação das margens para recreação ou trabalho.

No próximo item, é apresentado o diagnóstico do uso e ocupação do solo da área de influência dos barramentos.

7.5. Síntese do diagnóstico do uso e ocupação do solo da área de influência dos empreendimentos

Anteriormente ao seu período de colonização, ocorrido no início do século XX, a região na qual estão inseridos os três barramentos em estudo era caracterizada pela predominância de florestas do tipo estacional semidecidual.

Com o início da ocupação antrópica, a configuração do uso do solo e da cobertura vegetal foi modificada pelo desmatamento para o desenvolvimento de lavouras, especialmente a cafeeira, e pela exploração de madeiras de lei. Após o esgotamento da madeira e das crises ocorridas no setor cafeeiro, principalmente nas décadas de 30 e 60, os solos passaram a ser ocupados predominantemente por pastagens dedicadas à criação extensiva do gado bovino, contando ainda com remanescentes das florestas que caracterizavam a região.

Assim, a região já apresenta grandes interferências antrópicas, sem dizer nas implicações/alterações (tanto negativas quanto positivas) provenientes da existência da UHE Ituerê.

A Tabela 7.5 apresenta a distribuição das principais categorias de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da área de entorno e afetada diretamente pelos reservatórios e estruturas dos barramentos.

Tabela 7.5 - Principais categorias de usos do solo nas áreas de entorno e diretamente afetadas pelos três barramentos (em percentual)

Uso e ocupação do solo	%	Descrição
Vegetação nativa	9,93	Ocorre predominantemente sob a forma de remanescentes de floresta estacional semidecidual, dispersos por toda a área. São mais frequentes as ocorrências nos topos e altas encostas, por vezes ocorrendo na baixa encosta perfazendo um prolongamento com os remanescentes da mata ciliar.
Pastagem	75,06	As pastagens são dedicadas à criação extensiva de gado bovino e formadas por capim “colonião”, na maior parte da área, ocorrendo também aquelas formadas por capim “braquiária”.
Agricultura	5,87	A agricultura é uma atividade pouco representativa na área de influência, com pequenas áreas cultivadas marcadamente por produtos de subsistência.
Solos	6,45	Esta categoria representa a terra preparada para plantio.
Área construída	0,57	Esta categoria refere-se às casas ocupadas pelos proprietários ou arrendatários das propriedades, e ainda, galpões e currais.
Drenagem	2,12	Esta categoria representa a área ocupada por corpos d’água, como o rio Pomba e lagoas (formadas, na maioria das vezes, de maneira artificial).
Total	100,00	

Fonte: Adaptado de ESSE (1998)

A partir da Tabela 7.5, estima-se que a área onde estão localizados os reservatórios e estruturas dos barramentos e seu entorno potencialmente influencia a qualidade das águas no trecho do rio Pomba em estudo, principalmente durante a época de chuvas, da seguinte forma:

- A baixa proporção da área ocupada por vegetação nativa implica em um menor esforço de desmatamento da área dos reservatórios, anteriormente à sua formação. O desmatamento da vegetação de maior porte – vegetação arbórea – se faz necessário de forma a mitigar a decomposição da biomassa vegetal e sua conseqüente liberação de nutrientes e diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água. Contudo, em diversos casos desta natureza, nem sempre é possível realizar o desmate total da área, em virtude de problemas operacionais. Assim, é esperado um pequeno aumento na concentração de nutrientes e na diminuição de oxigênio dissolvido nos primeiros meses após a formação dos reservatórios;
- O predomínio de áreas ocupadas por pastagens na região indica um grande potencial de contribuição de coliformes fecais e totais, oriundos de dejetos animais, sobretudo gado, em época de chuvas;

- O pequeno predomínio de áreas agrícolas indica um potencial relativamente baixo de contribuição de nutrientes, oriundos destas atividades, tais como fósforo e nitrogênio, aos cursos d'água regionais;
- Os solos preparados para plantio estão menos protegidos pela vegetação e, portanto, mais susceptíveis aos processos de erosão e carreamento de sólidos durante as chuvas. Além dos impactos físicos, o transporte de partículas sólidas traz, agregado, toda uma carga de poluentes (Fonseca & Salvador, 2003). Assim como para as áreas agrícolas, o pequeno predomínio destes solos indica uma baixa contribuição de sólidos pelo carreamento durante as chuvas;
- A baixa ocupação humana nesta área, representada indiretamente pela parcela de área construída, indica um potencial relativamente baixo de contribuição de DBO, DQO e coliformes fecais oriundos de efluentes sanitários domésticos.

Apesar dos dados apresentados na Tabela 7.5 serem do ano de 1998, estima-se que o uso e ocupação do solo até a presente data (2006) não sofreu mudanças a ponto de modificar significativamente a ordem de predominância dos tipos de usos identificados.

De uma maneira geral, os estudos consideram, para os três empreendimentos:

- No que tange à cobertura vegetal, a área de inserção das PCH's apresenta-se bastante degradada, ocorrendo apenas reduzidas manchas de vegetação ciliar e em alguns topos de morros. A área com remanescentes mais significativos é da PCH Palestina;
- Na região de influência direta dos respectivos empreendimentos, os processos erosivos acelerados encontram-se estabilizados, embora a erosão laminar ocorra em toda a área de maneira dispersa. Na área a ser diretamente afetada pela PCH Triunfo, as encostas apresentam declividades mais acentuadas que em relação as PCH's Ponte e Palestina. Nesta área, ocorre maior concentração de processos erosivos evidenciados por cicatrizes de deslizamentos e pelo tipo predominante de solos que aí ocorrem;
- As áreas de inundação apresentavam boa aptidão agrícola, pois se localizam nas várzeas e em baixos terraços do rio Pomba, Paraopeba e afluentes atingidos.
- A área do entorno dos reservatórios, principalmente nas proximidades da PCH Triunfo, apresenta condições topográficas desfavoráveis e limitantes para as atividades agrícolas, uma vez que há trechos com declividade superior a 50%;

No próximo item, são apresentadas as condições climáticas da bacia do rio Paraíba do Sul.

7.6. Condições climáticas da bacia do rio Paraíba do Sul e sua influência sobre a qualidade das águas

Para a classificação de Koppen, o trecho superior do rio Pomba possui clima do tipo Cwb, tropical de altitude, com verões brandos e estação chuvosa no verão. Os meses mais quentes são janeiro, fevereiro e março e os mais frios são junho e julho. As maiores variações locais de temperatura refletem mais a variação da altitude do que a da latitude.

A precipitação anual média é da ordem de 1400 mm. O período chuvoso localiza-se entre os meses de outubro a março, concentrando-se nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. O período de estiagem tem seu início em abril, estendendo-se até setembro, ocorrendo o pico da seca nos meses de junho, julho e agosto. A variabilidade das precipitações é menor no período de estiagem que no período chuvoso (Cat-Leo Energia, 2004).

A precipitação é um fenômeno meteorológico que influencia diretamente a vazão e a qualidade de um corpo hídrico. Entretanto, especialmente no meio rural, é difícil estabelecer uma relação direta entre precipitação e qualidade da água, uma vez que diferentes intensidades de precipitação estabelecem diversos níveis de impacto no solo, deflagrando processos erosivos de diversos graus, de acordo com a interação desta precipitação com o uso e ocupação das terras (Fritzsos et al, 2003).

A Tabela 7.6 apresenta a precipitação máxima acumulada durante os meses em que ocorreram as dezoito campanhas de monitoramento da qualidade das águas do rio Pomba. Estes dados correspondem ao posto telemétrico código 58770000, de responsabilidade da Agência Nacional das Águas – ANA, e foram obtidos na página eletrônica do Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais – SIMGE (Código 32657). Este posto localiza-se no rio Pomba (Coordenadas geográficas 21°22' 59" S e 42°42'00" W), no município de Cataguases.

Tabela 7.6 - Precipitação máxima acumulada durante os meses em que ocorreram as dezoito campanhas de monitoramento da qualidade das águas do rio Pomba (mm)

Ano	Precipitação (mm)			
	Janeiro	Abril	Julho	Outubro
2001	-	-	001 (01)	053 (02)
2002	207 (03)	001 (04)	000 (05)	057 (06)
2003	424 (07)	081 (08)	016 (09)	115 (10)
2004	384 (11)	185 (12)	045 (13)	095 (14)
2005	120 (15)	033 (16)	021 (17)	003* (18)

Fonte: Simge (2006)

* até 18/10/05 (há lacunas deste dado para o restante do mês).

Nota: Os números entre parênteses representam o número da campanha de qualidade da água correspondente à data.

Conforme pode ser observado na Tabela 7.6, as campanhas que mais sofreram influências das chuvas foram as campanhas referentes aos meses de janeiro (em todos os anos), outubro de 2003 e abril de 2004 (campanhas n.º 3, 7, 10, 11, 12 e 15), com precipitação máxima acumulada superior a 100 mm. Estas informações serão utilizadas em conjunto com as avaliações dos parâmetros de qualidade da água, apresentadas no capítulo de “Resultados e Discussão” – Capítulo 8.

Sabe-se que a qualidade das águas de um rio se altera com a variação do fluxo, concentrando alguns compostos e diluindo outros. Estudos realizados pela SUDERHSA (1997, apud Fritzsons et al., 2003) e pelo LPH (1999, apud Fritzsons et al., 2003), em bacias hidrográficas predominantemente rurais do estado do Paraná, mostram que em períodos de cheias, em geral, a qualidade da água dos rios se deteriora.

Em ambientes menos protegidos, ocorre uma alteração crescente da qualidade das águas com a alteração do deflúvio. Em ambientes mais protegidos, isto não ocorre desta forma, havendo um maior tamponamento do sistema. A precipitação e conseqüente alteração na vazão desencadeia processos erosivos que aumentam a turbidez, a cor e o teor de matéria orgânica nas águas, uma vez que durante as precipitações predominam as entradas de água de escoamento superficial. A diminuição da alcalinidade, com o aumento da vazão, ocorre pelo efeito da diluição dos íons bicarbonatos e carbonatos, os quais interferem na alteração do pH, que se torna mais alcalino (Fritzsons et al, 2003).

O EIA não previu impactos dos empreendimentos sobre o clima durante sua implantação, uma vez que não existiriam ações nesta etapa que viessem a alterá-lo. Para a fase de operação, teoricamente, foi estimado que poderia haver alterações no microclima local pela formação dos lagos, em função do aumento do espelho d’água e mudança no regime fluvial diante das características topográficas e da orientação geral do relevo. Contudo, este impacto foi considerado desprezível, devido às pequenas dimensões dos reservatórios das PCH’s Ponte, Palestina e Triunfo.

7.7. Principais afluentes no trecho do rio Pomba em estudo e suas influências sobre a qualidade das águas

A qualidade das águas de qualquer corpo hídrico sofre influência direta da qualidade das águas que aportam de seus afluentes. A magnitude desta influência depende tanto de aspectos quantitativos (vazão) quanto qualitativos (qualidade das águas) dos afluentes.

Em relação ao trecho do rio Pomba localizado na rede de monitoramento do presente trabalho (do ponto PO-01A ao ponto PO-05), o afluente mais significativo do rio Pomba é o rio Paraopeba, cuja confluência está localizada a montante do ponto de coleta PO-04. Este Ponto, portanto, está mais sujeito à influência deste afluente.

Segundo o diagnóstico da qualidade das águas do ponto de coleta PA-01, localizado no rio Paraopeba imediatamente a jusante de sua confluência com o rio Pomba, e dentro de um dos “braços” do reservatório da PCH Triunfo, o rio Paraopeba foi considerado como principal contribuinte de fontes de fósforo e nitrogênio para o rio Pomba, com valores variando até 16 vezes de fosfato total. Registram-se altos valores de coliformes totais, atribuídos à atividade de pecuária; principalmente nas coletas de abril/2002, como verificado também no ponto PO-01A, próximo à cidade de Guarani. Em julho de 2002, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram bastante elevadas, denotando uma contribuição de matéria orgânica proveniente de montante no ponto PO-01A (FEAM, 2003).

Todos estes resultados deste ponto contribuem e deverão ser levados em consideração, portanto, para a qualidade das águas do ponto de coleta PO-04.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme exposto nos capítulos anteriores, os resultados esperados para o presente trabalho são a comprovação das influências previstas e a identificação de possíveis efeitos não-previstos decorrentes da instalação e operação de um conjunto de barramentos em seqüência sobre a qualidade das águas de um curso hídrico – neste caso, do rio Pomba, situado na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, estado de Minas Gerais.

Através da comparação entre as estatísticas dos diversos cenários – definidos no capítulo 6: “Material e métodos” –, espera-se encontrar tendências para cada parâmetro avaliado, que possam ou não ser atribuídas à instalação/operação dos barramentos, e avaliar suas implicações sobre os usos da água e a biota aquática. Espera-se, ainda, verificar se os resultados obtidos estão de acordo com o previsto pela literatura científica e pelos estudos ambientais dos barramentos em estudo, e assim, atender ao disposto nos objetivos geral e específicos deste trabalho.

Serão elaboradas conclusões e recomendações pertinentes a partir dos resultados obtidos, a serem apresentadas no capítulo 9: “Conclusões”. Para tal, também serão avaliadas, possíveis influências de outros fatores sobre a qualidade das águas do rio Pomba, além da instalação/operação dos barramentos em estudo, a fim de evitar que as mesmas sejam atribuídas erroneamente aos barramentos. Estas influências serão avaliadas no âmbito de cada parâmetro de qualidade da água, em conjunto com a influência dos barramentos. Os fatores não relacionados à instalação dos barramentos são apresentados no capítulo 7: “Apresentação dos barramentos em estudo e diagnóstico ambiental de sua bacia de drenagem”.

Por fim, é importante ressaltar que, dentre as dificuldades esperadas para realização deste trabalho, encontram-se as limitações inerentes à curta série histórica disponível dos dados utilizados, tais como no uso de métodos estatísticos e na confiabilidade dos resultados.

Nos itens seguintes, são apresentados os resultados e discussões referentes à avaliação da influência da morfologia e da estratificação dos reservatórios sobre a qualidade das águas. Também serão avaliadas a transparência e a profundidade da zona fótica dos reservatórios. Em seguida, serão apresentadas as avaliações referentes a cada parâmetro de qualidade da água, individualmente.

8.1. Avaliação da influência da morfologia dos reservatórios sobre a qualidade das águas

A qualidade da água de ambientes lênticos (lagos e reservatórios) é determinada por uma conjunção de fatores relacionados com processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na bacia de drenagem e no próprio corpo hídrico. Um destes fatores consiste na forma do corpo hídrico em questão.

A morfologia do ambiente aquático é o estudo da forma do corpo hídrico e sua influência sobre as características físicas, químicas, biológicas e o comportamento do mesmo. Dentre tais características, pode-se citar a penetração da radiação solar, a formação de correntes horizontais e verticais, a amplitude de atuação do vento, a existência de baías e reentrâncias e os aportes originários da bacia de drenagem como exemplos de condicionantes morfológicos que afetam significativamente tanto a localização de macro e microrganismos na massa líquida, quanto à distribuição de compostos químicos nas suas formas dissolvida e particulada. Assim, a morfologia de um ambiente aquático influi de maneira relevante em todo o metabolismo do ecossistema. Contudo, é importante ressaltar que as características morfológicas de lagos e reservatórios sofrem alterações ao longo do tempo, devido a forças exógenas, isto é, provenientes de fora do ambiente (intemperismo, erosão, transporte de sedimentos) ou endógenas, vindas de dentro do próprio ambiente (von Sperling, 1999a).

O estudo da morfologia de lagos e reservatórios é realizado mediante o cálculo e avaliação de certos parâmetros descritivos, denominados parâmetros morfométricos, que consistem em grandezas utilizadas para representar as medidas de lagos e reservatórios. Eles podem ser do tipo primário, quando obtidos diretamente através de medições feitas no campo ou no escritório (usando-se recursos cartográficos adequados), ou do tipo secundário, caso sejam gerados indiretamente mediante cálculos realizados com dados primários (von Sperling, 1999b). Os principais exemplos do primeiro grupo são área, volume, perímetro e profundidade máxima. Dentre os parâmetros secundários, os mais significativos são profundidade média, profundidade relativa, desenvolvimento do perímetro e fator de envolvimento (von Sperling, 2004). Dentre os parâmetros citados, não são utilizados no presente trabalho apenas o perímetro e o desenvolvimento do perímetro, em virtude de que não foi possível obter os dados do perímetro dos três reservatórios em análise.

Através do estudo dos parâmetros morfométricos é possível estimar a tendência evolutiva da qualidade da água e também avaliar a capacidade do ambiente aquático em assimilar impactos poluidores (lançamentos de esgoto, por exemplo) (von Sperling, 2004).

A seguir, são apresentadas uma breve descrição e a avaliação dos principais parâmetros morfométricos primários e secundários dos três reservatórios em estudo.

8.1.1. Parâmetros morfométricos primários

8.1.1.1. Área (A)

A área representa a superfície total do espelho d'água. Seu valor sofre variações em decorrência das oscilações do nível d'água (NA), causadas pelas alternâncias de períodos de evaporação e transpiração e em função dos usos dos reservatórios artificiais, notadamente no caso daqueles construídos para abastecimento de água e para geração de energia elétrica. Normalmente, utiliza-se a superfície obtida com o nível d'água máximo para designar a área do lago ou reservatório, como será adotado no caso do presente trabalho (von Sperling, 1999a).

A Tabela 8.1, apresentada a seguir, enumera as características acima citadas para as três PCH's em estudo.

Tabela 8.1 - Oscilações e cotas máximas do Nível D'água (NA) e área inundada dos três reservatórios em estudo

Reservatório	Oscilação máxima do NA (m)	Cota do NA máximo (m)	Área Inundada (km²)
PCH Ponte	0,49	390,0	1,78
PCH Palestina	0,17	335,0	0,60
PCH Triunfo	0,56	286,0	1,39

Fonte: ESSE (1998)

A área do corpo hídrico influi na ecologia aquática na medida em que se considera a exposição da superfície do espelho d'água à radiação solar. O grau de exposição aos raios solares regula o desenvolvimento do fenômeno da fotossíntese, isso é, da atividade de produção primária, representada pela síntese de matéria orgânica a partir de compostos simples, realizada por organismos autotróficos – no caso, por vegetais aquáticos, como macrófitas e algas.

A dimensão da área do lago também está relacionada aos fenômenos hidrológicos de precipitação e evaporação. Quanto maior a área do corpo hídrico, maior naturalmente é o

recebimento de chuva, implicando, portanto, em uma maior carga afluyente de compostos químicos em forma particulada ou dissolvida. Similarmente, o processo de evaporação em grandes lagos ou reservatórios, principalmente naqueles de menor volume (isto é, mais rasos) provoca a volatilização de gases e a perda de água na forma de vapor, conduzindo a um aumento no teor de sais no ambiente aquático. Este fenômeno de salinização gradativa de sistemas lacustres é freqüente em regiões áridas, provocando a formação de lagos de água salobra ou salina, o qual não é o caso da região das usinas hidrelétricas em estudo.

Face ao exposto, em virtude das dimensões relativamente grandes dos três reservatórios, estima-se que os mesmos possuem um alto potencial para produção primária e alta susceptibilidade à influência das chuvas. Cabe ressaltar que a produção primária está diretamente associada ao fenômeno da eutrofização, que consiste no “crescimento excessivo de plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, em níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d’água” (Thomman e Mueller, 1987 apud von Sperling, 1996). Em função de suas dimensões, o reservatório da PCH Ponte está mais sujeito a estes fatores, seguido dos reservatórios da PCH Triunfo, e por último, da PCH Palestina.

8.1.1.2. Volume (V)

O volume indica a quantidade de água acumulada na depressão (bacia hidráulica) do lago ou reservatório. Similarmente à área, o volume também sofre variações, em decorrência do clima local e de ações antrópicas como, por exemplo, da retirada de água a montante.

A Tabela 8.2, apresentada a seguir, fornece os dados de volume dos reservatórios dos três barramentos em estudo.

Tabela 8.2 – Volumes dos três reservatórios em estudo, referentes ao Nível D’água (NA) máximo normal

Reservatório	Volume (m³)
PCH Ponte	15,050 x 10 ⁶
PCH Palestina	5,213 x 10 ⁶
PCH Triunfo	22,314 x 10 ⁶

Fonte: ESSE (1998)

O significado limnológico do volume de um corpo hídrico está associado à dimensão dos compartimentos aquáticos e à capacidade de diluição do corpo hídrico. Reservatórios de grande volume possuem uma maior massa de oxigênio dissolvido, apresentando, portanto, melhores condições de assimilação de cargas poluidoras de origem orgânica. Em suma, os

lagos e reservatórios volumosos apresentam capacidade de assimilação de poluentes bastante superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos e rasos.

Segundo critério definido pela Comissão Mundial de Barragens, barramentos com altura contadas a partir do alicerce entre 5 e 15 metros e reservatórios com capacidade superior a 3 milhões de m³ são considerados grandes barragens. Neste contexto, os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo podem ser considerados grandes, possuindo, dessa forma, grande capacidade de diluição e de assimilação de cargas poluidoras de origem orgânica.

Contudo, reservatórios de grande volume são mais susceptíveis ao processo de estratificação, formando camadas com processos hidráulicos e características físicas, químicas e biológicas distintas entre si. A avaliação do potencial de estratificação dos três reservatórios em estudo será realizada ao longo do presente capítulo.

Assim como na avaliação de suas áreas, a influência dos volumes dos reservatórios em estudo é proporcional às suas dimensões. Neste sentido, o reservatório da PCH Triunfo estaria mais susceptível aos processos descritos anteriormente, seguido do reservatório da PCH Ponte e, por último, da PCH Palestina.

8.1.1.3. Profundidade máxima (Z_{max})

Este parâmetro representa a maior profundidade do lago ou reservatório, podendo ser obtido pelo levantamento batimétrico realizado no corpo hídrico. Em lagos naturais, o ponto mais profundo situa-se geralmente em sua região central, enquanto que, no caso de reservatórios artificiais, a profundidade máxima situa-se geralmente junto ao barramento. Em decorrência das variações de nível d'água nos reservatórios, em função da operação de descargas, normalmente utiliza-se o nível d'água máximo como referencial para a profundidade máxima (von Sperling, 1999a). Para fins de aproximação no presente trabalho, a profundidade máxima será considerada igual à altura máxima dos três barramentos. Desta forma, a Tabela 8.3 apresenta os dados de profundidade máxima dos reservatórios.

Tabela 8.3 – Profundidade máxima dos três reservatórios em estudo

<u>Reservatório</u>	<u>Profundidade máxima (m)</u>
PCH Ponte	33,0
PCH Palestina	35,0
PCH Triunfo	40,0

Fonte: ESSE (1998)

No Brasil, os corpos hídricos mais profundos são reservatórios artificiais, pois os lagos naturais brasileiros são tipicamente rasos, em decorrências das características de seus processos de formação (von Sperling, 1999a).

São marcantes as diferenças de comportamento entre ambientes rasos e profundos, principalmente no que se refere ao padrão de circulação e à distribuição de organismos e compostos químicos ao longo da coluna d'água. Em lagos de baixa profundidade, a radiação solar pode atingir o fundo do corpo hídrico, o que implica em uma produtividade primária total bastante elevada em função do volume do lago. Isto significa que uma maior proporção de volume é exposta à influência dos raios solares, ocorrendo ainda um maior valor para a razão entre área do sedimento e volume. Todos estes fatores conduzem a um aumento da produtividade primária. Contudo, esta situação não foi constatada no presente estudo, em virtude dos baixos valores das profundidades das zonas fóticas – quando comparados com a profundidade máxima – medidos ao longo das campanhas de monitoramento da qualidade da água, conforme será avaliado no Tópico 8.3 do presente capítulo.

8.1.2. Parâmetros morfométricos secundários

8.1.2.1. Profundidade média (Z_{med})

A profundidade média de um lago ou reservatório é dada pela razão entre o volume de água acumulado e a superfície do espelho d'água.

A Tabela 8.4 rerepresenta os dados de área e volume dos três reservatórios e suas profundidades médias, calculadas a partir da razão entre seu volume e área.

Tabela 8.4 – Volume, área e profundidade média dos três reservatórios em estudo

Reservatório	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Volume (m ³)	15,05 x 10 ⁶	5,213 x 10 ⁶	22,314 x 10 ⁶
Área (m ²)	1,78 x 10 ⁶	0,600 x 10 ⁶	1,390 x 10 ⁶
Profundidade média (m)	8,46	8,69	16,05

Fonte: Área e Volume: ESSE (1998) – Profundidade média: calculada

A profundidade média participa com frequência de modelos para avaliação da produtividade ou do grau de trofia (isto é, intensidade da produção primária) de ambientes aquáticos. Thienemann (1927, apud Cole, 1983) sugeriu a profundidade média de 18 metros como sendo o limite entre as condições eutrófica e oligotrófica de um corpo hídrico. A relação inversa

entre a profundidade média e a produtividade do ambiente foi constatada por diversos outros autores (Wetzel, 1983; Le Cren e McConnell, 1980 apud von Sperling et al, 2004).

Conforme observado na Tabela 8.4, as PCH's Ponte e Palestina apresentam uma profundidade média relativamente baixa, o que indica um maior potencial para o desenvolvimento do processo de eutrofização (condição eutrófica) de seus reservatórios do que o reservatório da PCH Triunfo (que apresentou uma profundidade média aproximadamente duas vezes superior).

O parâmetro profundidade média é também um componente essencial dos chamados modelos de balanço de massa. Tais modelos correlacionam a carga afluyente de uma determinada substância a um corpo hídrico e a sua concentração no ambiente aquático. Desta forma, podem ser estabelecidos prognósticos de valores de concentrações em função de distintos cenários de aporte de substâncias. Também o processo de difusão vertical em um lago ou reservatório pode ser correlacionado com a profundidade média do ambiente (Le Cren e McConnell, 1980 apud von Sperling et al, 2004). Neste contexto, o reservatório da PCH Triunfo apresenta maiores chances de apresentar um baixo processo de difusão vertical de seus parâmetros físicos e químicos de qualidade da água do que em relação às demais PCH's. Esta situação deverá ser comprovada ou não quando da avaliação dos resultados dos dados do monitoramento da qualidade da água, adiante no presente capítulo.

8.1.2.2. Profundidade Relativa (Z_R)

É a profundidade dada pela razão entre a profundidade máxima e o diâmetro médio, medida em unidades percentuais. O diâmetro médio de um lago ou reservatório é o diâmetro de um círculo que tenha a mesma área do lago ou reservatório.

O cálculo da profundidade relativa é efetuado pela Equação 8.1, apresentada a seguir:

$$Z_R = Z_{\max} \times \frac{100}{\text{Diâmetro médio}} = Z_{\max} \times \frac{100}{2\sqrt{A/\pi}} = 88,6 \times \frac{Z_{\max}}{\sqrt{A}} \quad (8.1)$$

Na qual:

Z_R = Profundidade relativa (%);

Z_{\max} = Profundidade máxima (m);

A = área do lago ou reservatório (m²).

A Tabela 8.5 representa os dados de profundidade máxima e área dos três reservatórios e apresenta suas profundidades relativas, calculadas a partir da Equação 8.1.

Tabela 8.5 – Profundidade máxima, área e profundidade relativa dos três reservatórios em estudo

Reservatório	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Profundidade máxima (m)	33,0	35,0	40,0
Área (m ²)	1,78 x 10 ⁶	0,600 x 10 ⁶	1,390 x 10 ⁶
Profundidade relativa (%)	2,19	4,00	3,01

Fonte: Área: ESSE (1998) – Profundidades máxima e relativa: calculadas

Lagos e reservatórios profundos apresentam um alto valor de Z_R , enquanto o contrário ocorre em corpos hídricos grandes e rasos. A maioria dos lagos do mundo possui profundidades relativas inferiores a 2% (von Sperling, 1999a).

A profundidade relativa é um parâmetro útil para descrever o padrão de circulação de um corpo d'água. Ambientes aquáticos de elevada profundidade relativa (portanto com uma área superficial relativamente pequena em relação à alta profundidade) apresentam normalmente uma forte tendência a meromixia, ou seja, dificuldade em circular integralmente (da superfície ao fundo) toda a coluna d'água. Isto significa que tais ambientes não conseguem promover movimentações verticais completas da massa d'água em decorrência de limitações morfológicas. O significado limnológico deste fato é extremamente relevante, já que a ausência de circulação total implica na ocorrência permanente de anaerobiose nas camadas profundas. Quando a profundidade relativa não é muita elevada (por exemplo, na faixa de 2 a 5%), como é o caso dos três reservatórios em estudo, o lago pode circular completamente, desde que haja um suficiente aporte de energia externa, representado normalmente por ventos de grande intensidade. Por último, os corpos hídricos com baixa profundidade relativa apresentam as condições morfológicas necessárias ao estabelecimento de circulações completas, o que acarreta freqüentes trocas de materiais entre superfície e fundo e a adequada oxigenação das camadas inferiores (von Sperling, 1999a).

8.1.2.3. Desenvolvimento do volume (D_V)

Este parâmetro infere sobre o formato da bacia de acumulação do lago ou reservatório, e é calculado pela razão entre o volume do lago ou reservatório e o volume de um cone que tenha a área igual e altura equivalente à sua profundidade máxima, através da Equação 8.2.

$$D_v = \frac{V}{V_{\text{Cone}}} = \frac{V}{\left(\frac{1}{3} \times A \times Z_{\text{max}}\right)} = \frac{3V}{A \times Z_{\text{max}}} = 3 \frac{Z_{\text{med}}}{Z_{\text{max}}} \quad (8.2)$$

Na qual:

D_v = Desenvolvimento do volume (%);

V = Volume do lago ou reservatório (m^3);

V_{Cone} = Volume do cone que tenha área igual ao lago ou reservatório (m^3);

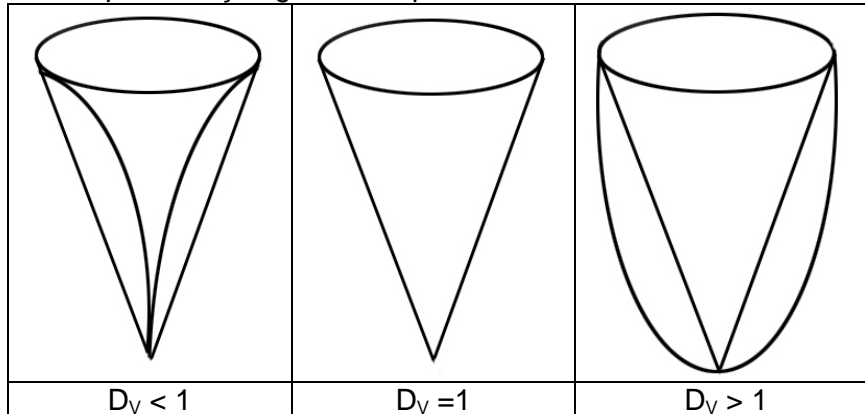
A = área do lago ou reservatório (m^2);

Z_{med} = Profundidade média do lago ou reservatório (m);

Z_{max} = Profundidade máxima do lago ou reservatório (m).

Se D_v for inferior à unidade, o lago ou reservatório tem forma convexa, isto é, tem a forma aproximada da letra V. Quando D_v for maior do que a unidade, o lago ou reservatório é do tipo côncavo, ou seja, a forma de sua bacia ou depressão é semelhante à da letra U, conforme pode ser observado nas representações da Figura 8.1.

Figura 8.1 – Representação gráfica do parâmetro Desenvolvimento do Volume (D_v)



Fonte: von Sperling (1999a)

Os lagos ou reservatórios cuja bacia (depressão) apresenta um formato convexo ($D_v < 1$) possuem margens com baixas declividades na região rasa, ocorrendo um brusco aumento de declividade ao se aproximar da parte mais funda. Nos lagos de formato linear ($D_v = 1$), a declividade é aproximadamente constante ao longo de todo o terreno inundado. Já nos reservatórios côncavos ($D_v > 1$), a margem apresenta-se ligeiramente inicialmente escarpada, suavizando-se na medida em que se aprofunda. Cabe ressaltar que estes formatos são apenas representações teóricas com o objetivo de classificação. A maioria dos lagos apresenta formatos em estágios intermediários entre côncavo, linear e convexo (von Sperling, 1999a).

A Tabela 8.6. reapresenta os dados das profundidades média e máxima e apresenta os valores de desenvolvimento do volume, calculados a partir da Equação 8.2, e o formato teórico aproximado das bacias dos reservatórios em função de seu desenvolvimento do volume.

Tabela 8.6 – Profundidades média e máxima, desenvolvimento do volume e formato teórico aproximado da bacia dos três reservatórios em estudo

Reservatório	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Profundidade média - Z_{med} (m)	8,46	8,69	16,05
Profundidade máxima - Z_{max} (m)	33,0	35,0	40,0
Desenvolvimento do volume (%)	0,77	0,74	1,20
Formato da bacia do reservatório	Convexo	Convexo	Côncavo

Fonte: parâmetros calculados

Os lagos que apresentam um relevo de fundo relativamente regular possuem em geral um baixo desenvolvimento de volume. Valores baixos também podem ser devidos a fenômenos de cunho morfológico, como o próprio processo de formação do corpo hídrico ou à lenta deposição de material nas partes mais rasas. No caso dos reservatórios em estudo, devido ao seu processo de formação, seus leitos seguem as curvas de nível de suas bacias de inundação. O reservatório da PCH Triunfo, talvez por possuir o maior volume dentre os reservatórios em estudo, apresenta uma maior irregularidade em suas margens, o que poderia explicar o valor elevado de seu desenvolvimento de volume.

Os valores de desenvolvimento de volume tendem a se alterar em função do tempo, devido ao processo de assoreamento causado pela deposição de sedimentos ao longo das margens e dos fundos dos reservatórios. A magnitude deste processo será tão maior quanto for a área e dependerá, ainda, do uso e ocupação do solo da bacia de drenagem dos reservatórios. Cabe ressaltar que o reservatório da PCH Ponte está mais sujeito à estas modificações por se situar a montante dos demais reservatórios e reter, assim, maior parte da carga de sedimentos da bacia de drenagem.

Também a hidrodinâmica do ambiente aquático pode influir no valor do desenvolvimento do volume, como é o caso da ação de ondas alterando a declividade da região litorânea (von Sperling, 1999a).

Por fim, o desenvolvimento do volume é um parâmetro morfométrico de restrito significado limnológico, devido principalmente ao fato dele indicar apenas as características do formato vertical do corpo hídrico. Constata-se que, lagos e reservatórios em forma de U, portanto com $Dv > 1$, encontram-se mais expostos ao vento. Este fator influi, portanto, na hidrodinâmica do

ambiente aquático, provocando como consequência mais imediata um maior revolvimento do material do fundo, o que ocorre principalmente em corpos hídricos rasos. Assim sendo, avaliando-se os resultados da profundidade relativa e desenvolvimento do volume conjuntamente, pode-se inferir que os reservatórios das PCH's Ponte e Palestina apresentam maior dificuldade em circular completamente, principalmente quanto à PCH Palestina, por apresentar a maior profundidade relativa e menor desenvolvimento de volume dentre estes reservatórios. Quanto à PCH Triunfo, são esperadas menores dificuldades para a circulação completa de seu reservatório, quando comparados aos demais.

8.1.2.4. Fator de envolvimento (F)

O Fator de Envolvimento é igual a razão entre a área da bacia hidrográfica do corpo hídrico e a área do próprio corpo hídrico, sendo, portanto, adimensional. Em uma comparação entre lagos e reservatórios, constata-se que os lagos possuem, em geral, menores valores de fator de envolvimento, enquanto que em reservatórios tais valores são muito mais elevados. Tal fato é devido ao próprio processo de formação dos reservatórios, no qual ocorre o barramento de rios preferencialmente encaixados em fundo de vale, o que resulta em uma alta relação entre a área da bacia contribuinte (geralmente de grande porte) e a área do reservatório formado. Para lagos naturais, os valores mais comuns são da ordem de algumas dezenas. Para reservatórios artificiais, cujas bacias hidrográficas são bem maiores em relação ao tamanho do corpo hídrico (barramentos de grandes rios em vales escarpados), o fator de envolvimento atinge algumas centenas, podendo eventualmente ser maior do que 1000 (von Sperling, 1999a).

A Tabela 8.7 apresenta os dados das áreas de bacia de drenagem e de inundação e do fator de envolvimento dos reservatórios.

Tabela 8.7 – Áreas da bacia de drenagem e do reservatório e fator de envolvimento dos três reservatórios em estudo

Reservatório	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Área da bacia de drenagem (km ²)	1771,00	1796,00	2318,00
Área do reservatório (km ²)	1,78	0,60	1,39
Fator de envolvimento	994,94	2993,33	1667,63

Fonte: Áreas: ESSE (1998). Fator de envolvimento: calculado.

O fator de envolvimento indica indiretamente o grau de probabilidade da bacia de drenagem do lago ou reservatório contribuir com o aporte de material ao corpo hídrico. Quanto maior o seu valor, maior é também a perspectiva de carreamento de material sólido (assoreamento) e de nutrientes (eutrofização). Esta consideração é particularmente válida para área agrícolas,

que são sistemas geradores de poluentes, tais como fertilizantes e agrotóxicos. Quando o fator de envolvimento é elevado, também é maior a probabilidade de existência de assentamentos urbanos, cujos dejetos (lixo e esgoto) poderão, direta ou indiretamente, atingir o lago ou reservatório. Nestes casos, a capacidade diluidora do corpo hídrico é pequena em relação à grande área de drenagem da bacia, o que evidentemente pode acarretar o desenvolvimento de fenômenos poluidores (contaminação, assoreamento, eutrofização). Apesar de que a área diretamente afetada e de entorno dos três reservatórios apresenta um baixo percentual de áreas agrícolas e urbanas, conforme exposto no capítulo 7, este mesmo cenário não pode ser estendido à sua bacia de drenagem por inteiro, uma vez que a realização deste tipo de caracterização para a mesma é dificultada em virtude de suas grandes dimensões, conforme pode ser observado na Tabela 8.8.

As PCH's Palestina e Triunfo apresentaram valores de fator de envolvimento de, aproximadamente, cerca de 3,01 e 1,66 vezes superiores ao da PCH Ponte, respectivamente, indicando, assim, o potencial relativo de cada reservatório em ser afetado pelos fenômenos poluidores. Contudo, é importante considerar, também, a localização relativa de cada reservatório ao se avaliar a influência da bacia hidrográfica sobre os mesmos. Por estarem instalados em seqüência, os reservatórios de montante tendem a assimilar parte da carga poluidora (de sedimentos, nutrientes e resíduos líquidos e sólidos), liberando para jusante uma carga menor do que seria liberada caso os mesmos não existissem. A capacidade de um reservatório em “absorver” cargas poluidoras depende, dentre outros fatores, de suas dimensões (principalmente do volume) e seu comportamento hidráulico.

Neste sentido, apesar dos reservatórios das PCH's Palestina e Triunfo apresentarem maiores fatores de envolvimento, os impactos poluidores oriundos da bacia de drenagem deverão ser minimizados pelos reservatórios de montante – ou seja, pelo reservatório da PCH Ponte, no caso da PCH Palestina, e pelos reservatórios das PCH's Ponte e Palestina, cumulativamente, no caso da PCH Triunfo. Dessa forma, espera-se que a qualidade da água melhore de montante para jusante. Contudo, esta hipótese não é uma regra, pois não leva em consideração a influência das fontes de poluição, contribuição de afluentes, usos da água e de demais fatores existentes entre os barramentos, que também influenciam na qualidade da água.

8.1.3. Considerações gerais sobre os parâmetros morfométricos

Os ambientes lacustres sofrem diversas modificações ao longo do tempo, as quais conduzem a uma redução gradativa do seu volume de água. Desta maneira, os parâmetros morfométricos,

que espelham as distintas características da forma do lago, também sofrem alterações. Os processos de sedimentação, tanto de natureza física quanto de biológica, provocam a diminuição da profundidade máxima, modificando conseqüentemente o desenvolvimento do volume e a profundidade relativa dos reservatórios. Tais mudanças podem ser causadas também pela diminuição do nível d'água, seja devido ao clima, à operação das PCH's ou às alterações hidrológicas de cunho antrópico, como a retirada excessiva de água a montante (von Sperling, 1999a).

Por se tratarem de ambientes aquáticos recentemente formados, considera-se que os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo não sofreram modificações significativas em seus parâmetros morfológicos desde sua formação.

Quando comparada às condições existentes no ecossistema lótico, a formação de um reservatório leva a mudanças nas variáveis bióticas e abióticas, o que sinaliza para um período de instabilidade limnológica. Este período pode ser compreendido como uma fase de transição, na qual ocorrem: altas concentrações de íons orgânicos e inorgânicos, aumento da turbidez, redução do oxigênio dissolvido e predomínio de comunidades aquáticas que são resistentes às condições adversas do meio ambiente aquático (Goldman, 1976; Straskraba et al., 1993, apud Ribeiro et al., 2005).

A duração desta instabilidade depende dos parâmetros morfométricos do reservatório, os quais, por sua vez, dependem do lugar selecionado para a formação do reservatório (as características do vale original que foi preenchido) e dos princípios básicos determinados por sua operação (Tundisi, 1986; Straskraba et al., 1993; Straskraba & Tundisi, 1999; Agostinho et al., 1999; apud Ribeiro et al., 2005).

Em geral, entretanto, este período é curto e limitado aos primeiros poucos anos do reservatório quando a decomposição completa da matéria orgânica e a redução dos níveis de nutrientes ocorrem (Straskraba et al., 1993; Straskraba & Tundisi, 1999; apud Ribeiro et al., 2005).

A Tabela 8.8 apresenta, em conjunto, os resultados dos parâmetros morfométricos dos reservatórios das três PCH's em estudo.

Tabela 8.8 - Parâmetros morfométricos dos reservatórios das três PCH's em estudo

Parâmetro morfométrico	PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Área (km ²)	1,78	0,60	1,39
Volume (m ³)	15,05 x 10 ⁶	5,213 x 10 ⁶	22,314 x 10 ⁶
Profundidade máxima (m)	33,0	35,0	40,0
Profundidade média (m)	8,46	8,69	16,05
Profundidade relativa (%)	2,19	4,00	3,01
Desenvolvimento de volume (%)	0,77	0,74	1,20
Fator de envolvimento	994,94	2993,33	1667,63

Fonte: Área, volume e profundidade máxima: ESSE (1998). Demais parâmetros: calculados pelo autor

Em resumo, as influências morfológicas exercidas sobre a ecologia aquática podem ser retratadas nos seguintes pontos, conforme enumerado por von Sperling (1999a):

- Exposição à radiação solar;
- Capacidade assimiladora do ambiente aquático;
- Atuação dos processos hidrológicos (precipitação, evaporação);
- Processos hidrodinâmicos (ondas e correntes aquáticas);
- Dinâmica de estratificação e circulação;
- Produtividade biológica, ciclagem de nutrientes, grau de trofia;
- Suscetibilidade à eutrofização;
- Conteúdo de calor do ambiente aquático;
- Balanço de massa de nutrientes;
- Tempo médio de residência da água;
- Erosão, transporte e acumulação de nutrientes;
- Condições de balneabilidade;
- Outros usos da água.

Para fins de síntese, a Tabela 8.9 apresenta um resumo das conclusões realizadas no presente tópico a respeito da influência potencial dos parâmetros morfológicos sobre alguns processos dos reservatórios em estudo. São apresentadas a influência geral – comum aos três reservatórios – e uma comparação relativa da magnitude da influência sobre os processos tomando como referência o reservatório que sofre a menor influência. Esta avaliação é importante, pois a morfologia dos reservatórios pode levar a conclusões semelhantes, mas com magnitudes diferentes. Como exemplo, a área é um parâmetro que influencia diretamente

na exposição à luz solar dos reservatórios. Uma vez que todos os reservatórios possuem grandes áreas, a susceptibilidade geral deste parâmetro morfométrico sobre este processo é alta. Mas, quando comparadas as áreas entre si, pode-se observar que, por apresentar uma área aproximadamente três (2,97) vezes superior à área da PCH Palestina – tomada como referência igual a 1,0 – a PCH Ponte também está três vezes mais susceptível à influência da radiação solar do que a PCH Ponte. Raciocínio análogo é apresentado para todos os processos na Tabela 8.9.

Tabela 8.9 – Influência geral e magnitude relativa entre as três PCH's dos processos influenciados pela morfologia dos reservatórios

Processos influenciados pela morfologia dos reservatórios	Geral	Relativa		
		PCH Ponte	PCH Palestina	PCH Triunfo
Exposição à radiação solar, favorecendo aos processos de fotossíntese e de eutrofização (condicionados à disponibilidade de nutrientes)	Alta	2,97	1,00	2,32
Capacidade de diluição e assimilação de cargas poluidoras	Alta	2,89	1,00	4,28
Susceptibilidade ao processo de estratificação	Alta	2,89	1,00	4,28
Padrão de distribuição de organismos e compostos químicos ao longo da coluna d'água	Alta	1,00	1,06	1,21
Produtividade primária em relação ao volume (razão entre as profundidades máximas do reservatório e da zona fótica)	Baixa	20%	13%	15%
Potencial para o desenvolvimento do processo de eutrofização	Alto	1,90	1,85	1,00
Processo de difusão vertical	Baixo	1,00	1,03	1,90
Dificuldades no padrão de circulação da coluna d'água (condicionadas à ação de ventos de grande intensidade)	Média	1,00	1,83	1,37
Exposição à ação dos ventos	-	Baixa	Baixa	Alta
Susceptibilidade ao carreamento de compostos (sólidos, nutrientes e dejetos) da bacia de drenagem pela ação das chuvas	Alta	1,00	3,01	1,66

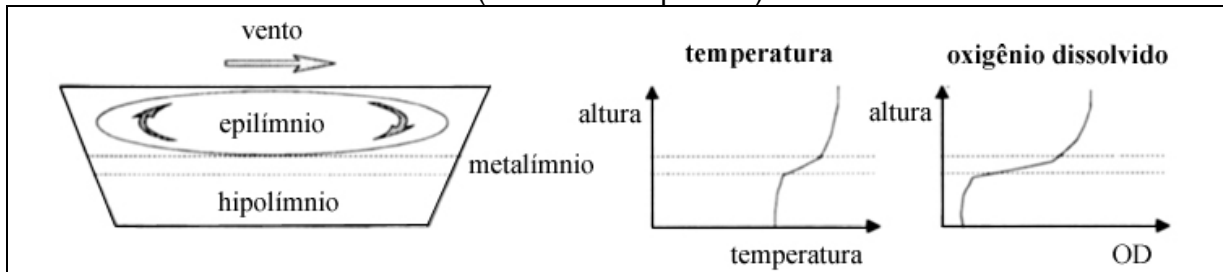
Face ao exposto, é grande a importância da morfologia na configuração da qualidade da água de lagos e reservatórios, o que justifica sua avaliação visando atingir os objetivos do presente trabalho. A Tabela 8.10 indica que a PCH Ponte apresenta um alto potencial de eutrofização e de estratificação. Por sua vez, a PCH Palestina possui um menor potencial de eutrofização de estratificação do que a PCH Ponte, mas ainda assim significativo, e uma maior susceptibilidade aos efeitos das chuvas e dos usos da água e do solo na bacia de drenagem. Por fim, a PCH Triunfo apresenta um baixo potencial de eutrofização, com possível alternância de estratificação e circulação da massa d'água e menor susceptibilidade à influência da bacia de drenagem.

8.2. Avaliação da influência da estratificação dos reservatórios sobre a qualidade das águas

O aspecto mais importante da estrutura de um corpo hídrico refere-se à ocorrência de distintos padrões de mistura da coluna d'água conforme as características físicas do ambiente. Esta mistura constituiu-se no principal fator que regula a distribuição de compostos químicos e de organismos na massa líquida, sendo fortemente influenciada pelas características morfométricas do ambiente aquático (von Sperling, 1999a).

A densidade da água é determinada em função de sua temperatura. Na faixa de temperatura acima de 4°C, a densidade da água diminui à medida que se aumenta a temperatura. Sempre que houver diferenças sensíveis de temperatura ao longo da profundidade do corpo hídrico, haverá diferenças na densidade da água, ocasionando a formação de estratos com características distintas, fenômeno este conhecido como estratificação. Neste caso, o ambiente aquático encontra-se estratificado e apresenta um perfil clinogrado, com formação de três camadas: epilímnio (superior), metalímnio (intermediária) e hipolímnio (inferior), conforme ilustrado na Figura 8.2.

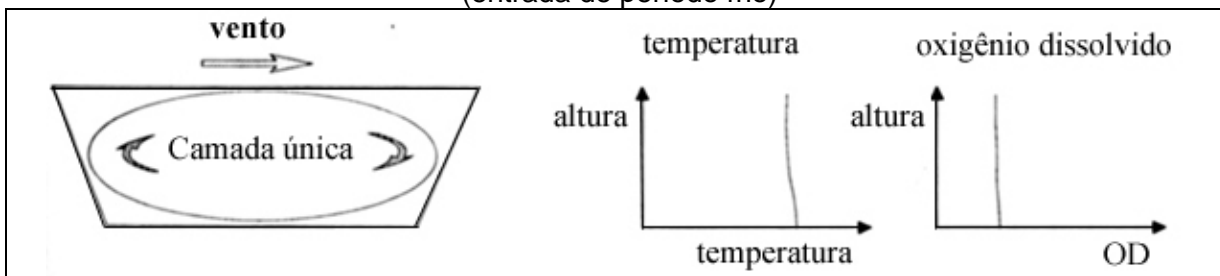
Figura 8.2 – Perfil de um reservatório em condições de estratificação (meses mais quentes)



Fonte: adaptado de von Sperling (1996)

No momento em que as temperaturas ao longo da coluna d'água tornam-se semelhantes, em decorrência de variações da temperatura do ar, afetando inicialmente as camadas superiores, a massa líquida passa a apresentar uma densidade aproximadamente uniforme. Nesta situação, o corpo hídrico pode entrar em processo de circulação, desde que haja alguma força externa como, por exemplo, a ação dos ventos, capaz de superar a fraca estabilidade física da coluna d'água. Quando isso acontece, o ambiente apresenta um perfil chamado ortogrado, com temperatura aproximadamente constante ao longo da profundidade, conforme exposto na Figura 8.3.

Figura 8.3 – Perfil de um reservatório em condições de mistura completa (entrada de período frio)



Fonte: adaptado de von Sperling (1996)

Assim, os ambientes lênticos (lagos e reservatórios) estão permanentemente sujeitos a uma alternância de processos de estratificação e de circulação (von Sperling, 1999a). Diferenças de temperatura determinam diferenças de densidade principalmente em lagos e reservatórios tropicais, devido às temperaturas mais elevadas. Para essas regiões, sabe-se que diferenças de apenas 1°C podem provocar e manter estratificação estável na coluna d'água (Ecles, 1974 e Talling, 1969, apud Landa e Landa, 2001).

Esteves (1999, apud Castro, 2005) cita ainda que em lagos de regiões tropicais é observado o fenômeno da estratificação química, independentemente da estratificação térmica, sendo que este fato é mais nítido em reservatórios que se situam em áreas com cobertura florestal. Nesta situação, a cobertura vegetal inundada é decomposta com o conseqüente consumo de grande parte do oxigênio dissolvido, especialmente no hipolímnio. Na superfície, se há uma insolação suficiente, as algas e vegetais superiores produzem oxigênio através do processo fotossintético. Considera-se que esta situação pode ocorrer no caso dos três reservatórios em estudo, mas de pequena magnitude, em virtude de ter ocorrido uma retirada prévia da maior parte da biomassa presente nas áreas de inundação dos reservatórios.

Contudo, cabe ressaltar que ambientes aquáticos profundos estão mais susceptíveis ao fenômeno da estratificação do que ambientes rasos. Branco (1986 apud Mucci, 2004) aceita o estabelecimento de estratificação em lagos com profundidades superiores a 12 metros já que 99% da radiação solar é absorvida nos 10 primeiros metros, decrescendo rapidamente a partir dos 12 metros. Os três reservatórios em estudo satisfazem tal condição. Ademais, conforme exposto na avaliação da morfometria dos reservatórios, a ação dos ventos sobre a circulação da massa d'água é mais facilitada quando o ambiente é pouco profundo. Branco (1986 apud Mucci, 2004) cita ainda que lagos rasos, com menos de 7 a 8 metros, não apresentam estratificação. Neste contexto, os reservatórios em estudo estão susceptíveis à estratificação.

Os lagos e reservatórios podem ser classificados quanto à frequência em que ocorre a mistura das águas de suas camadas e à sua capacidade de circulação, conforme apresentado nas tabelas 8.10 e 8.11, respectivamente.

Tabela 8.10 – Classificação dos lagos e reservatórios quanto à frequência dos processos de desestratificação

Classificação	Frequência das misturas	Exemplos
Amícticos	Nunca se misturam	Lagos polares
Monomíctico	Uma vez ao ano	Lagos tropicais, durante o inverno
Dimíctico	Duas vezes ao ano	Lagos temperados
Oligomíctico	Poucas vezes ao ano	Lagos grandes em regiões frias
Polimíctico	Diariamente	Lagos com grande diferença de densidades para pequenos intervalos de temperatura alta

Tabela 8.11 - Classificação dos lagos e reservatórios quanto à sua capacidade de circulação

Classificação	Tipo de circulação
Holomícticos	O lago ou reservatório circula totalmente
Meromícticos	O lago ou reservatório circula parcialmente. A camada superior, que circula, chama-se mexolímnia. A camada inferior, que não circula, chama-se monimolímnia.

No caso de ambientes aquáticos tropicais, as variações de temperatura são ainda mais marcantes, tendo em vista o fato de que as diferenças de densidade são cada vez maiores na medida em que se avança para faixas mais altas de temperatura. Desta maneira, um lago ou reservatório tropical que apresenta, por exemplo, temperatura de 28°C na camada superior e de 25°C junto ao fundo, estará provavelmente estratificado devido às fortes diferenças de densidade. Já no período noturno, quando a temperatura superficial pode cair alguns poucos graus, este mesmo ambiente pode entrar na fase de circulação devido à semelhança nos valores da densidade na superfície e no fundo (von Sperling, 1999a). Branco (1986 apud, Mucci, 2004) aceita que uma estabilidade de estratificação perfeita ocorre em lagos tropicais com temperaturas superficiais das águas entre 20°C e 30°C, como ocorre em diversas ocasiões para os três reservatórios em estudo.

Esta situação foi constatada por von Sperling et al (2004), ao analisarem o perfil térmico do lago de Águas Claras, quando verificaram que as oscilações verticais (diferenças entre superfície e fundo) são naturalmente superiores nos meses mais quentes do ano. Por outro lado, nos meses de inverno ocorre um resfriamento da camada superficial, provocando um aumento da densidade das águas naquela região. Desta forma, a densidade na superfície do lago assume valores próximos àqueles encontrados nas camadas inferiores, gerando conseqüentemente um processo de circulação vertical da massa líquida mediante a atuação do

vento. As diferenças de temperatura entre superfície e fundo apresentaram, portanto, os valores mínimos nos meses mais frios. Constatou-se, assim, a clara ocorrência de períodos de estratificação que alternam a fase de circulação da coluna de água.

Tundisi et al (1978), ao estudarem um sistema de lagos no Parque Florestal do rio Doce, em Minas Gerais, durante o período 1976/1978, constataram que os mesmos apresentaram alta estratificação térmica e ausência de circulação. Neste caso, a ausência de circulação foi atribuída ao fato de que estes lagos situam-se em vales relativamente profundos, o que impede a circulação do vento. Contudo, os reservatórios do presente estudo não estão localizados em regiões cuja topografia impeça a ação do vento.

Assim sendo, por se tratarem de reservatórios localizados em região de clima tropical, espera-se que os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo sejam classificados como monomíticos, ou seja, que realizam uma mistura das camadas uma vez por ano, conforme a Tabela 8.10. Quanto à capacidade de circulação, conforme exposto anteriormente na avaliação dos parâmetros morfométricos, os reservatórios das PCH's Ponte e Palestina apresentam tendências de maior dificuldade em circular completamente, principalmente no que se refere ao reservatório da PCH Palestina. Trata-se, portanto, do reservatório do tipo meromítico. Quanto à PCH Triunfo, são esperadas menores dificuldades para a circulação completa de seu reservatório, quando comparados aos demais, podendo o mesmo assumir comportamento do tipo holomítico.

Outro indicador da capacidade de circulação de um lago ou reservatório é a Resistência Térmica Relativa – RTR, que é um índice que indica a estabilidade do ambiente em não ocorrer mistura. Quanto maior for o valor da RTR, mais estável será o ambiente aquático, ou seja, maior será a dificuldade em ocorrer o processo de mistura da massa d'água. Este índice é calculado através da Equação 8.3:

$$RTR = \frac{\Delta\delta}{0,08} = \frac{\delta_{\text{fundo}} - \delta_{\text{superfície}}}{0,08} \quad (8.3)$$

Na qual:

RTR = Resistência térmica relativa;

δ_{fundo} = Densidade da água no fundo do reservatório;

$\delta_{\text{superfície}}$ = Densidade da água na superfície do reservatório;

A seguir, é avaliado o potencial de estratificação de cada um dos reservatórios em estudo, através dos gráficos de perfis verticais de temperatura, condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido, do cálculo do valor da RTR e de suas características morfométricas. Cumpre ressaltar, porém, que foram realizadas coletas de metro em metro até a profundidade de 15,00 metros, para todos os reservatórios (com exceção das campanhas de outubro/2003 e janeiro/2004, nas quais foram medidos os parâmetros até a profundidade de 13,00 metros). Assim sendo, não será apresentado o perfil vertical ao longo de toda profundidade dos reservatórios (da superfície ao fundo).

Quanto ao pH, este parâmetro está associado à estratificação térmica, pois esta confina o gás carbônico no fundo do reservatório diminuindo conseqüentemente seu valor (Branco, 1986, apud Mucci et al, 2004). Quanto à superfície, Helawell (1989, apud Branco, 1986) considera que a intensa atividade fotossintética de algas e plantas superiores pode elevar o pH a 8,0 ou valores mais altos, já que a redução dos níveis de gás carbônico como resultado da fotossíntese pode causar rápidas mudanças de pH.

Em relação ao oxigênio dissolvido, Esteves (1998 apud Mucci et al, 2004) cita que lagos de regiões tropicais apresentam, na maioria dos casos, fortes déficits de oxigênio dissolvido na coluna d'água, especialmente na parte inferior. Branco (1986 apud Mucci et al, 2004) ressalta que nesta parte do lago se acumula o material orgânico sedimentável que, além de constituir substrato para grande atividade biológica, é de mais difícil acesso ao oxigênio que penetra através da superfície. Tais afirmações também podem ser aplicadas a reservatórios artificiais em regiões tropicais, tais como no presente caso. A estratificação do oxigênio dissolvido também influi na concentração de fósforo na coluna d'água. De acordo com Wetzel (1993, apud Mucci, 2004) nos lagos que durante os períodos de estratificação apresentam curvas clinografadas de oxigênio, a distribuição vertical de fósforo é muito mais variável.

8.2.1. Avaliação da ocorrência da estratificação do reservatório da PCH Ponte

8.2.1.1. Avaliação do perfil de temperatura da PCH Ponte

A Figura 8.4 apresenta o gráfico do perfil térmico do reservatório da PCH Ponte em todas as campanhas de monitoramento da água desde sua formação (campanhas n.º 09 a 18).

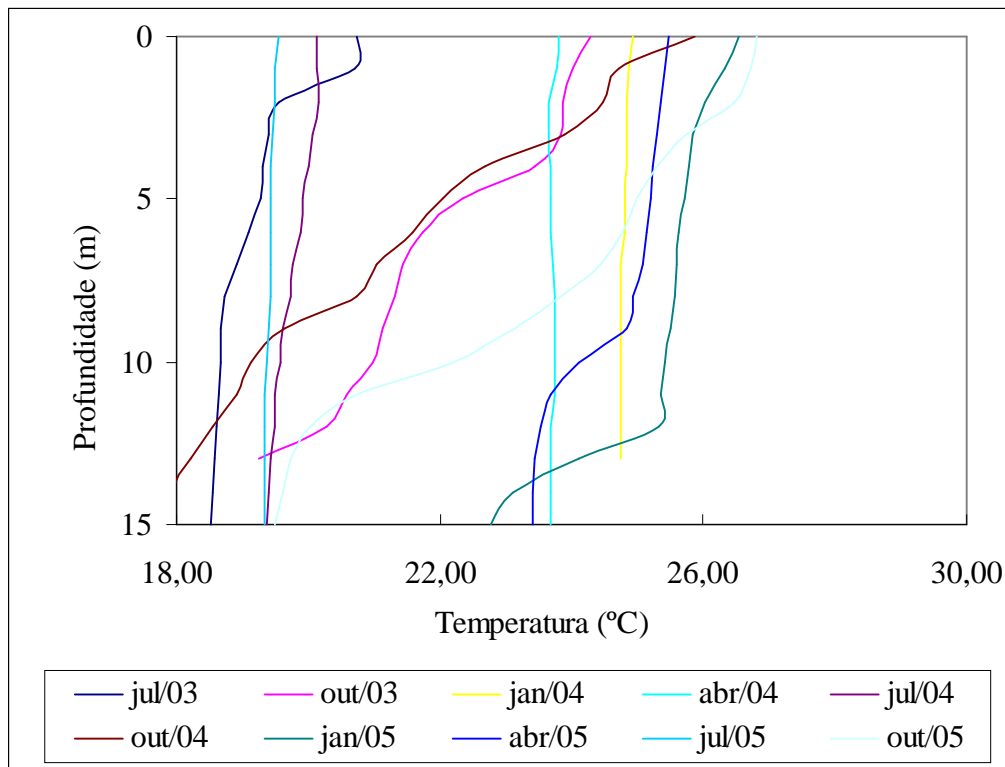


Figura 8.4 - Perfil térmico parcial do reservatório da PCH Ponte

A análise da Figura 8.4 indica a ocorrência de estratificação térmica dos reservatórios da PCH Ponte durante algumas campanhas, da seguinte forma:

- Quatro campanhas apresentaram um perfil térmico ortogradado, ou seja, com temperatura aproximadamente constante e susceptível a ocorrência de mistura da massa d'água: janeiro, abril e julho de 2004, e julho de 2005.
- Três campanhas apresentaram um perfil térmico clinogradado, ou seja, com uma clara distinção entre o epilímnio, metalímnio e hipolímnio: julho de 2003, e janeiro e abril de 2005.
- Os gráficos referentes aos meses de outubro (2003, 2004 e 2005) apresentaram uma variação de temperatura decrescente e contínua ao longo da profundidade, com conseqüente formação de diversas camadas ao longo da profundidade. Estes meses também foram aqueles em que o reservatório da PCH Ponte apresentou a maior amplitude térmica entre fundo e superfície.

A Tabela 8.12 apresenta um resumo dos dados de temperatura, densidade e RTR da PCH Ponte.

Tabela 8.12 - Temperaturas e densidades da água na superfície e no fundo do reservatório, amplitude térmica e Resistência Térmica Relativa (RTR) da PCH Ponte

Campanha	Temperatura (°C)		Amplitude Térmica	Densidade		RTR
	Superfície	Fundo		Superfície	Fundo	
Julho/2003	20,72	18,52	2,20	1,92	1,59	4,13
Outubro/2003	24,29	19,26	5,03	2,75	2,54	2,63
Janeiro/2004	24,92	24,73	0,19	2,91	2,89	0,17
Abril/2004	23,80	23,68	0,12	2,63	2,59	0,45
Julho/2004	20,14	19,38	0,76	1,80	1,78	0,23
Outubro/2004	25,86	17,84	8,02	3,14	2,11	12,92
Janeiro/2005	26,53	22,78	3,75	3,37	3,11	3,25
Abril/2005	25,48	23,42	2,06	3,06	3,01	0,62
Julho/2005	19,54	19,34	0,20	1,68	1,65	0,38
Outubro/2005	26,81	19,49	7,32	3,38	2,88	6,33

Observou-se um comportamento anômalo em relação à PCH Ponte. Enquanto que o mês de outubro apresentou um comportamento padrão, com forte tendência à estratificação em função do clima – outubro é o mês mais quente – os meses de janeiro, abril e julho alternaram entre perfis estratificados e susceptíveis à mistura. Isto ocorreu devido às diferenças entre as amplitudes térmicas entre o fundo e a superfície do reservatório para os diferentes anos: em 2004, as amplitudes foram baixas, enquanto em 2003 e 2005 foram mais elevadas. Para se inferir sobre essa situação, seria necessária uma série histórica de dados mais longa. Contudo, uma possível justificativa para essa situação seria o fato de que as coletas são realizadas em horários diferentes ao longo do dia para as campanhas de um mesmo mês, o que influenciaria a temperatura na superfície, para mais ou para menos, e assim, aumentando ou diminuindo a amplitude média em relação à temperatura do fundo do reservatório, que tende a ser mais estável ao longo do dia.

As conclusões acerca dos processos de estratificação do reservatório da PCH Ponte condizem com o prognóstico baseado nos seus parâmetros morfométricos: por ser um reservatório de grande volume, apresentava forte tendência aos processos de estratificação. Por outro lado, os resultados de profundidade relativa e desenvolvimento do volume indicavam uma baixa possibilidade do reservatório da PCH Ponte em circular completamente, condicionada à ação de uma fonte externa de energia, como, por exemplo, a ação dos ventos. Esta situação deverá ser comprovada quando da avaliação dos perfis de oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica ao longo deste reservatório.

8.2.1.2. Avaliação do perfil de pH da PCH Ponte

A Figura 8.5 apresenta o gráfico do perfil parcial de pH do reservatório da PCH Ponte.

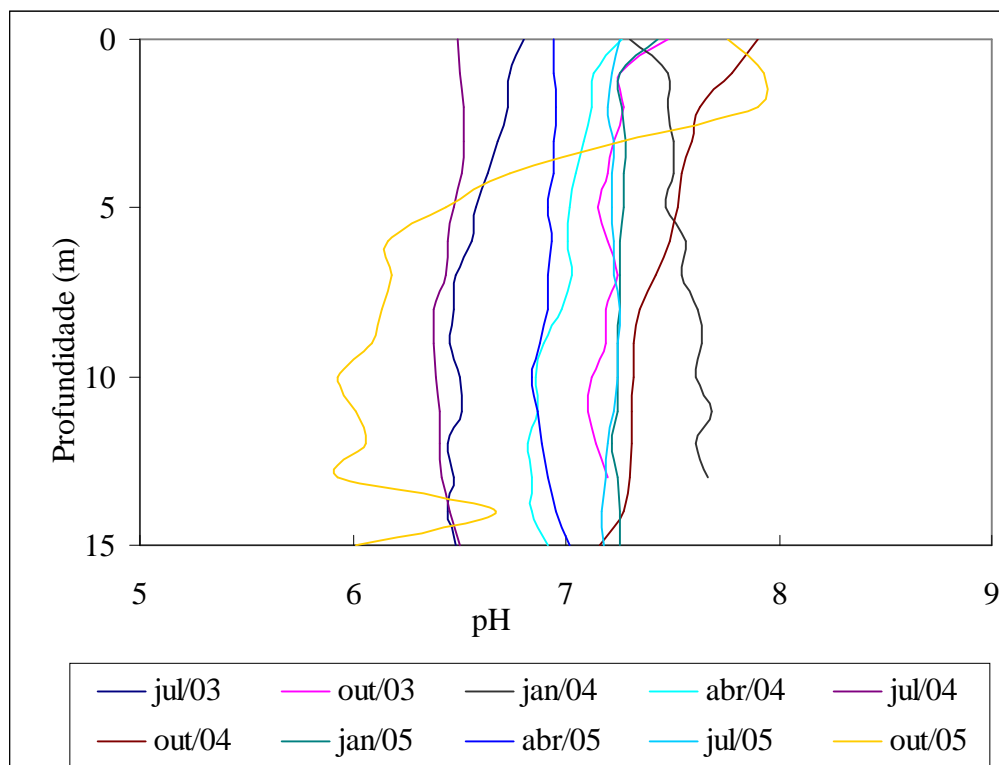


Figura 8.5 - Perfil parcial de pH do reservatório da PCH Ponte

A Figura 8.5 indica que o pH do reservatório da PCH Ponte apresentou um perfil aproximadamente ortogrado (constante ao longo da profundidade) durante a maioria das campanhas, com exceção da campanha de outubro/2005. Nesta campanha, o mesmo comportamento foi verificado nos reservatórios das PCH's Palestina e Triunfo.

É esperado que os valores de pH localizados nas camadas superiores dos reservatórios sejam mais elevados do que nas camadas mais profundas, em virtude da maior concentração de algas (comunidade fitoplanctônica) na superfície, que contribuem para a elevação do pH em decorrência da retirada de ácido carbônico da água durante o processo de fotossíntese. von Sperling et al (2004) analisando o lago de Águas Claras, observou que este comportamento é predominante durante sua formação.

A Tabela 8.13 apresenta a amplitude entre os maiores e menores valores de pH para cada campanha.

Tabela 8.13 - Amplitude dos valores de pH da PCH Ponte em cada campanha

Ano	2003		2004				2005			
Mês	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	0,35	0,38	0,39	0,44	0,14	0,74	0,21	0,18	0,08	2,00

Através dos dados da Tabela 8.13, pode-se observar que o pH apresentou baixas amplitudes entre a superfície e o meio do reservatório da PCH Ponte, com valores de 0,08 a 0,74; com exceção dos dados da campanha de outubro de 2005, cuja amplitude foi de 2,0. Dessa forma, esta campanha foi aquela que apresentou maiores variações de pH ao longo da profundidade, indicando uma tendência à estratificação nesta época.

8.2.1.3. Avaliação do perfil de condutividade elétrica da PCH Ponte

A Figura 8.6 apresenta o gráfico do perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Ponte.

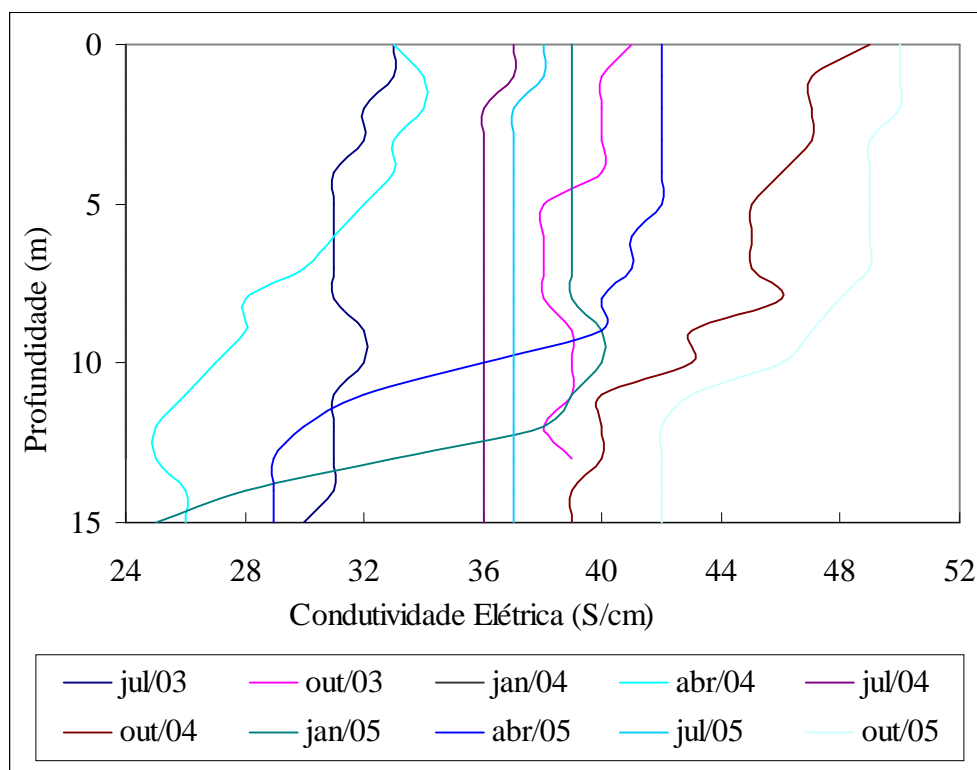


Figura 8.6 - Perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Ponte

A Tabela 8.14 apresenta a amplitude dos valores de condutividade térmica da PCH Ponte em cada campanha.

Tabela 8.14 - Amplitude dos valores de condutividade elétrica da PCH Ponte em cada campanha

Ano	2003		2004				2005			
Mês	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	3	3	0	9	1	10	15	13	1	8

Avaliando a Figura 8.6 e a Tabela 8.14, pode-se concluir que:

- As campanhas dos meses de janeiro/2004, julho de 2003, 2004 e 2005 e outubro/2003, apresentaram perfil ortogrado, ou seja, com condutividade elétrica aproximadamente constante. Também foram as campanhas que apresentaram as menores amplitudes, o que condiz com o perfil ortogrado. Esta situação está de acordo com os resultados de temperatura e pH, com exceção da campanha de julho/2003 e outubro/2003, no qual temperatura e pH apresentaram perfil clinogrado;
- As demais campanhas, com maiores amplitudes de condutividade elétrica, apresentaram perfis decrescentes ao longo da profundidade. Destas campanhas, aquelas que apresentaram perfis mais próximos do clinogrado foram àquelas referentes aos meses de janeiro, abril e outubro de 2005. As demais campanhas (abril e outubro de 2004) apresentaram uma variação de temperatura irregular ao longo de toda a profundidade, com conseqüente formação de diversas camadas.

8.2.1.4. Avaliação do perfil de oxigênio dissolvido da PCH Ponte

A concentração de oxigênio dissolvido nas águas depende de diversos fatores, que podem ser tanto fontes de produção quanto de consumo. Como principais fontes de produção de oxigênio, estão a reaeração atmosférica (processo de transferência de gases entre o corpo hídrico e a atmosfera) e a fotossíntese (processo utilizado pelos seres autotróficos para a síntese de matéria orgânica). Como fontes de consumo de oxigênio, estão: a oxidação da matéria orgânica, a respiração dos organismos aquáticos e a nitrificação (processo de conversão de amônia em nitritos e de nitritos em nitratos). A concentração de saturação de oxigênio dissolvido na água depende das condições de temperatura e pressão.

No caso dos reservatórios, o balanço de oxigênio dissolvido se dá principalmente pela fotossíntese e pelo processo de oxidação da matéria orgânica, tais como da biomassa vegetal submersa e do lançamento de efluentes.

Durante a gênese de reservatórios, nutrientes como fósforo e nitrogênio podem ser liberados nas águas por meio da decomposição da vegetação submersa e dos solos lixiviados pela inundação. Como resultado da decomposição, uma queda na concentração de oxigênio

dissolvido pode ocorrer, o qual pode levar a hipoxia, ou até mesmo a anoxia no ambiente aquático. (Baxter, 1977; Junk & Mello, Matsumura-Tundisi et al, 1991; De Filippo et. al, 1999, apud Ribeiro et al., 2005)

De forma a mitigar estes impactos, é procedimento comum à instalação de quaisquer barramentos, a prévia remoção parcial da vegetação da área de inundação dos reservatórios, principalmente da vegetação de maior porte. Este procedimento foi adotado no caso dos três reservatórios em estudo. Contudo, ainda é possível a ocorrência de quedas na concentração de oxigênio dissolvido e aporte de nutrientes nos primeiros meses após o enchimento dos reservatórios, em decorrência da decomposição da biomassa vegetal restante.

Este fato é relevante pois, segundo Wetzel (1983, apud Castro, 2005), o resultado da distribuição de oxigênio afeta muito na solubilidade de alguns nutrientes inorgânicos. As mudanças de nutrientes, guiadas pela mudança sazonal dos meios aeróbios para anaeróbios nos lagos, resultam num rápido crescimento de alguns organismos adaptados a esta alteração. No entanto, se longos períodos de mudanças na regulação de oxigênio e distribuição de nutrientes são mantidos, a produtividade do lago ou reservatório inteira pode ser radicalmente alterada.

A Figura 8.7 apresenta o gráfico do perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Ponte.

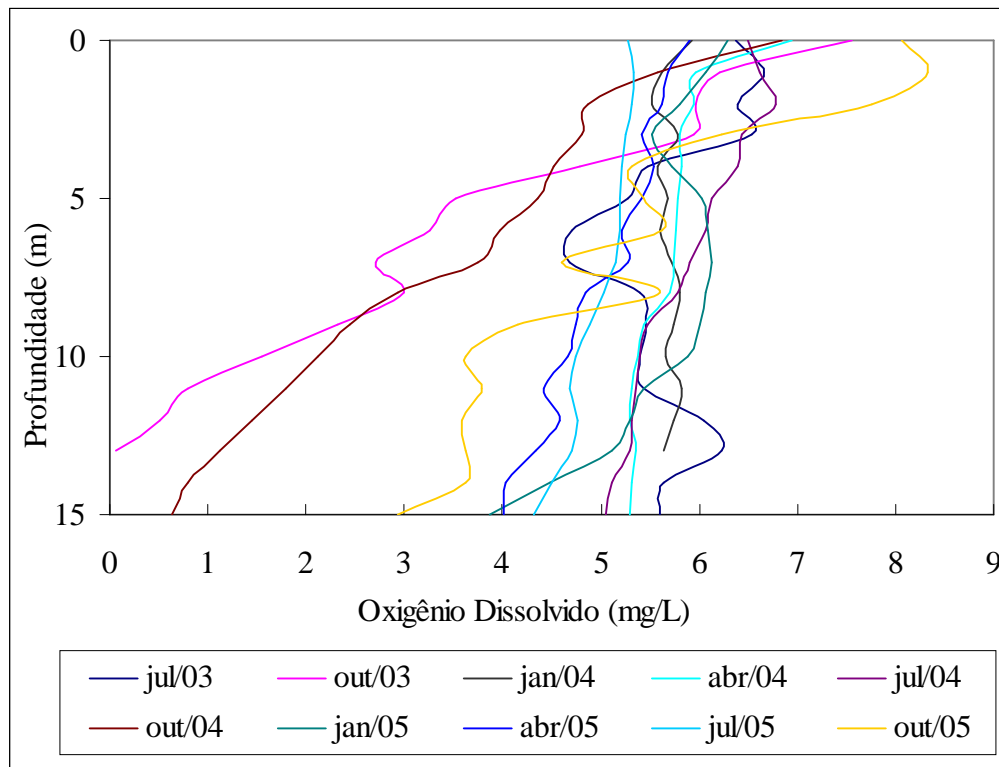


Figura 8.7 - Perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Ponte

Avaliando a Figura 8.7, pode-se observar que:

- Dentre os parâmetros avaliados segundo o perfil vertical (condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido e temperatura da água), o oxigênio dissolvido foi aquele que apresentou condições características de estratificação na maioria das campanhas. Contudo, esta “estratificação” não está relacionada à formação de camadas distintas, mas sim ao decaimento da concentração de oxigênio dissolvido;
- As maiores condições de “estratificação” ocorreram nas campanhas dos meses de outubro de 2003, 2004 e 2005;
- Em todas as campanhas, constatou-se que há uma tendência de diminuição de oxigênio dissolvido ao longo da profundidade. Esta situação era esperada, uma vez que as contribuições de oxigênio em reservatórios ocorrem principalmente com as trocas gasosas com a atmosfera e a produção de oxigênio pelo fitoplâncton durante o processo de fotossíntese, que ocorrem na superfície. Na medida em que a profundidade aumenta, a concentração de oxigênio diminui uma vez que o consumo do mesmo pela decomposição da matéria orgânica no fundo é maior do que a capacidade de reposição da superfície;
- von Sperling et al (2004), observaram este comportamento estudando o caso do lago de Águas Claras (MG);

- Durante as campanhas de julho/2004 e outubro/2005, os valores mais altos de oxigênio dissolvido foram encontrados não exatamente na superfície, mas um pouco abaixo desta, na região onde freqüentemente ocorre o maior acúmulo de algas. Este fenômeno, conhecido como máximas metalimnéticas, é comum em ambientes lânticos (von Sperling, 1994).
- Durante a campanha de outubro/2003, o oxigênio dissolvido apresentou valores aproximadamente nulos a partir dos 13 metros de profundidade. A campanha de outubro/2004 também apresentou valor baixo, igual a 0,63 mg/L, na profundidade de 15 metros, e possivelmente ocorrem valores ainda menores abaixo desta profundidade. Nestas duas campanhas, portanto, a PCH Ponte apresentou condições de anaerobiose ou anoxia (pouca presença ou ausência de oxigênio) no fundo do seu reservatório. A ausência de oxigênio no fundo de lagos e reservatórios, que pode ser provocada por fatores morfológicos (elevadas profundidades relativas), ocasiona a prevalência de condições impróprias à sobrevivência de organismos aeróbios, dentre eles, peixes, moluscos e crustáceos. Além da diminuição da diversidade biológica, a anaerobiose provoca a formação de compostos químicos em sua forma reduzida (i. e., não oxidada) os quais, ao eventualmente atingir a superfície, irão provocar a emissão de mau cheiro. Também os metais pesados contidos no sedimento podem se solubilizar, em decorrência dos baixos valores de pH, afetando negativamente a cadeia alimentar. Um outro problema refere-se à ressobilização de nutrientes, principalmente do fósforo, que se tornará disponível para assimilação pelas plantas aquáticas, podendo assim acarretar o estabelecimento do indesejável fenômeno da eutrofização (von Sperling, 1999a).
- O reservatório da PCH Ponte foi o que apresentou os menores valores de oxigênio dissolvido em profundidade, quando comparado aos das PCH's Palestina e Triunfo. Duas possíveis explicações para este resultado são: maior aporte de matéria orgânica ou por ser mais antigo que os demais reservatórios, ou seja, por ter esgotado seu estoque de oxigênio dissolvido (capacidade de assimilação de impactos poluidores em função do seu volume) mais rapidamente.

A Tabela 8.15 apresenta a amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Ponte em cada campanha.

Tabela 8.15 - Amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Ponte em cada campanha

Ano	2003		2004				2005			
Mês	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	1,98	7,49	0,40	1,66	1,74	6,21	2,42	1,89	1,01	5,39

Os dados da Tabela 8.15 indicam que, nos meses de janeiro, abril e julho de 2004, e julho/2005, o perfil de oxigênio dissolvido apresentou menor variação de concentração ao longo da profundidade. Esta tendência à homogeneidade pode indicar uma possível circulação e conseqüente mistura da massa d'água durante estas campanhas. von Sperling et al (2004), ao estudarem o lago de Águas Claras, afirmam que as menores diferenças de concentração entre superfície e fundo ocorrem obviamente em períodos de circulação da massa líquida. Nesta ocasião, o perfil do oxigênio dissolvido assume o aspecto ortogrado, ou seja, constitui-se em uma reta desde a superfície até o fundo. Na fase de estratificação, o perfil torna-se clinogrado, isto é, assume a conformação de uma curva.

8.2.2. Avaliação da ocorrência da estratificação do reservatório da PCH Palestina

8.2.2.1 Avaliação do perfil de temperatura da PCH Palestina

A Figura 8.8 apresenta o gráfico do perfil térmico do reservatório da PCH Palestina em todas as campanhas de monitoramento da água desde sua formação (campanhas n.º 10 a 18).

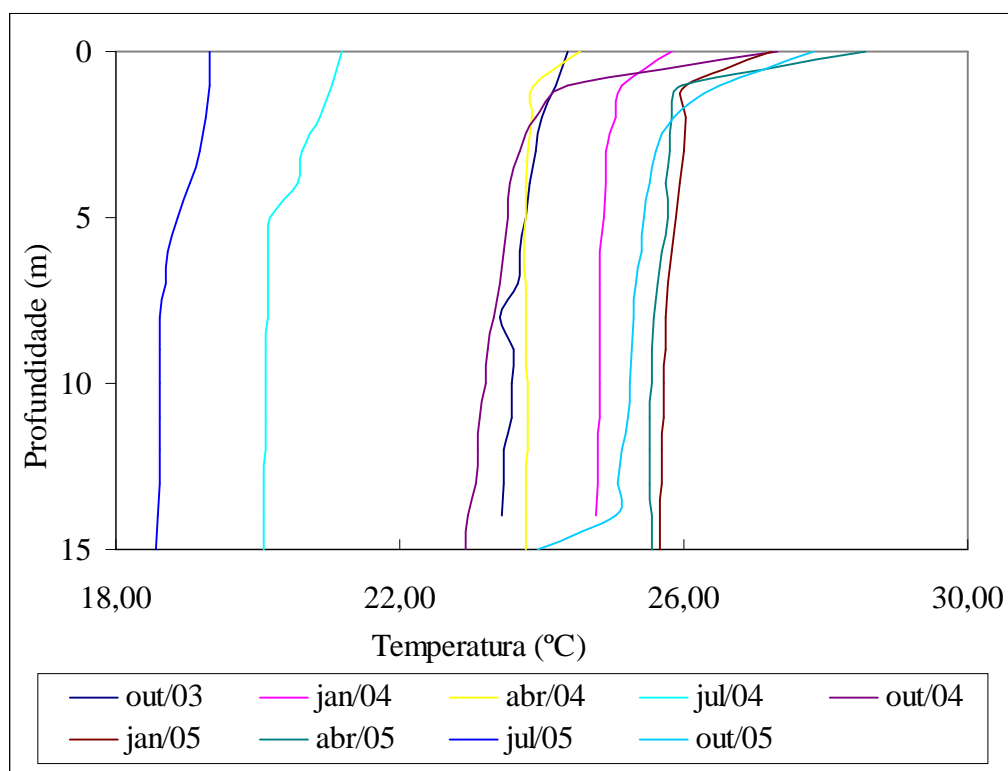


Figura 8.8 - Perfil térmico parcial do reservatório da PCH Palestina

A análise da Figura 8.8 indica a ocorrência de estratificação térmica do reservatório da PCH Palestina durante algumas campanhas, da seguinte forma:

- Apenas três campanhas apresentaram um perfil térmico ortogrado, ou seja, com temperatura aproximadamente constante e susceptível à ocorrência de mistura da massa d'água: outubro/2003, julho/2004 e julho/2005. O reservatório da PCH Ponte também apresentou este perfil durante estas campanhas;
- As demais campanhas apresentaram um perfil térmico clinogrado, ou seja, com uma clara distinção entre o epilímnio, metalímnio e hipolímnio. A profundidade de transição entre as camadas do epilímnio e o metalímnio é aproximadamente igual a 1,0 metro;
- Foi possível visualizar a formação do hipolímnio apenas na campanha de 2005. Contudo, uma vez que a Figura 8.6 apresenta o perfil térmico parcial do reservatório da PCH Palestina, até a profundidade de 15,0 metros, é possível que a formação do hipolímnio ainda ocorra entre esta profundidade e o fundo do reservatório (entre 15 e 35 metros), para as demais campanhas.

A Tabela 8.16 apresenta um resumo dos dados de temperatura, densidade e RTR da PCH Palestina.

Tabela 8.16 - Temperaturas e densidades da água na superfície e no fundo do reservatório, amplitude térmica e Resistência Térmica Relativa da PCH Palestina

Campanha	Temperatura (°C)		Amplitude Térmica	Densidade		RTR
	Superfície	Fundo		Superfície	Fundo	
Outubro/2003	24,36	23,44	0,89	2,77	2,54	2,81
Janeiro/2004	25,82	24,77	1,03	3,13	2,90	2,89
Abril/2004	24,53	23,77	0,76	2,80	2,63	2,13
Julho/2004	21,17	20,08	1,09	2,02	1,89	1,68
Outubro/2004	27,23	22,94	4,38	3,48	2,55	11,64
Janeiro/2005	26,02	25,67	1,56	3,18	3,14	0,47
Abril/2005	28,57	25,54	3,03	3,81	3,13	8,44
Julho/2005	19,33	18,57	0,76	1,66	1,51	1,88
Outubro/2005	27,84	23,95	3,89	3,39	3,03	4,53

A partir da Tabela 8.16, pode-se concluir que:

- Embora apresente menores valores de amplitude térmica do que os da PCH Ponte, ao longo das campanhas de monitoramento, o reservatório da PCH Palestina encontrou-se estratificado com maior frequência. Os menores valores de amplitude térmica são os dos meses de outubro/2003, abril/2004 e julho/2005. Este resultado não apresenta nenhuma

relação da amplitude térmica com a influência da sazonalidade (maiores valores de amplitude térmica no verão e o inverso acontecendo durante o inverno).

- Os meses mais frios (julho de 2004 e 2005), embora apresentem valores semelhantes de amplitude térmica e resistência térmica relativa às outras campanhas de monitoramento, foram aqueles que apresentaram um perfil térmico mais próximo do ortogrado. Isso implica na importância da temperatura superficial da água na definição das camadas de estratificação da água.
- Os meses de outubro/2004 e abril/2005 apresentaram altos valores de resistência térmica relativa, o que indica alta estabilidade do reservatório da PCH Palestina nestas campanhas, ou seja, maiores dificuldades em ocorrer o processo de mistura da massa d'água. Este prognóstico condiz com os resultados encontrados – perfil clinogrado durante estas campanhas.

Em relação ao prognóstico dos parâmetros morfométricos, o reservatório da PCH Palestina estaria menos susceptível ao processo de estratificação quando comparado aos demais reservatórios, por apresentar o menor volume entre estes. Contudo, este prognóstico não foi confirmado para a maioria das campanhas.

8.2.2.2. Avaliação do perfil de pH da PCH Palestina

A Figura 8.9 apresenta o gráfico do perfil parcial de pH do reservatório da PCH Palestina.

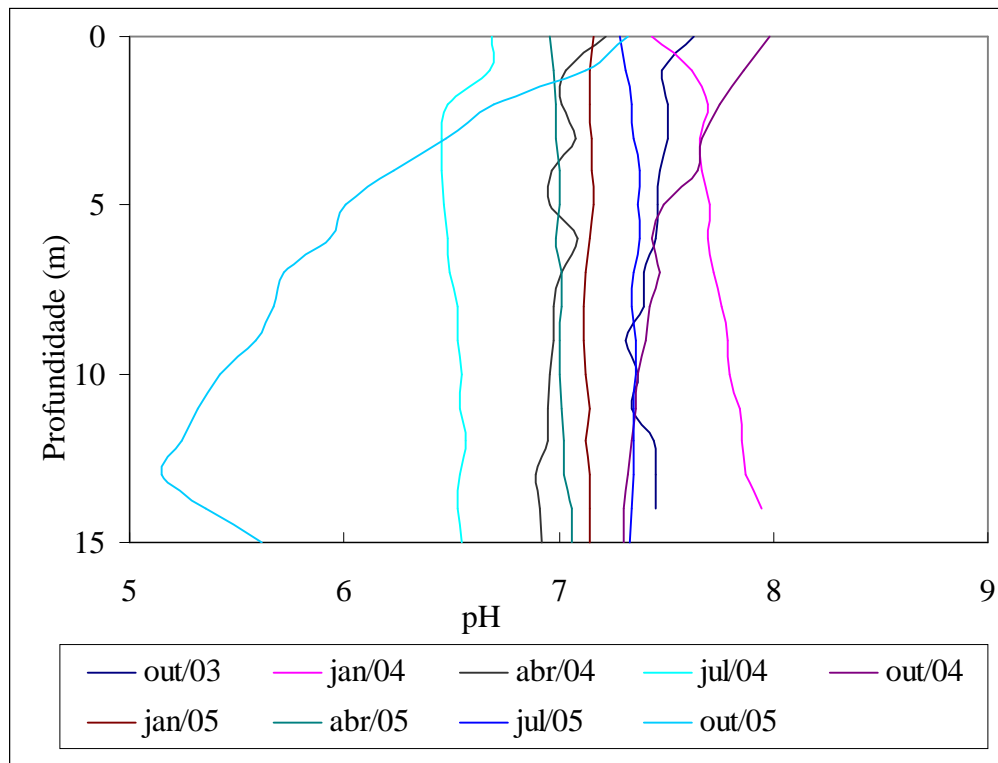


Figura 8.9 - Perfil parcial de pH do reservatório da PCH Palestina

A Figura 8.9 indica a seguinte situação dos perfis verticais de pH do reservatório da PCH Palestina:

- O mês de outubro/2005 apresentou um comportamento anômalo, com uma forte variação de pH ao longo da profundidade do reservatório da PCH Palestina, sem uma clara definição da possível formação de diferentes “estratos”. A mesma situação ocorreu no reservatório da PCH Ponte;
- Diferentemente das demais campanhas, no mês de janeiro/2004, o pH apresentou uma elevação da superfície aos primeiros metros de profundidade, sem nenhuma razão aparente;
- Apenas na campanha do mês de julho/2004 houve uma clara definição de perfil clinogrado, com distinção entre epilímnio, metalímnio e hipolímnio;
- As demais campanhas apresentaram perfis verticais aproximadamente constantes ou com pequenas variações ao longo da profundidade, aproximando-se de um perfil do tipo ortogrado. Este resultado é similar ao da PCH Ponte.

A Tabela 8.17 apresenta a amplitude entre os maiores e menores valores de pH para cada campanha.

Tabela 8.17 - Amplitude dos valores de pH da PCH Palestina em cada campanha

Ano	2003		2004			2005			
Mês	Out	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	0,32	0,52	0,33	0,24	0,68	0,04	0,10	0,10	2,17

Os resultados da amplitude de pH do reservatório da PCH Palestina são muito similares aos da PCH Ponte: o pH apresentou baixas amplitudes entre a superfície e o meio do reservatório, com exceção da campanha de outubro de 2005, cuja amplitude foi de 2,17. Dessa forma, esta campanha apresentou maiores variações de pH ao longo da profundidade, indicando uma tendência à estratificação nesta época.

8.2.2.3. Avaliação do perfil de condutividade elétrica da PCH Palestina

A Figura 8.10 apresenta o gráfico do perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Palestina.

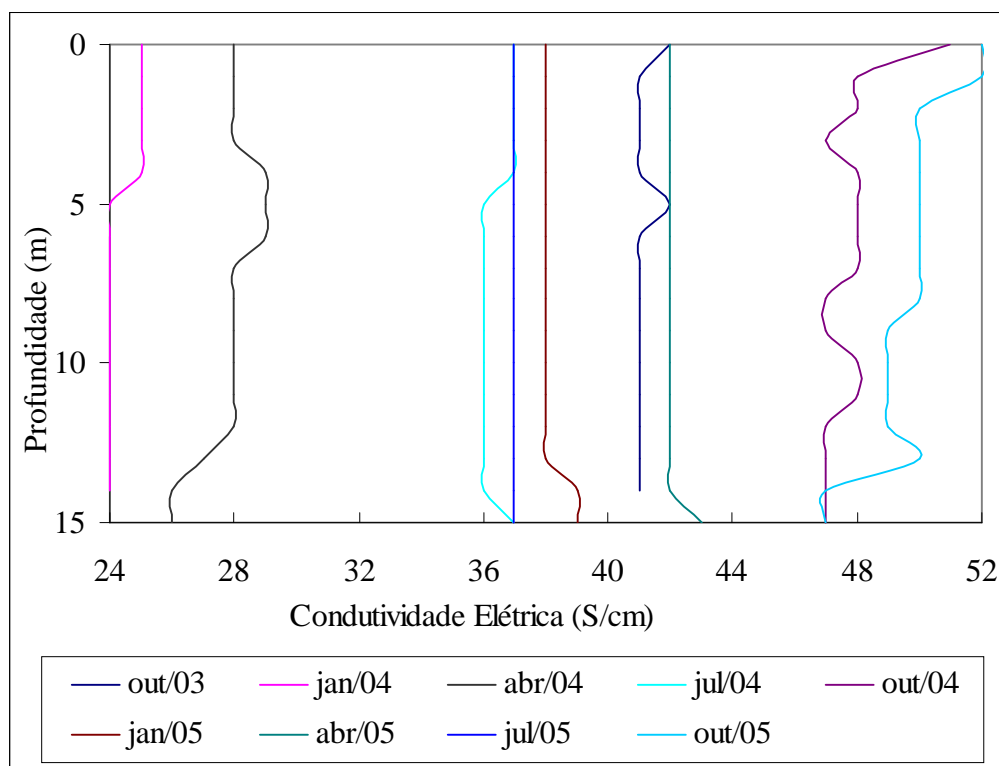


Figura 8.10 - Perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Palestina

A Figura 8.10 indica que a maioria das campanhas apresentou perfis aproximadamente constantes ou com pequenas variações ao longo da profundidade, aproximando-se de um perfil do tipo ortogrado, com exceção das campanhas de outubro de 2004 e de outubro de 2005, que apresentaram uma queda de condutividade logo nos primeiros metros de profundidade.

A Tabela 8.18 apresenta a amplitude dos valores de condutividade térmica da PCH Palestina em cada campanha.

Tabela 8.18 - Amplitude dos valores de condutividade elétrica da PCH Palestina em cada campanha

Ano	2003		2004			2005			
Mês	Out	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	1	1	3	1	4	1	1	0	5

Avaliando a Tabela 8.18, pode-se concluir que:

- O reservatório da PCH Palestina apresentou resultados de amplitude de condutividade elétrica bastante inferiores ao da PCH Ponte;
- As campanhas dos meses de outubro de 2004 e 2005 apresentaram os perfis com as maiores amplitudes, o que condiz com seu perfil clinogrado.

8.2.2.4. Avaliação do perfil de oxigênio dissolvido da PCH Palestina

A Figura 8.11 apresenta o gráfico do perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Palestina.

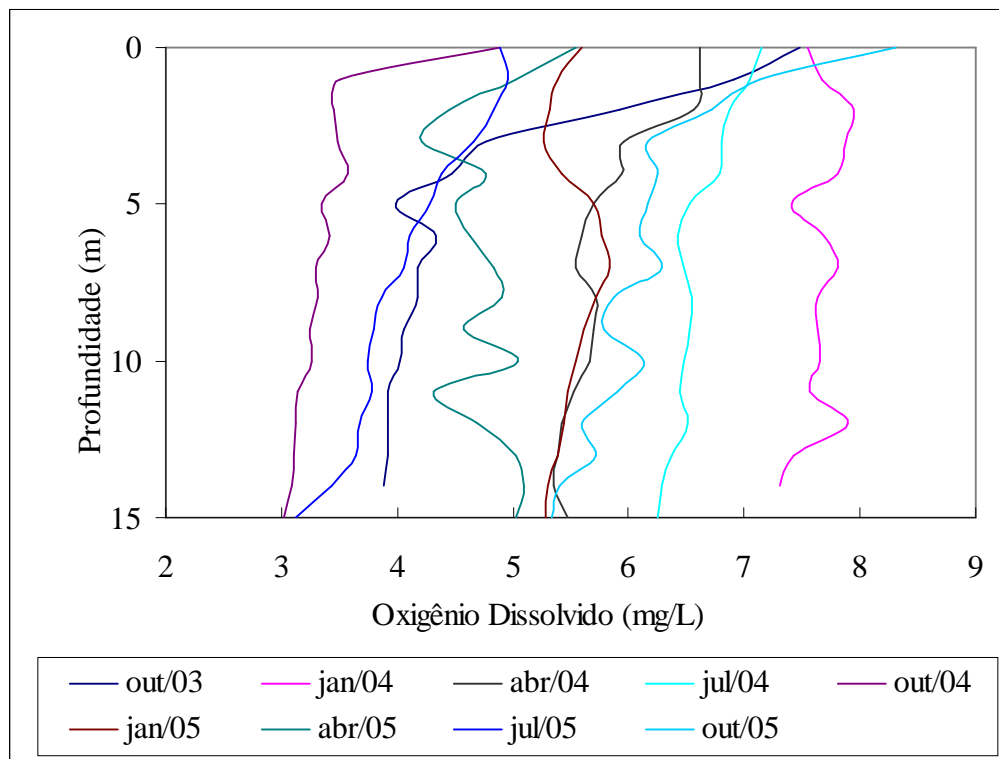


Figura 8.11 - Perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Palestina

O gráfico da Figura 8.11 indica que:

- As campanhas de janeiro/2004, abril/2005 e outubro/2005 apresentam uma variação inesperada, alternando valores crescentes e decrescentes ao longo da profundidade do

reservatório da PCH Palestina. Uma possível explicação para este fato é a ocorrência de mistura da coluna d'água durante estas campanhas;

- Nas demais campanhas, prevalece a tendência de diminuição de oxigênio dissolvido ao longo da profundidade, conforme esperado;
- Máximas metalimnéticas ocorreram durante as campanhas de janeiro/2004 e julho/2005, indicando grande atividade fitoplanctônica;
- Não foi verificada a ocorrência de anoxia no fundo do reservatório da PCH Palestina em nenhuma das campanhas. Contudo, as campanhas de outubro/2004 e julho/2005 apresentaram concentrações de oxigênio dissolvido iguais a 3,0 mg/L na profundidade de 15,0 m. Valores inferiores a este podem ocorrer em maiores profundidades, ameaçando, portanto, a biota aquática.

Em relação aos parâmetros morfométricos, mesmo apresentando o menor volume, o reservatório da PCH Palestina apresentou o maior valor de profundidade relativa e o menor valor de desenvolvimento do volume, o que indica que ele seria o reservatório com maior dificuldade de circular suas águas, apresentando, assim, tendência à formação de uma zona anaeróbia em seu fundo. Contudo, este prognóstico não pôde ser constatado ao se avaliar a Figura 8.9.

A Tabela 8.19 apresenta a amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Palestina em cada campanha.

Tabela 8.19 - Amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Palestina em cada campanha

Ano	2003			2004			2005		
Mês	Out	Jan	Abr	Jul	Out	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	3,60	0,64	1,27	0,90	1,86	0,57	1,32	1,84	2,97

A Tabela 8.19 indica que as maiores amplitudes de oxigênio dissolvido ao longo da PCH Palestina ocorreram durante as campanhas do mês de outubro, para todos os anos. Este resultado indica um maior potencial de estratificação durante esta época, sem a ocorrência de misturas da coluna d'água. As campanhas com menores amplitudes, por sua vez, ocorreram durante as campanhas de janeiro, mês caracterizado por alta ocorrência de chuvas, o que indica uma possível influência do aporte de águas bem oxigenadas ao reservatório da PCH Palestina.

8.2.3. Avaliação da ocorrência da estratificação do reservatório da PCH Triunfo

8.2.3.1. Avaliação do perfil de temperatura da PCH Triunfo

A Figura 8.12 apresenta o gráfico do perfil térmico do reservatório da PCH Triunfo em todas as campanhas de monitoramento da água desde sua formação (campanhas n.º 15 a 18). Por ser o reservatório cuja formação foi a mais recente, a PCH Triunfo apresentou a menor série histórica de dados (apenas quatro campanhas). Dessa forma, as conclusões apresentadas a seguir devem ser observadas neste contexto, sendo portanto menos confiáveis.

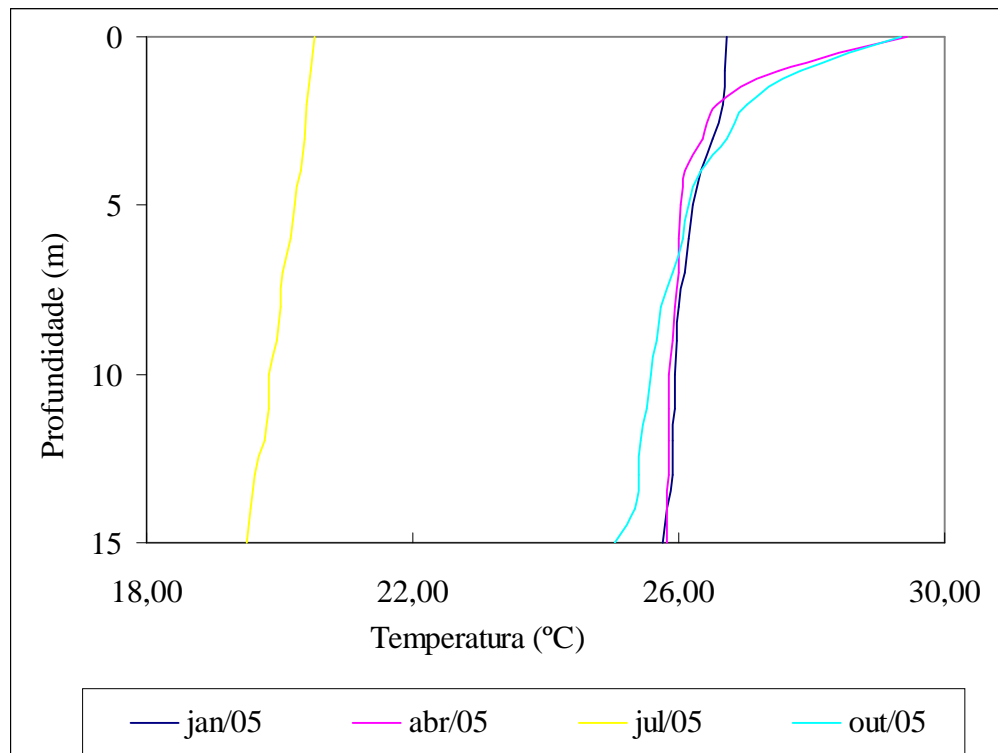


Figura 8.12 - Perfil térmico parcial do reservatório da PCH Triunfo

Analisando a Figura 8.12, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- O reservatório da PCH Triunfo encontrou-se estratificado durante as campanhas dos meses de abril e outubro de 2005 (meses mais quentes). Cabe ressaltar que não é possível identificar a camada do hipolímnio, contudo, é possível que esta camada esteja presente em profundidades mais elevadas, abaixo dos 15 metros;
- O reservatório da PCH Triunfo apresentou um perfil térmico aproximadamente ortogrado nos meses de janeiro e julho de 2005 (meses mais frios), estando mais susceptíveis ao processo de circulação e mistura nestes períodos.

A Tabela 8.20 apresenta um resumo dos dados de temperatura, densidade e Resistência Térmica Relativa (RTR) da PCH Triunfo.

Tabela 8.20 - Temperaturas e densidades da água na superfície e no fundo do reservatório, amplitude térmica e Resistência Térmica Relativa da PCH Triunfo

Campanha	Temperatura (°C)		Amplitude Térmica	Densidade		RTR
	Superfície	Fundo		Superfície	Fundo	
Janeiro/2005	26,72	25,76	0,96	3,36	3,22	1,72
Abril/2005	29,42	25,83	3,61	4,03	3,21	10,31
Julho/2005	20,53	19,50	1,03	1,88	1,80	0,97
Outubro/2005	29,35	25,04	4,31	4,02	3,19	10,31

Avaliando a Tabela 8.20, pode-se concluir que os valores de amplitude térmica e Resistência Térmica Relativa estão de acordo com a avaliação do gráfico de perfil térmico parcial da PCH Triunfo: os menores valores estão associados às campanhas de janeiro e julho de 2005, que apresentaram perfil ortogrado e menor dificuldade de ocorrer mistura da massa d'água. O inverso estaria ocorrendo com as campanhas de abril e outubro de 2005, que apresentaram perfil clinogrado.

Em relação à avaliação dos parâmetros morfométricos, o reservatório da PCH Triunfo é aquele que apresenta os maiores valores de volume, profundidades máxima e média e desenvolvimento do volume. Tais condições indicam maior susceptibilidade à estratificação e um menor processo de difusão vertical dos parâmetros do que em relação aos demais reservatórios. Há, porém, menores dificuldades em ocorrer uma circulação completa do reservatório.

8.2.3.2. Avaliação do perfil de pH da PCH Triunfo

A Figura 8.13 apresenta o gráfico do perfil parcial de pH do reservatório da PCH Triunfo.

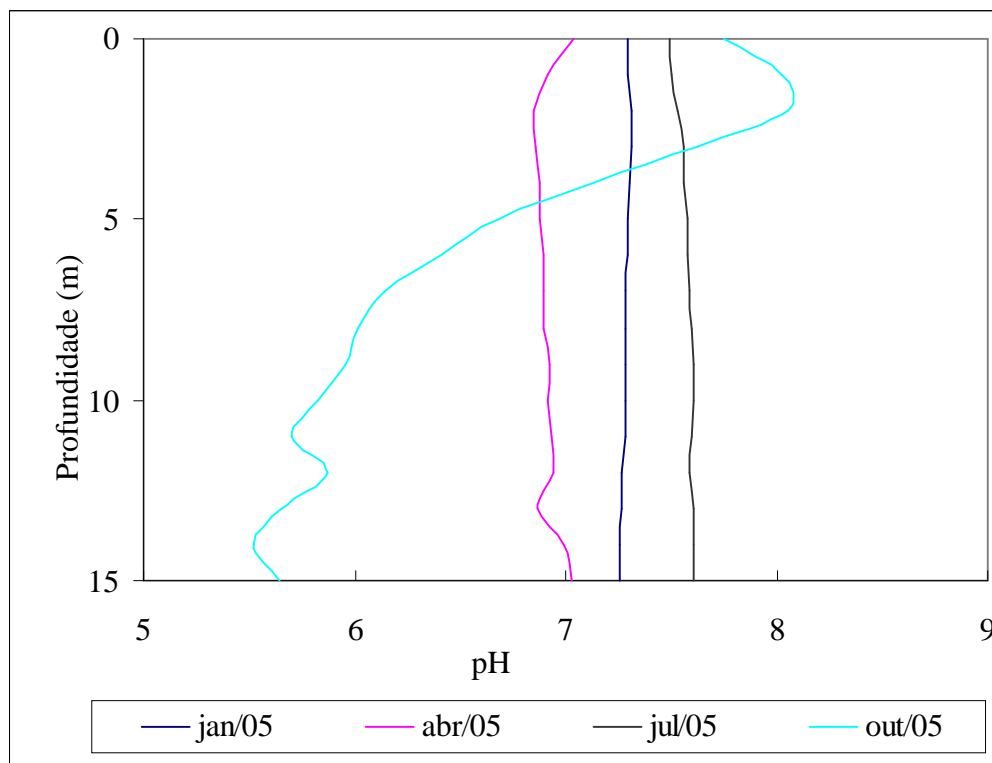


Figura 8.13 - Perfil parcial de pH do reservatório da PCH Triunfo

A Figura 8.13 indica uma baixa alteração do pH ao longo da profundidade do reservatório da PCH Triunfo durante todas as campanhas, com exceção da campanha de outubro/2005, que apresentou um comportamento anômalo sem nenhum padrão aparente. Cabe ressaltar que, durante este mês, outros parâmetros também apresentaram comportamentos não previstos, inclusive para os demais reservatórios em estudo.

A Tabela 8.21 apresenta a amplitude entre os maiores e menores valores de pH para cada campanha.

Tabela 8.21 - Amplitude dos valores de pH da PCH Triunfo em cada campanha

Ano	2005			
Mês	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	0,05	0,19	0,12	2,53

Os dados de amplitude de pH corroboram a avaliação da Figura 8.11. Os meses de janeiro, abril e julho de 2005 apresentaram baixos valores de amplitude, o que indica um valor de pH aproximadamente constante ao longo da profundidade do reservatório da PCH Triunfo. O mês de outubro/2005, por sua vez, apresentou uma amplitude de 13 a 50 vezes superior aos das demais campanhas.

8.2.3.3. Avaliação do perfil de condutividade elétrica da PCH Triunfo

A Figura 8.14 apresenta o gráfico do perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Triunfo.

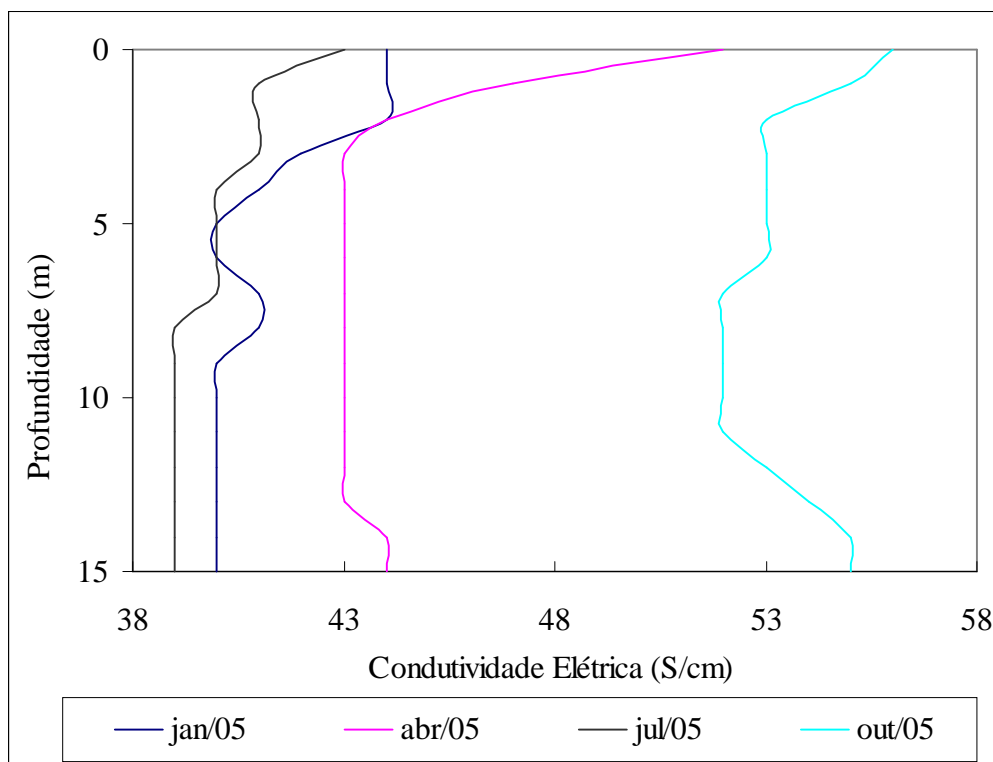


Figura 8.14 - Perfil parcial de condutividade elétrica do reservatório da PCH Triunfo

A Figura 8.14 demonstra que a condutividade elétrica apresentou variabilidades distintas em cada campanha. Em geral, ocorre uma queda na condutividade elétrica nos primeiros metros de profundidade, com alguns trechos de estabilidade. Em algumas campanhas, como em abril e outubro/2005, pode-se observar uma tendência a um aumento da condutividade elétrica.

A Tabela 8.22 apresenta a amplitude dos valores de condutividade elétrica da PCH Triunfo em cada campanha.

Tabela 8.22 - Amplitude dos valores de condutividade elétrica da PCH Triunfo em cada campanha

Ano	2005			
	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	4	9	4	4

Embora os valores máximo e mínimo de cada campanha sejam diferentes entre si, a faixa de variação (amplitude) da condutividade elétrica foi igual em quase todas as campanhas – igual a 4,0 $\mu\text{S/cm}$ – com exceção da campanha de abril/2005, que é de 9,0 $\mu\text{S/cm}$. A amplitude da

condutividade elétrica da PCH Triunfo foi menor do que a da PCH Ponte, porém maior do que a da PCH Palestina, para as mesmas campanhas avaliadas.

8.2.3.4. Avaliação do perfil de oxigênio dissolvido da PCH Triunfo

A Figura 8.15 apresenta o gráfico do perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Triunfo.

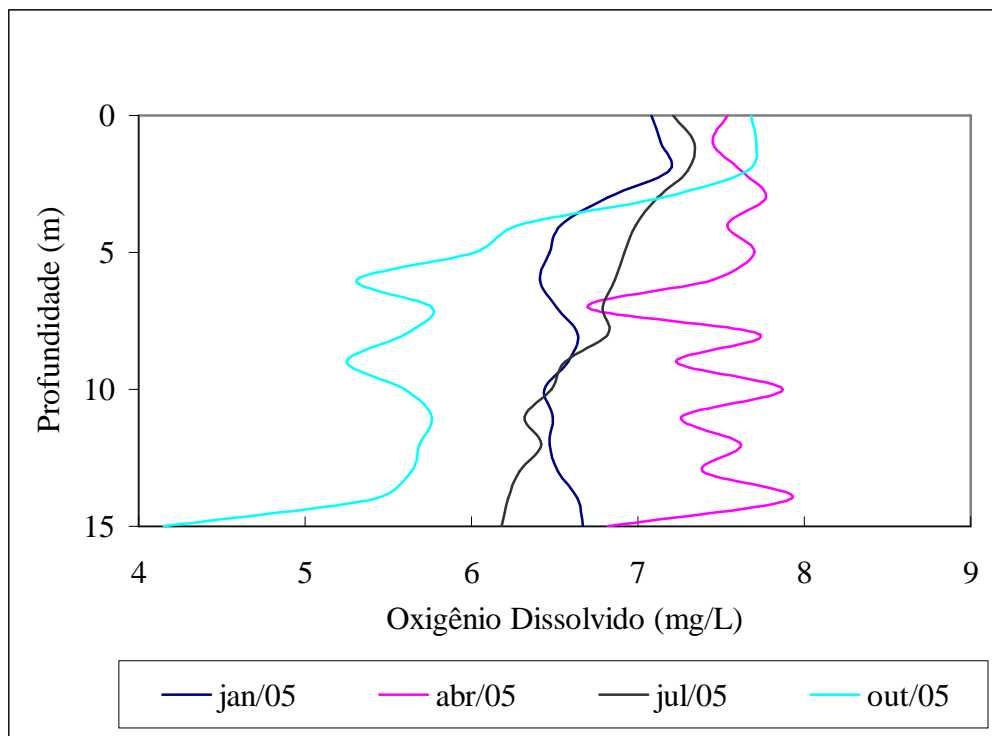


Figura 8.15 - Perfil parcial de oxigênio dissolvido do reservatório da PCH Triunfo

O gráfico da Figura 8.15 indica que:

- As concentrações de oxigênio dissolvido nas campanhas de janeiro/2005 e abril/2005 apresentaram-se bastante irregulares, alternando valores crescentes e decrescentes ao longo da profundidade do reservatório da PCH Triunfo. Uma possível explicação para este fato é a contribuição de águas mais bem oxigenadas oriunda de outros afluentes, como o rio Paraopeba, durante estas campanhas;
- Nas demais campanhas, prevalece a tendência de diminuição de oxigênio dissolvido ao longo da profundidade, conforme esperado;
- Máximas metalimnéticas ocorreram durante todas as campanhas, exceto em outubro/2005, indicando a ocorrência de grande atividade fitoplanctônica neste período;

- Não foi verificada a ocorrência de anoxia no fundo do reservatório da PCH Triunfo em nenhuma das campanhas. Contudo, a campanha de outubro/2005 apresentou uma queda acentuada de concentração de oxigênio dissolvido, que passou de 7,71 mg/L, na profundidade de 1,0 m, para 4,15 mg/L na profundidade de 15,0 m. Segundo a Figura 8.13, esta tendência decrescente seria potencializada ao longo das camadas mais profundas, podendo atingir condições de anaerobiose ou anoxia no fundo do reservatório da PCH Triunfo.

Em relação aos parâmetros morfométricos, o reservatório da PCH Triunfo, por apresentar o maior volume dentre os três reservatórios em estudo, também é aquele com maior potencial ao processo de estratificação. Contudo, avaliando seus resultados de profundidade relativa e desenvolvimento de volume, este também é o reservatório com menores dificuldades para a circulação completa da coluna d'água, quando comparado aos demais.

A Tabela 8.23 apresenta a amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Triunfo em cada campanha.

Tabela 8.23 - Amplitude dos valores de oxigênio dissolvido da PCH Triunfo em cada campanha

Ano	2005			
Mês	Jan	Abr	Jul	Out
Amplitude	0,76	1,22	1,16	3,56

Assim como para outros parâmetros e nos demais reservatórios, a campanha de outubro/2005 apresentou maiores variações de oxigênio dissolvido. Concluiu-se, portanto, que durante esta campanha os reservatórios sofreram a influência de algum fator externo como, por exemplo, alguma fonte de poluição não identificada.

8.3. Avaliação da transparência e profundidade da zona fótica dos reservatórios

A transparência de uma água é determinada pela sua cor e turbidez como consequência da presença de substâncias coloridas orgânicas e de minerais em suspensão. É medida in loco, através de um disco de porcelana que se mergulha na água, chamado disco de Secchi (Marques, 1993).

Os corpos hídricos com altas profundidades relativas apresentam uma tendência a exibirem águas mais transparentes, já que a sua superfície geralmente não se encontra muito exposta aos efeitos do vento. A maior transparência da água implica em um crescimento da

produtividade primária, devido à facilidade de penetração da radiação solar (von Sperling, 1999a). Em águas pouco transparentes ou turvas, o disco de Secchi desaparece antes mesmo de um metro (Margalef, 1983 apud Landa e Landa, 2001).

A Tabela 8.24 apresenta os valores de transparência dos três reservatórios em estudo, medidos a partir da primeira campanha após sua formação.

Tabela 8.24 – Transparência nos três reservatórios em estudo

Campanha	Transparência (m)		
	Reservatório 1	Reservatório 2	Reservatório 3
09	2,40	-	-
10	1,30	1,20	-
11	0,10	0,10	-
12	0,10	0,10	-
13	1,06	0,10	-
14	1,00	1,15	-
15	0,80	1,00	1,00
16	0,40	0,25	0,45
17	1,20	1,60	2,20
18	1,37	1,70	2,10
Profundidade Relativa (m)			
	2,19	4,00	3,01

Fonte: Limiar (2004a, 2004b), Visão Ambiental (2005a, 2005b)

Comparando os resultados de transparência dos três reservatórios nas mesmas campanhas em que foram monitorados (campanhas n.º 15 a 18), observa-se que, em geral, o reservatório da PCH Triunfo foi aquele que apresentou uma maior transparência e, assim sendo, um maior potencial de proliferação de microorganismos fitoplanctônicos e, conseqüentemente, da produtividade primária. Em seqüência, vêm o reservatório da PCH Palestina seguido pelo da PCH Ponte. Esta classificação não condiz com aquela esperada pela magnitude dos resultados de profundidade relativa dos três reservatórios.

Espera-se que os resultados de transparência sejam inversamente proporcionais aos de turbidez, pois este parâmetro representa justamente o grau de interferência da passagem da luz através da água, conforme explicado anteriormente. Neste caso, durante a campanha de janeiro/2004 (campanha n.º 11), que apresentou valores extremamente elevados de turbidez em todos os pontos de coleta, foram encontrados valores muito baixos para a transparência nos três reservatórios e, conseqüentemente, para a definição da profundidade da zona fótica.

A transparência também dá uma noção da penetração da luz, permitindo se conhecer a zona fótica. A profundidade da zona de penetração de luz (zona fótica) equivale a aproximadamente três vezes a transparência (Esteves, 1998 apud von Sperling, 2004)

A Tabela 8.25 apresenta os resultados da zona fótica dos reservatórios ao longo das campanhas.

Tabela 8.25 – Profundidades das zonas fóticas dos três reservatórios em estudo

Campanha	Zona fótica (m)		
	Reservatório 1	Reservatório 2	Reservatório 3
09	6,48	-	-
10	3,51	3,24	-
11	0,27	0,27	-
12	0,27	0,27	-
13	2,86	0,27	-
14	2,70	3,10	-
15	2,20	2,70	2,70
16	1,08	0,67	1,21
17	3,24	4,32	5,94
18	3,70	4,59	5,67

Fonte: Limiar (2004a, 2004b), Visão Ambiental (2005a, 2005b)

A avaliação da zona fótica dos reservatórios é importante, pois influencia no potencial de crescimento da comunidade fitoplanctônica e, conseqüentemente, na produtividade primária, potencializando os riscos de eutrofização. Assim sendo, no presente trabalho, estes dados serão avaliados em conjunto com a densidade e riqueza da comunidade fitoplanctônica.

Conforme abordado no tópico 8.1.1.3 (Profundidade Máxima): Em lagos de baixa profundidade, a radiação solar pode atingir o fundo do corpo hídrico, o que implica em uma produtividade primária total bastante elevada em função do volume do lago. Isto significa que uma maior proporção de volume é exposta à influência dos raios solares, ocorrendo ainda um maior valor para a razão entre área do sedimento e volume. Todos estes fatores conduzem a um aumento da produtividade primária.

Comparando os dados das tabelas 8.3 e 8.25, pode-se observar que as profundidades máximas das zonas fóticas encontradas (6,48; 4,59 e 5,94 m) são equivalentes a 20%, 13% e 15% das profundidades máximas (33, 35 e 40 m) dos reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo, respectivamente. Dessa forma, justifica-se a conclusão do tópico 8.1.1.3, de que os reservatórios em estudo não apresentam uma produtividade primária elevada em relação ao seu volume.

8.4. Avaliação dos parâmetros de qualidade da água

Conforme abordado no capítulo 6 – Material e Métodos –, serão realizadas dois tipos de análises dos dados: uma com variação ao longo do tempo e outra ao longo do espaço.

Cada tópico a seguir apresenta um parâmetro de qualidade da água a ser avaliado, com uma breve descrição e sua importância, seguida da análise dos dados e discussão dos resultados obtidos, de forma a obter o objetivo principal desta dissertação. Também serão avaliados os resultados de fundo e superfície, referentes aos pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F). Cumprе ressaltar que a profundidade de coleta dos pontos de fundo situava-se entre 3,0 e 6,0 m.

Cumprе ressaltar que a qualidade das águas de cada ponto de coleta está diretamente condicionada à qualidade das águas afluentes dos demais pontos de coleta situados a montante e aos demais fatores de influência (uso e ocupação do solo, fontes de poluição, dinâmica hidráulica do corpo hídrico, etc.) dos trechos situados entre estes pontos. A avaliação dos resultados buscará, de um modo geral, distinguir estas influências.

8.4.1. Temperatura da água

A temperatura da água é a medida da intensidade de calor originada da transferência de calor por radiação, condução e convecção da atmosfera e do solo, além da contribuição de águas de resfriamento e de despejos industriais. A temperatura da água também segue as oscilações naturais do clima (variação segundo a sazonalidade) e depende do horário de exposição dos raios solares, apresentando, assim, variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical.

A temperatura é um fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água, assim como outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos. Uma elevada temperatura aumenta a taxa de reações químicas e biológicas e faz diminuir a solubilidade dos gases como, por exemplo, do oxigênio dissolvido, além de aumentar a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação daqueles com odores desagradáveis.

A temperatura também é um indicador de tendências de alterações na água. Seu valor afeta o equilíbrio de íons, bem como velocidade de desenvolvimento de processos bioquímicos na água. Nos casos em que se quer conhecer a mobilidade de substâncias insolúveis, escape de

gases para a atmosfera, sedimentação e formação de poluentes secundários, o controle da temperatura torna-se fundamental (Marques, 1993).

Os organismos aquáticos também possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferencial em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação dos ovos.

Face ao exposto, do ponto de vista da engenharia ambiental, o conhecimento da temperatura no corpo d'água é particularmente importante por três razões: (Cunha et al, 2003):

- As descargas de efluentes de diferentes temperaturas podem causar efeitos negativos no ecossistema aquático;
- A temperatura influencia as reações químicas, biológicas e físicas, e
- A variação da temperatura afeta a densidade da água e, como consequência, altera os processos de transporte.

Uma vez que não foram identificados possíveis lançamentos de efluentes industriais nas imediações próximas aos pontos de coleta da rede de monitoramento da qualidade da água, considera-se que a principal fonte de calor existente – condicionante da temperatura – seja a absorção e conversão da luz solar em calor e a troca de calor com a atmosfera. É esperado, portanto, que a implantação dos barramentos não tenha influência sobre a temperatura das águas, exceto talvez ao longo das profundidades dos reservatórios, pois, a cada 1 metro de profundidade, perde-se 10% da luz solar, além do fato da temperatura se tratar de um parâmetro físico e a criação do reservatório não mudar as propriedades da água (como seu calor específico).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.16 apresenta o gráfico das séries temporais de temperatura em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Cumpre ressaltar, ainda, que os dados de temperatura dos pontos de coleta referentes aos reservatórios em estudo (pontos de coleta PO-01, PO-02 e PO-04), utilizados na elaboração do presente gráfico, são aqueles medidos em superfície (referentes aos pontos PO-01E, PO-02E e PO-04E).

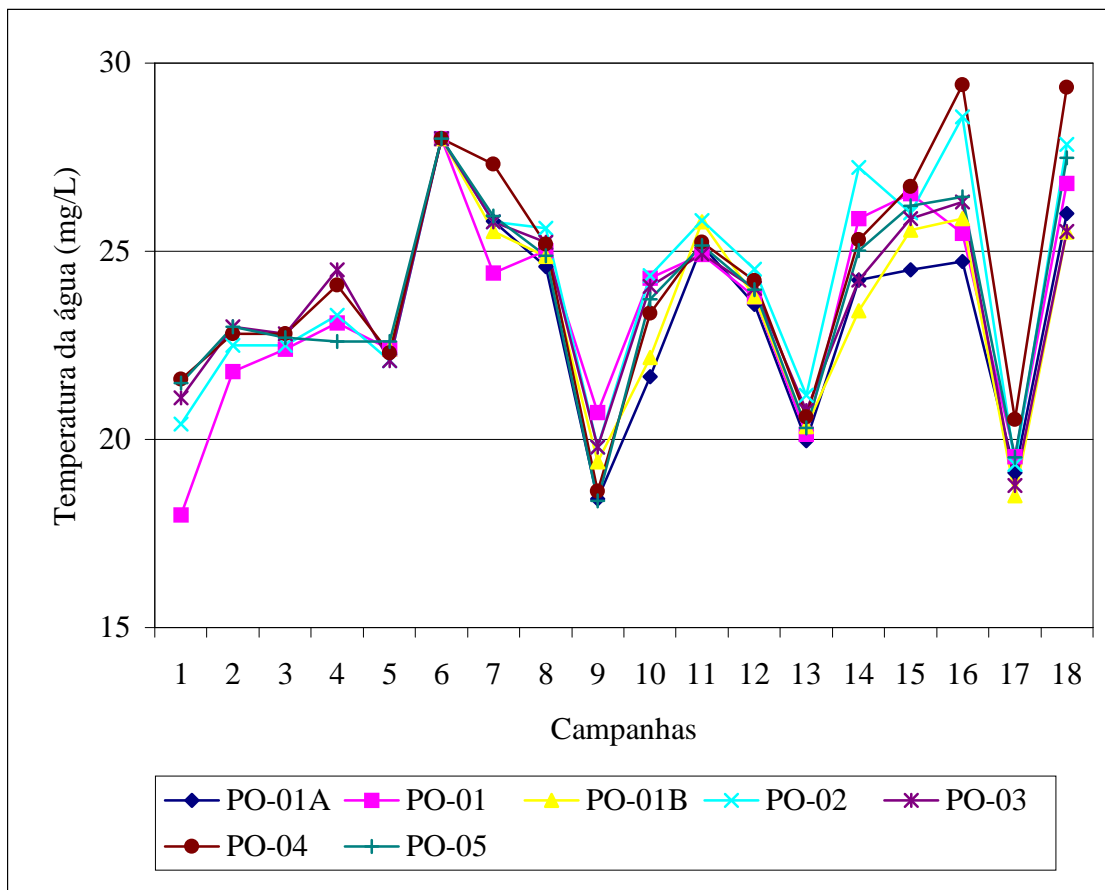


Figura 8.16 – Séries temporais de temperatura da água dos pontos de coleta

Avaliando a Figura 8.16, percebe-se que todos os pontos de coleta apresentam variação de temperatura aproximadamente igual ao longo do tempo. A variabilidade entre os pontos de coleta numa mesma campanha pode ser atribuída aos diferentes horários de coleta das amostras e, assim, às diferenças exposições da luz solar ao longo do dia. Quanto à variabilidade entre as campanhas para um mesmo ponto de coleta, esta pode ser atribuída à influência do clima ao longo das estações. Os meses mais frios correspondem, em geral, às campanhas referentes aos meses de julho (campanhas n.º 9, 13 e 17). Os meses mais quentes ocorreram nos demais meses, principalmente nos anos de 2003 e 2005, e correspondem às campanhas de outubro/2002, janeiro e abril de 2003, outubro/2004, janeiro, abril e outubro de 2005 (campanhas n.º 6, 7, 8, 14, 15, 16 e 18). O intervalo de temperatura, para todas as campanhas, situou-se na faixa entre 18 °C e 30 °C.

A Tabela 8.26 apresenta alguns dados estatísticos da temperatura da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.26 – Dados estatísticos de temperatura da água (°C) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	23,43	2,79	0,12	28,00	18,41	9,59
PO-01	23,51	2,72	0,12	28,00	18,00	10,00
PO-01B	23,65	2,77	0,12	28,00	18,51	9,49
PO-02	24,16	2,91	0,12	28,57	19,33	9,24
PO-03	23,71	2,44	0,10	28,00	18,77	9,23
PO-04	24,30	3,07	0,13	29,42	18,62	10,80
PO-05	23,75	2,69	0,11	28,00	18,37	9,63

A partir dos dados da Tabela 8.26, podem ser realizadas as seguintes considerações:

- A média global da temperatura em qualquer ponto é igual a 23,79°C. O desvio padrão médio global é de 2,77°C;
- Os coeficientes de variação são aproximadamente iguais, o que indica que a variação do desvio padrão em relação à média é aproximadamente igual em todos os pontos;
- A temperatura máxima oscilou em torno de 28°C, com exceção das campanhas de abril/2005 (campanha n.º 16), para o ponto PO-02, e abril e outubro de 2005 (campanhas n.º 16 e 18) para o ponto PO-04, durante os períodos intermediários entre chuva e seca.
- A temperatura mínima encontrada foi de 18°C, durante as campanhas n.º 01, 09 e 17, referentes ao mês de julho, nos anos de 2001, 2003 e 2005, e durante os períodos de seca.
- A amplitude térmica variou de 9,23 °C a 10,80 °C entre os pontos de coleta.

Neste sentido, concluiu-se que não é possível afirmar que a instalação dos barramentos e a consequente formação dos reservatórios tenham alguma influência sobre o parâmetro temperatura da água – exceção se faz em relação à temperatura da água ao longo do perfil vertical dos reservatórios, que foi objeto de avaliação no item referente à estratificação de cada reservatório.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.17 a 8.23 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro temperatura da água.

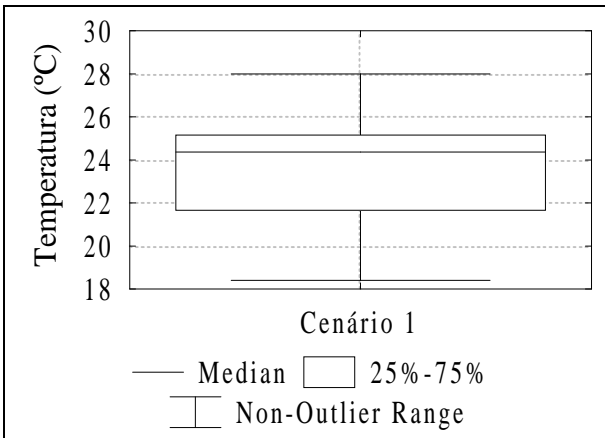


Figura 8.17 - Temperatura no ponto PO-01A

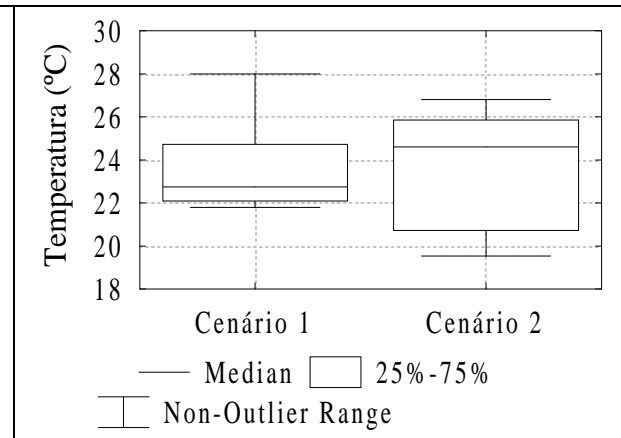


Figura 8.18 - Temperatura no Ponto PO-01

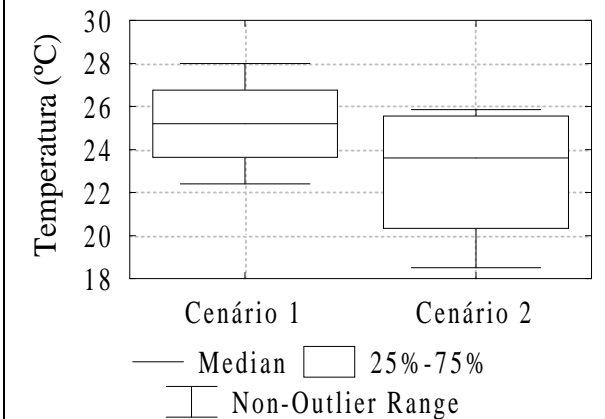


Figura 8.19 - Temperatura no Ponto PO-01B

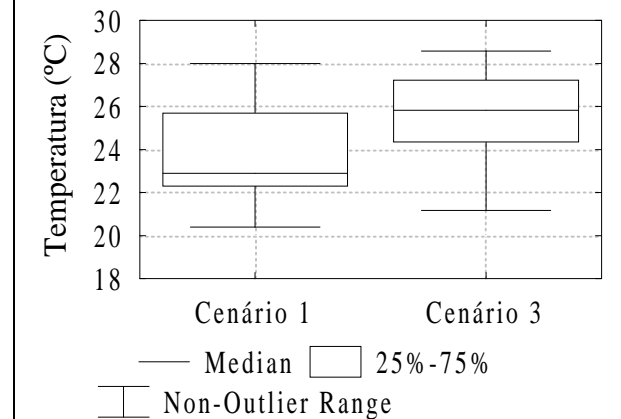


Figura 8.20 - Temperatura no Ponto PO-02

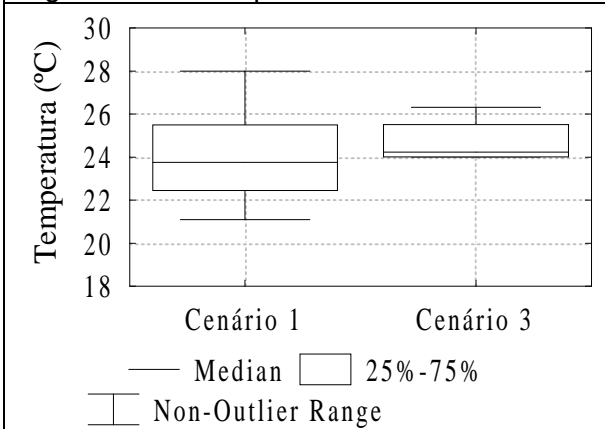


Figura 8.21 - Temperatura no Ponto PO-03

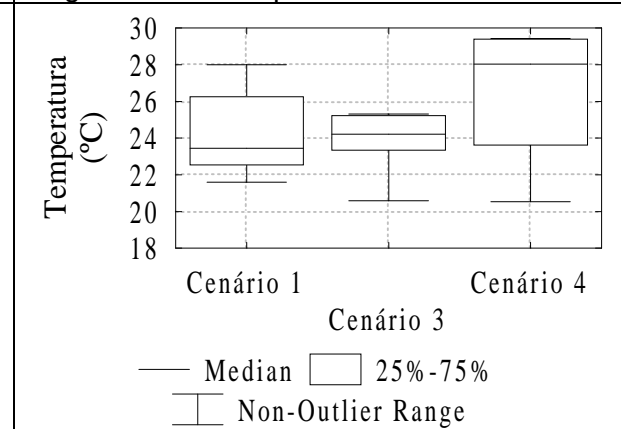


Figura 8.22 - Temperatura no Ponto PO-04

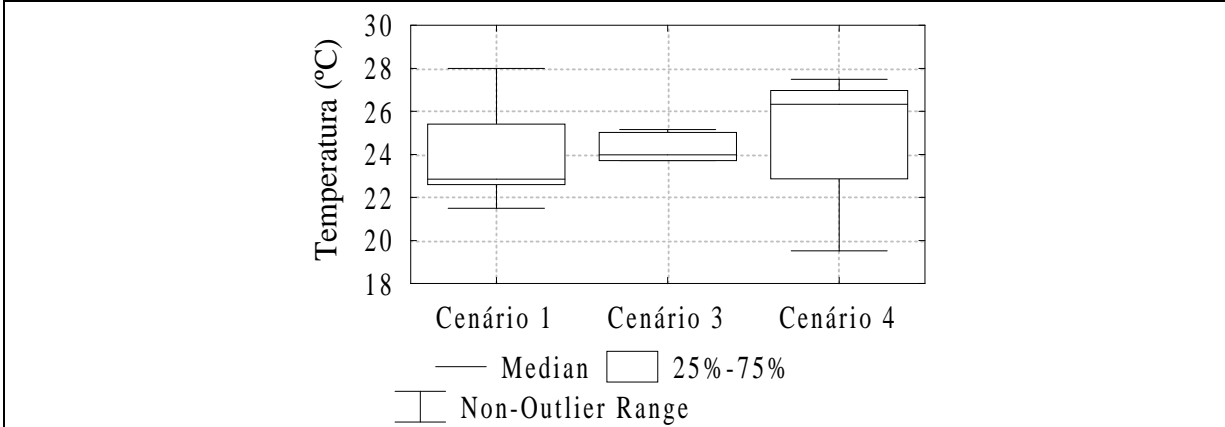


Figura 8.23 - Temperatura no Ponto PO-05

Analisando as figuras 8.17 a 8.23, não foi observado nenhum padrão que indicasse uma possível tendência da influência da instalação dos barramentos sobre a temperatura da água. Os pontos susceptíveis à influência dos barramentos (pontos PO-02 a PO-05) variaram dentro do mesmo intervalo (de 18°C a 30°C) que o ponto de controle (ponto PO-01), que não sofre influência dos mesmos. O Cenário 2 apresentou maior variabilidade do que o Cenário 1 nos pontos PO-01 e PO-01B. Contudo, isto pode ter sido resultado do maior número de amostras do Cenário 2 (10 amostras) em relação ao Cenário 1 (8 amostras) para estes pontos.

Os valores da mediana dos Cenários 1, 3 e 4 apresentaram uma tendência crescente entre si nos demais pontos (PO-02 a PO-05). A variabilidade dos valores do Cenário 3, representadas pelo intervalo entre o primeiro e o terceiro quartis, foi menor do que no Cenário 1. Contudo, ocorreu o inverso em relação ao Cenário 4, que apresentou uma variabilidade maior do que os Cenários 1 e 3. Dessa forma, não se pode concluir acerca de uma possível influência da instalação dos barramentos sobre a variabilidade da temperatura, pois o cenário com a instalação de dois (Cenário 3) e três (Cenário 4) barramentos apresentaram tendências inversas.

O estudo dos perfis verticais da coluna d'água dos três reservatórios em estudo foi apresentado junto com a avaliação da influência da estratificação dos reservatórios sobre a qualidade das águas, no tópico 8.2 deste capítulo.

As figuras 8.24 a 8.26, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

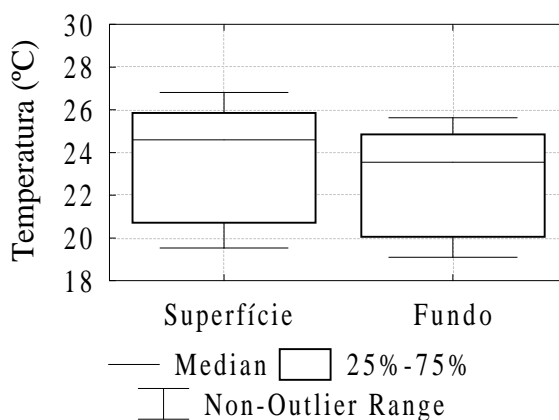


Figura 8.24 – Dados estatísticos de temperatura das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

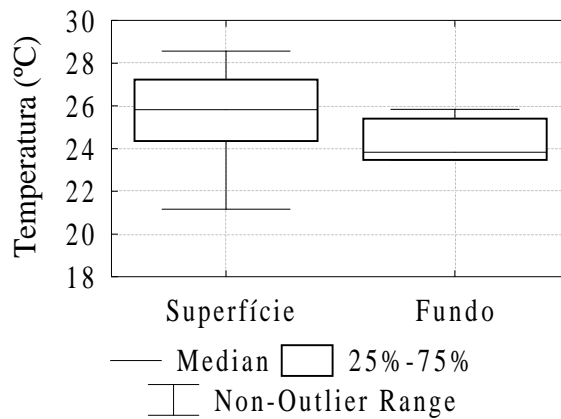


Figura 8.25 – Dados estatísticos de temperatura das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

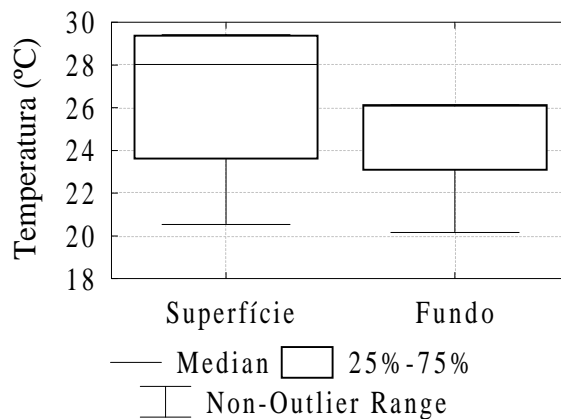


Figura 8.26 – Dados estatísticos de temperatura das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.24 a 8.26 indicam uma tendência decrescente de temperatura ao longo da profundidade nos reservatórios, conclusão esta corroborada pelas figuras 8.4, 8.8 e 8.12 – Gráficos dos perfis térmicos parciais dos reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo. Estes resultados podem influenciar a distribuição vertical dos parâmetros físico-químicos e, principalmente, a biota aquática.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro temperatura da água. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, de acordo com o estabelecido pela legislação ambiental pertinente.

8.4.2. pH

O pH, ou potencial hidrogeniônico, representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala antilogarítmica) na água.

O pH constitui um parâmetro adimensional e um dos mais difíceis de serem interpretados, por sofrer influência de inúmeros fatores, tais como: sólidos e gases dissolvidos, dureza e alcalinidade, temperatura e fatores bióticos. (Fritzsos et al, 2003). O pH é influenciado pelos sólidos e gases dissolvidos na água de origem natural (dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese) ou antrópica (despejos domésticos e industriais). Valores de pH afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática, para melhor ou pior. Valores elevados de pH, por exemplo, podem estar associados à proliferação de algas. Outros organismos necessitam de uma faixa ótima de pH para sobreviver. Os valores fora das faixas recomendadas pelo padrão de potabilidade podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição de água, ocorrendo, assim, uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio, e dificultar a descontaminação das águas.

O pH avalia o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Em condições normais, o pH de águas superficiais está na faixa de 5,0 a 8,6 unidades. Este parâmetro deve ser avaliado *in loco* uma vez que é determinado pela interação de várias substâncias presentes na água, inclusive as instáveis (Marques, 1993).

De uma maneira geral, há uma ligeira tendência dos valores de pH da bacia apresentar certa diminuição em períodos secos. O aumento do pH em regime de chuva deve-se, principalmente, à maior dissolução de sais. (Fonseca & Salvador, 2003). As chuvas aumentam a concentração do gás carbônico livre na água, graças ao carreamento desse gás livre da atmosfera e de solos orgânicos para os corpos d'água. Isto provocaria acidez, já que o gás carbônico livre se dissolve rapidamente para formar ácido carbônico, o qual é instável, e uma parte se dissocia para formar bicarbonato e íons hidrogênio, e esses últimos causariam o abaixamento do pH da água (Mercante & Bicudo, 1996 apud Landa e Landa, 2001).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.27 apresenta o gráfico das séries temporais de pH em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

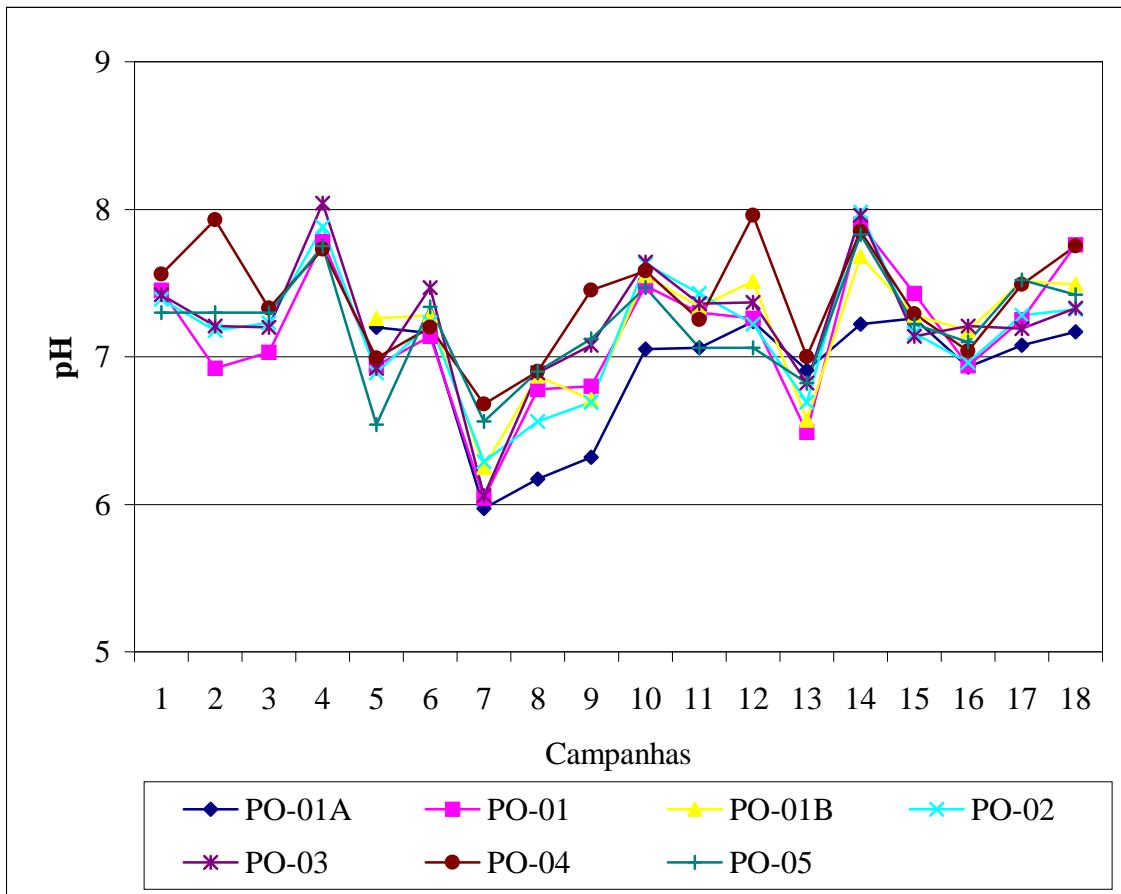


Figura 8.27 – Séries temporais de pH dos pontos de coleta

Avaliando a Figura 8.27, percebe-se que todos os pontos de coleta apresentam variação de pH aproximadamente igual ao longo do tempo. Os valores situaram-se entre 6,0 e 8,0, com exceção do ponto PO-01A na campanha de agosto de 2003, que apresentou o valor de 5,97, e do ponto PO-04, na campanha de abril/2002, que apresentou o valor de 8,04. Contudo, estes valores estiveram bem próximos do intervalo encontrado. O pH apresentou-se com condições ácidas durante as campanhas de janeiro/2003, abril/2003 e julho/2004 (campanhas n.º 7, 8 e 13), para todos os pontos. Nas campanhas de julho de 2002 e 2003 (campanhas n.º 5 e 9), os valores de pH alternaram entre ácido e básico ao longo da rede de monitoramento. Para as demais campanhas, o pH apresentou condições básicas. Não é possível perceber a influência da instalação dos barramentos e formação dos reservatórios sobre os valores de pH das águas do rio Pomba. A maior variabilidade dos resultados ocorreu durante entre as campanhas de janeiro a julho de 2003 (campanhas n.º 7 a 9), anteriormente à instalação dos três barramentos (com exceção da PCH Ponte, instalada após a campanha n.º 8).

Uma possível explicação para as campanhas que apresentaram valores mais elevados de pH é a ocorrência de altas densidades de algas (fitoplâncton), uma vez que durante o processo de fotossíntese ocorre a absorção de gás carbônico e, conseqüentemente, o aumento de pH. Tal

situação é mais visível em relação aos pontos PO-01, PO-02 e PO-04 (referentes aos reservatórios das três PCH's) em relação aos demais pontos, durante as campanhas após a formação dos mesmos.

A Tabela 8.27 apresenta alguns dados estatísticos do pH da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.27 - Dados estatísticos de pH dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	6,91	0,43	0,06	7,26	5,97	1,29
PO-01	7,15	0,47	0,07	7,90	6,04	1,86
PO-01B	7,18	0,42	0,06	7,68	6,25	1,43
PO-02	7,17	0,44	0,06	7,98	6,29	1,69
PO-03	7,24	0,44	0,06	8,04	6,06	1,98
PO-04	7,39	0,38	0,05	7,96	6,68	1,28
PO-05	7,20	0,35	0,05	7,83	6,54	1,29

A partir dos dados da Tabela 8.27, podem ser realizadas as seguintes considerações:

- O menor valor de pH encontrado foi igual a 5,97, durante a campanha do mês de janeiro de 2003. Foi o único valor de pH inferior a 6,00 e fora da faixa para águas naturais em todas as amostras;
- O maior valor de pH obtido foi igual a 8,04 durante a campanha do mês de abril de 2002. Foi o único valor de pH superior a 8,00, para todas as amostras.
- Com base nas duas últimas considerações, conclui-se que o pH variou aproximadamente entre 6,00 e 8,00 em todos os pontos de coleta durante todas as campanhas;
- A amplitude dos valores máximo e mínimo encontrada nos setes pontos de coleta variou de 1,28 a 1,98.

Com base nos valores médios, pode-se afirmar que as águas do rio Pomba encontraram-se com condições básicas, porém próximas à neutralidade, na maior parte do trecho do rio Pomba avaliado neste estudo. Segundo a Resolução CONAMA n.º 357/2005, o padrão de qualidade da água para o parâmetro pH, para águas Classe 2, deve ser entre 6,0 e 9,0. Dessa forma, conclui-se que a instalação dos barramentos em estudo não implicou em alterações significativas de forma a comprometer os usos da água do rio Pomba quanto a este parâmetro.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.28 a 8.34 apresentam a avaliação dos cenários para o pH de cada um dos sete pontos de coleta estudados.

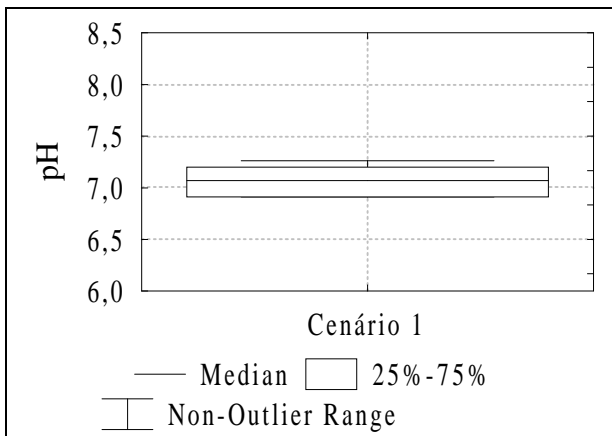


Figura 8.28 - pH no Ponto PO-01A

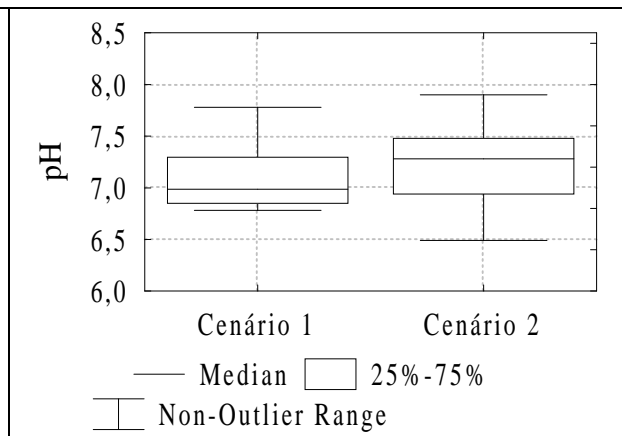


Figura 8.29 - pH no Ponto PO-01

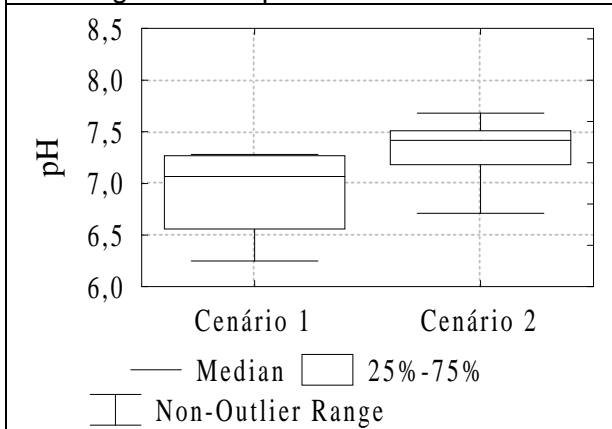


Figura 8.30 - pH no Ponto PO-01B

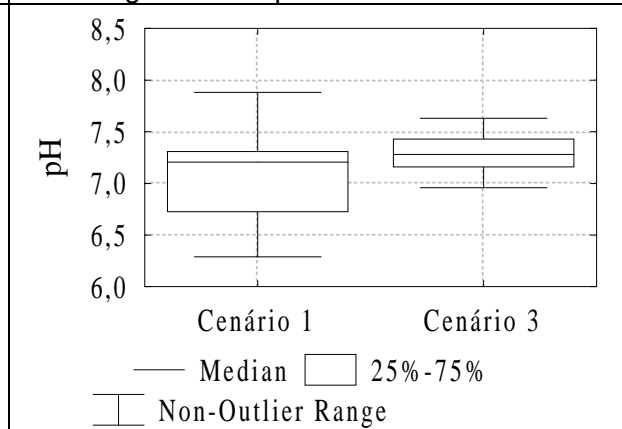


Figura 8.31 - pH no Ponto PO-02

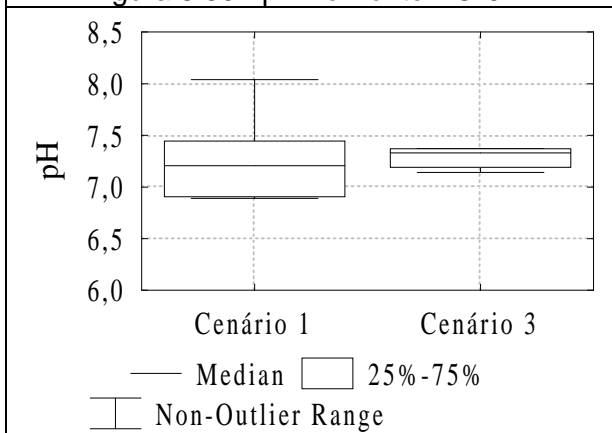


Figura 8.32 - pH no Ponto PO-03

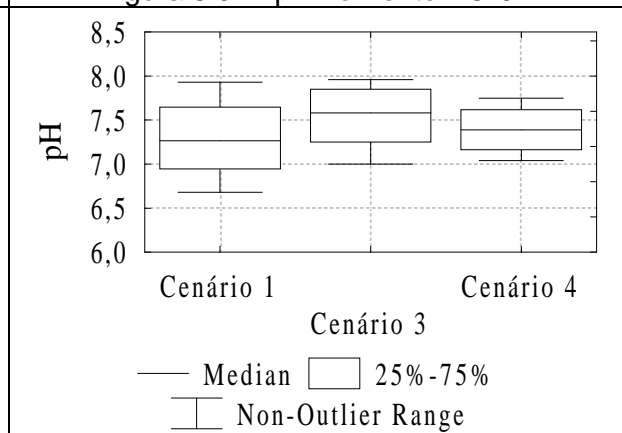


Figura 8.33 - pH no Ponto PO-04

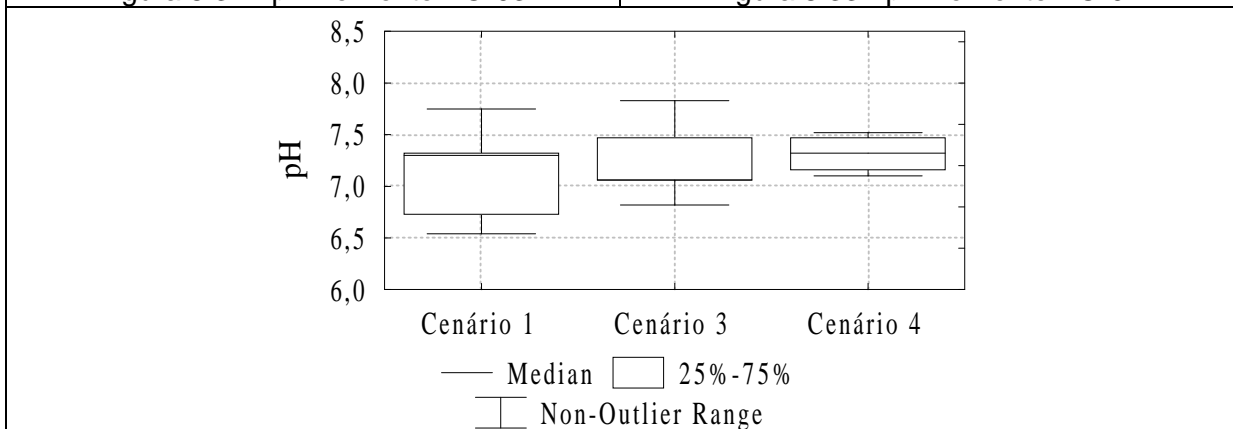


Figura 8.34 - pH no Ponto PO-05

Avaliando as figuras 8.28 a 8.34, pode-se perceber que os cenários que representam a instalação dos barramentos (cenários 2, 3 e 4) apresentaram uma ligeira variação de valores em relação ao cenário de controle, sem a instalação de nenhum barramento (Cenário 1). Porém, os valores de pH entre estes cenários ainda se apresentaram próximos, o que pode indicar que esta variação seja devido à variação natural de pH ao longo do tempo e do espaço, indicando assim, que os barramentos não exercem nenhuma influência significativa sobre este parâmetro.

As figuras 8.35 a 8.37, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

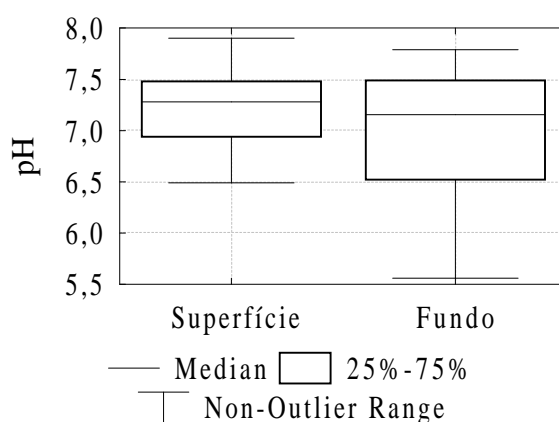


Figura 8.35 – Dados estatísticos de pH das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

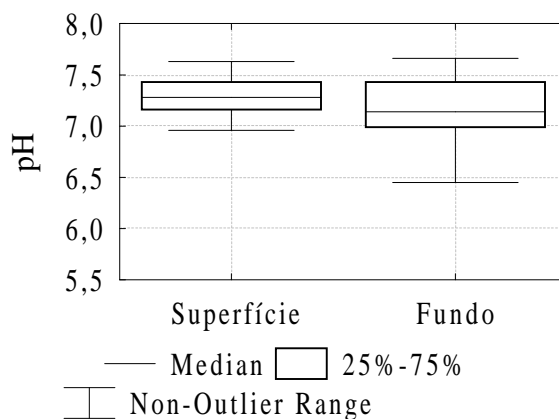


Figura 8.36 – Dados estatísticos de pH das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

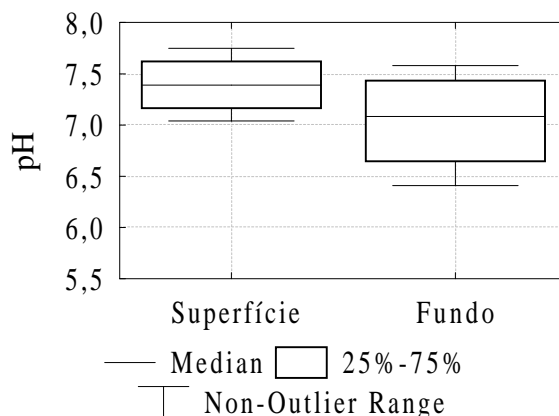


Figura 8.37 – Dados estatísticos de pH das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.35 a 8.37 indicam que o pH tende a apresentar uma maior variabilidade nas coletas de fundo (profundidade entre 3,0 e 6,0 metros) do que na superfície, com tendência a apresentar valores mais ácidos. Esta situação é mais proeminente no reservatório da PCH Ponte e é de fundamental importância para influenciar os processos químicos e biológicos nas águas subsuperficiais.

8.4.3. Alcalinidade

Alcalinidade é a quantidade de íons presentes na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio, sendo uma medida da capacidade da água de neutralizar ácidos. Seus principais constituintes são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). A distribuição destes constituintes na água é função do pH, conforme apresentado na Tabela 8.28.

Tabela 8.28 – Variação das formas de CO_2 com pH, em percentagem

pH	Forma de CO_2		
	Livre	Bicarbonatos	Carbonatos
4	99,5	0,5	-
5	95,4	4,6	-
6	67,7	32,2	-
7	17,3	82,7	-
8	2,0	97,4	0,6
8,3	1,0	97,8	1,2
9	0,2	94,1	5,7
10	-	62,5	37,5
11	-	14,3	85,7

Fonte: Water Quality Surveys – UNESCO – WHO (apud Marques, 1993)

A alcalinidade é influenciada pelos sólidos oriundos da dissolução de rochas e da reação do gás carbônico da atmosfera ou da decomposição da matéria orgânica (CO_2) na água e pelos despejos industriais. Em épocas de chuvas, o aumento da vazão tende a diminuir os valores de alcalinidade, em consequência da diluição da concentração dos íons bicarbonatos e carbonato.

Acidez, alcalinidade e dureza são medidas em unidade de mg de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) por litro de água. Valores de alcalinidade entre 30 e 500 mg/l são bastante aceitáveis, segundo Bittencourt & Hindi (2000) (Fritzsons et al, 2003). Baixos valores de alcalinidade, dureza e condutividade elétrica indicam um baixo grau de mineralização (von Sperling, 2004). As águas naturais que contêm 40 mg/L ou mais de alcalinidade total são consideradas mais produtivas do que aquelas com baixa alcalinidade (Mairs, 1996 apud Landa e Landa, 2001), podendo ser encontrados valores menores que 5 mg/L e maiores que 500 mg/l (Landa e Landa, 2001).

Esta variável deve ser avaliada por ser importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações. Um tipo de precipitação freqüente em ambientes aquáticos é a sedimentação do carbonato de cálcio (CaCO_3) em decorrência de alteração na reação de equilíbrio do gás carbônico. A retirada de CO_2 do ambiente, a qual por sua vez leva a uma nova liberação interna deste gás para manutenção do equilíbrio, pode ocorrer por via química ou por ação biológica (atividade fotossintética das plantas aquáticas). Como consequência, ela provoca a precipitação do composto insolúvel de carbonato de cálcio. Os carbonatos também agem como floculantes, causando a remoção de partículas suspensas na água (von Sperling, 1999a).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.38 apresenta o gráfico das séries temporais de alcalinidade em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

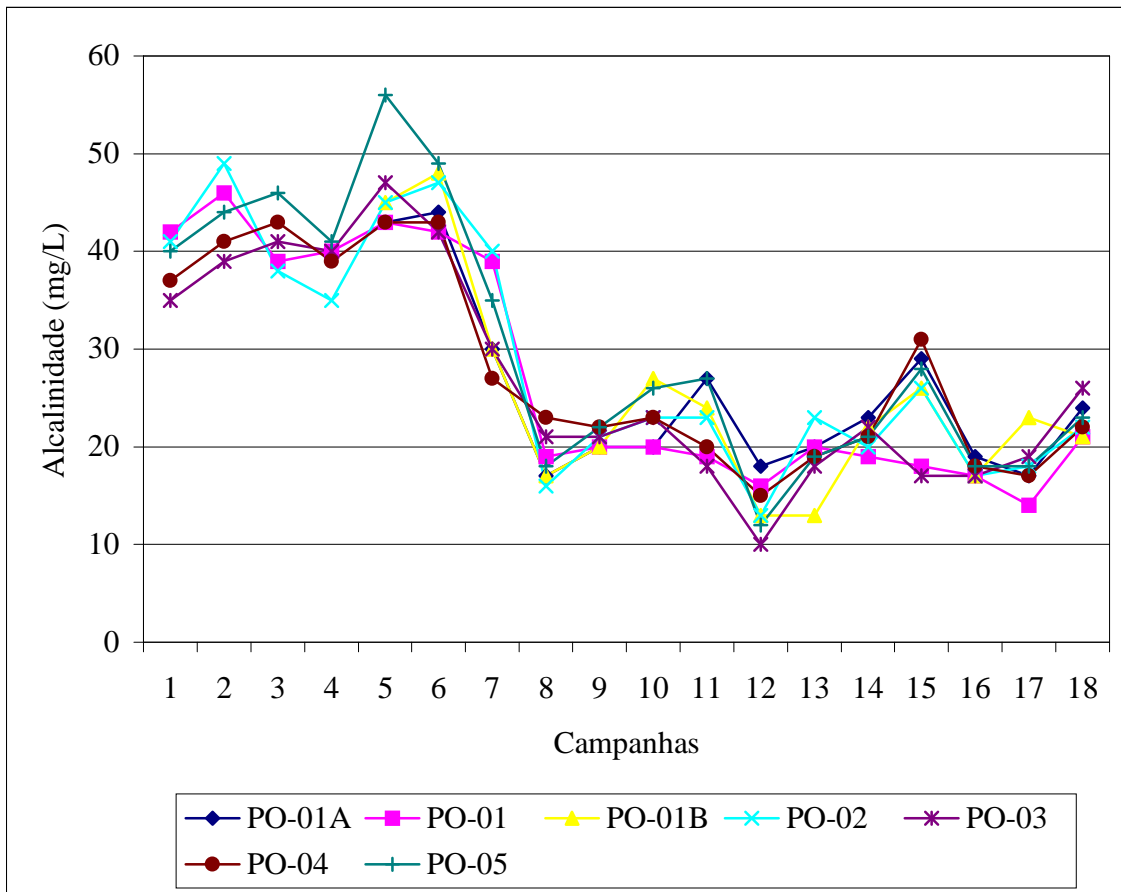


Figura 8.38 – Séries temporais de alcalinidade dos pontos de coleta

A Figura 8.38 apresenta uma clara tendência de redução da alcalinidade ao longo do tempo, a partir da campanha de janeiro de 2003 (campanha n.º 7). Esta redução não está associada à instalação dos barramentos, uma vez que se iniciou antes da instalação do primeiro barramento (PCH Ponte) e devido ao Ponto PO-01A (ponto de controle) apresentar a mesma variação. Esta conclusão é importante, pois, apesar de não ter sido ocasionada pela instalação dos barramentos, irá influenciar a avaliação dos resultados dos cenários 2, 3 e 4, que representam a qualidade das águas após a construção dos barramentos. Uma possível explicação para este fato, contudo, pode ser a eliminação de alguma fonte de poluição pontual a partir da campanha de abril de 2003 como, por exemplo, através do tratamento de algum(ns) efluente(s) sanitário(s), doméstico e/ou industrial, lançado(s) na bacia hidrográfica do rio Pomba. Cabe ressaltar que esta tendência também não está associada a fatores relacionados com o clima (sazonalidade). Pode-se observar, ainda, que as águas rio Pomba a partir da campanha de abril de 2003 apresentaram-se pouco mineralizadas, estado abaixo do limite considerado aceitável por Bittencourt & Hindi (2000, apud Fritzsos et al, 2003).

A Tabela 8.29 apresenta alguns dados estatísticos da alcalinidade da água de cada ponto de coleta.

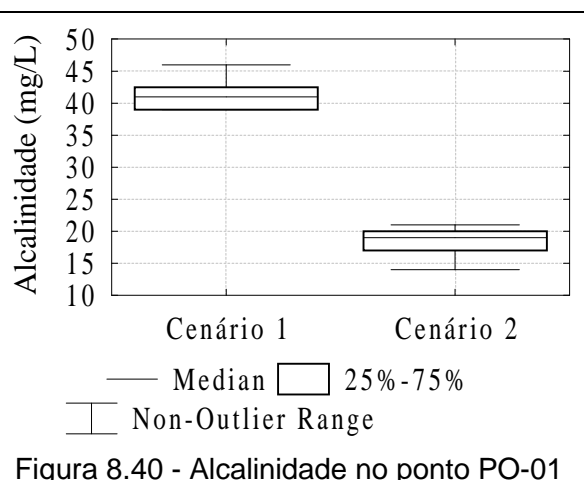
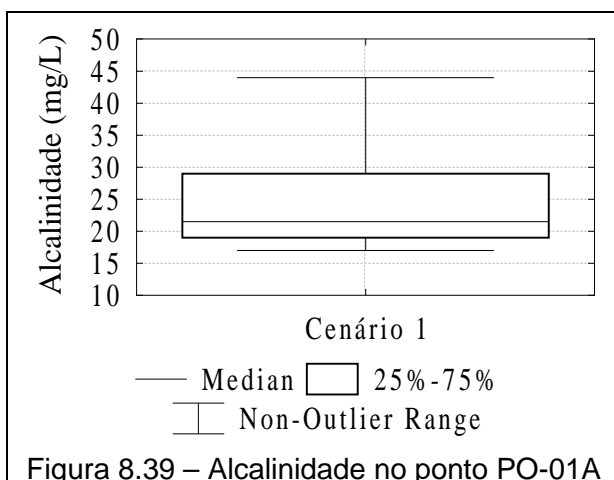
Tabela 8.29 - Dados estatísticos de alcalinidade (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	25,07	8,87	0,35	44,00	17,00	27,00
PO-01	27,44	11,80	0,43	46,00	14,00	32,00
PO-01B	24,71	10,48	0,42	48,00	13,00	35,00
PO-02	28,72	11,79	0,41	49,00	13,00	36,00
PO-03	27,00	10,94	0,41	47,00	10,00	37,00
PO-04	28,00	10,18	0,36	43,00	15,00	28,00
PO-05	30,17	12,91	0,43	56,00	12,00	44,00

A partir da Tabela 8.29, pode-se observar que os resultados de alcalinidade entre os diversos pontos de coleta apresentaram valores muito próximos entre si, dentro de intervalos de mesma ordem de grandeza. Assim sendo, comparando os pontos de coleta a montante e a jusante, não é possível inferir sobre alguma possível influência da instalação de um ou mais barramentos sobre a alcalinidade das águas.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro alcalinidade. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.39 a 8.45 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro alcalinidade.



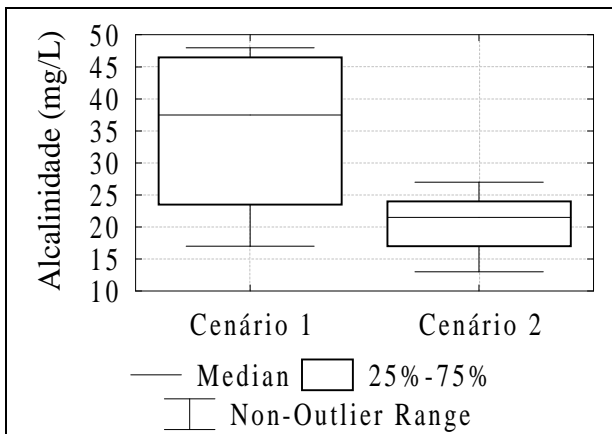


Figura 8.41 - Alcalinidade no ponto PO-01B

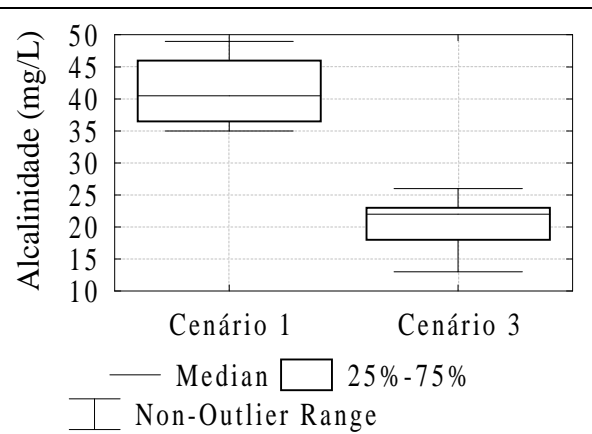


Figura 8.42 - Alcalinidade no ponto PO-02

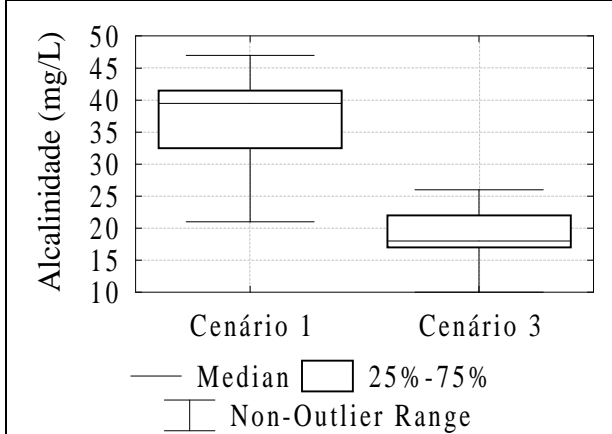


Figura 8.43 - Alcalinidade no ponto PO-03

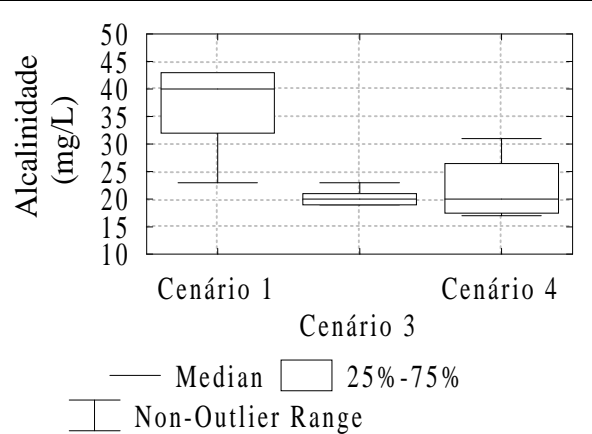


Figura 8.44 - Alcalinidade no ponto PO-04

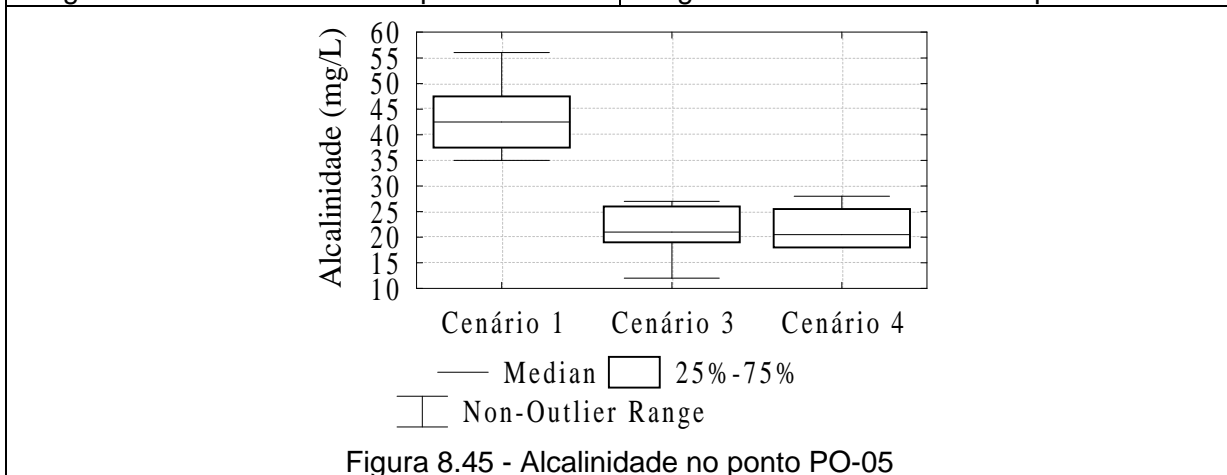


Figura 8.45 - Alcalinidade no ponto PO-05

Conforme esperado, os cenários 2 a 4 (referentes à instalação dos barramentos) apresentaram resultados com valores inferiores aos do Cenário 1 (sem a instalação de barramentos). Contudo, conforme exposto na análise do gráfico de séries temporais de alcalinidade dos pontos de coleta – Figura 8.36 – esta redução de valores da alcalinidade não é decorrente da instalação dos barramentos, mas da influência de outro fator externo que, coincidentemente, ocorreu concomitante aos cenários 2 a 4. Neste sentido, não é possível realizar nenhuma conclusão adicional a partir da análise das figuras 8.37 a 8.43.

As figuras 8.46 a 8.48, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

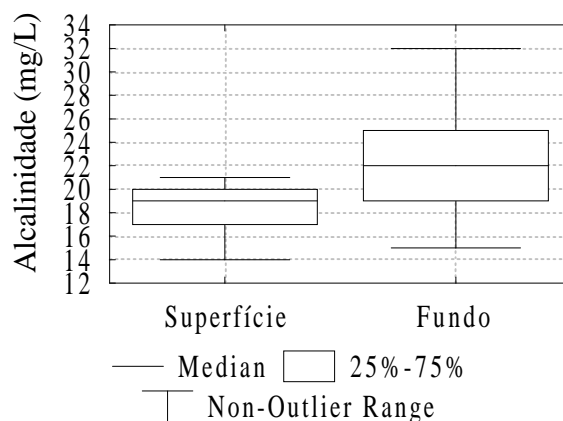


Figura 8.46 – Dados estatísticos de alcalinidade das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

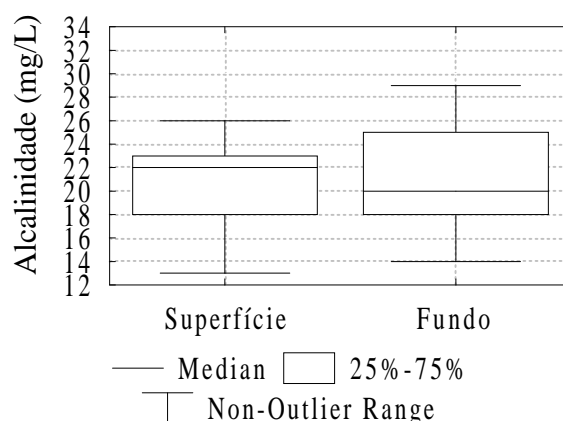


Figura 8.47 – Dados estatísticos de alcalinidade das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

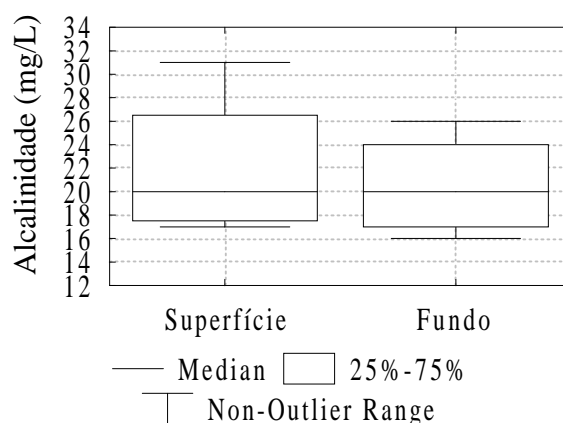


Figura 8.48 – Dados estatísticos de alcalinidade das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

A partir das figuras 8.46 e 8.48, pode-se observar um aumento nos valores de alcalinidade logo nos primeiros metros de profundidade dos reservatórios das PCH's Ponte e Palestina. Contudo, tal situação não ocorreu no reservatório da PCH Triunfo, o que pode indicar que

este comportamento é característico dos reservatórios das PCH's Ponte e Palestina, não podendo ser atribuídos, portanto, como regra geral na formação de qualquer reservatório.

8.4.4. Acidez

A acidez é a medida da capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. Deve-se principalmente à presença de gás carbônico livre, além de sólidos e gases dissolvidos (CO₂ absorvido da atmosfera ou resultante da decomposição de matéria orgânica e H₂S). Também pode ser influenciada por despejos industriais e águas associadas às atividades de mineração.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.49 apresenta o gráfico das séries temporais de acidez em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Cumpre ressaltar que este parâmetro começou a ser monitorado apenas a partir do mês de julho/2002 (campanha n.º 5).

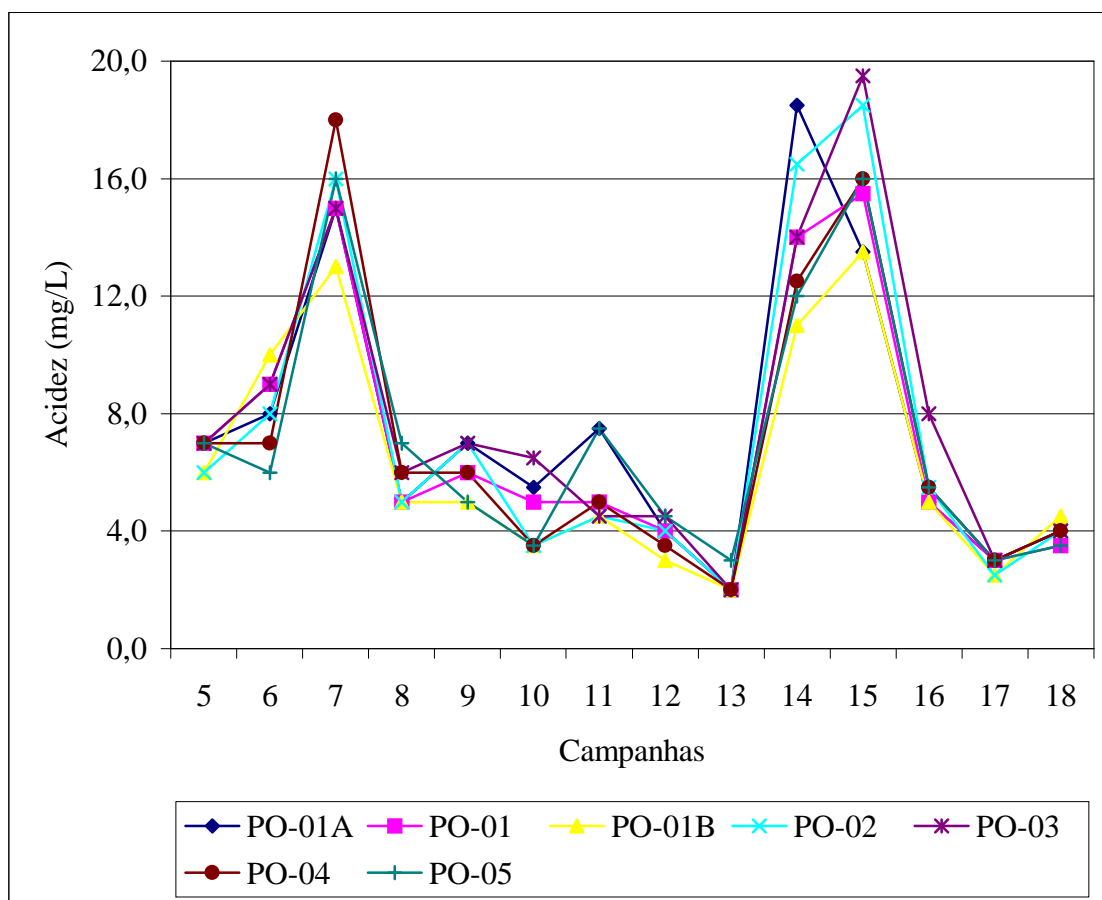


Figura 8.49 – Séries temporais de acidez dos pontos de coleta

A Figura 8.49 indica que a acidez apresentou valores relativamente baixos (menores do que 8,0 mg/L) durante a maioria das campanhas de coleta, com exceção dos meses de janeiro/2002, outubro/2004 e janeiro/2005 (campanhas n.º 7, 14 e 15), que apresentaram valores mais elevados, entre 12,0 e 20 mg/L, provavelmente em decorrência do aporte de sólidos durante o período de chuvas. A variação de acidez seguiu as mesmas tendências para todos os pontos de coleta, o que indica que não há nenhuma influência da instalação dos barramentos e suas conseqüências sobre a acidez das águas.

A Tabela 8.30 apresenta alguns dados estatísticos de acidez para cada ponto de coleta.

Tabela 8.30 - Dados estatísticos de acidez (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	7,5	4,8	0,6	18,5	2,0	16,5
PO-01	7,1	4,5	0,6	15,5	2,0	13,5
PO-01B	6,3	3,9	0,6	13,5	2,0	11,5
PO-02	7,4	5,5	0,7	18,5	2,0	16,5
PO-03	7,9	5,0	0,6	19,5	2,0	17,5
PO-04	7,1	4,9	0,7	18,0	2,0	16,0
PO-05	7,1	4,4	0,6	16,0	3,0	13,0

Os valores de acidez (mínimos, médios e máximos) e suas medidas de dispersão (desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude) dos pontos de coleta ao longo da rede de monitoramento apresentaram valores muito próximos entre si. Este resultado corrobora a hipótese de que a instalação dos barramentos não afeta a acidez das águas de forma significativa.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro acidez. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.50 a 8.56 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro acidez.

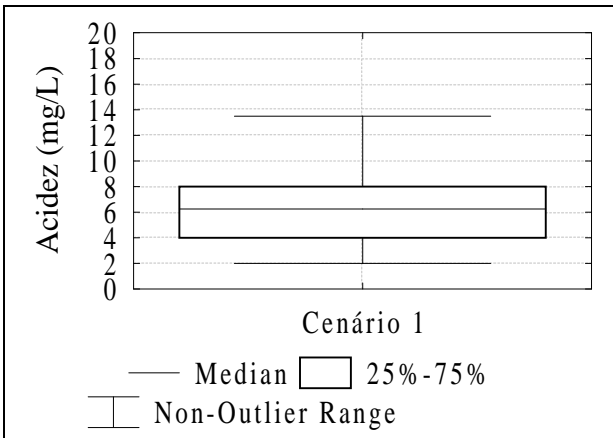


Figura 8.50 – Acidez no ponto PO-01A

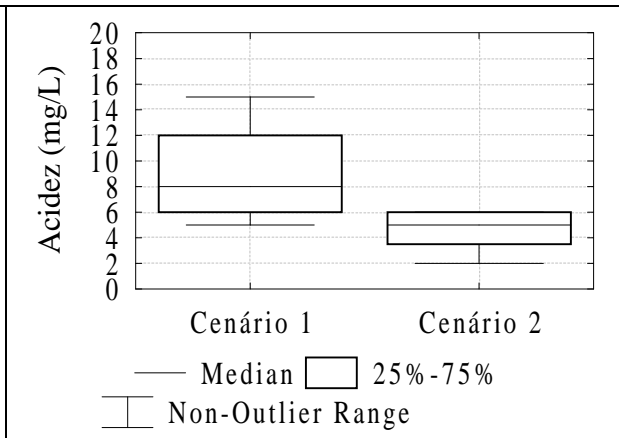


Figura 8.51 - Acidez no ponto PO-01

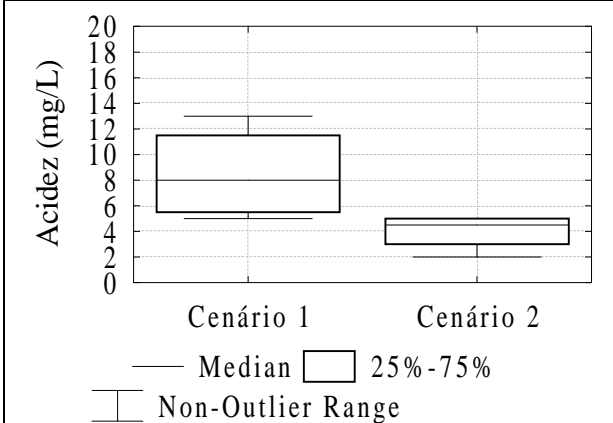


Figura 8.52 - Acidez no ponto PO-01B

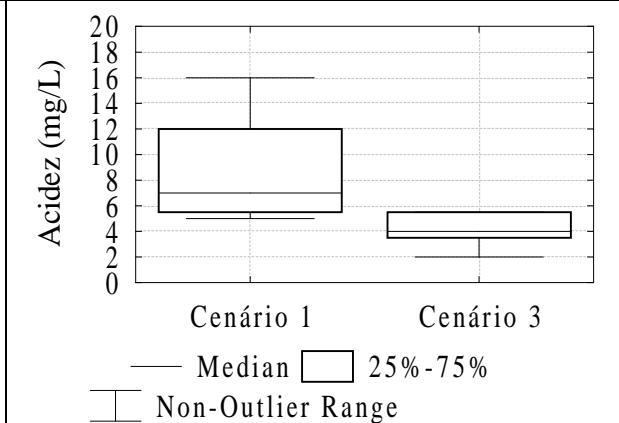


Figura 8.53 - Acidez no ponto PO-02

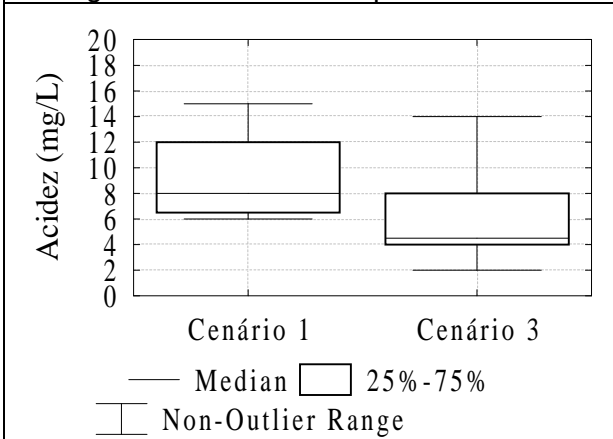


Figura 8.54 - Acidez no ponto PO-03

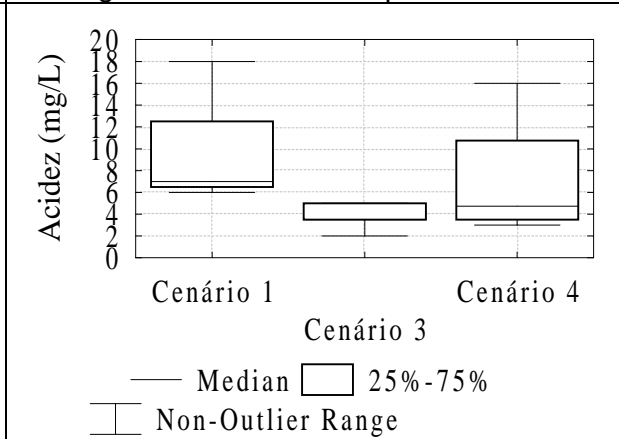


Figura 8.55 - Acidez no ponto PO-04

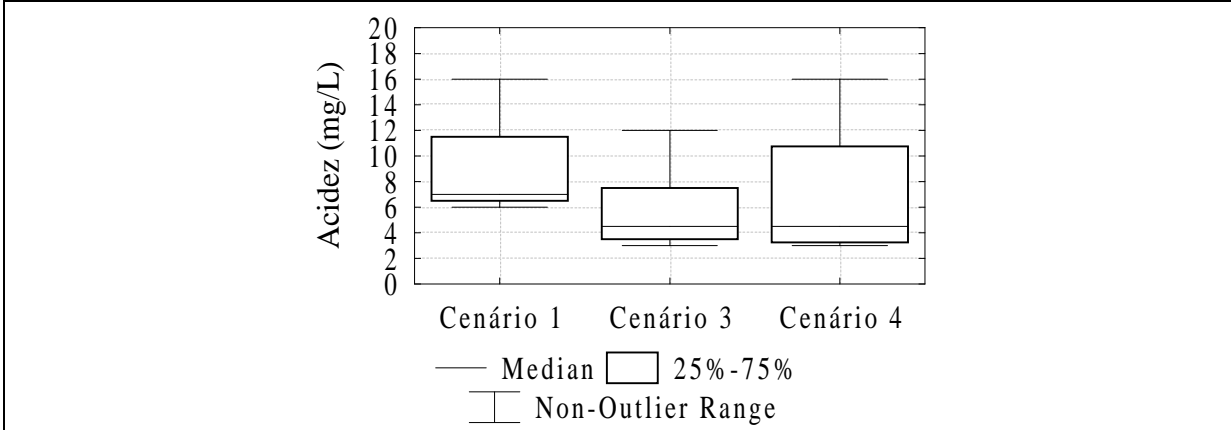


Figura 8.56 - Acidez no ponto PO-05

À primeira vista, a análise das figuras 8.50 a 8.56 indica uma tendência da redução do valor de acidez após a instalação dos barramentos da PCH Ponte e Palestina – quando comparados os gráficos do Cenário 1 com os dos cenários 2 e 3. Contudo, tal tendência não se confirmou com o acréscimo do barramento da PCH Triunfo, pois os valores de acidez após a instalação dos três barramentos voltaram a se aproximar aos valores da condição original do rio Pomba (Cenário 1). Cumpre ressaltar que, uma vez que o parâmetro acidez começou a ser monitorado a partir da campanha n.º 05, o número de amostras para fins de cálculo do Cenário 1 foi menor do que o da maioria dos parâmetros deste trabalho, implicando em uma menor confiabilidade das conclusões a respeito desse parâmetro em relação aos outros. O mesmo raciocínio é válido para os demais parâmetros avaliados a partir da campanha n.º 05 (dureza total, sólidos sedimentáveis, manganês e zoobenton).

As figuras 8.57 a 8.59, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentados a seguir.

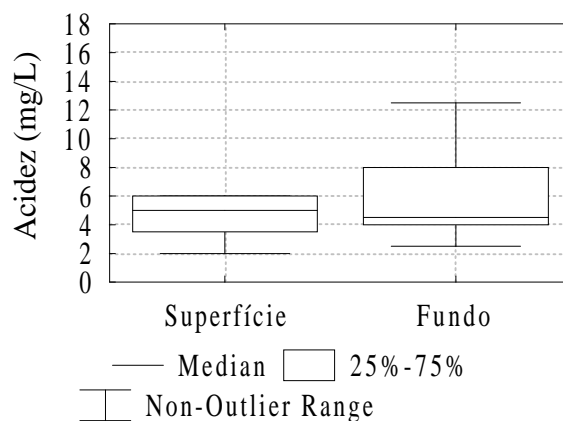


Figura 8.57 – Dados estatísticos de acidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

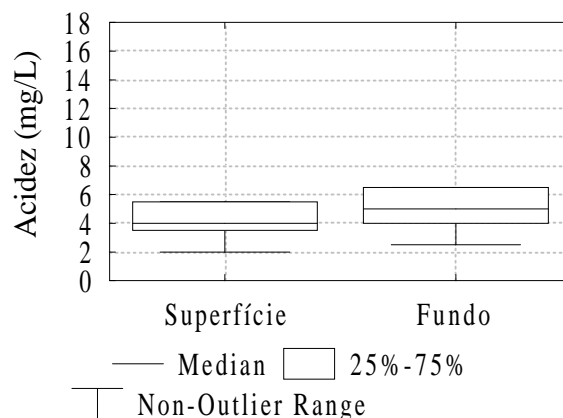


Figura 8.58 – Dados estatísticos de acidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

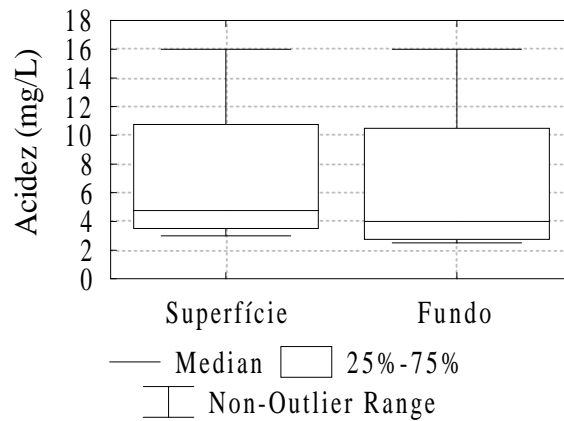


Figura 8.59 – Dados estatísticos de acidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

A Figura 8.57 indica baixos valores de acidez no reservatório da PCH Ponte, com uma tendência de maior variabilidade de valores em profundidades mais baixas. A Figura 8.58 também indica baixos valores de acidez para o reservatório da PCH Palestina, mas com uma diferença pouco significativa entre os valores de superfície e de maior profundidade. Por fim, a Figura 8.59 mostra que a PCH Triunfo apresenta os maiores valores de acidez dentre os três reservatórios, com uma diferença pouco significativa entre os valores de superfície e de maior profundidade, da mesma forma que na PCH Palestina.

8.4.5. Dureza

Dureza é a concentração de cátions multimetálicos em solução, principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} . Em condições de supersaturação, os cátions reagem com os ânions da água, formando precipitados. As principais fontes de dureza são a dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio, provenientes das rochas calcárias e dos despejos industriais. A ocorrência de determinadas concentrações de dureza causa um sabor desagradável à água e pode provocar efeitos laxativos. Além disso, causa incrustação nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, em função da maior precipitação nas temperaturas elevadas.

Denomina-se dureza de carbonato (expressa em mg/L de CaCO_3) a quantidade de cálcio e magnésio ligados a carbonatos e bicarbonatos. A dureza de não carbonatos é devido à presença de cloretos e sulfatos de alcalinos terrosos. A dureza total é a soma de ambas as formas. A dureza de não carbonatos é também chamada de “dureza permanente”, porque não pode ser removida por ebulição (Marques, 1993).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.60 apresenta o gráfico das séries temporais de dureza em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Cumpre ressaltar que este parâmetro começou a ser monitorado apenas a partir do mês de julho/2002 (campanha n.º 5).

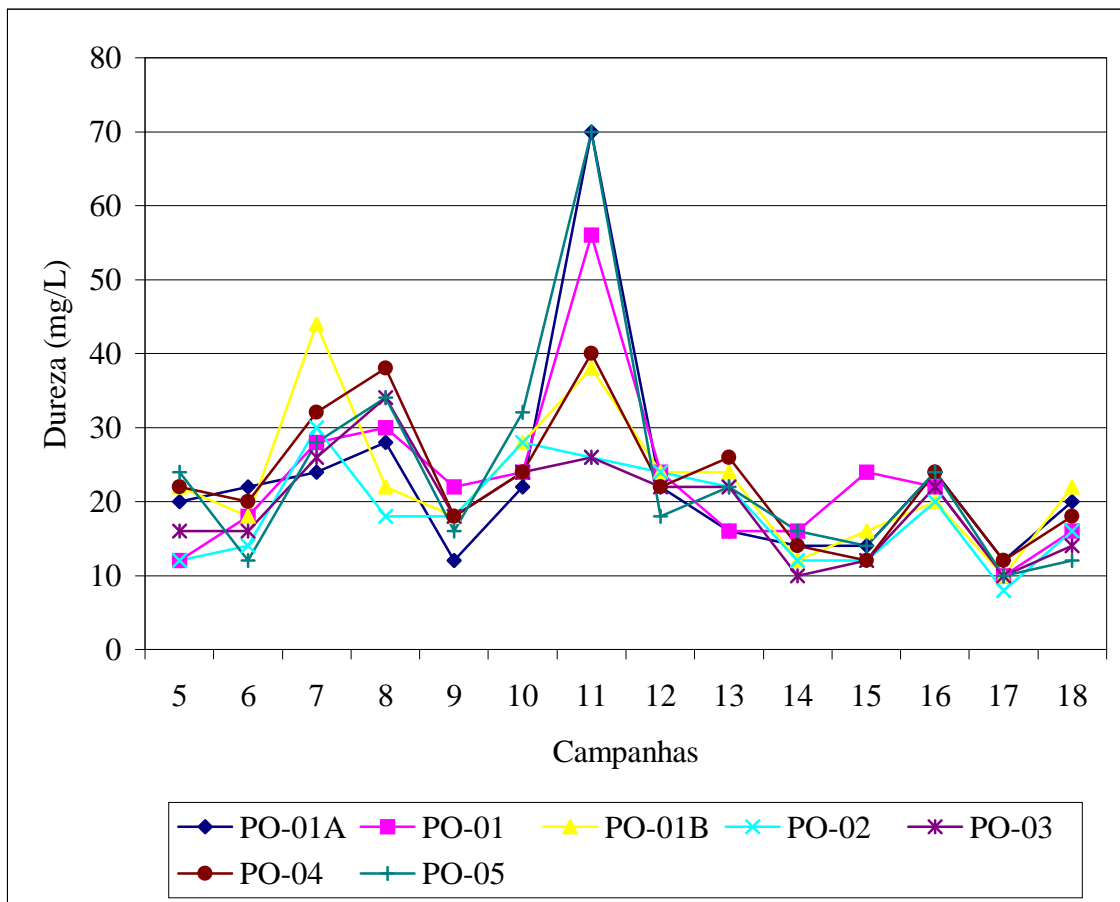


Figura 8.60 – Séries temporais de dureza dos pontos de coleta

Avaliando a Figura 8.60, pode-se observar que a dureza apresentou valores dentro do intervalo de 10 a 40 mg/L para a maioria das campanhas – o que classifica as águas como brandas -, com exceção de alguns pontos de coleta (PO-01A, PO-01 e PO-07) durante a campanha de janeiro/2004 e do ponto PO-01B na campanha de janeiro/2003, que apresentou valores entre 50 e 70 mg/L, o que indica uma dureza moderada. Os pontos de coleta apresentaram valores próximos de dureza ao longo das campanhas de monitoramento, o que indica que não há nenhuma influência da instalação dos barramentos sobre este parâmetro.

A Tabela 8.31 apresenta alguns dados estatísticos da dureza da água de cada ponto de coleta.

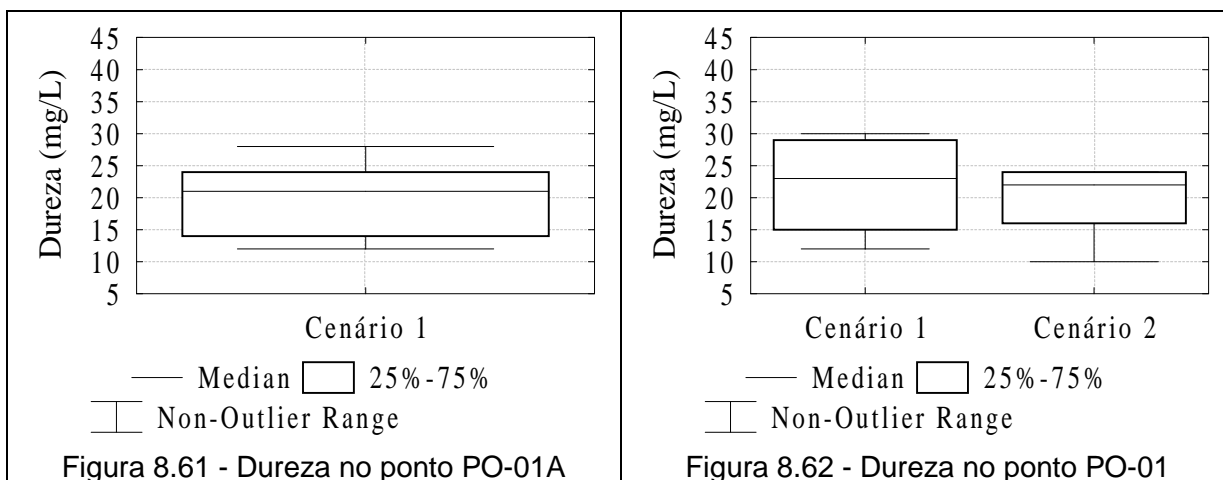
Tabela 8.31 - Dados estatísticos de dureza (mg/L) dos pontos de coleta

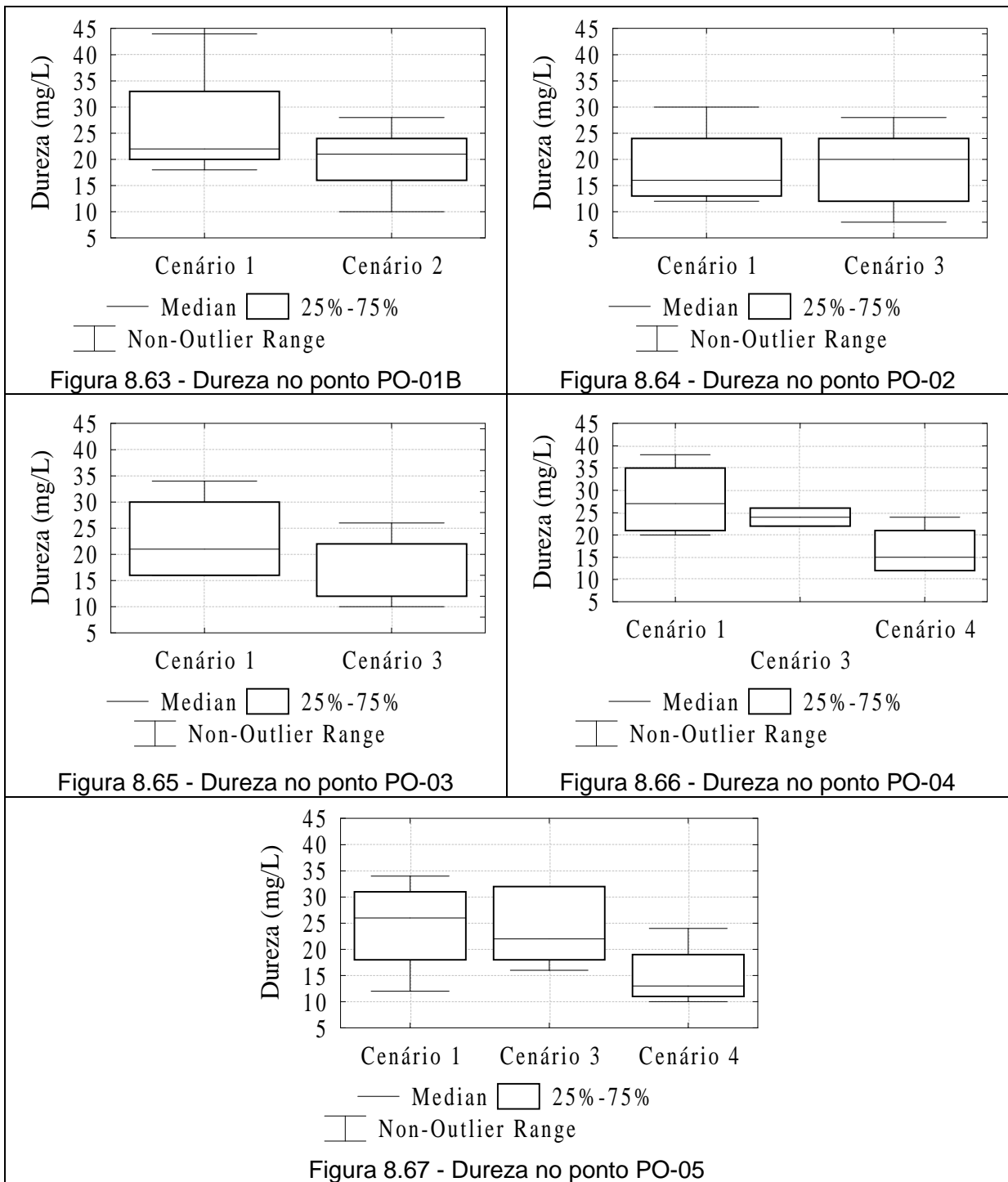
Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	22,9	14,4	0,6	70,0	12,0	58,0
PO-01	22,7	11,2	0,5	56,0	10,0	46,0
PO-01B	22,7	9,2	0,4	44,0	10,0	34,0
PO-02	18,6	6,7	0,4	30,0	8,0	22,0
PO-03	19,4	6,9	0,4	34,0	10,0	24,0
PO-04	23,0	8,7	0,4	40,0	12,0	28,0
PO-05	23,7	15,3	0,6	70,0	10,0	60,0

Observando a Tabela 8.31, podemos observar que o coeficiente de variação (relação do desvio padrão em relação à média) é aproximadamente igual em todos os pontos de coleta. Contudo, os valores de amplitude indicam uma diferença na variação de dureza entre os pontos. De um lado, alguns pontos apresentaram uma amplitude relativamente alta, por volta de 60,0 mg/L, tais como os pontos PO-01A e PO-05. Por outro lado, alguns pontos apresentaram amplitudes inferiores à metade deste valor, tais como os pontos PO-02, PO-03 e PO-04. Estes resultados não indicam nenhuma influência de montante para jusante – como a instalação dos barramentos – pois não apresentou uma tendência ordenada, nem crescente ou decrescente, ao longo da rede de monitoramento.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro dureza. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes à este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.61 a 8.67 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta, para o parâmetro dureza.





As figuras 8.61 a 8.67 indicam uma leve tendência à diminuição de dureza com a instalação dos reservatórios, comparando-se o Cenário 1 com os demais cenários nos pontos PO-01, PO-01B, PO-03 e PO-04. Contudo, a dureza não demonstrou diferenças significativas entre os cenários 1 e 3 nos pontos PO-02 e PO-05, o que indica que esta variação seja ocasionada por outros fatores não ligados diretamente à instalação dos barramentos.

As figuras 8.68 a 8.70, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

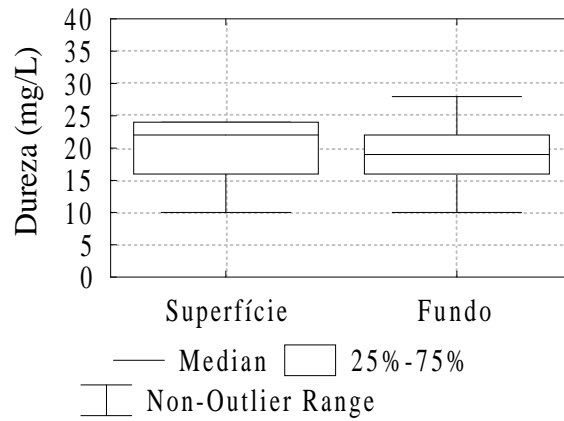


Figura 8.68 – Dados estatísticos de dureza das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

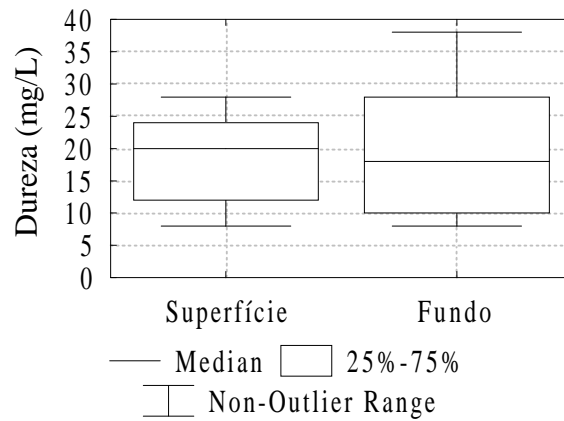


Figura 8.69 – Dados estatísticos de dureza das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

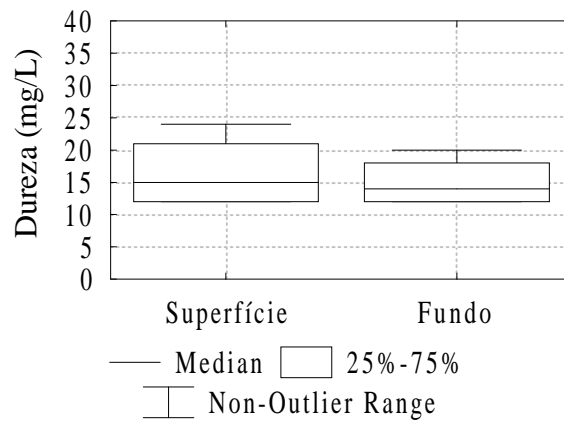


Figura 8.70 – Dados estatísticos de dureza das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

Analisando os gráficos acima, conclui-se que não há diferenças significativas de dureza ao longo dos primeiros metros de profundidade dos três reservatórios em estudo.

8.4.6. Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido nas águas é de essencial importância para os organismos aeróbios (que vivem na presença de oxigênio) e para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução na sua concentração no meio. Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a morrer diversos seres aquáticos, inclusive os peixes. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, tem-se a condição anaeróbia (ausência de oxigênio), com geração de maus odores. Portanto, da mesma forma que o pH, existe uma faixa ótima essencial de oxigênio dissolvido para cada organismo. Por exemplo, as águas com concentração de oxigênio dissolvido igual ou menor que 2,0 mg/l, seriam letais para os peixes.

O oxigênio dissolvido na água provém de duas fontes: pela dissolução do oxigênio atmosférico pela água e pela produção oriunda da atividade fotossintética. É possível, ainda, a aeração artificial das águas pelo homem. Alterações na concentração de oxigênio dissolvido podem originar-se a partir de mudanças bruscas na temperatura da água, bem como de processos físico-químicos, químicos (corrosão de metais), e bioquímicos (oxidação aeróbica de substâncias orgânicas) (Marques, 1993).

A influência da temperatura na dissolução de gases na água – inclusive o oxigênio – é definida pela Lei de Henry, que estabelece que maior será a concentração de gases na água quanto menor for a temperatura. Neste sentido, espera-se encontrar maiores concentrações de oxigênio dissolvido no período de inverno.

O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos de poluição das águas por despejos orgânicos. Valores de oxigênio superiores à saturação são indicativos da presença de algas (fotossíntese), enquanto baixas concentrações de oxigênio são indicativos da presença de matéria orgânica (principalmente, de esgotos).

Fonseca e Salvador (2003), ao analisarem a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Bonito, Descalvado/SP, observaram a diminuição dos teores de oxigênio dissolvido durante a estação chuvosa (verão), em relação aos teores de estiagem (inverno). Segundo os autores, esta constatação pode ser explicada tanto pela Lei de Henry, quanto pelo consumo de oxigênio pela matéria orgânica carregada da lavagem da superfície do solo pelas águas pluviais.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.71 indica as séries temporais de oxigênio dissolvido ao longo das campanhas de monitoramento para os pontos de coleta estudados.

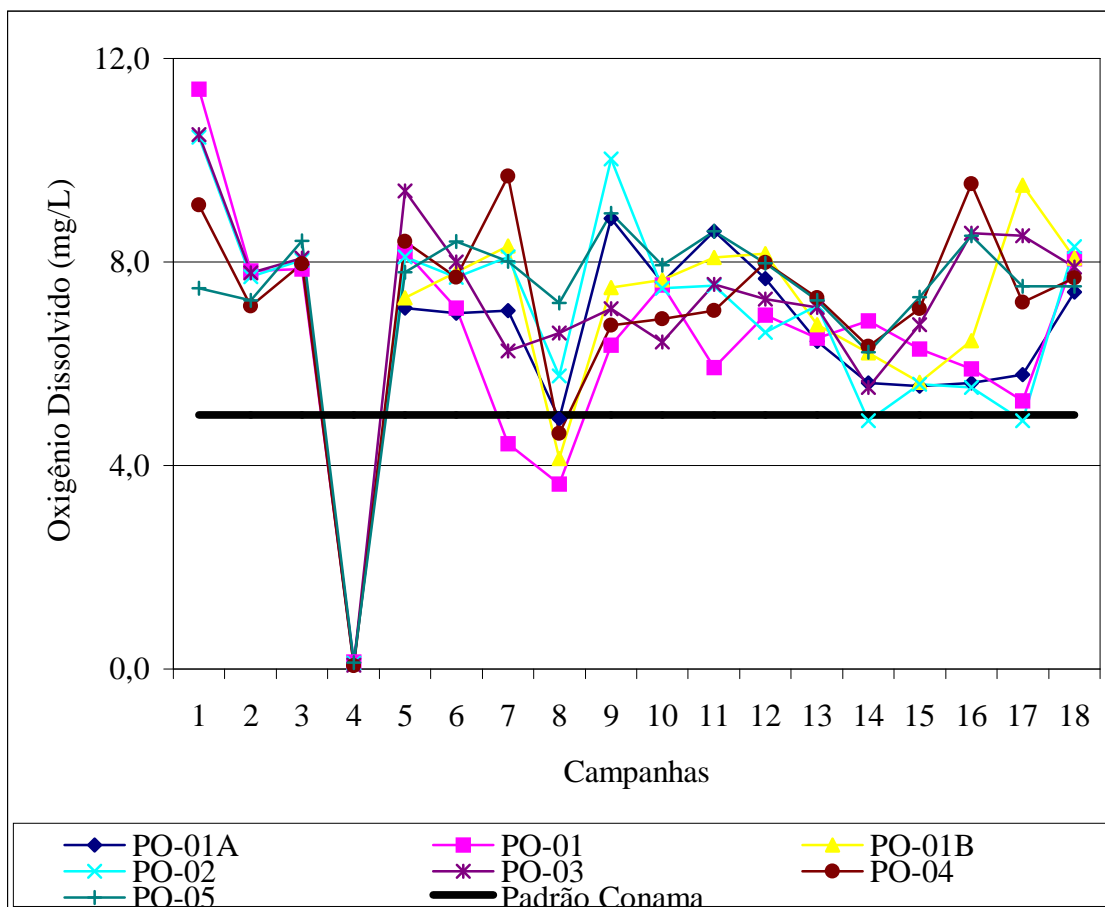


Figura 8.71 – Séries temporais de oxigênio dissolvido dos pontos de coleta

A Figura 8.71 indica que, em termos gerais, as concentrações de oxigênio dissolvido estiveram acima do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, para águas Classe 2 – igual a 5,0 mg/L., com exceção da campanha de abril/2002 (campanha n.º 4), para todos os pontos, e das campanhas de janeiro e abril de 2003 (campanhas n.º 7 e 8), para alguns pontos. A campanha de abril/2002 apresentou valores extremamente baixos (aproximadamente 0,0 mg/L) e bastantes atípicos, o que poderia indicar uma grande fonte de poluição por matéria orgânica ou dejetos industriais neste período, ao longo de todo o trecho monitorado do rio Pomba. Contudo, a causa mais provável para este fato seria um erro na metodologia de coleta e/ou de análise laboratorial para este parâmetro, pois a ocorrência de uma concentração de oxigênio aproximadamente nula teria efeitos graves, como a mortandade de peixes, cujas origens seriam de grande interesse e fácil percepção por parte da população regional.

Esta situação, embora seja de grande importância, não conduz a nenhum resultado sobre o comportamento de oxigênio dissolvido do rio Pomba em seu estado original nem sob a influência dos barramentos em si, por se tratar de um evento provavelmente singular e atípico. Os demais baixos resultados, correspondentes ao Ponto PO-01 durante a campanha de janeiro de 2003 e aos pontos PO-01A, PO-01, PO-01B e PO-04 durante a campanha de abril de 2003, podem indicar a influência de diversas fontes pontuais de poluição – uma vez que o perfil de oxigênio dissolvido apresentou variações ao longo da rede de monitoramento, indicando provavelmente mais de uma provável causa para tal oscilação. Contudo, tais resultados são minoria ao longo dos dados de concentração de oxigênio dissolvido que, em geral, apresentaram resultados satisfatórios e dentro dos limites de qualidade.

Não foi possível identificar uma possível relação entre maiores valores de oxigênio dissolvido em relação aos meses de julho, usualmente mais frios (campanhas n.º 9, 13 e 17), conforme seria esperado. Também não foi possível identificar os efeitos da diminuição da capacidade de reaeração atmosférica do rio oriunda da transformação do ambiente lótico em lêntico – a partir da formação do primeiro reservatório, na campanha n.º 09. Esta perda, contudo, poderia esta sendo compensada pela elevação da atividade fotossintética de algas e macrófitas, acarretando o aumento da produção de oxigênio.

A Tabela 8.32 apresenta alguns dados estatísticos de oxigênio dissolvido da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.32 - Dados estatísticos de oxigênio dissolvido (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	6,80	1,19	0,17	8,85	4,92	3,93
PO-01	6,46	2,30	0,36	11,40	0,14	11,26
PO-01B	7,26	1,34	0,18	9,51	4,14	5,37
PO-02	6,89	2,30	0,33	10,45	0,11	10,34
PO-03	7,19	2,13	0,30	10,50	0,07	10,43
PO-04	7,14	2,13	0,30	9,69	0,06	9,63
PO-05	7,36	1,92	0,26	8,95	0,12	8,83

A Tabela 8.32 indica que, em média, as águas do rio Pomba apresentaram boas condições de oxigenação, corroborando as conclusões anteriores. Outra verificação relevante é a alta amplitude dos valores ao longo do período de monitoramento. Contudo, estes valores foram determinados principalmente pelos resultados extremamente baixos verificados ao longo da campanha de abril/2002 que, conforme explicado anteriormente, configuraram uma situação atípica.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.72 a 8.78 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro oxigênio dissolvido.

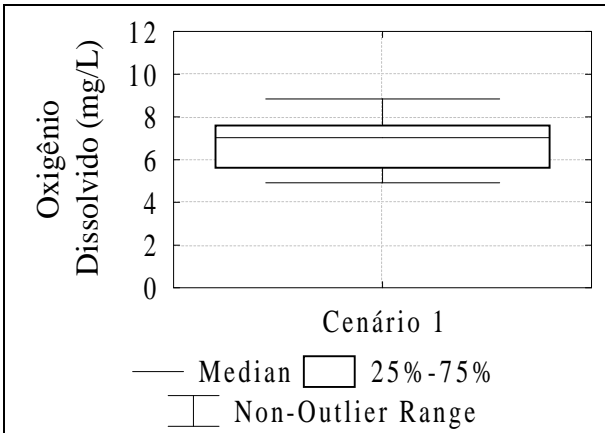


Figura 8.72 – O₂ dissolvido no ponto PO-01A

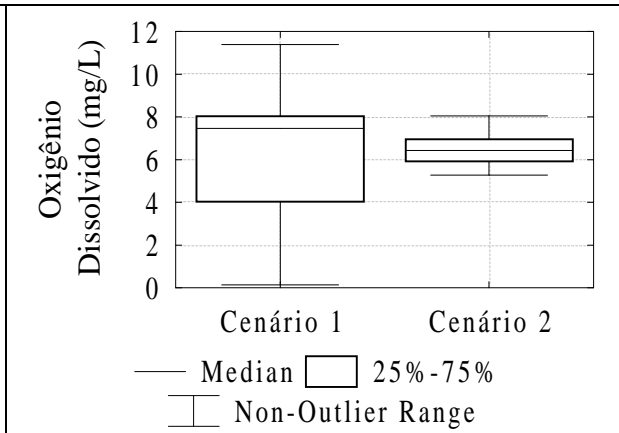


Figura 8.73 - O₂ dissolvido no ponto PO-01

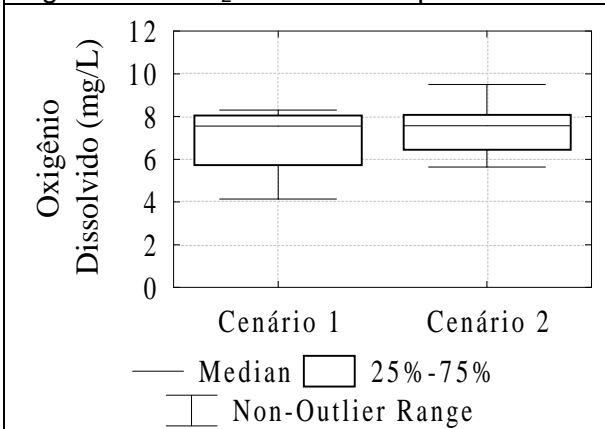


Figura 8.74 - O₂ dissolvido no ponto PO-01B

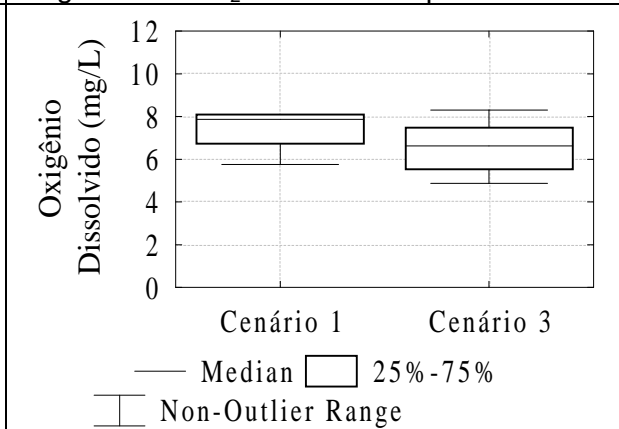


Figura 8.75 - O₂ dissolvido no ponto PO-02

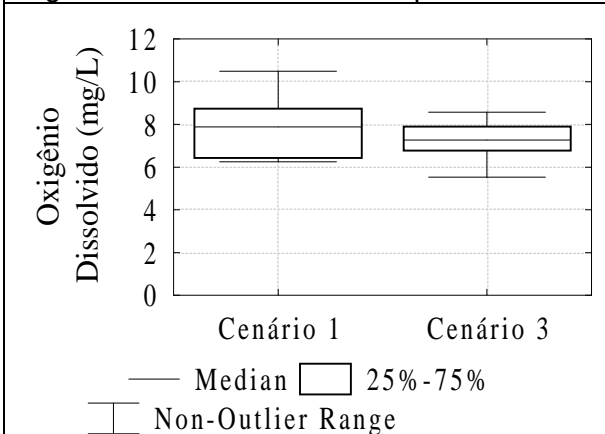


Figura 8.76 - O₂ dissolvido no ponto PO-03

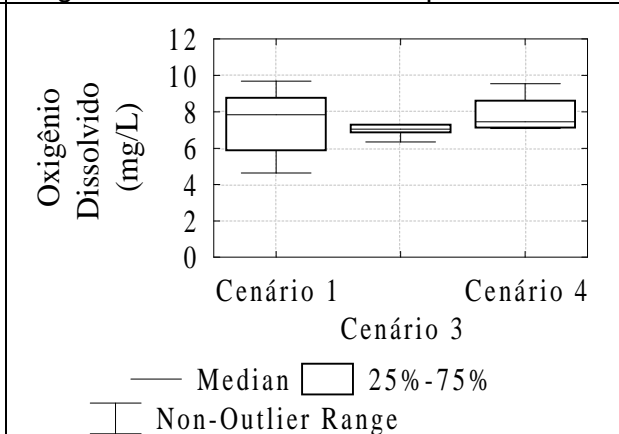
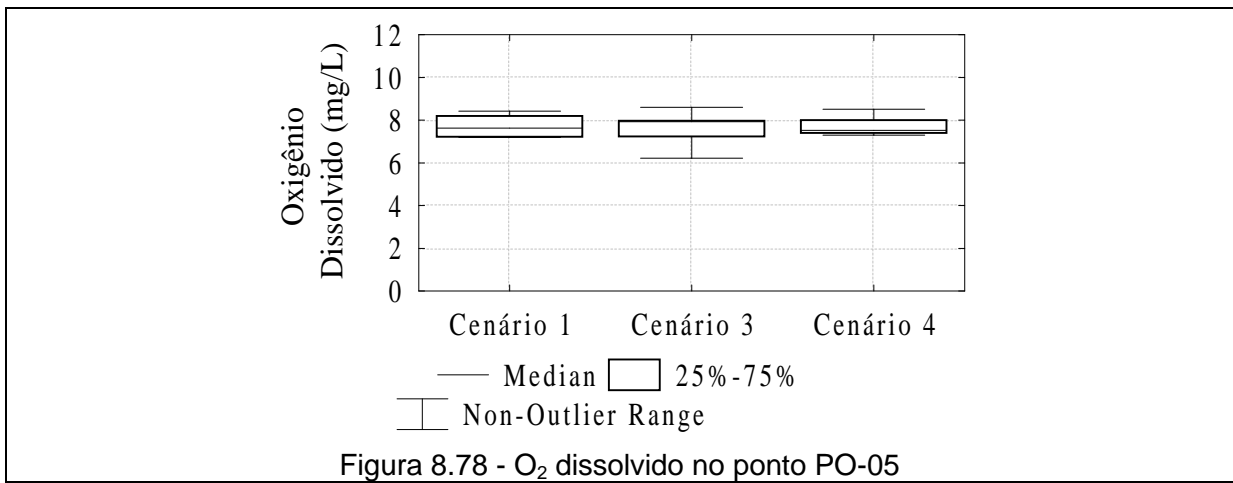


Figura 8.77 - O₂ dissolvido no ponto PO-04



As figuras 8.72 a 8.78 indicam que os valores de oxigênio dissolvido apresentaram uma concentração e dispersão aproximadamente constantes entre os cenários de comparação, para todos os pontos de coleta. Assim sendo, não puderam ser observadas interferências positivas ou adversas da instalação dos barramentos sobre o parâmetro oxigênio dissolvido.

As figuras 8.79 a 8.81, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

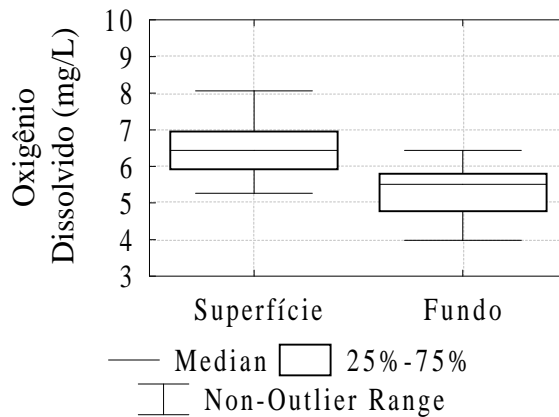


Figura 8.79 – Dados estatísticos de oxigênio dissolvido das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

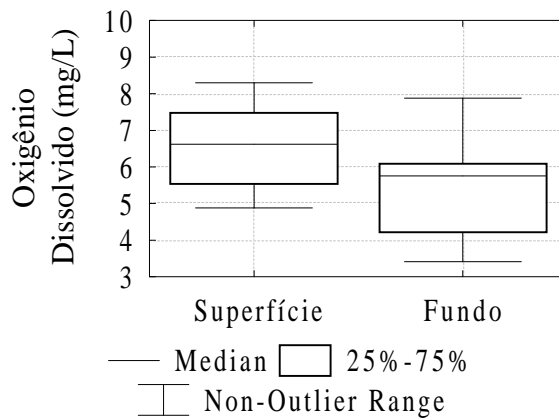


Figura 8.80 – Dados estatísticos de oxigênio dissolvido das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

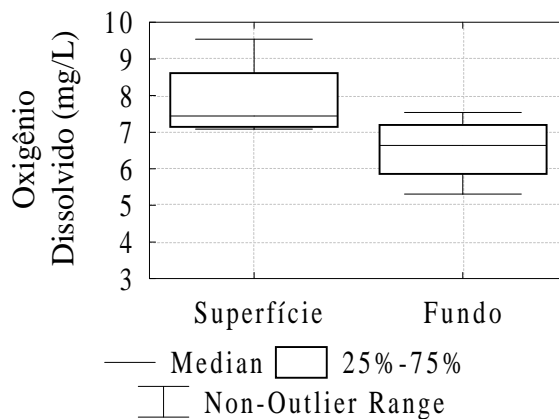


Figura 8.81 – Dados estatísticos de oxigênio dissolvido das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.79 a 8.81 indicam que o oxigênio dissolvido tende a diminuir logo nos primeiros três a seis metros de profundidade dos reservatórios, conforme indicam os gráficos de “Fundo”, quando comparados à superfície dos mesmos. Esta tendência já era esperada, tendo em vista os resultados da avaliação do perfil vertical de oxigênio dissolvido realizada no tópico 8.2 do presente capítulo, uma vez que não há fontes de oxigênio nas camadas inferiores do reservatório.

8.4.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas, isto é, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido, em mg/L, que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. Em laboratório, um período de tempo de cinco dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO_{5,20}.

A matéria orgânica na água encontra-se sob a forma de sólidos em suspensão ou dissolvidos, e tem origens tanto naturais quanto no lançamento de despejos domésticos e industriais, sendo que sua principal origem são os lançamentos de despejos predominantemente orgânicos. Durante os processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica pelos microorganismos, há o consumo de oxigênio dissolvido, medido pela DBO. A DBO é, portanto, um parâmetro de fundamental importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d'água, pois retrata, de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica presente no mesmo.

A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode implicar num incremento da microflora presente na água e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de alterar o sabor e produzir odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizadas nas estações de tratamento de água.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.82 indica as séries temporais de Demanda Bioquímica de Oxigênio dos pontos de coleta.

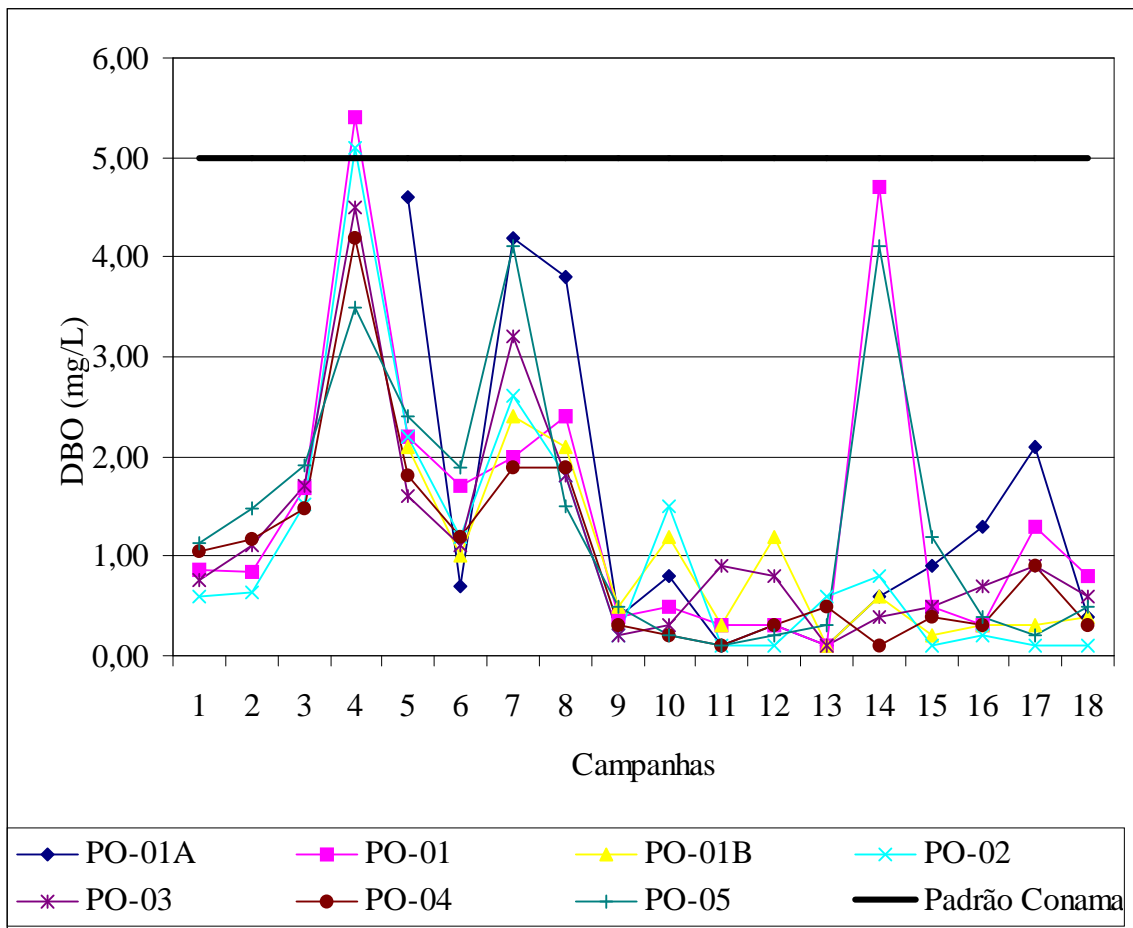


Figura 8.82 – Séries temporais de DBO dos pontos de coleta

A Figura 8.82 indica que apenas durante a campanha de abril/2002 (Campanha n.º 4) os resultados de DBO nos pontos PO-01 e PO-02 ultrapassaram o limite definido pela Resolução Conama n.º 357/2005 – igual a 5,0 mg/l. Este resultado está condizente com os baixíssimos valores de oxigênio dissolvido obtidos durante esta campanha, em todos os pontos, e assim, também pode ser ocasionado por possíveis erros de coleta/medição das amostras. Outros valores elevados, superiores a 4,0 mg/L, mas ainda dentro do limite estabelecido pela legislação ambiental, foram obtidos nas campanhas de julho/2002 (no ponto PO-01A), de janeiro/2003 (nos pontos PO-01A e PO-05) e de outubro/2004 (nos pontos PO-01 e PO-05). Nestes casos, não foi identificado nenhum padrão temporal e/ou espacial que pudesse indicar uma fonte de poluição constante que explicasse a alta destes valores.

Não foi detectada nenhuma elevação na concentração de DBO nos pontos correspondentes aos reservatórios (PO-01, PO-02 e PO-4) durante as respectivas primeiras campanhas subsequentes à formação dos mesmos, em decorrência da inundação da biomassa vegetal presente nas bacias de inundação, conforme seria esperado. Isto indica o baixo volume de biomassa presente nas bacias de inundação, seja pelas características de uso e ocupação do

solo (predominância de pastagens) ou pelo desmate realizado previamente para limpeza da vegetação de grande porte (vegetação arbórea).

Por outro lado, observou-se uma queda geral da concentração de DBO a partir da campanha de julho/2003 (campanha n.º 9), logo após a instalação do barramento da PCH Ponte. Este fato pode estar associado a uma combinação de dois fatores: primeiro, a formação dos reservatórios pode assimilar melhor os impactos decorrentes do aporte de matéria orgânica em virtude do seu poder de diluição e a influência de sua morfologia. Por outro lado, uma vez que o ponto de controle a montante dos três reservatórios (ponto PO-01A) também apresentou a mesma tendência, a segunda explicação seria uma menor ocorrência, por coincidência, de fontes de poluição durante esta etapa do monitoramento.

Conclui-se, portanto, que a formação dos reservatórios contribui para a diminuição da concentração da DBO, embora esta diminuição esteja correlacionada a outros fatores, tais como a variação da ocorrência dos impactos poluidores.

A Tabela 8.33 apresenta alguns dados estatísticos de DBO da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.33 - Dados estatísticos de DBO (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	1,6	1,6	1,0	4,6	0,1	4,5
PO-01	1,5	1,5	1,0	5,4	0,3	5,1
PO-01B	0,9	0,8	0,9	2,4	0,1	2,3
PO-02	1,2	1,3	1,1	5,1	0,1	5,0
PO-03	1,2	1,1	0,9	4,5	0,2	4,3
PO-04	1,0	1,0	1,0	4,2	0,1	4,1
PO-05	1,4	1,3	0,9	4,1	0,1	4,0

A Tabela 8.33 indica que a média dos valores de DBO variou entre 0,9 e 1,6 mg/L, valores que podem ser considerados baixos. Apenas dois dos sete pontos de coleta avaliados apresentaram valores ligeiramente maiores que o limite para Classe 2 – pontos PO-01 e PO-02, referentes aos reservatórios das PCH's Ponte e Palestina, antes de sua formação. A amplitude entre os valores foi elevada, tendo os valores máximos sido obtidos durante as campanhas anteriores à formação dos reservatórios, e os valores mínimos, após as mesmas.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.83 a 8.89 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro DBO.

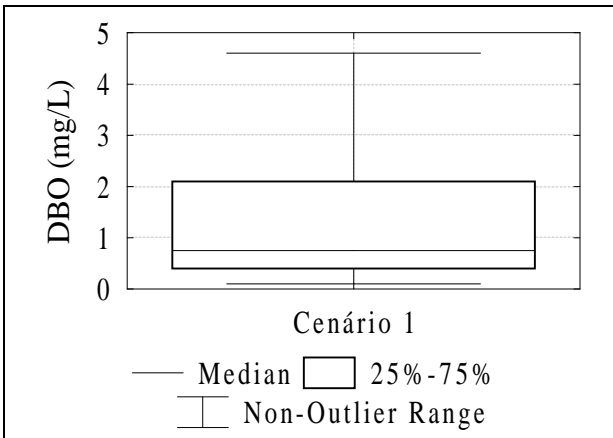


Figura 8.83 - DBO no ponto PO-01A

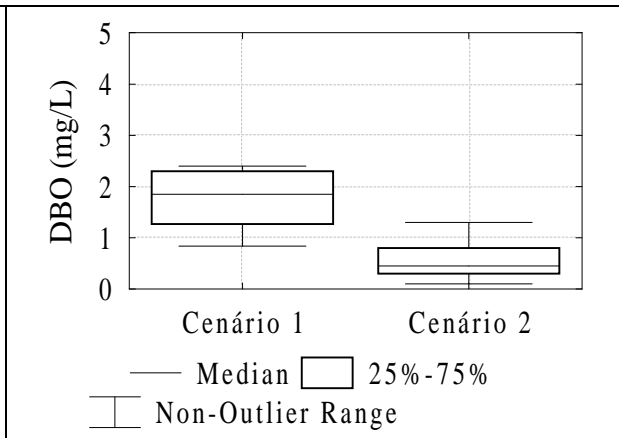


Figura 8.84 - DBO no ponto PO-01

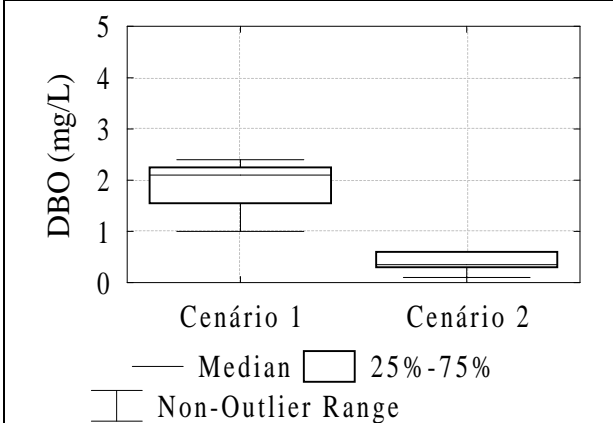


Figura 8.85 - DBO no ponto PO-01B

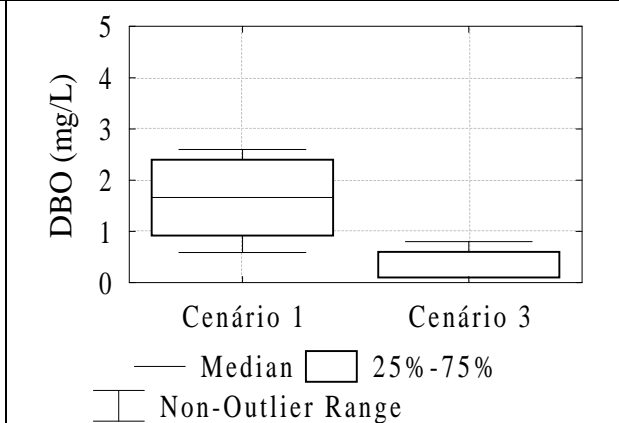


Figura 8.86 - DBO no ponto PO-02

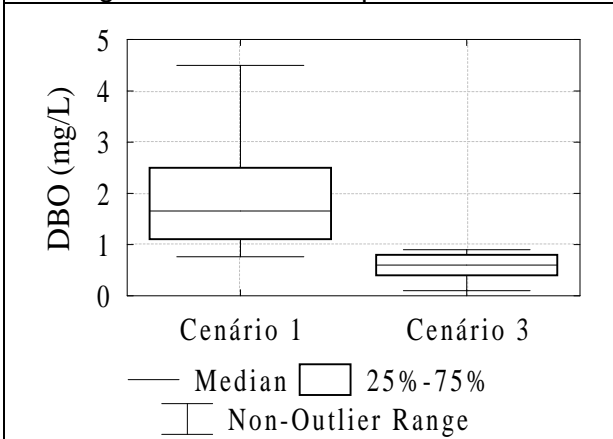


Figura 8.87 - DBO no ponto PO-03

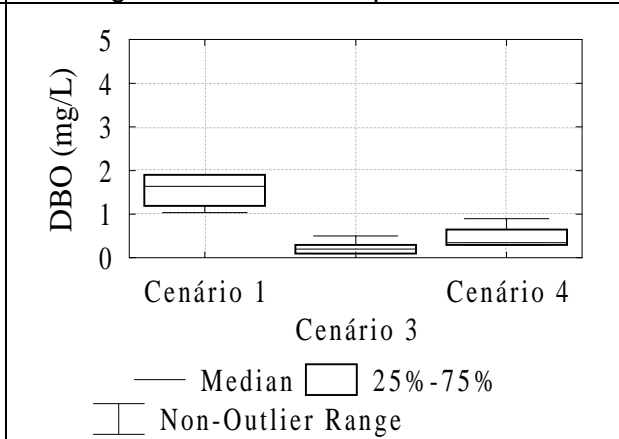


Figura 8.88 - DBO no ponto PO-04

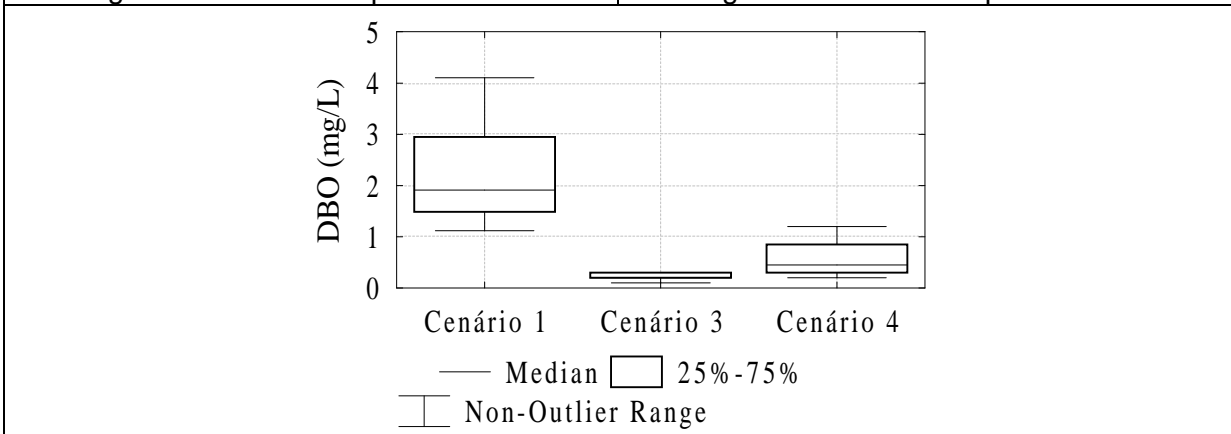


Figura 8.89 - DBO no ponto PO-05

Comparando os diversos cenários apresentados nas Figuras 8.83 a 8.89, é possível observar uma diminuição dos valores de DBO do Cenário 1 para os demais cenários, indicando uma possível relação entre a instalação dos barramentos sobre a diminuição dos teores de DBO das águas do rio Pomba. Contudo, esta inferência não pode ser atribuída apenas à instalação dos barramentos, mas também à forma com que as fontes de poluição, associadas ao lançamento de matéria orgânica no rio Pomba, ocorreram ao longo do período das campanhas e nos pontos de coleta, conforme exposto anteriormente.

As figuras 8.90 a 8.92, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

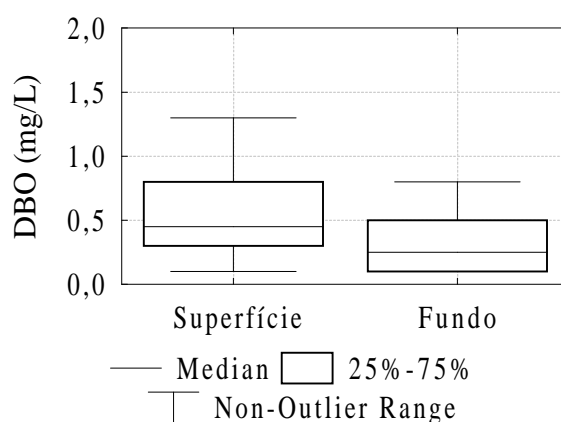


Figura 8.90 – Dados estatísticos de DBO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

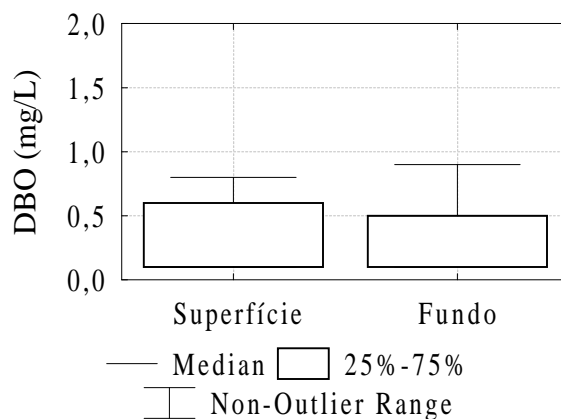


Figura 8.91 – Dados estatísticos de DBO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

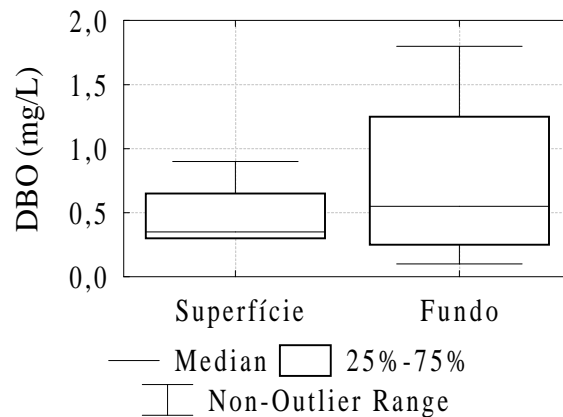


Figura 8.92 – Dados estatísticos de DBO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.90 a 8.92 indicam comportamentos distintos para os resultados de DBO ao longo da profundidade para cada um dos reservatórios. Se no caso do reservatório da PCH Ponte observa-se uma tendência à diminuição de DBO ao longo da profundidade, o mesmo não ocorre para os reservatórios da PCH Palestina e da PCH Triunfo, que apresentaram uma tendência semelhante ou maior para os valores de DBO ao longo das profundidades. Diante disso, não é possível concluir sobre uma possível relação entre a profundidade e a concentração de DBO para os reservatórios.

8.4.8. Demanda Química de Oxigênio - DQO

A Demanda Química de Oxigênio – DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. O valor obtido é, portanto, uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente na água.

A principal diferença entre os testes de determinação da DBO e da DQO refere-se à forma de oxidação da matéria orgânica. No teste de DBO, a oxidação da matéria orgânica é realizada inteiramente por microorganismos, enquanto, na DQO, a oxidação é obtida através de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido.

Para amostras de uma determinada fonte, a DQO pode ser relacionada empiricamente com a DBO, carbono orgânico e matéria orgânica. Uma vez estabelecida esta correlação, a DQO passa a ser um importante parâmetro para monitoração e controle da fonte de poluição (Marques, 1993).

Os valores da DQO são sempre maiores que os da DBO, sendo esse teste realizado em laboratório num prazo de tempo menor. A análise da DQO é útil para detectar a presença de

substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.93 apresenta as séries temporais de DQO dos pontos de coleta.

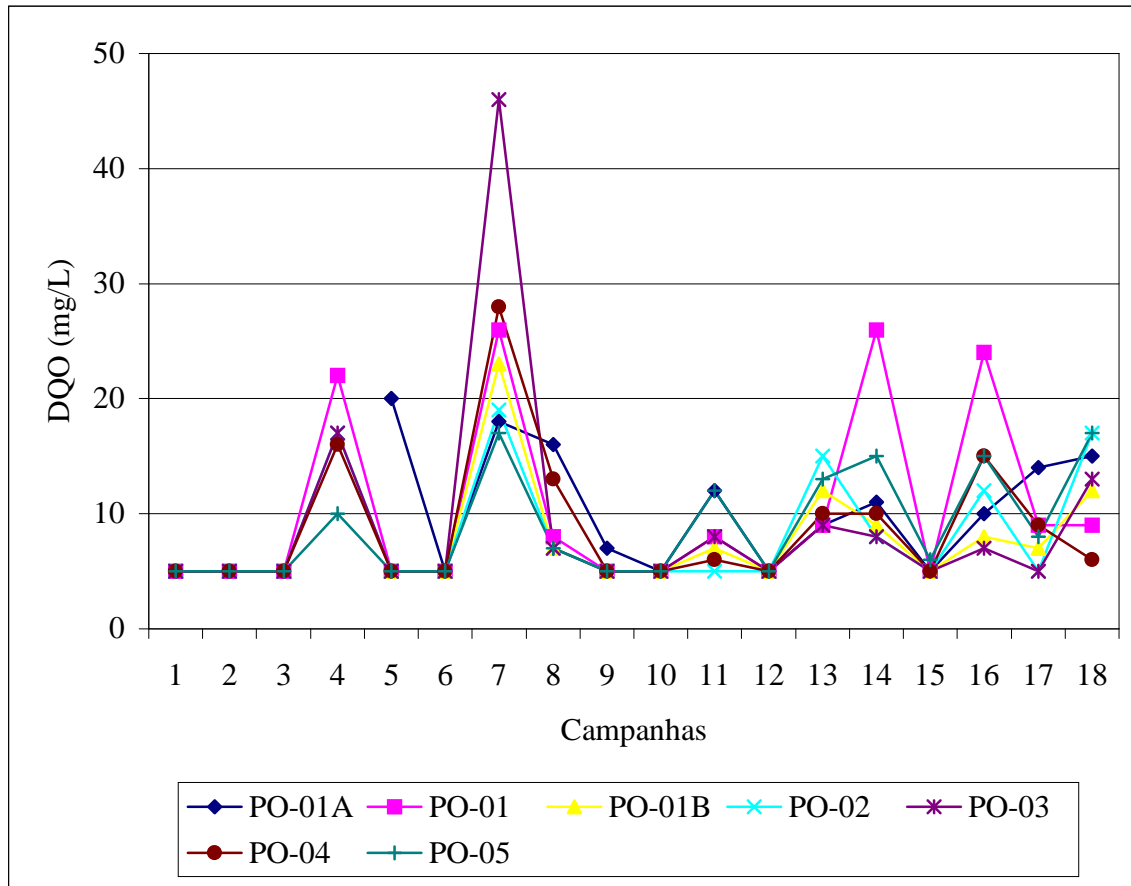


Figura 8.93 – Séries temporais de DQO dos pontos de coleta

A Figura 8.93 indica que todos os valores de DQO estiveram abaixo de 30 mg/L, com exceção do ponto PO-03, que apresentou um pico de concentração equivalente a 46,0 mg/L durante o mês de janeiro/2003 (campanha n.º 7). Observa-se ainda que, com exceção da campanha n.º 7, as campanhas chuvosas (campanhas n.º 3, 10, 11, 12 e 15) apresentaram baixos valores de DQO, provavelmente em função da diluição pelo aumento da vazão nestes períodos. A origem dos altos valores de DQO talvez esteja associada a alguma fonte de poluição pontual a montante da rede de monitoramento, e não ao carreamento pelas chuvas de compostos de fontes difusas de poluição.

Outras observações relevantes dizem respeito ao pico de concentração de DQO em todos os pontos de coleta durante a campanha de janeiro/2003 – principalmente no ponto PO-03, conforme já comentado – e da predominância de valores de DQO acima de 20,0 mg/L para o

ponto PO-01 (reservatório da PCH Ponte) em algumas campanhas – abril/2002, outubro/2004 e abril/2005. A priori, não é possível estabelecer uma correlação entre estes resultados para o ponto PO-01, nem entre as condições naturais do rio e após instalação dos barramentos.

A Tabela 8.34 apresenta alguns dados estatísticos de DQO da água (mg/L) de cada ponto de coleta.

Tabela 8.34 - Dados estatísticos de DQO (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	10,9	5,2	0,5	20,0	5,0	15,0
PO-01	10,3	8,0	0,8	26,0	5,0	21,0
PO-01B	8,2	4,9	0,6	23,0	5,0	18,0
PO-02	8,3	5,1	0,6	19,0	5,0	14,0
PO-03	9,2	9,8	1,1	46,0	5,0	41,0
PO-04	8,8	6,1	0,7	28,0	5,0	23,0
PO-05	8,9	4,7	0,5	17,0	5,0	12,0

A Tabela 8.34 apresenta valores elevados de DQO em relação aos de DBO. Isto indica o predomínio de matéria orgânica quimicamente e biologicamente degradável, em relação à matéria orgânica degradável. Cumpre ressaltar a ocorrência de resultados de DQO menores do que o limite mínimo de detecção pelas análises laboratoriais (valores menores do que 5,0 mg/L) em algumas das campanhas de amostragem, pelo menos uma vez para cada ponto de coleta.

Conforme a publicação *Water Quality Assessment*, da UNESCO/WHO/UNEP (1992), os teores de DQO observados em águas superficiais podem ter o limite de até 20 mg/L ou menos em água não poluída, ou ainda até 200 mg/L em água recebendo efluentes (Fonseca & Salvador, 2003). Neste sentido, a maioria dos resultados obtidos atende esta condição.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro DQO. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes à este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.94 a 8.100 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro DQO.

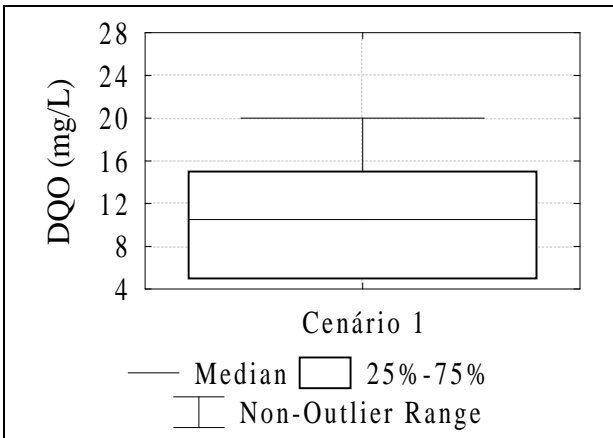


Figura 8.94 - DQO no ponto PO-01A

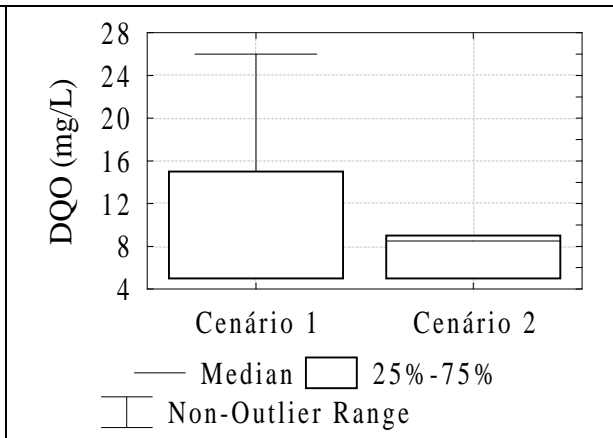


Figura 8.95 - DQO no ponto PO-01

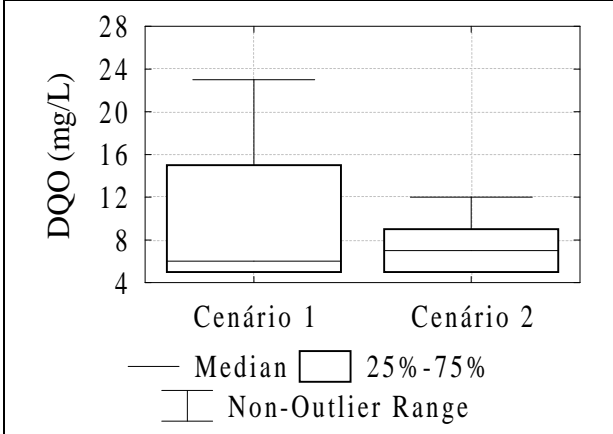


Figura 8.96 - DQO no ponto PO-01B

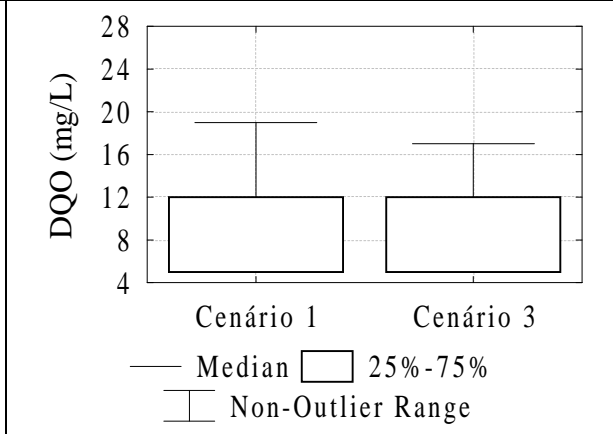


Figura 8.97 - DQO no ponto PO-02

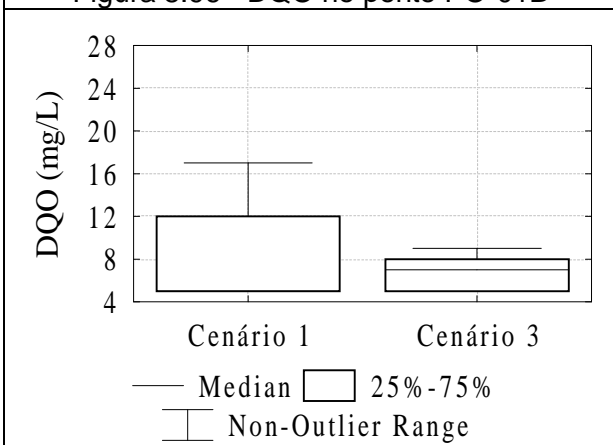


Figura 8.98 - DQO no ponto PO-03

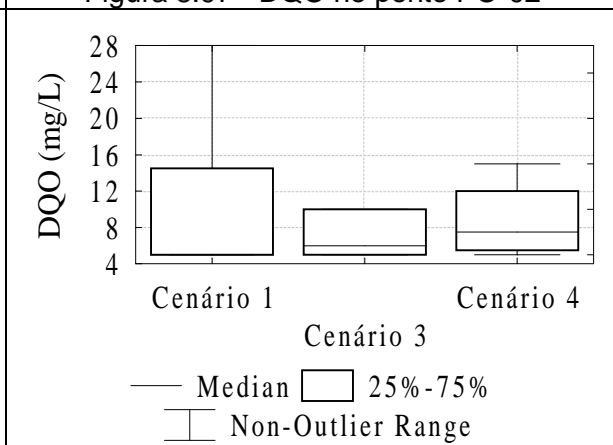


Figura 8.99 - DQO no ponto PO-04

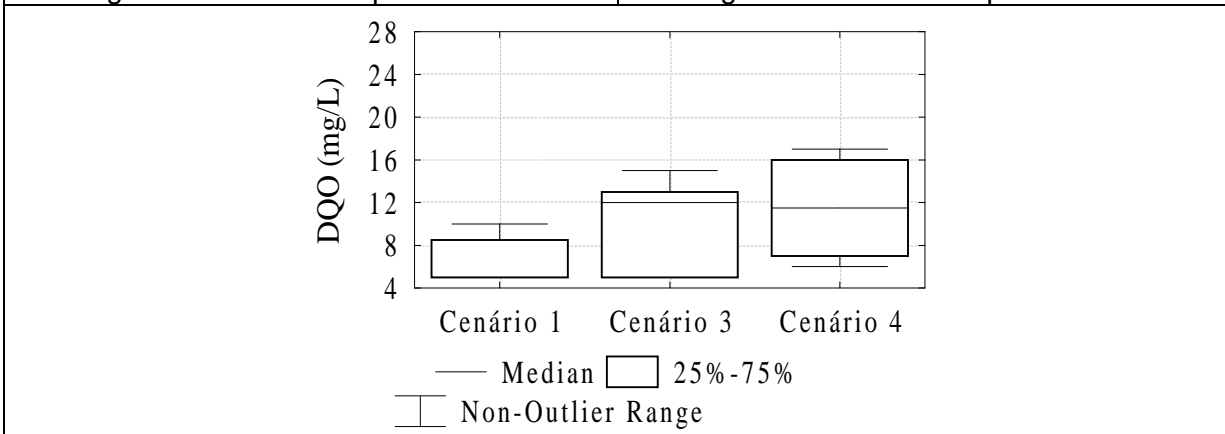


Figura 8.100 - DQO no ponto PO-05

As figuras 8.94 a 9.100 indicam nenhuma possível relação entre as concentrações de DQO entre os diversos cenários de comparação. Para cada ponto de coleta, observou-se uma tendência diferente entre os diversos cenários. Para os pontos PO-01, PO-01B e PO-03, por exemplo, os valores de DQO para o Cenário 1 foram mais elevados do que nos Cenários 2 e 3. Contudo, para o ponto PO-02, os cenários 1 e 3 apresentaram distribuição de valores aproximadamente igual, enquanto que o ponto PO-05 apresentou uma tendência crescente de valores do cenário 1 para os cenários 3 e 4. Desta forma, conclui-se que não há indícios de influência da instalação dos barramentos sobre o parâmetro DQO.

As figuras 8.101 a 8.103, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F) são apresentadas a seguir.

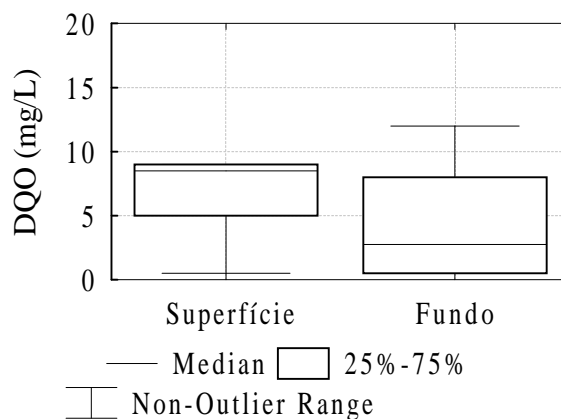


Figura 8.101 – Dados estatísticos de DQO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

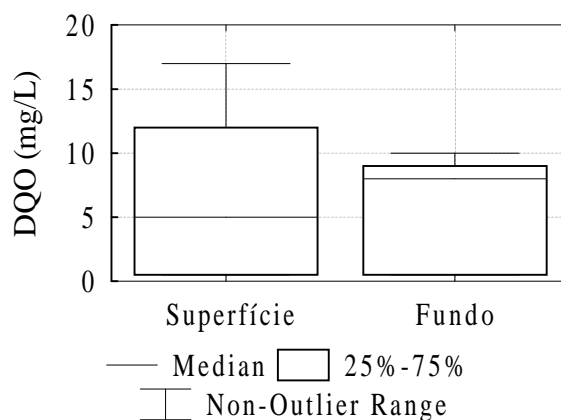


Figura 8.102 – Dados estatísticos de DQO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

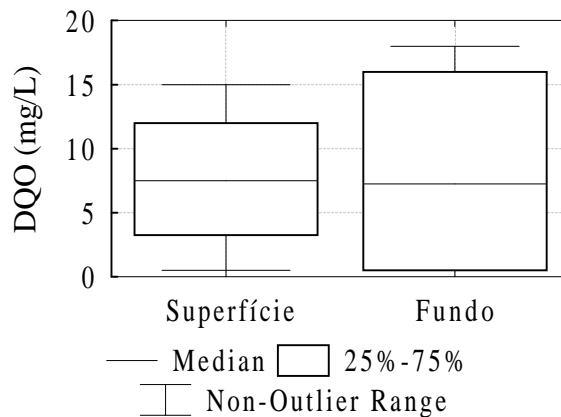


Figura 8.103 – Dados estatísticos de DQO das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

Em uma análise das figuras 8.101 a 8.103, pode-se concluir que não há diferenças significativas de DQO ao longo da profundidade dos três reservatórios em estudo, nem tendências comuns identificáveis aos três reservatórios.

8.4.9. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em íons e pela temperatura. Este parâmetro apresenta valores típicos para cada bacia de drenagem, devido principalmente às características do solo da mesma. Já as principais fontes dos sais de origem antropogênica naturalmente contidos nas águas são: as descargas industriais de sais, o consumo de sal em residências e no comércio e as excreções de sais humanas e animais.

A condutividade elétrica constitui uma das variáveis de grande importância em estudos e limnológicos, pois fornece informações a respeito do metabolismo do ecossistema aquático e dos fenômenos naturais e/ou antrópicos que ocorrem na bacia de drenagem. A variação da condutividade elétrica fornece indicações sobre processos como a decomposição da matéria orgânica, pois geralmente se verifica um aumento de seus valores à medida que tal processo é intensificado. Assim, medidas desta variável podem auxiliar a detectar fontes de poluição em ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998 apud Landa e Landa, 2001).

Segundo von Sperling (1998), os valores médios de condutividade elétrica nos rios brasileiros variam na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade específica da água aumenta. Altos valores de condutividade são obtidos quando ocorre o lançamento de águas residuárias não tratadas (portanto, ricas em sais), nos corpos d'água receptores, e podem indicar características corrosivas da água.

As chuvas podem contribuir tanto para o aumento quanto para a diminuição dos valores de condutividade elétrica, dependendo da quantidade e espécie do íon carregado pelo escoamento. Alguns autores consideram que a condutividade tende a diminuir em períodos de chuva, em função da maior diluição decorrente do aumento de vazão do corpo hídrico. Barreto (1999 apud von Sperling, 1998), estudando o rio Monjolinho, em São Carlos, verificou que as maiores concentrações situavam-se nos períodos secos causados pela menor diluição dos efluentes urbanos e pela entrada de água dos córregos Tijuco Preto e Gregório. Tal situação também foi averiguada por von Sperling (2004), ao estudar o lago de Águas Claras, quando constatou a ocorrência de valores de condutividade elétrica um pouco mais elevados no período seco, quando não ocorre o efeito diluidor das águas de chuva.

Por outro lado, a concentração de sólidos dissolvidos carregados pelas águas das primeiras chuvas (poluição difusa) pode elevar a condutividade, principalmente em áreas agrícolas.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.104 apresenta o gráfico das séries temporais de condutividade elétrica em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

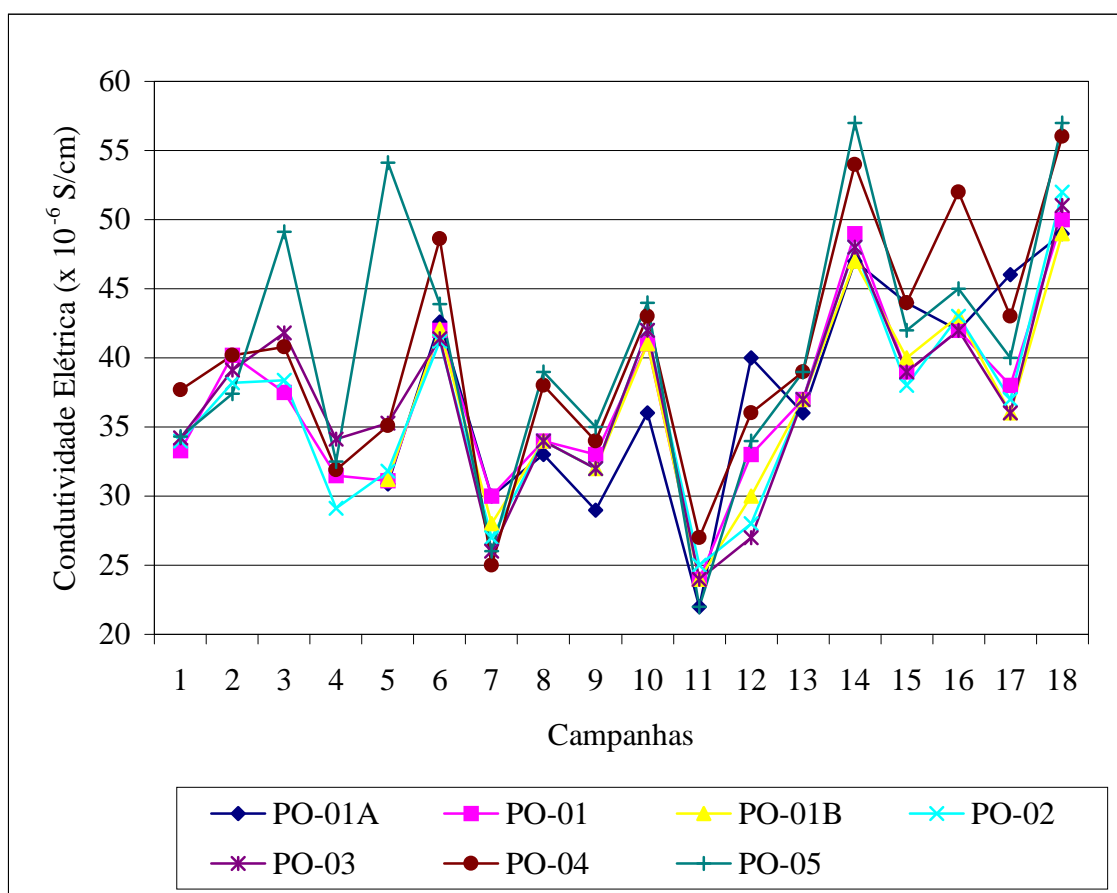


Figura 8.104 – Séries temporais de condutividade elétrica dos pontos de coleta

Avaliando a Figura 8.104, percebe-se que todos os pontos de coleta apresentam variação de condutividade elétrica aproximadamente igual ao longo do tempo. Os valores situaram-se entre 20 e 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estes valores de condutividade estão dentro do esperado para rios brasileiros, que variam na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (von Sperling, 1998). Tais valores também estão de acordo com Margalef (1986 apud Mucci et al, 2004), que afirma que as águas naturais, em geral, apresentam condutividade de até 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Observa-se, ainda, uma tendência de queda na condutividade elétrica a partir de janeiro/2003 (campanha n.º 7) seguida de um aumento a partir da campanha de outubro/2004 (campanha n.º 14). Contudo, esta tendência não pode ser atribuída à instalação dos barramentos ou à formação dos reservatórios, uma vez que se iniciou, aproximadamente, um ano após a instalação dos barramentos da PCH Ponte e da Palestina e anteriormente à instalação da PCH Triunfo. Ademais, esta tendência ocorreu em todos os pontos de coleta, incluindo o ponto PO-01A, que não é afetado pela instalação dos barramentos. Uma provável explicação para esta tendência seria devido a alguma ação antrópica, tais como uma nova fonte de poluição no rio Pomba. Infere-se que esta tendência não é ocasionada pela sazonalidade, uma vez que ocorreu durante um ciclo hidrológico completo, englobando campanhas realizadas durante os períodos de seca, chuvosos e intermediários.

A Tabela 8.35 apresenta alguns dados estatísticos da condutividade elétrica da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.35 - Dados estatísticos de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	37,68	7,97	0,21	49,0	22,0	27,0
PO-01	36,98	6,56	0,18	50,0	24,0	26,0
PO-01B	36,74	7,33	0,20	49,0	24,0	25,0
PO-02	36,43	7,20	0,20	52,0	25,0	27,0
PO-03	36,88	7,12	0,19	51,0	24,0	27,0
PO-04	40,29	8,57	0,21	56,0	25,0	31,0
PO-05	40,63	9,67	0,24	57,0	22,0	35,0

De acordo com os dados da Tabela 8.35, pode-se observar que os valores de condutividade elétrica das águas do rio Pomba são muito próximos ao longo do trecho estudado. Dessa forma, comparando os valores de condutividade dos pontos situados a montante e a jusante dos barramentos, infere-se que não há influência significativa das PCH's sobre a condutividade elétrica das águas.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro condutividade elétrica. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.105 a 8.111 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro condutividade elétrica.

<p style="text-align: center;">Cenário 1</p> <p style="text-align: center;">— Median □ 25%-75% — Non-Outlier Range</p>	<p style="text-align: center;">Figura 8.106 - Condutividade no ponto PO-01</p>
<p style="text-align: center;">Figura 8.107 - Condutividade ponto PO-01B</p>	<p style="text-align: center;">Figura 8.108 - Condutividade no ponto PO-02</p>
<p style="text-align: center;">Figura 8.109 - Condutividade no ponto PO-03</p>	<p style="text-align: center;">Figura 8.110 - Condutividade no ponto PO-04</p>



Figura 8.111 - Condutividade no ponto PO-05

Analisando as figuras 8.105 a 8.111, observa-se uma possível tendência, mesmo que pequena, de elevação dos valores e da variabilidade dos resultados de condutividade elétrica quando se compara o Cenário 1 (sem influência de barramentos) com os demais cenários (com a influência de um a três barramentos), com exceção do ponto PO-05. Contudo, face aos pontos expostos anteriormente, não foi possível estabelecer alguma possível influência dos barramentos sobre o parâmetro condutividade elétrica. Dessa forma, estima-se que essa possível tendência seja devido a outros fatores, como fontes de poluição ou demais ações antrópicas.

O estudo dos perfis verticais de condutividade elétrica ao longo das profundidades dos três reservatórios em estudo foi apresentado junto com a avaliação da influência da estratificação dos reservatórios sobre a qualidade das águas, no Tópico 8.2 do presente capítulo.

As figuras 8.112 a 8.114, a seguir, comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F).

Figura 8.112 – Dados estatísticos de condutividade elétrica das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.113 – Dados estatísticos de condutividade elétrica das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.114 – Dados estatísticos de condutividade elétrica das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

A princípio, baseado nas figuras 8.112 a 8.114, percebe-se que não há diferenças significativas de condutividade elétrica ao longo das profundidades dos três reservatórios. Pode-se observar, porém, um pequeno aumento da condutividade elétrica entre os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo. Cumpre lembrar no entanto que as coletas de “fundo” foram realizadas nas profundidades de 3,0 a 6,0 metros. Esta avaliação pode ser complementada de acordo com a análise do perfil vertical de condutividade elétrica dos três reservatórios, apresentada no Tópico 8.2 deste capítulo.

8.4.10. Cloretos

As águas naturais, em menor ou maior escala, contém íons resultantes da dissolução de minerais. Os íons cloretos (Cl⁻) são advindos da dissolução de sais nas águas. Um aumento no teor de cloretos na água é indicador de uma possível poluição por esgotos (através de excreção de cloreto pela urina), despejos industriais e águas utilizadas em irrigação. A presença de cloretos acelera os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio.

São medidos em mg/L e em determinadas concentrações podem conferir um sabor salgado à água.

Segundo Marques (1993), o teor de cloretos numa determinada água pode variar dentro de uma faixa muito ampla, entretanto, um aumento considerável de seu teor em águas de superfície ou subterrâneas, pode estar também ligado à contaminação industrial ou por esgoto doméstico.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.115 apresenta o gráfico das séries temporais de cloretos em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.115 – Séries temporais de cloretos dos pontos de coleta

A partir da Figura 8.115, percebe-se uma variação semelhante das concentrações de cloretos nas águas do rio Pomba em todos os pontos de coletas, durante todo o período de monitoramento das águas. Os valores encontraram-se baixos na maioria das campanhas – em torno de 1,0 a 2,0 mg/L – com exceção das campanhas de janeiro e abril de 2003, janeiro e abril de 2004 e janeiro de 2005 (campanhas n.º 7, 8, 11, 12 e 15). Estas campanhas ocorreram durante o período de chuvas e de início da seca, o que pode indicar que o carreamento de

cloretos pelas águas das chuvas seja a origem destes picos. Contudo, esta situação não ocorreu durante os mesmos períodos do ano de 2002, o que indica que outra possível causa destes picos seja a poluição pontual ocasionada pelo lançamento de despejos domésticos e/ou industriais. Não se percebem quaisquer influências dos barramentos sobre este comportamento, uma vez que os picos ocorreram tanto anterior quanto posteriormente à instalação dos mesmos.

A Tabela 8.36 apresenta alguns dados estatísticos de cloretos da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.36 - Dados estatísticos de cloretos (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	5,24	5,99	1,14	18,00	1,20	16,80
PO-01	4,70	5,95	1,27	19,90	0,60	19,30
PO-01B	6,86	7,02	1,02	21,60	0,50	21,10
PO-02	4,71	5,19	1,10	16,60	0,60	16,00
PO-03	5,07	6,02	1,19	17,60	0,40	17,20
PO-04	5,67	7,13	1,26	21,30	0,50	20,80
PO-05	5,13	6,57	1,28	21,90	0,50	21,40

A partir da Tabela 8.36 verifica-se que não há diferenças significativas na concentração de cloretos entre os pontos de coleta – ou seja, ao longo do trecho do rio Pomba avaliado. Os dados estatísticos apresentaram valores relativamente próximos entre si, não permitindo a identificação de uma possível influência da instalação dos barramentos sobre este parâmetro.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 estabelece um padrão de 250 mg/L para o parâmetro cloreto total. Todos os resultados obtidos estiveram abaixo de 1/10 deste valor, tanto nas campanhas anteriores quanto posteriores à instalação dos barramentos. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, de acordo com o estabelecido pela legislação ambiental pertinente.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.116 a 8.122 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro cloretos.

Figura 8.116 – Cloretos no ponto PO-01A	Figura 8.117 - Cloretos no ponto PO-01
Figura 8.118 - Cloretos no ponto PO-01B	Figura 8.119 - Cloretos no ponto PO-02
Figura 8.120 - Cloretos no ponto PO-03	Figura 8.121 - Cloretos no ponto PO-04
Figura 8.122 - Cloretos no ponto PO-05	

Pela análise das figuras 8.116 a 8.122, podemos observar que não há nenhuma diferença significativa entre os cenários 1 e 2 nos pontos PO-01 e PO-01B. Contudo, ocorreu um ligeiro aumento da concentração de cloretos entre os cenários 1 e 3 nos pontos PO-02 e PO-03, e uma diminuição entre os cenários 1 e 4 para os pontos PO-04 e PO-05. Dessa forma, observa-se que não há uma relação coerente entre a instalação dos barramentos e a variação de cloretos, uma vez que a variação dos resultados de cloretos sem a instalação dos barramentos (Cenário 1) foi aproximadamente igual à variação com a instalação de um, dois e três barramentos (cenários 2, 3 e 4; respectivamente). Dessa forma, a variação dos resultados entre os cenários pode ser atribuída aos demais fatores intervenientes ao longo das campanhas de coleta.

As figuras 8.123 a 8.125, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.123 – Dados estatísticos de cloretos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.124 – Dados estatísticos de cloretos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.125 – Dados estatísticos de cloretos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As Figuras 8.123 a 8.125 indicam valores muito próximos da concentração de cloretos entre a superfície e subsuperfície (“fundo”) em todos os reservatórios. Conclui-se, portanto, que este parâmetro não é influenciado pela profundidade dos reservatórios.

8.4.11. Fosfato Solúvel

O fósforo aparece sob várias formas na água. É um constituinte essencial dos seres vivos, participando dos processos de respiração, fotossíntese e reprodução celular. O fósforo, ao lado de outros nutrientes, representa um papel importante nos processos de eutrofização (aumento da população e produção biológica) de um corpo hídrico, sendo que a fração solúvel do fósforo é aquela que é mais facilmente incorporada à biomassa das algas.

Suas fontes podem ser naturais (oriundas da dissolução de compostos do solo e decomposição de matéria orgânica) ou antropogênicas (derivadas de despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes) (von Sperling, 1996). Em águas não poluídas, o fosfato é formado principalmente durante os processos biológicos de transformação de substâncias orgânicas em fosfato inorgânico. Águas de drenagem de solo podem “lavar” o fosfato, introduzindo-o na água como material em suspensão, ou sob a forma dissolvida. Águas usadas por lavanderias ou para limpeza em geral trazem grandes quantidades de fosfatos. Uma vez que o fósforo sofre degradação bioquímica, sua análise deve se processar o mais rápido possível após a coleta das amostras.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.126 apresenta o gráfico das séries temporais de fosfato solúvel em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.126 – Séries temporais de fosfato solúvel dos pontos de coleta

A Figura 8.126 indica grande variação da concentração de fosfato solúvel entre os pontos de coleta e ao longo das campanhas. Visualmente, as campanhas n.º 1 a 8, realizadas antes da construção dos barramentos, apresentaram uma variação de resultados muito mais elevados do que as demais (campanhas n.º 9 a 18). Estes resultados podem ser uma consequência da assimilação de fósforo solúvel pela comunidade fitoplanctônica. Observa-se, ainda, que as campanhas com maiores precipitações (campanhas n.º 7, 11, 3 e 12) apresentaram baixas concentrações de fosfato solúvel, talvez devido à maior diluição destes compostos.

A Tabela 8.37 apresenta dados estatísticos de fosfato solúvel da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.37 - Dados estatísticos de fosfato solúvel (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	0,02	0,02	0,70	0,06	0,01	0,05
PO-01	0,04	0,04	0,90	0,14	0,01	0,13
PO-01B	0,02	0,02	0,74	0,06	0,01	0,05
PO-02	0,03	0,03	1,10	0,11	0,01	0,10
PO-03	0,03	0,03	0,95	0,08	0,01	0,07
PO-04	0,03	0,03	0,92	0,10	0,01	0,09
PO-05	0,03	0,04	1,08	0,12	0,01	0,11

Os valores médios de fosfato solúvel apresentados na Tabela 8.37 indicam que não há diferenças significativas destes parâmetro ao longo da rede de monitoramento das águas do rio Pomba. Os valores mínimos indicam que as águas do rio Pomba apresentaram valores de fosfato solúvel igual ou inferior ao limite de detecção analítico (0,01 mg/L), pelo menos, em uma ou mais campanhas.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.127 a 8.133 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro fosfato solúvel.

Figura 8.127 - Fosfato solúvel ponto PO-01A	Figura 8.128 - Fosfato solúvel ponto PO-01
Figura 8.129 - Fosfato solúvel ponto PO-01B	Figura 8.130 - Fosfato solúvel ponto PO-02

Figura 8.131 - Fosfato solúvel ponto PO-03	Figura 8.132 - Fosfato solúvel ponto PO-04
<p>Figura 8.133 - Fosfato solúvel no ponto PO-05</p>	

Avaliando as figuras 8.127 a 8.133, percebe-se uma diminuição dos valores de fosfato solúvel quando são comparados o Cenário 1 (sem a instalação de nenhum barramento) com os demais cenários (após a instalação dos barramentos), corroborando a conclusão feita anteriormente. Pode-se observar também, uma aparente tendência de diminuição dos valores de fosfato solúvel ao longo da rede de monitoramento, de montante para jusante (do ponto PO-01 ao ponto PO-05), o que pode ser um indício de que o fosfato solúvel vem sendo assimilado ao longo do curso do rio Pomba, possivelmente pela comunidade fitoplanctônica presente nos reservatórios.

As figuras 8.134 a 8.136, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.134 – Dados estatísticos de Fosfato Solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.135 – Dados estatísticos de Fosfato Solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.136 – Dados estatísticos de Fosfato Solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.134 a 8.136 indicam que, com exceção do reservatório da PCH Palestina, as concentrações de fosfato solúvel distribuem-se de forma aproximadamente igual ao longo da profundidade. No caso da PCH Palestina, observam-se valores muito inferiores na região superficial em relação às camadas subsuperficiais do seu reservatório (entre 3,0 e 6,0 metros de profundidade). Este fato pode ser um indício de uma alta assimilação de fosfato solúvel

pelas algas na zona fótica, implicando, conseqüentemente, em um crescimento exagerado das mesmas e início de desenvolvimento do processo de eutrofização deste reservatório. Esta questão, de grande importância, será avaliada no tópico referente à análise da comunidade fitoplanctônica .

8.4.12. Fósforo Total

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo. O fósforo orgânico é de menor importância. O fósforo total é a soma das parcelas de todas essas formas.

Da mesma forma que o nitrogênio, o fósforo é um elemento indispensável para o crescimento dos microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e de algas e plantas aquáticas que, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (processo denominado eutrofização) (von Sperling, 1996). Dessa forma, em termos de corpos hídricos, os valores de fósforo total podem ser utilizados como indicativos aproximados do estado de eutrofização dos lagos.

De forma a caracterizar o estágio de eutrofização dos corpos d'água, foram desenvolvidos sistemas classificatórios segundo os níveis ou graus de trofia, conforme apresentado na Tabela 8.38.

Tabela 8.38 – Classes de trofia dos corpos d'água segundo a concentração de fósforo total nas águas

Classe de trofia	Concentração de fósforo total (mg/L)	Produtividade primária
Ultraoligotrófico	< 0,005	Baixíssima
Oligotrófico	< 0,010 – 0,020	Baixa
Mesotrófico	0,010 – 0,050	Intermediária
Eutrófico	0,025 – 0,100	Elevada
Hipereutrófico	> 0,100	Elevadíssima

Fonte: adaptado de von Sperling (1996)

Nota: A superposição dos valores entre duas faixas indica a dificuldade no estabelecimento de faixas específicas de classificação

Tundisi & Tundisi (1992 apud Mucci et al, 2004) mencionam que valores entre 0,005 e 0,006 mg/L são limítrofes entre o estado de mesotrofia e eutrofia para lagos tropicais. De acordo com Wetzel (1993, apud Mucci et al, 2004), em relação à profundidade dos lagos para as

concentrações médias do fósforo total epilimnético, valores menores que 0,005 mg/L são indicativos de lagos ultraoligotróficos e a concentração de fósforo total da maior parte das águas de superfícies não contaminadas está entre 0,010 e 0,50 mg/L.

De acordo com Esteves (1986, apud Mucci et al, 2004), em lagos de regiões tropicais observa-se que o mesmo lago pode apresentar simultaneamente, características oligotróficas e eutróficas ou alternam estas em função das estações secas e chuvosas. Fatores como pouca profundidade e elevada temperatura a que estão submetidos impoem aos lagos tropicais um metabolismo próprio e peculiar.

A associação entre as classes de trofia e os usos da água é apresentada na Tabela 8.39.

Tabela 8.39 – Associação entre os usos e os graus de trofia em um corpo d'água

Usos da água	Ultra-oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hiper-eutrófico
Abastecimento de água					
• Potável		Desejável	Tolerável		
• de processo			Desejável		
• de resfriamento				Tolerável	
Recreação					
• de contato primário			Desejável		
• de contato secundário			Desejável	Tolerável	
Criação de peixes					
• Espécies sensíveis			Desejável		
• Espécies tolerantes				Tolerável	
Irrigação					Tolerável
Produção de energia					Tolerável

Fonte: adaptado de von Sperling (1996)

Visando atender uma solicitação da FEAM, foram prognosticados os riscos de eutrofização dos reservatórios por meio da estimativa de concentração de fósforo segundo o modelo de Vollenweider (1976). Os resultados destes estudos indicam que os reservatórios possuem características de ambientes mesotróficos e eutróficos (FEAM, 2001).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.137 apresenta o gráfico das séries temporais de fosfato total em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.137 – Séries temporais de fosfato total dos pontos de coleta

O gráfico das séries temporais de fosfato total demonstra um comportamento similar ao de fosfato solúvel, qual seja, com grande variação da concentração de fosfato total entre os pontos de coleta em si e ao longo das campanhas de monitoramento e com uma tendência de diminuição dos valores após as campanhas referentes à construção dos barramentos, embora esta tendência não seja tão marcante quanto para o parâmetro fosfato solúvel. Este resultado condiz com o esperado, uma vez que os resultados de fosfato solúvel integram os de fosfato total. Uma possível explicação para este comportamento seria a mesma feita para o fosfato solúvel, qual seja, a assimilação de fósforo solúvel pela comunidade fitoplanctônica .

Observando-se a Figura 8.137, pode-se constatar que os valores de fosfato total variaram entre o limite de detecção ($< 0,01$ mg/L) e $0,15$ mg/L, com exceção do ponto PO-01 (reservatório da PCH Ponte), que apresentaram valores excepcionais durante as campanhas de julho e outubro de 2002 (campanhas n.º 5 e 6), iguais a $0,16$ e $0,25$ mg/L, respectivamente. Tendo em vista que estes resultados ocorreram apenas no ponto PO-01, sugere-se haver uma possível fonte de poluição pontual.

Cumpram ressaltar que não foram encontrados valores mais elevados de fosfato total durante os períodos de chuva, conforme era esperado, em virtude do carreamento de fertilizantes ricos em nutrientes oriundos das áreas agrícolas.

A Tabela 8.40 apresenta alguns dados estatísticos de fosfato total da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.40 - Dados estatísticos de fosfato total (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	0,06	0,03	0,49	0,10	0,01	0,09
PO-01	0,07	0,06	0,89	0,25	0,01	0,24
PO-01B	0,06	0,04	0,70	0,13	0,01	0,12
PO-02	0,05	0,04	0,77	0,14	0,01	0,13
PO-03	0,05	0,03	0,60	0,10	0,01	0,09
PO-04	0,05	0,03	0,55	0,12	0,01	0,11
PO-05	0,06	0,04	0,68	0,14	0,01	0,13

Levando em consideração a Tabela 8.40, observa-se que, em média, os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo podem ser classificados como eutróficos, segundo os critérios apresentados na Tabela 8.38. Isto implica em cuidados especiais quanto aos usos da água dos reservatórios - e do rio Pomba, em geral - para abastecimento de água potável e de processos, recreação de contato primário e criação de espécies sensíveis de peixes, segundo a Tabela 8.39.

Comparando os valores médios de fosfato solúvel e fosfato total, apresentados nas Tabelas 8.37 e 8.40, concluiu-se que aproximadamente metade da concentração de fosfato nas águas do rio Pomba está presente na forma solúvel, e assim, disponível para os produtores primários aquáticos.

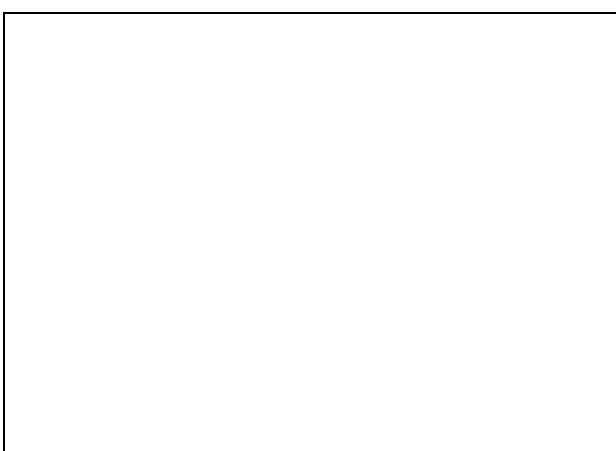
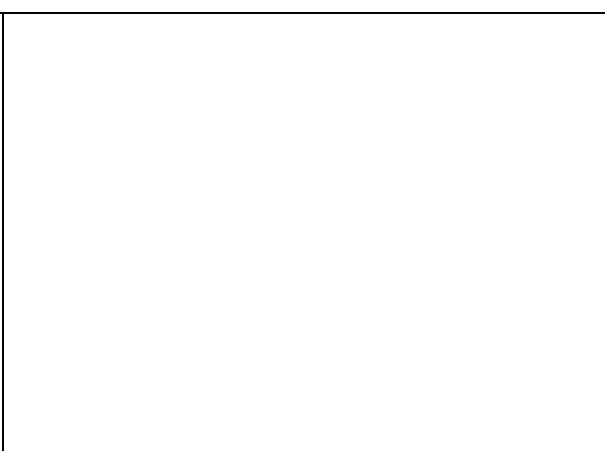
A partir da Figura 8.137 e da Tabela 8.40 podem ser feitas algumas considerações sobre o atendimento do parâmetro fosfato total em relação aos padrões de atendimento de enquadramento do rio Pomba.

A Resolução CONAMA n.º 357/05 estabelece padrões de fósforo total para águas Classe 2, em função do tipo de ambiente aquático: 0,03 mg/L para ambientes lênticos, 0,05 mg/L para os chamados ambientes intermediários (tempo de residência entre 2 e 40 dias) e 0,10 mg/L para os ambientes lóticos. Os tempos de residência gerais das águas dos três reservatórios – apresentados na Tabela 7.4 – indicam que eles são classificados, segundo os critérios da Resolução CONAMA n.º 357/2005, como ambientes intermediários.

Para os pontos PO-01A, PO-01B, PO-03 e PO-05, que representam o ambiente lótico para qualquer campanha, pode-se observar que durante a maioria das campanhas, os valores do parâmetro fosfato total atenderam ao padrão de 0,10 mg/L, com exceção dos pontos PO-01B (na campanha n.º 15) e PO-05 (nas campanhas n.º 3, 4, 14 e 18). Para os pontos PO-01, PO-02 e PO-03, que representam tanto ambientes lóticos (anteriormente à formação dos reservatórios), como ambientes intermediários (posteriormente à formação dos reservatórios), os valores ultrapassaram os limites nas campanhas em diversas ocasiões: em nove campanhas para o ponto PO-01, cinco para o ponto PO-02 e três campanhas para o ponto PO-04. Dessa forma, observa-se que o rio Pomba apresenta altas concentrações de fosfato total, que contrariam os usos pretendidos para águas Classe 2, com ou sem a instalação dos barramentos.

Tendo em vista que a instalação dos barramentos e a conseqüente formação dos reservatórios tendem a diminuir a concentração de fosfato total das águas, conclui-se que os mesmos não terão impactos negativos sobre os usos da água permitidos para Classe 2. Contudo, deve ser dada importância significativa a outros problemas, como a eutrofização e suas conseqüências.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.138 a 8.144 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro fosfato total.

	
Figura 8.138 – Fosfato total no ponto PO-01A	Figura 8.139 - Fosfato total no ponto PO-01

<p>Figura 8.140 - Fosfato total no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.141 - Fosfato total no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.142 - Fosfato total no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.143 - Fosfato total no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.144 - Fosfato total no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.138 a 8.144 apresentaram comportamentos similares àqueles encontrados para o parâmetro fosfato solúvel. Observa-se uma tendência de diminuição das concentrações de fosfato na água após a instalação dos barramentos, ao se comparar os resultados obtidos entre os cenários. Também se observa uma tendência de diminuição ao longo do trecho do rio Pomba estudado.

As figuras 8.145 a 8.147, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.145 – Dados estatísticos de fosfato total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.146 – Dados estatísticos de fosfato total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.147 – Dados estatísticos de fosfato total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.145 a 8.147 indicam que não há diferenças significativas entre as concentrações de fosfato total ao longo dos primeiros metros de profundidade dos três reservatórios. Tal verificação coincide com a obtida para o parâmetro fosfato solúvel, com a diferença de que o reservatório da PCH Palestina concentrações de fosfato solúvel diminutas nas águas da superfície. Conclui-se, portanto que, neste reservatório, o fosfato total deveu-se principalmente ao fosfato em sua forma insolúvel.

8.4.13. Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio amoniacal (amônia) é uma substância tóxica não persistente e não cumulativa. Sua concentração, que normalmente é baixa, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. Porém, grandes quantidades de amônia podem causar o sufocamento dos peixes.

A amônia pode apresentar-se sob as formas ionizada (NH_4^+) ou não-ionizada (NH_3). A forma ionizada recebe, muitas vezes, a denominação de íon amônio, enquanto que a não-ionizada é também conhecida por amônia livre. Estas espécies de amônia são intercambiáveis, sendo a forma não-ionizada reconhecidamente mais tóxica que o íon amônio. A amônia total, usualmente determinada pelos métodos laboratoriais correntes, constitui a soma das concentrações da forma ionizada e não-ionizada da amônia. (Reis et al, 1998)

A amônia é um constituinte comum dos esgotos municipais como resultado direto de descargas de efluentes industriais, da hidrólise da uréia e da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados. (Ruffier, 1981 apud Reis et al, 1998)

Nos corpos d'água, a amônia ocorre naturalmente como consequência da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no solo e na água, excreção da biota, redução do nitrogênio gasoso na água por microrganismos e por trocas gasosas com a atmosfera (UNESCO/WHO/UNEP, 1992 apud Reis et al, 1998)

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.148 apresenta o gráfico das séries temporais de nitrogênio amoniacal em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.148 – Séries temporais de nitrogênio amoniacal dos pontos de coleta

Os valores de nitrogênio amoniacal apresentaram variação semelhante aos de sólidos em suspensão e sólidos totais – conforme será visto a seguir –, com picos durante as campanhas de janeiro de 2003, 2004 e 2005 e abril de 2004 (campanhas n.º 7, 11, 12 e 15), provavelmente como decorrência do carreamento de excrementos de animais e fertilizantes da bacia de drenagem do rio Pomba na região em estudo. Durante as demais campanhas, realizadas no período seco, os valores apresentaram-se baixos, inferiores a 1,0 mg/L.

A Tabela 8.41 apresenta alguns dados estatísticos de nitrogênio amoniacal da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.41 - Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	0,54	0,69	1,28	2,50	0,05	2,45
PO-01	0,39	0,59	1,49	2,45	0,03	2,42
PO-01B	0,53	0,62	1,17	2,22	0,01	2,21
PO-02	0,66	1,17	1,79	4,80	0,02	4,78
PO-03	0,41	0,61	1,50	2,42	0,02	2,40
PO-04	0,39	0,59	1,50	2,30	0,04	2,26
PO-05	0,44	0,63	1,42	2,15	0,04	2,11

A Tabela 8.41 indica que todos pontos de coleta apresentaram dados estatísticos na mesma ordem de grandeza entre si. Observação deve ser feita em relação ao ponto PO-02 (reservatório da PCH Palestina), que apresentou os maiores resultados para todas as medidas estatísticas (exceto valor mínimo). Esta situação ocorreu em função de, principalmente, um único resultado, ocorrido neste ponto durante a campanha de abril/2004, quando o nitrogênio amoniacal apresentou um valor próximo a 5,0 mg/L. Este resultado pode ter sido causado, provavelmente, por alguma fonte de poluição pontual, não sendo, portanto, conseqüência da instalação de nenhum dos barramentos.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 apresenta diversos padrões para a concentração de nitrogênio amoniacal em águas Classe 2, em função do pH. Estes padrões são apresentados na Tabela 8.42, a seguir.

Tabela 8.42 – Padrões de nitrogênio amoniacal total para águas Classe 2

Faixa de pH	Límite máximo de nitrogênio amoniacal (mg/L)
pH ≤ 7,5	3,7
7,5 < pH ≤ 8,0	2,0
8,0 < pH ≤ 8,5	1,0
PH > 8,5	0,5

Fonte: Resolução Conama n.º 357/2005

Com base nas tabelas 8.27 e 8.42 e na Figura 8.27, podemos concluir:

- O maior valor de pH obtido foi igual a 8,04 durante a campanha do mês de abril de 2002, no ponto PO-03. Foi o único valor de pH superior a 8,00, para todas as amostras. Durante a referida campanha, este ponto apresentou uma concentração de nitrogênio amoniacal igual a 0,28 mg/L, estando, portanto, dentro dos padrões da Classe 2.
- Para as demais campanhas, o valor de pH verificado foi inferior a 8,0; em todos os pontos. Dessa forma, o limite de nitrogênio amoniacal para estas campanhas, segundo a resolução CONAMA n.º 357/2005, é igual a 2,0 ou 3,7; em função da faixa de pH.
- O único valor de nitrogênio amoniacal acima de 3,7 mg/L ocorreu no ponto PO-02 durante a campanha de abril/2004 (campanha n.º 12). Este valor esteve acima do limite estabelecido pela Resolução Conama n.º 357/2005, independente do valor de pH.
- Os únicos valores de nitrogênio amoniacal entre 2,0 e 3,7 mg/L ocorreram na campanha de janeiro/2003 (campanha n.º 7), para todos os pontos. Durante esta campanha, os valores de pH para os pontos de coleta variaram entre 5,97 e 6,68. Neste intervalo de pH,

inferior a 7,5; o limite de nitrogênio amoniacal para Classe 2 é igual a 3,7 mg/L. Assim sendo, nesta campanha, todos os pontos estiveram situados dentro do limite para águas Classe 2.

Concluindo, constata-se que o parâmetro Nitrogênio Amoniacal ultrapassou os limites definidos para águas Classe 2 pela Resolução CONAMA n.º 357/2005, em apenas uma campanha e em um único ponto de coleta, que apresentou um valor excepcional.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.149 a 8.155 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro nitrogênio amoniacal.

Figura 8.149 – N. amoniacal ponto PO-01A	Figura 8.150 - N. amoniacal no ponto PO-01
Figura 8.151 - N. amoniacal ponto PO-01B	Figura 8.152 - N. amoniacal no ponto PO-02

Figura 8.153 - N. amoniacal no ponto PO-03	Figura 8.154 - N. amoniacal no ponto PO-04
<p style="text-align: center;">Figura 8.155 - N. amoniacal no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.149 a 8.155 apresentaram resultados muitos semelhantes entre si para todos os pontos de coleta, com exceção do Cenário 1 no ponto PO-01B. Neste caso, cumpre esclarecer as origens desta divergência de resultados. Este Cenário apresentou um percentil elevado (superior a 1,2 mg/L) em virtude de algum erro na elaboração do gráfico, por alguma razão não-identificada, uma vez que não existe este valor no conjunto de dados relacionados a este cenário (0,01; 0,28; 2,22 e 0,31 mg/L).

As variações de resultados entre os cenários foram ocasionadas em função dos picos ocorridos durante as campanhas de chuvas, sem nenhuma correlação com a instalação dos barramentos.

As figuras 8.156 a 8.158, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.156 – Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.157 – Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.158 – Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

Em linhas gerais, pode-se constatar que não há diferenças significativas de concentração de nitrogênio amoniacal ao longo da profundidade dos reservatórios. O reservatório da PCH Palestina apresentou os maiores valores de nitrogênio amoniacal, seguido do reservatório da PCH Ponte e, por último, da PCH Triunfo.

8.4.14. Nitrato

O nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas, e é produto final da oxidação bioquímica da amônia. O estudo da variação da concentração de nitratos e das demais formas de nitrogênio serve para caracterizar a velocidade do processo de autodepuração dos corpos hídricos. (Marques, 1993)

Via de regra, os nitratos aparecem em pequenas quantidades em águas superficiais, podendo atingir valores consideráveis em águas subterrâneas. Concentrações de nitratos superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, pois as principais fontes de nitratos são dejetos humanos e animais.

Os nitratos estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, florescem na presença destes e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado das mesmas (processo denominado de eutrofização). Altos teores de nitrato também podem causar um tipo de anemia em crianças (metahemoglobinemia).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.159 apresenta o gráfico das séries temporais de nitrogênio amoniacal em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.159 – Séries temporais de nitratos dos pontos de coleta

A concentração de nitratos apresentou valores bastante elevados durante as campanhas de janeiro/2003, janeiro e outubro de 2004 (campanhas n.º 7, 11 e 14). Constatou-se que não correlação dos valores obtidos à ocorrência ou não de chuvas. Este resultado difere daqueles obtidos para o nitrogênio amoniacal em relação à campanha de outubro/2004, cujo pico ocorreu em janeiro/2005. A partir da Figura 8.157, pode-se observar também a ocorrência de dois picos de valores durante as campanhas de julho/2003 e abril/2004 (campanhas n.º 9 e 12), apenas para o ponto PO-02. Este fato corrobora com uma das conclusões observadas para o parâmetro nitrogênio amoniacal, indicando haver uma possível fonte de poluição pontual no reservatório da PCH Palestina, influenciando nos altos valores da série de nitrogênio.

A Resolução CONAMA n.º 357 estabelece um limite de 10 mg/L para o parâmetro nitratos. Observando a Figura 8.157, os resultados de nitratos do rio Pomba estiveram sempre abaixo da metade do limite da referida resolução, antes e após a instalação dos barramentos e a consequente formação dos reservatórios.

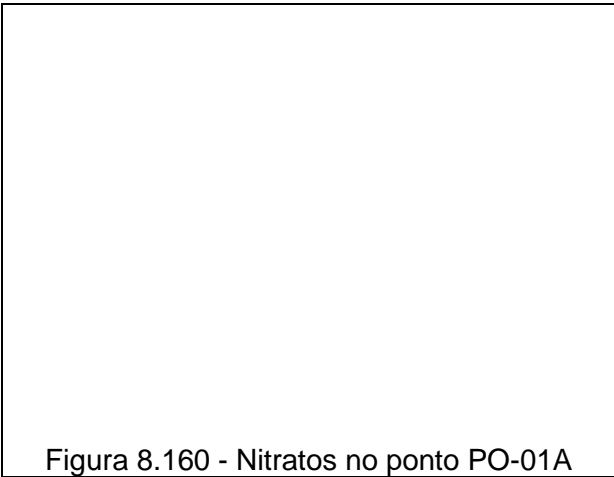
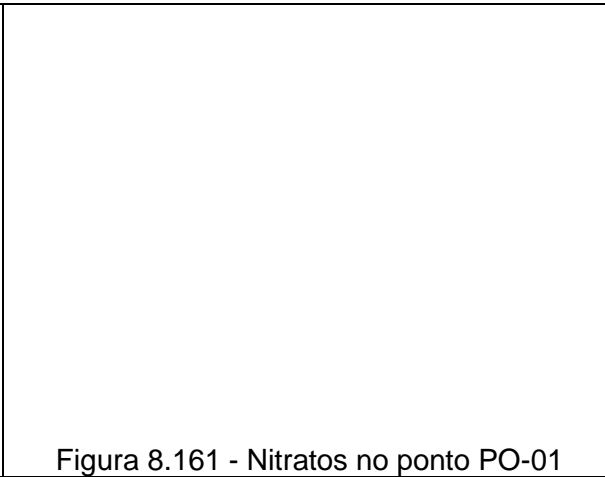
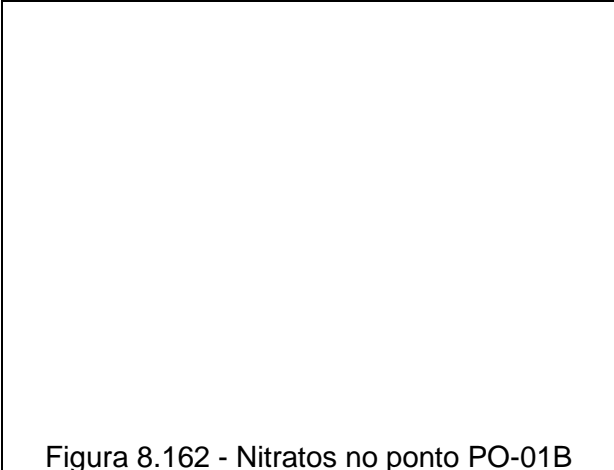
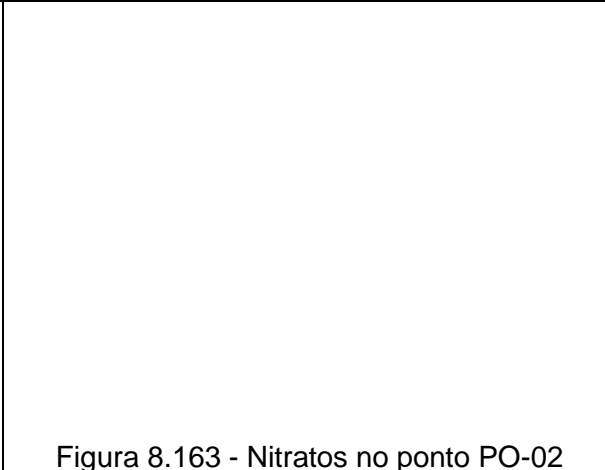
A Tabela 8.43 apresenta alguns dados estatísticos de nitratos da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.43 - Dados estatísticos de nitratos (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	0,6	0,5	0,8	1,9	0,2	1,7
PO-01	0,5	0,4	0,9	1,4	0,1	1,3
PO-01B	0,6	0,4	0,8	1,5	0,1	1,4
PO-02	0,7	0,8	1,2	3,6	0,2	3,4
PO-03	0,5	0,4	0,8	1,7	0,2	1,5
PO-04	0,6	0,6	1,0	2,3	0,2	2,1
PO-05	0,6	0,5	0,9	1,9	0,1	1,8

Os resultados acima são similares aos encontrados para nitrogênio amoniacal. Mais uma vez, o ponto PO-02 apresentou as medidas estatísticas superiores aos demais pontos, em função principalmente dos picos registrados nas campanhas n.º 9 e 12. Conforme inferência anterior, este resultado pode ter sido causado por alguma fonte de poluição pontual, não sendo, portanto, consequência da instalação dos barramentos.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.160 a 8.166 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta, para o parâmetro nitratos.

<p>Figura 8.164 - Nitratos no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.165 - Nitratos no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.166 - Nitratos no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.160 a 8.166 indicam que os nitratos não seguiram nenhuma tendência entre os diversos cenários de comparação. Os cenários 1 a 4 alternaram a predominância ao longo dos pontos de coleta avaliados, mas a maioria dos resultados permaneceram baixos, com concentrações de nitratos inferiores a 2,0 mg/L. Neste sentido, pode-se concluir que não há nenhuma relação direta entre a formação dos reservatórios e a concentração de nitratos nas águas do rio Pomba.

As figuras 8.167 a 8.169, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.167 - Dados estatísticos de nitratos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.168 - Dados estatísticos de nitratos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.169 - Dados estatísticos de nitratos das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.167 e 8.169 indicam que os reservatórios das PCH Ponte e PCH Triunfo não apresentaram variações significativas de nitratos ao longo dos primeiros metros de profundidade. Contudo, para o reservatório da PCH Palestina, as concentrações de nitratos na superfície estiveram significativamente superiores em relação às obtidas em maiores

profundidades. Este resultado pode ter sido causado pelo aporte de nitrogênio de uma possível fonte de poluição neste reservatório, conforme deduzido nas análises anteriores.

8.4.15. Nitrogênio Total

O nitrogênio pode estar presente na água nas formas de nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Encontra-se sob a forma de sólidos em suspensão e dissolvidos e suas fontes principais são despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes.

O nitrogênio é muito importante, pois:

- é um elemento indispensável para o crescimento de algas e plantas aquáticas (macrófitas) e, quando presente em elevadas concentrações, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos; e
- nos processos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio (o que pode afetar a vida aquática).

Em um corpo hídrico, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição. Uma poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais antiga está associada ao nitrogênio na forma de nitrato.

A concentração total de nitrogênio é altamente importante considerando-se os aspectos do corpo d'água. Em grandes quantidades, o nitrogênio contribui como causa da metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul).

Tanto o nitrogênio quanto o fósforo podem ser considerados nutrientes limitantes. Nutriente limitante é aquele que, sendo essencial para uma determinada população, limita seu crescimento. Em baixas concentrações do nutriente limitante, o crescimento populacional é baixo. Com a elevação da concentração do nutriente limitante, o crescimento populacional também aumenta. Essa situação persiste até o ponto em que a concentração deste nutriente passa a ser tão elevada no meio que um outro nutriente passa a ser o nutriente limitante, por não se apresentar em concentrações suficientes para suprir as necessidades da população maior. Esse novo nutriente passa a ser então o novo nutriente limitante, pois de nada adianta aumentar a concentração do anterior que a população não mais crescerá, pois estará limitada pela insuficiência do novo nutriente limitante (von Sperling, 1996).

A definição do fósforo ou nitrogênio como nutriente limitante para o crescimento de algas é realizada com base em um critério sugerido por Thomann e Mueller (1987 apud von Sperling, 1996), conforme exposto na Tabela 8.44.

Tabela 8.44 – Definição do nutriente limitante segundo a relação entre a concentração de nitrogênio e fósforo (N/P)

Relação entre a concentração de nitrogênio e fósforo	Nutriente limitante	Exemplo
N/P > 10	fósforo	Grandes lagos, com predominância de fontes não pontuais
N/P < 10	nitrogênio	Pequenos lagos, com predominância de fontes pontuais

Fonte: adaptado de von Sperling (1996)

Com base no critério definido na Tabela 8.44, pode-se identificar qual é o nutriente limitante para os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo, apresentados nas tabelas 8.45 a 8.47.

Tabela 8.45 – Concentrações de nitrogênio e fósforo e definição do nutriente limitante dos reservatórios da PCH Ponte

Campanhas	Concentração de nitrogênio (mg/L)	Concentração de fósforo (mg/L)	Relação N/P	Nutriente limitante
9	0,5	0,09	6	Nitrogênio
10	0,5	0,02	25	Fósforo
11	2,4	0,03	80	Fósforo
12	1,0	0,05	20	Fósforo
13	0,3	0,09	3	Nitrogênio
14	1,9	0,08	24	Fósforo
15	0,8	0,08	10	Ambos
16	0,3	0,01	30	Fósforo
17	0,3	0,01	30	Fósforo
18	0,6	0,02	30	Fósforo

Tabela 8.46 – Concentrações de nitrogênio e fósforo e definição do nutriente limitante dos reservatórios da PCH Palestina

Campanhas	Concentração de nitrogênio (mg/L)	Concentração de fósforo (mg/L)	Relação N/P	Nutriente limitante
10	0,5	0,02	25	Fósforo
11	2,0	0,03	67	Fósforo
12	6,6	0,01	660	Fósforo
13	0,3	0,06	5	Nitrogênio
14	1,0	0,14	7	Nitrogênio
15	1,2	0,04	30	Fósforo
16	1,0	0,01	100	Fósforo
17	0,4	0,02	20	Fósforo
18	0,6	0,04	15	Fósforo

Tabela 8.47 – Concentrações de nitrogênio e fósforo e definição do nutriente limitante dos reservatórios da PCH Triunfo

Campanhas	Concentração de nitrogênio (mg/L)	Concentração de fósforo (mg/L)	Relação N/P	Nutriente limitante
15	1,1	0,05	22	Fósforo
16	0,6	0,01	60	Fósforo
17	0,4	0,01	40	Fósforo
18	0,6	0,04	15	Fósforo

Avaliando os resultados das tabelas 8.45 a 8.47, concluiu-se que o nutriente limitante dos reservatórios em estudo é o fósforo, predominantemente. Esta conclusão está de acordo com Salas e Martino (1991, apud von Sperling, 1996), que afirmam que a maioria dos lagos tropicais da América Latina são limitados por fósforo. Posto isto, torna-se importante o controle do aporte de fósforo aos reservatórios em estudo, como medida de controle dos processos de eutrofização, como, por exemplo, através do tratamento dos esgotos sanitários lançados a montante dos mesmos. Outro aspecto a ser considerado é o de que, mesmo que se controle o aporte externo de nitrogênio, há algas com capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, que não teriam a sua concentração reduzida com a diminuição da carga afluyente de nitrogênio (von Sperling, 1996).

Cabe ressaltar que o nitrogênio tem assumido o papel de nutriente limitante em ambientes aquáticos impactados pelo lançamento de esgotos (Downing & McCauley, 1992 apud von Sperling, 2004), pois as águas residuárias domésticas possuem uma relação N/P inferior à demanda das algas (ou seja, teoricamente faltaria nitrogênio para o crescimento destes organismos). Em lagos impactados pelo lançamento de esgotos ocorre também o fenômeno de desnitrificação nas camadas profundas (o que conduz a uma perda de nitrogênio), e pode ocorrer o processo de fertilização interna, isto é, liberação de fósforo das camadas anaeróbias do sedimento. A conjunção destes fatores leva à conclusão de que a constatação do nitrogênio como nutriente limitante pode estar associada a uma baixa qualidade ecológica do ambiente. Uma vez que o nitrogênio não é o nutriente limitante no presente estudo de caso, concluiu-se que os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo não apresentaram indícios de baixa qualidade ambiental, segundo esta associação.

von Sperling et al (2004), analisando o caso do lago de Águas Claras, constataram a ocorrência de picos na relação N/P durante a época seca, ocasião em que normalmente a qualidade da água é melhor devido à ausência de chuvas. Este comportamento tem sido observado em outros ambientes lênticos situados na Região Metropolitana de Belo Horizonte

(Souza, 2003 apud von Sperling, 2004) Uma possível explicação para tal fato seria a maior assimilação do fósforo pelas algas em períodos de altos valores de transparência.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.170 apresenta o gráfico das séries temporais de nitrogênio total em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.170 – Séries temporais de nitrogênio total dos pontos de coleta

O gráfico de séries temporais de nitrogênio total apresentou tendências semelhantes aos gráficos de nitrogênio amoniacal e nitratos. Este resultado era esperado, uma vez que estas formas de nitrogênio contribuem para a soma de nitrogênio total. As campanhas dos meses de janeiro de 2003, 2004 e 2005, abril e outubro de 2003 (Campanhas n.º 7, 11, 12, 14 e 15) apresentaram picos de concentrações de nitrogênio total, da mesma forma que os demais parâmetros da série de nitrogênio. A maioria destes resultados pode ser atribuída à ação do carreamento de compostos ricos em nitrogênio, tais como insumos agrícolas e excrementos de animais, pela ação das águas pluviais. Segundo Fonseca & Salvador (2003), as possíveis fontes de nitrogênio total estão relacionadas, principalmente, aos impactos causados pela agricultura e pecuária, o que condiz com esta hipótese.

A Tabela 8.48 apresenta alguns dados estatísticos de nitrogênio total da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.48 - Dados estatísticos de nitrogênio total (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	1,26	1,14	0,91	4,10	0,30	3,80
PO-01	0,96	0,99	1,03	4,20	0,19	4,01
PO-01B	1,17	1,06	0,91	4,10	0,20	3,90
PO-02	1,45	1,71	1,18	6,60	0,30	6,30
PO-03	0,97	0,98	1,01	4,50	0,30	4,20
PO-04	1,05	1,15	1,09	4,90	0,30	4,60
PO-05	1,10	1,09	0,99	4,10	0,20	3,90

Conforme os resultados dos demais parâmetros de nitrogênio, o nitrogênio total também apresentou os maiores dados estatísticos no Ponto PO-02.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.171 a 8.177 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro nitrogênio amoniacal.

<p>Figura 8.171 – N. total no ponto PO-01A</p>	<p>Figura 8.172 - N. total no ponto PO-01</p>
<p>Figura 8.173 - N. total no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.174 - N. total no ponto PO-02</p>

<p>Figura 8.175 - N. total no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.176 - N. total no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.177 - N. total no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.171 a 8.177 indicam que o nitrogênio total apresentou as mesmas variações que os nitratos, ou seja, que não seguiram nenhuma tendência entre os diversos cenários de comparação. Os cenários 1 a 4 alternaram a predominância ao longo dos pontos de coleta avaliados, mas a maioria dos resultados permaneceram baixos, com concentrações de nitrogênio total inferiores a 2,0 mg/L, nas campanhas realizadas durante as estações secas, e inferiores a 5,0 mg/L, durante as estações de chuva. Neste sentido, pode-se concluir que não há nenhuma relação direta entre a formação dos reservatórios e a concentração de nitrogênio total nas águas do rio Pomba.

As figuras 8.178 a 8.180, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.178 – Dados estatísticos de nitrogênio total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.179 – Dados estatísticos de nitrogênio total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.180 – Dados estatísticos de nitrogênio total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

Os gráficos acima indicaram que não há tendência à formação de camadas com diferentes valores de nitrogênio total, decrescentes ou crescentes, nos três reservatórios em estudo.

8.4.16. Ferro Solúvel

O ferro e o manganês, na ausência de oxigênio dissolvido, como no caso de águas subterrâneas ou no fundo de lagos, se apresentam na forma solúvel (Fe^{2+} e Mn^{2+}). Contudo, numa grande quantidade de tipos de solos e em águas com oxigênio dissolvido (águas superficiais, por exemplo), o ferro e manganês se apresentam na forma insolúvel (Fe^{3+} e Mn^{4+}). Dessa forma, estes elementos, oriundos da dissolução de compostos dos solos e despejos industriais, geralmente são constituídos por sólidos em suspensão ou dissolvidos.

O ferro, em quantidade adequada, é essencial ao sistema bioquímico das águas, podendo, em grandes quantidades, se tornar nocivo, dando sabor e cor desagradáveis à água, além de elevar a dureza, tornando-a inadequada ao uso doméstico e industrial.

O ferro pode ser encontrado sob a forma de solução, colóide, suspensão ou complexos orgânicos e minerais. A correlação entre os íons férricos e ferrosos é determinada pelo valor do potencial redox e pH da água. Quando estes valores aumentam, a estabilidade da forma oxidada aumenta, e quando o eH e o pH diminuem, aumenta a forma de íons ferrosos. Um aumento anômalo da concentração de ferro numa determinada amostra de água indica contaminação por indústrias metalúrgicas ou de processamento de metais (Marques, 1993).

von Sperling et al (2004) estudando as águas do lago de Águas Claras, encontraram a fração solúvel de ferro com concentrações sempre inferiores a 0,05 mg/L, o que indica não estar ocorrendo processo bioquímico de solubilização do ferro. Em um período futuro, quando o estoque de oxigênio dissolvido no fundo do lago reduzir-se ou mesmo acabar devido à ausência de uma circulação completa de massa líquida, deverá ocorrer a ressolubilização do ferro contido no sedimento do lago.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.181 apresenta o gráfico das séries temporais de ferro solúvel em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.181 – Séries temporais de ferro solúvel dos pontos de coleta

A Figura 8.181 indica uma significativa variação sazonal do parâmetro ferro solúvel ao longo das campanhas. Os resultados obtidos encontram-se abaixo do limite analítico de detecção (0,01 mg/L) e 0,80 mg/L, com exceção de três resultados: no ponto PO-03, durante a campanha de janeiro/2002 (0,81 mg/L); no ponto PO-05, durante a campanha de abril/2004 (1,60 mg/L); e no ponto PO-02, durante a campanha de janeiro/2005 (1,64 mg/L). Por se tratarem de ocorrências em diferentes épocas e para apenas um ponto de coleta, sugere-se que estes resultados sejam de fontes de poluição pontuais ricas em ferro ou devido a erros de medição e, assim sendo, sem relação quanto à presença ou não dos reservatórios.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 estabelece um limite igual a 0,30 mg/L para o parâmetro ferro solúvel em águas Classe 2. A Figura 8.181 indica que este limite foi ultrapassado em alguns pontos ao longo do período de amostragem e para todos os pontos nas campanhas de janeiro e abril de 2002 (campanhas n.º 3 e 4). Segundo os estudos ambientais de qualidade da água, “esse resultados podem estar associados ao processo de erosão e carreamento de solo pelas águas pluviais, considerando-se a presença natural desse elemento na geoquímica da bacia de drenagem” (FEAM, 2003). Contudo, a campanha n.º 3 foi

fortemente caracterizada pela ocorrência de chuvas, o mesmo não ocorrendo para a campanha n.º 4. Sugere-se, portanto, que os picos de concentração de ferro solúvel, acima dos padrões da Resolução CONAMA n.º 357/2005, teriam sido ocasionados por alguma fonte de contribuição situada a montante da rede de monitoramento, e que não estariam associados à formação dos reservatórios.

A Tabela 8.49 apresenta alguns dados estatísticos de ferro solúvel da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.49 - Dados estatísticos de ferro solúvel (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	0,12	0,11	0,88	0,39	0,01	0,38
PO-01	0,22	0,18	0,79	0,58	0,01	0,57
PO-01B	0,20	0,15	0,75	0,47	0,01	0,46
PO-02	0,28	0,40	1,43	1,64	0,01	1,63
PO-03	0,19	0,22	1,16	0,81	0,01	0,80
PO-04	0,26	0,24	0,94	0,71	0,01	0,70
PO-05	0,32	0,41	1,29	1,70	0,01	1,69

Embora possa ser observado na Figura 8.181 que os valores de ferro solúvel ultrapassaram em diversas vezes o limite estabelecido para águas Classe 2 – 0,30 mg/L – a Tabela 8.49 indica que, em média, os valores estiveram dentro deste padrão – com exceção do ponto PO-05, cuja média dos valores foi igual a 0,32 mg/L. Esta Tabela indica também que todos os pontos de coleta apresentaram, pelo menos uma vez, resultados iguais ao abaixo do limite de detecção analítica.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.182 a 8.188 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro ferro solúvel.

--	--

Figura 8.182 - Ferro solúvel no ponto PO-01A	Figura 8.183 - Ferro solúvel no ponto PO-01
Figura 8.184 - Ferro solúvel no ponto PO-01B	Figura 8.185 - Ferro solúvel no ponto PO-02
Figura 8.186 - Ferro solúvel no ponto PO-03	Figura 8.187 - Ferro solúvel no ponto PO-04
Figura 8.188 - Ferro solúvel no ponto PO-05	

As figuras 8.182 a 8.188 indicam que, a priori, não há uma relação entre os cenários de comparação. Neste sentido, não é possível detectar uma possível influência da instalação dos barramentos sobre a variação de ferro solúvel ao longo das campanhas. Sugere-se que esta variação seja devida à influência do carreamento de solos e demais compostos ricos em ferro pela ação das chuvas. Para os resultados que apresentaram valores excepcionais, conforme observado na Figura 8.170, considera-se que são oriundos, provavelmente, da contribuição de fontes de poluição pontuais.

As figuras 8.189 a 8.191, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.189 – Dados estatísticos de ferro solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.190 – Dados estatísticos de ferro solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.191 – Dados estatísticos de ferro solúvel das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

A distribuição de ferro solúvel ao longo dos primeiros metros de profundidade para cada um dos três reservatórios é aproximadamente igual, principalmente para os reservatórios das PCH's Palestina e Triunfo. Assim, observa-se que este parâmetro não sofre efeito da formação de gradientes ao longo da profundidade dos reservatórios.

8.4.17. Ferro Total

O parâmetro ferro total é igual a soma dos valores de ferro em todas as suas formas: solúvel e em suspensão.

Segundo os estudos ambientais, o ferro é um elemento característico da geoquímica da região da bacia de drenagem dos três reservatórios em estudo.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.192 apresenta o gráfico das séries temporais de ferro total em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.192 – Séries temporais de ferro total dos pontos de coleta

A Figura 8.192 apresenta picos de ferro total bastante evidentes durante as campanhas de janeiro/2003, abril/2004 e janeiro/2005 (campanhas n.º 7, 12 e 15), seguidos das campanhas de janeiro e abril de 2002 (campanhas n.º 3 e 4). Destas, as campanhas n.º 3, 7, 12 e 15 apresentaram alta incidência de chuvas. Contudo, os altos valores de ferro total obtidos não podem ser atribuídos exclusivamente à lixiviação dos solos da bacia de drenagem – ricos em ferro – pela ação das chuvas, pois a campanha n.º 4 não sofre influência das mesmas e obteve maiores valores do que a campanha n.º 11, que apresentou um alto índice de precipitação pluviométrica. Desta forma, supõe-se que a ocorrência de picos de ferro total também deve estar associada à alguma atividade antrópica na bacia.

A Tabela 8.50 apresenta alguns dados estatísticos de ferro total da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.50 - Dados estatísticos de ferro total (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	2,65	2,94	1,11	8,20	0,08	8,12
PO-01	1,99	2,64	1,33	8,76	0,03	8,73
PO-01B	2,33	3,29	1,41	11,30	0,02	11,28
PO-02	2,03	2,95	1,45	11,60	0,03	11,57
PO-03	2,17	3,26	1,50	12,70	0,06	12,64
PO-04	2,17	3,06	1,41	11,30	0,06	11,24
PO-05	2,00	3,10	1,55	13,10	0,08	13,02

Comparando os dados das tabelas 8.49 e 8.50, percebe-se que a parcela de ferro em sua forma solúvel corresponde, aproximadamente, a 10% do ferro presente nas águas do rio Pomba. Dessa forma, este elemento encontra-se principalmente na sua forma particulada, estando, assim, susceptível à precipitação, principalmente nos pontos relativos aos reservatórios. A concentração de ferro total nas águas do rio Pomba atingiu valores próximos de zero em todos os pontos de coleta, mas também obteve resultados elevados, de até 13,02 mg/L.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.193 a 8.199 apresentam a avaliação dos cenários de cada ponto de coleta estudado, para o parâmetro ferro total.

<p>Figura 8.193 – Ferro total no ponto PO-01A</p>	<p>Figura 8.194 - Ferro total no ponto PO-01</p>
<p>Figura 8.195 - Ferro total no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.196 - Ferro total no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.197 - Ferro total no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.198 - Ferro total no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.199 - Ferro total no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.193 a 8.199 indicam que uma tendência de diminuição da concentração de ferro total quando são comparados o Cenário 1 com os cenários 2 e 3. Contudo, esta constatação não se repete quando comparados os cenários 1 (sem a instalação de nenhum barramento) e 4 (com a instalação de três barramentos), o que indica que não é possível estabelecer uma relação sobre a influência dos barramentos sobre o parâmetro ferro total.

As figuras 8.200 a 8.202, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F) são apresentadas a seguir.

Figura 8.200 – Dados estatísticos de ferro total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.201 – Dados estatísticos de ferro total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.202 – Dados estatísticos de ferro total das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.200 a 8.202 indicam que não existem diferenças significativas entre os valores de ferro total ao longo da profundidade dos três reservatórios estudados.

8.4.18. Manganês

O manganês é utilizado na fabricação de ligas metálicas e baterias e, na indústria química, em tintas, vernizes, fogos de artifícios e fertilizantes, entre outros. Sua presença em quantidades excessivas é indesejável em mananciais de abastecimento público devido ao seu efeito no sabor, no tingimento de instalações sanitárias, no aparecimento de manchas nas roupas lavadas e no acúmulo de depósitos em sistemas de distribuição. A água potável contaminada com manganês pode causar a doença denominada manganismo. Tal doença apresenta sintomas similares aos vistos em mineradores de manganês ou trabalhadores de siderúrgicas.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.203 apresenta o gráfico das séries temporais de manganês total em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Cabe ressaltar que o monitoramento deste parâmetro iniciou-se a partir da campanha de julho/2002 (campanha n.º 5).

Figura 8.203 – Séries temporais de manganês dos pontos de coleta

A Figura 8.203 demonstra que o parâmetro manganês apresentou em geral valores muito baixos, com picos em apenas três campanhas das quatorze realizadas, referentes aos meses de janeiro/2003, janeiro/2004 e abril/2004 (campanhas n.º 7, 11 e 12). Estes resultados devem-se provavelmente ao aporte de manganês pela ação das chuvas sobre o solo da bacia de drenagem do trecho do rio Pomba em estudo. Contudo, o mesmo resultado não foi obtido em demais campanhas que apresentaram altos índices pluviométricos, como as campanhas n.º 3, 10 e 15, o que também indica que a possibilidade de uma fonte de contribuição pontual deste elemento.

Cabe ressaltar a ocorrência de dois valores discrepantes em relação aos demais pontos, referentes ao ponto PO-01, na campanha de janeiro/2003 – 5,2 mg/L – e ao ponto PO-01A, na campanha de outubro/2005 – 1,0 mg/L. Estes resultados estiveram bastante acima daquelas obtidos nos demais pontos de coleta, o que indica que foram oriundos de uma fonte de poluição pontual, tal como o lançamento de efluentes, ou devido a erros de medição.

Nas demais campanhas, os valores de manganês apresentaram-se aproximadamente constantes e relativamente baixos, inferiores a 0,3 mg/L e, em diversas vezes, abaixo do limite

de detecção, indicando que a presença dos barramentos não exerceu nenhuma influência sobre este parâmetro. Contudo, o manganês esteve acima do padrão permitido pela legislação ambiental pertinente – Resolução CONAMA n.º 357/2005 – em todas as vezes que foi detectado, pois este padrão é igual ao limite de detecção (0,1 mg/L).

A Tabela 8.51 apresenta alguns dados estatísticos de manganês da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.51 - Dados estatísticos de manganês (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	0,4	0,5	1,2	1,5	0,1	1,4
PO-01	0,6	1,4	2,2	5,2	0,1	5,1
PO-01B	0,3	0,3	1,1	1,1	0,1	1,0
PO-02	0,2	0,1	0,7	0,6	0,1	0,5
PO-03	0,2	0,3	1,4	1,2	0,1	1,1
PO-04	0,2	0,3	1,4	1,1	0,1	1,0
PO-05	0,2	0,3	1,2	0,9	0,1	0,8

Os pontos de coleta apresentaram baixos valores médios de manganês, em geral, igual a 0,2 mg/L. Os pontos PO-01A e PO-1 apresentaram média mais elevadas em função dos valores excepcionais comentados anteriormente. O valor mais elevado em todos os pontos foi igual a 1,5 mg/L, com exceção de um dado referente a um único ponto e em apenas uma campanha. Os valores mínimos abaixo do limite de detecção laboratorial (menor do que 0,1 mg/L) ocorreram diversas vezes em todos os pontos de coleta.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.204 a 8.210 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro manganês.

Figura 8.204 - Manganês no ponto PO-01A	Figura 8.205 - Manganês no ponto PO-01

<p>Figura 8.206 - Manganês no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.207 - Manganês no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.208 - Manganês no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.209 - Manganês no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.210 - Manganês no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.204 a 8.210 indicam, em geral, altos valores de manganês para o Cenário 1, quando comparado aos demais cenários. Contudo, tal fato deveu-se às elevadas concentrações de manganês total durante a campanha de janeiro/2003 (campanha n.º 7). Avaliando a Figura 8.210, referente ao ponto de coleta PO-05, os cenários 1 e 3 apresentaram valores aproximados, o que indica que não há influência da instalação dos barramentos também sobre este parâmetro.

As figuras 8.211 a 8.213, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.211 – Dados estatísticos de manganês das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.212 – Dados estatísticos de manganês das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.213 – Dados estatísticos de manganês das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.211 e 8.213 indicam que, excluindo os resultados considerados “outliers” e extremos, a concentração de manganês na zona subsuperficial das PCH's Ponte e Palestina é aproximadamente igual a 0,10 mg/L. Esta afirmação também pode ser feita ao reservatório da PCH Triunfo, uma vez que, das quatro campanhas realizadas, três apresentaram valores iguais a 0,1 mg/L. Face ao exposto, não é possível apresentar uma conclusão sobre a relação entre a concentração de manganês na superfície e fundo dos três reservatórios.

8.4.19. Sólidos em suspensão

Todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos d'água. Estes sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. Em função do seu tamanho, os sólidos são classificados em sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos. São considerados sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferior a 10^{-3} μm , como sólidos coloidais aqueles com diâmetro entre 10^{-3} e 10^0 μm , e como sólidos em suspensão aqueles com diâmetro superior a 10^0 μm (von Sperling, 1996).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.214 apresenta o gráfico das séries temporais de sólidos em suspensão em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.214 – Séries temporais de sólidos em suspensão dos pontos de coleta

Avaliando a Figura 8.214, pode-se observar uma grande diferença entre os resultados da concentração de sólidos em suspensão durante o período de monitoramento. As campanhas dos meses de janeiro (dos anos de 2003, 2004 e 2005) e fevereiro de 2004 (campanhas n.º 7, 11, 12 e 15) apresentaram concentrações de sólidos em suspensão bastante superiores aos das demais campanhas. Estes resultados são decorrentes das chuvas ocorridas durante estas campanhas, já que as precipitações promovem o carreamento dos sólidos presentes no solo da bacia de drenagem para o rio Pomba. As demais campanhas apresentaram valores muito baixos (inferiores a 30 mg/L), com exceção do ponto PO-01A (localizado a montante dos três reservatórios), nas campanhas de dezembro/2004 a julho/2005 (campanhas n.º 14 a 17). A partir deste resultado, pode-se concluir que o reservatório da PCH Ponte (ponto PO-01) influenciou na redução dos valores de sólidos presentes nas águas devido ao aumento no tempo de residência das águas, favorecendo o processo de sedimentação dos mesmos. Conforme poderá ser observado nos próximos itens, a avaliação destes resultados é análoga para os parâmetros sólidos sedimentáveis e sólidos totais.

Segundo os estudos ambientais, “o reservatório da PCH Ponte, no ponto PO-01, funciona como um grande sistema de decantação de sólidos em suspensão e de matéria orgânica, pois, como está a montante das demais, barra as águas do rio Pomba que chegam carregando os aportes recebidos do município de Guarani e adjacências” (Visão Ambiental, 2005b). Contudo, pode-se observar que pontos a jusante apresentaram resultados mais elevados de sólidos em suspensão do que este ponto, indicando a contribuição relevante da bacia de drenagem a jusante da PCH Ponte.

A Tabela 8.52 apresenta alguns dados estatísticos de sólidos em suspensão da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.52 - Dados estatísticos de sólidos em suspensão (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	75,4	91,9	1,2	277,0	1,0	276,0
PO-01	55,8	111,3	2,0	450,0	1,0	449,0
PO-01B	65,7	82,6	1,3	230,0	2,0	228,0
PO-02	51,3	84,1	1,6	289,0	1,0	288,0
PO-03	60,2	101,9	1,7	326,0	1,0	325,0
PO-04	59,7	112,7	1,9	412,0	1,0	411,0
PO-05	52,9	91,8	1,7	276,0	2,0	274,0

A Tabela 8.52 indica que os valores (mínimos, médios e máximos) de sólidos em suspensão são semelhantes ao longo dos pontos de coleta do rio Pomba. Os altos valores de coeficiente de variação, obtidos em virtude dos altos valores de desvio padrão, ocorreram devido às grandes diferenças entre os resultados das campanhas das estações seca e chuvosa.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro sólidos em suspensão. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes à este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.215 a 8.221 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro sólidos em suspensão.

Figura 8.215 – Sol. Susp. no ponto PO-01A	Figura 8.216 - Sol. Susp. no ponto PO-01
Figura 8.217 - Sol. Susp. no ponto PO-01B	Figura 8.218 - Sol. Susp. no ponto PO-02
Figura 8.219 - Sol. Susp. no ponto PO-03	Figura 8.220 - Sol. Susp. no ponto PO-04
Figura 8.221 - Sol. Susp. no ponto PO-05	

Através da avaliação das figuras 8.215 a 8.221, percebeu-se um aumento nos valores de sólidos em suspensão nas águas dos cenários 2 e 3 quando comparados ao Cenário 1, para em seguida, sofrerem uma queda na situação apresentada pelo Cenário 4. Esta tendência, apesar de ser seguida em todos os pontos de coleta, não foi ocasionada pela instalação dos três reservatórios, como, a priori, era esperado. Analisando o gráfico de séries temporais em conjunto com as figuras 8.215 a 8.221, pode-se perceber que os fatores que originam os altos valores nos cenários 2 e 3 correspondem aos resultados das campanhas de janeiro e fevereiro de 2004 (campanhas n.º 11 e 12), que apresentaram os maiores valores. Similarmente, os valores do cenário n.º 4 são devidos, principalmente, aos resultados da campanha de janeiro/2005 (campanha n.º 15). Cumpre ressaltar que os gráficos referentes ao Cenário 1, apesar de incluírem os valores de maior concentração de sólidos em suspensão de todas as campanhas – Campanha n.º 7, de janeiro/2005 - não representaram estes resultados devido à metodologia adotada no presente trabalho, que consiste de não utilizar os dados considerados “outliers” ou extremos, na elaboração dos gráficos de comparação dos cenários, conforme definido no capítulo de “metodologia”. Nesta categoria, incluiu-se os dados da campanha de janeiro/2003 (Campanha n.º 7), na representação dos gráficos do Cenário 1.

As figuras 8.222 a 8.224, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.222 – Dados estatísticos de sólidos em suspensão das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.223 – Dados estatísticos de sólidos em suspensão das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.224 – Dados estatísticos de sólidos em suspensão das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.222 a 8.224 indicam que os reservatórios dos três empreendimentos em estudos apresentaram concentrações de sólidos em suspensão idênticas entre a superfície e os primeiros seis metros de profundidade do reservatório. Dessa forma, não foram encontrados gradientes distintos da concentração de sólidos em suspensão ao longo da profundidade dos reservatórios.

8.4.20. Sólidos sedimentáveis

Dentro os sólidos em suspensão encontram-se, além de uma parcela de sólidos turvos, os seguintes tipos de sólidos/substâncias não dissolvidos: sólidos flutuantes, que em determinadas condições estão boiando; sólidos sedimentáveis, que em determinadas condições afundam, sendo seu resultado apresentado como volume (mL/L), mais o tempo de formação; e sólidos não sedimentáveis, que não são sujeitos nem à flotação e nem à sedimentação.

Os sólidos sedimentáveis são considerados aqueles que se depositam quando a amostra da água permanece em repouso por uma hora (Castro, 2005).

Segundo Leão (2001), a determinação de sólidos sedimentáveis tem duas importantes aplicações:

- Na análise de águas residuárias industriais, para determinação da necessidade e para o dimensionamento de tanques de sedimentação primários;
- Na operação de plantas de tratamento, para determinação da eficiência das unidades de decantação.

O intenso aporte de sólidos sedimentáveis (principalmente silte, areia e argila) é o fenômeno causador do assoreamento dos corpos d'água. No caso dos lagos naturais e reservatórios artificiais, que apresentam um elevado tempo de residência da água, em comparação com os rios, ocorre a deposição destes sólidos na região de entrada dos tributários. O assoreamento pode gradativamente se estender por todo o fundo do reservatório, provocando assim a diminuição do seu período de vida útil. Além disso, a utilização do ambiente aquático fica fortemente prejudicada, principalmente com relação aos usos para geração de energia e contenção de cheias (von Sperling, 1999a).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.225 apresenta o gráfico das séries temporais de sólidos sedimentáveis em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Cumpre ressaltar que o monitoramento deste parâmetro foi iniciado a partir da campanha de julho/2002 (campanha n. ° 5).

Figura 8.225 – Séries temporais de sólidos sedimentáveis dos pontos de coleta

A Figura 8.225 indica resultados aproximadamente semelhantes aos dos parâmetros sólidos em suspensão e sólidos totais. Foram registrados “picos” de sólidos sedimentáveis durante as campanhas dos meses de janeiro e fevereiro de 2003, 2004 e 2005 e fevereiro de 2004 (referentes às campanhas n.º 7, 11, 12 e 15). Muitos resultados indicaram concentrações de sólidos em suspensão inferiores ao limite de detecção analítico (igual a 0,01 ml/l). Nestes casos, para fins de representação gráfica e cálculos estatísticos, estes resultados foram considerados iguais a este limite.

A Tabela 8.53 apresenta dados estatísticos de sólidos sedimentáveis de cada ponto de coleta.

Tabela 8.53 - Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis (mL/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	0,5	0,7	1,4	2,9	0,1	2,8
PO-01	0,2	0,3	1,3	1,0	0,1	0,9
PO-01B	0,2	0,1	0,9	0,6	0,1	0,5
PO-02	0,2	0,2	1,0	0,7	0,1	0,6
PO-03	0,2	0,2	1,2	1,0	0,1	0,9
PO-04	0,3	0,3	1,3	1,3	0,1	1,2
PO-05	0,2	0,3	1,1	1,0	0,1	0,9

A Tabela 8.53 indica que a presença de sólidos sedimentáveis é muito baixa nas águas do rio Pomba. Os valores médios foram iguais a 0,2 mL/L, para todos os pontos de coleta, com exceção do ponto PO-01A, que apresentou os maiores resultados. Neste sentido, pode-se inferir que as diferenças de resultados entre os pontos PO-01A e seus pontos de jusante, podem ser causados pela presença do reservatório da PCH Ponte, a qual acelera o processo de sedimentação e retém parte destes sólidos.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro sólidos sedimentáveis. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes à este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, , no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.226 a 8.232 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro sólidos sedimentáveis.

<p>Figura 8.226 – Sól. Sediment. ponto PO-01A</p>	<p>Figura 8.227 - Sól. Sediment. ponto PO-01</p>
<p>Figura 8.228 - Sól. Sediment. ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.229 - Sól. Sediment. ponto PO-02</p>

Figura 8.230 - Sól. Sediment. ponto PO-03	Figura 8.231 - Sól. Sediment. ponto PO-04
<p style="text-align: center;">Figura 8.232 - Sól. Sediment. no ponto PO-05</p>	

Comparando os gráficos de sólidos em suspensão e sólidos sedimentáveis, pode-se observar que ocorreu o comportamento inverso entre estes parâmetros. Enquanto que, para o parâmetro sólidos em suspensão, os gráficos indicaram que os cenários 2, 3 e 4 apresentaram maiores valores do que o Cenário 1, no caso dos sólidos sedimentáveis, o Cenário 1 (que corresponde ao rio Pomba sem a instalação de nenhum barramento) apresentou em todos os pontos de coleta valores muito mais elevados do que os cenários 2 a 4. Esta situação ocorreu em virtude de que, no caso de sólidos em suspensão, os gráficos não desconsideraram os resultados da campanha de janeiro de 2002 (estação chuvosa). Por outro lado, muitos resultados apresentaram valores inferiores ao limite de detecção durante as campanhas realizadas após a formação dos reservatórios, o que pode ser atribuído, portanto, ao favorecimento pelo processo de sedimentação.

As figuras 8.233 a 8.235, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F) são apresentados a seguir.

Figura 8.233 – Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.234 – Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.235 – Dados estatísticos de sólidos sedimentáveis das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

Percebe-se que todos os reservatórios apresentaram baixíssimos valores de sólidos em suspensão, inferiores ou iguais a 0,1 mL/L, tanto na superfície quanto em maiores profundidades. Desta forma, conclui-se que não há gradientes de concentrações de sólidos em suspensão ao longo do perfil vertical dos reservatórios em estudo.

8.4.21. Sólidos Totais

Os sólidos totais representam a soma das parcelas de sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos da água. A presença de sólidos pode afetar negativamente a qualidade de águas e efluentes de várias maneiras. Águas com teor elevado de sólidos dissolvidos podem apresentar sabor desagradável. Águas com grau elevado de mineralização são também inadequadas para várias aplicações industriais. A análise de sólidos é importante no controle de processos de tratamento biológicos e físicos de efluentes.

Para águas destinadas ao abastecimento doméstico e industrial, a determinação de sólidos totais é a mais importante entre as diversas categorias de sólidos. A medida é usada para indicar se a fonte de água é indicada para estes tipos de uso. Nos casos onde é necessário o abrandamento da água, o procedimento a ser usado pode ser determinado pelo conteúdo de sólidos totais, que será reduzido quando se usa precipitação ou aumentado quando é empregada troca iônica. O controle da corrosão em tubulações depende do teor de sólidos totais, da alcalinidade e da temperatura da água, sendo feita pelo ajuste do pH (Leão, 2001).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.236 apresenta o gráfico das séries temporais de sólidos totais em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.236 – Séries temporais de sólidos totais dos pontos de coleta

Conforme exposto anteriormente, a avaliação dos resultados do parâmetro sólidos em suspensão também é válida para o parâmetro sólidos totais, denotando a influência das chuvas e da formação dos reservatórios sobre os resultados destes parâmetros. Comparando as Figuras 8.214 e 8.236, pode-se perceber uma grande semelhança entre as mesmas, o que indica que os sólidos totais são formados, em maior parte, de sólidos em suspensão nas águas.

A Tabela 8.54 apresenta alguns dados estatísticos de sólidos totais da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.54 – Dados estatísticos de sólidos totais (mg/L) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	106,4	93,5	0,9	299,0	22,0	277,0
PO-01	77,1	110,3	1,4	471,0	21,0	450,0
PO-01B	87,0	79,1	0,9	242,0	20,0	222,0
PO-02	72,9	80,6	1,1	301,0	19,0	282,0
PO-03	83,4	98,1	1,2	336,0	21,0	315,0
PO-04	83,7	108,7	1,3	425,0	22,0	403,0
PO-05	77,4	87,2	1,1	290,0	24,0	266,0

A partir da Tabela 8.54, pode-se confirmar que os pontos de coleta apresentaram valores médios de sólidos totais muito próximos entre si, com exceção do ponto PO-01A, que apresentou o maior valor médio dentre todos os pontos. Este resultado corrobora com a afirmação apresentada anteriormente, ou seja, de que a presença dos reservatórios, principalmente o da PCH Ponte, contribui para a diminuição das concentrações de sólidos nas águas do rio Pomba.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro sólidos totais. Contudo, esta estabelece o limite de 500 mg/L para o parâmetro sólidos dissolvidos totais, que é constituinte dos sólidos totais. Neste sentido, uma vez que os sólidos totais obtiveram o valor máximo de 471 mg/L para todas as campanhas e todos os pontos, pode-se afirmar que o parâmetro sólidos dissolvidos totais também atende ao limite máximo para águas Classe 2. Assim sendo, a instalação dos barramentos em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes aos parâmetros sólidos totais, inclusive sólidos dissolvidos totais, que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, no âmbito desta legislação.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.237 a 8.243 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro sólidos totais.

Figura 8.237 - sólidos totais no ponto PO-01A	Figura 8.238 - sólidos totais no ponto PO-01
---	--

<p>Figura 8.239 - sólidos totais no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.240 - sólidos totais no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.241 - sólidos totais no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.242 - sólidos totais no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.243 - sólidos totais no ponto PO-05</p>	

Os gráficos de sólidos totais são muitos semelhantes aos de sólidos em suspensão (aproximadamente idênticos). Neste sentido, as considerações feitas para os sólidos em suspensão podem ser aplicadas ao parâmetro sólidos totais.

As figuras 8.244 a 8.246, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.244 – Dados estatísticos de sólidos totais das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.245 – Dados estatísticos de sólidos totais das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.246 – Dados estatísticos de sólidos totais das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

A partir da análise das figuras 8.244 a 8.246, pode-se observar que não há diferenças significativas da concentração de sólidos totais ao longo da profundidade de nenhum dos três reservatórios em estudo, assim como também ocorreu para os sólidos em suspensão e sedimentáveis. Os reservatórios das PCH's Ponte e Palestina apresentaram maiores concentrações de sólidos totais do que o reservatório da PCH Triunfo. Contudo, este fato pode

ser consequência da maior série histórica de dados destes dois reservatórios. Conforme demonstrado no gráfico de série temporais (Figura 8.236), os picos de concentrações de sólidos totais ocorridos nas campanhas n.º 11 e 12 influenciaram nos resultados dos reservatórios das PCH's Ponte e Palestina, mas não no reservatório da PCH Triunfo, que ainda não estava formado neste período.

8.4.22. Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência para com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Neste contexto, a turbidez se refere a uma propriedade ótica que causa desvios e absorção de luz, em lugar de sua transmissão em linhas reta através da água. Sua unidade é denominada Unidade de Jackson ou Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT), e o método para determinação da turbidez se baseia na comparação da intensidade de luz desviada por uma amostra da água com a intensidade da luz desviada por uma suspensão padrão. Os detectores fotoelétricos dos instrumentos medem a luz desviada em ângulo reto em relação à luz incidente. Quanto maior é a intensidade da luz desviada, maior é a turbidez. Como padrão, é utilizada uma solução-mãe de sulfato de hidrazina, cuja turbidez é de 400 UNT. Padrões para diferentes concentrações, no intervalo de 0 a 40 UNT, são preparados a partir da diluição da solução-mãe (Leão, 2001).

A turbidez é ocasionada pela presença de sólidos em suspensão de origem natural (geralmente, partículas de rocha, argila e silte; algas e outros microorganismos), e antropogênica (oriundos de despejos domésticos e industriais e da erosão).

A turbidez não traz inconvenientes sanitários diretos à água, porém é esteticamente desagradável e pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos. Em termos ambientais, para Branco (1987), a principal consequência da alteração da cor e turbidez num corpo hídrico é a redução da penetração da luz solar e a consequente diminuição da taxa fotossintética, prejudicando a oxigenação do meio, principalmente em águas paradas ou mesmo em rios de baixa turbulência (Fritzsons et al, 2003).

A turbidez é mais freqüentemente utilizada na caracterização de águas de abastecimento brutas e tratadas e no controle da operação das estações de tratamento de águas (von Sperling, 1996).

A turbidez tende a se elevar no período de chuvas devido à lavagem superficial do solo na bacia de drenagem e o consequente carreamento de partículas orgânicas e minerais ao

ambiente aquático, estando diretamente associada aos sólidos em suspensão. Contudo, no presente estudo, uma vez que os reservatórios podem funcionar como bacia de retenção de parte dos sólidos, espera-se que os valores de turbidez após a instalação dos mesmos diminuam ao longo da rede de monitoramento, durante as campanhas.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.247 apresenta o gráfico das séries temporais de turbidez em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.247– Séries temporais de turbidez dos pontos de coleta

A Figura 8.247 ilustra claramente a ocorrência de dois picos nos valores de turbidez, correspondentes às campanhas de janeiro de 2003 e 2004 (campanhas n.º 7 e 11), em virtude da influência do carreamento de partículas do solo pela ação das chuvas ocorridas nestes períodos. Tais valores excederam em todos os pontos de coleta, em muito, o limite de 100 UNT estabelecido para águas Classe 2 segundo a Resolução CONAMA n.º 357/2005. Observou-se, ainda, uma pequena elevação da turbidez durante a campanha de janeiro/2005 (campanha n.º 15), também atribuída à influência das chuvas, embora ainda abaixo do limite estabelecido para águas Classe 2.

A Tabela 8.55 apresenta alguns dados estatísticos da turbidez da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.55 - Dados estatísticos de turbidez dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	402,0	3,0	399,0
PO-01	488,0	1,0	487,0
PO-01B	309,0	1,0	308,0
PO-02	234,0	1,0	233,0
PO-03	361,0	1,0	360,0
PO-04	435,0	1,0	434,0
PO-05	402,0	1,0	401,0

Cumprе ressaltar que não foram empregados o cálculo das estatísticas de média, desvio padrão e coeficiente de variação da turbidez, porque este parâmetro possui uma escala arbitrária (UNT) e que, nesse caso, não pode ser operada matematicamente. Os dados da Tabela 8.52 indicam que os pontos de coleta apresentaram uma faixa de valores de turbidez muito próximos entre si.

Segundo von Sperling (1996), a água pode ser considerada opaca quando apresenta valores de turbidez igual ou superiores a 500 UNT. Em tal caso, isto dificultaria a passagem de luz solar e consequentemente, prejudicaria o processo de fotossíntese e o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica. Contudo, tal condição não foi verificada em nenhum dos pontos de coleta avaliados.

A partir das avaliações das séries temporais e da faixa de valores de turbidez, não foi possível identificar alguma possível relação da instalação dos barramentos em estudo sobre a turbidez.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.248 a 8.254 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro turbidez.

Figura 8.248 - Turbidez no ponto PO-01A	Figura 8.249 - Turbidez no ponto PO-01
Figura 8.250 - Turbidez no ponto PO-01B	Figura 8.251 - Turbidez no ponto PO-02
Figura 8.252 - Turbidez no ponto PO-03	Figura 8.253 - Turbidez no ponto PO-04
Figura 8.254 - Turbidez no ponto PO-05	

As figuras 8.248 a 8.254 indicam que o Cenário 1 (sem a instalação dos barramentos) apresentou valores de turbidez superiores aos cenários 2 e 3 (com a instalação dos barramentos das PCH's Ponte e Palestina) em todos os pontos de coleta. O mesmo ocorreu em relação ao Cenário 4 (considerando a instalação de todos os barramentos), porém com menor magnitude. Cabe ressaltar que os dados das campanhas n.º 7 e 11 (que apresentaram picos de turbidez durante as chuvas) foram desconsiderados na elaboração dos gráficos das figuras 8.246 a 8.252. Assim, pode-se inferir sobre uma possível diminuição da turbidez das águas do rio Pomba após a instalação dos barramentos, hipótese esta que não pode ser completamente validada em função dos resultados do Cenário 4 em relação ao Cenário 1, devendo, portanto, ser alvo de maiores estudos.

As figuras 8.255 a 8.257, que comparam os resultados das coletas entre os pontos de superfície (PO-01E, PO-02E e PO-04E) e fundo (PO-1F, PO-02F e PO-03F), são apresentadas a seguir.

Figura 8.255 – Dados estatísticos de turbidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Ponte

Figura 8.256 – Dados estatísticos de turbidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Palestina

Figura 8.257 – Dados estatísticos de turbidez das coletas de fundo e superfície do reservatório da PCH Triunfo

As figuras 8.255 a 8.257 indicam que a turbidez não varia ao longo dos primeiros metros de profundidade dos reservatórios. É importante observar, ainda, que o reservatório da PCH Triunfo apresentou valores de turbidez mais elevados do que os reservatórios das PCH's Ponte e Palestina. O resultado esperado seria o inverso do obtido, uma vez que havia a expectativa de que a turbidez diminuísse ao longo do rio Pomba, de montante para jusante, em virtude da capacidade de sedimentação dos reservatórios. Este resultado, portanto, pode estar associado aos focos de erosão presentes na área de entorno do reservatório da PCH Triunfo.

8.4.23. Coliformes Fecais

Coliformes fecais são um grupo de bactérias indicadoras da presença de organismos provenientes do intestino humano e de outros animais. O teste para coliformes fecais é feito a uma temperatura elevada para evitar o crescimento de bactérias de origem não fecal. Este parâmetro é expresso pelo Número Mais Provável (NMP) de coliformes fecais, por unidade de 100 mL de água (Mazzini, 2003).

As bactérias do grupo coliforme, presentes em material fecal, são as principais limitadoras do uso da água para consumo industrial e humano. Além disso, os coliformes fecais são importantes porque podem servir de indicadores indiretos da presença de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

As bactérias presentes numa amostra de água podem crescer ou morrer, dependendo da concentração de nutrientes na água, da presença de certos protozoários predadores e outros fatores, o que leva à necessidade de cuidados especiais para coleta e acondicionamento das amostras para análise bacteriológica (Marques, 1993).

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.258 apresenta o gráfico das séries temporais de coliformes fecais em cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Cabe ressaltar que, devido à diferença entre a ordem de grandeza dos resultados obtidos, optou-se por representar a concentração de coliformes fecais em escala logarítmica.

Figura 8.258 – Séries temporais de coliformes fecais dos pontos de coleta

A Figura 8.258 mostra que a concentração de coliformes fecais apresentou grandes variações ao longo do período de monitoramento, apresentando valores na ordem grandeza de dezenas a dezenas de milhares. Tais variações, contudo, seguem aproximadamente uma mesma tendência, não indicando, portanto, influência da instalação dos barramentos sobre o parâmetro coliformes fecais. Ainda, a Figura 8.256 indica que os resultados obtidos ultrapassaram o limite estabelecido de coliformes fecais para águas Classe 2 (1000 NMP/100 ml) em todos os pontos e em diversas campanhas, antes e após a instalação dos barramentos. Este limite é igual ao definido pela Resolução CONAMA n.º 274/2000, para o padrão de balneabilidade, o que indica que as águas do rio Pomba, no trecho em estudo, estariam, em diversas campanhas, impróprias para recreação de contato primário.

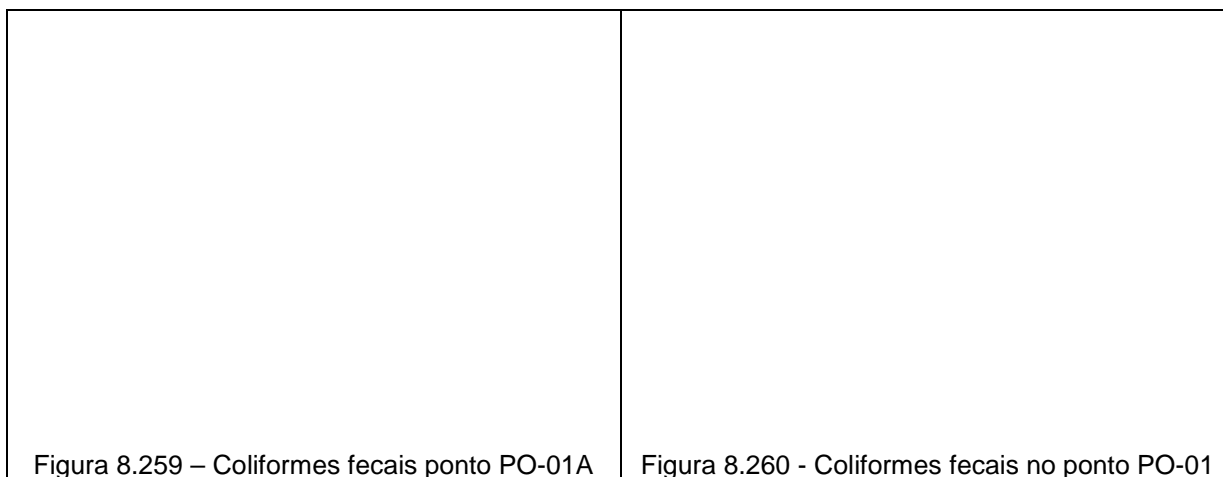
A Tabela 8.56 apresenta alguns dados estatísticos de coliformes fecais de cada ponto de coleta.

Tabela 8.56 - Dados estatísticos de coliformes fecais (NMP/100 ml) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	2111	2345	1,11	9000	130	8870
PO-01	1483	1793	1,21	5000	2	4998
PO-01B	992	1230	1,24	3500	20	3480
PO-02	1151	2093	1,82	9000	11	8989
PO-03	1281	2149	1,68	9000	40	8960
PO-04	2746	4181	1,52	16000	70	15930
PO-05	2391	3169	1,33	9000	70	8930

Os dados estatísticos apresentam a mesma ordem de grandeza entre todos os pontos de coleta estudados, com exceção do ponto PO-04, que apresentou os maiores resultados, possivelmente em virtude do recebimento de águas do rio Paraopeba. Neste sentido, não foi possível identificar nenhuma relação entre os barramentos e a concentração de coliformes fecais nas águas do rio Pomba.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.259 a 8.265 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro coliformes fecais.



<p>Figura 8.261 - Coliformes fecais no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.262 - Coliformes fecais no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.263 - Coliformes fecais no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.264 - Coliformes fecais no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.265 - Coliformes fecais no ponto PO-05</p>	

Embora não tenha sido possível identificar nenhuma tendência de coliformes fecais através do gráfico de séries temporais, as figuras 8.259 a 8.265 apresentam uma tendência de diminuição da concentração de coliformes fecais do Cenário 1 em relação aos demais cenários, com exceção do ponto PO-04, que apresentou aumento da variação de coliformes no Cenário 4 (no reservatório da PCH Triunfo, após a instalação dos três barramentos). Conforme exposto anteriormente, este resultado pode ser devido à influência do rio Paraopeba sobre o ponto PO-04.

Como não foram amostradas as concentrações dos parâmetros bacteriológicos e hidrobiológicos no fundo dos reservatórios, conseqüentemente, não foi possível avaliar a distribuição do parâmetro coliformes fecais ao longo da profundidade dos mesmos.

Cabe ressaltar as dificuldades em avaliar os efeitos da instalação dos barramentos sobre a concentração de coliformes fecais nas águas do rio Pomba. Sabe-se que a concentração destes organismos depende da capacidade de diluição e autodepuração das águas. Portanto, seria esperado que estes organismos apresentassem uma diminuição de concentração nos pontos de coleta referentes aos reservatórios, após sua formação (pontos PO-01, PO-02 e PO-04, nos cenários 2 a 4) e um aumento nos pontos de coleta localizados nos trechos de redução da vazão do rio Pomba decorrente da regra de operação dos três empreendimentos (pontos PO-01B, PO-03 e PO-05, nos cenários 2 a 4). Contudo, tal situação não ocorreu em nenhum dos casos esperados. Uma provável explicação para tal está ligada ao fato de que uma das principais fontes de contribuição destes organismos consiste no lançamento de águas residuárias no rio Pomba, que pode diminuir ou aumentar ao longo dos anos, em função da implantação de sistemas de tratamentos de esgotos ou com o crescimento populacional, respectivamente, na bacia hidrográfica em estudo.

Face ao exposto, não é possível inferir sobre uma possível relação entre a instalação dos barramentos e a concentração de coliformes fecais baseada nos resultados do presente trabalho.

8.4.24. Coliformes Totais

Segundo a Portaria n.º 518/2004 do Ministério da Saúde, que estabelece o padrão de potabilidade da água, os coliformes totais são definidos como todos os bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

Os gêneros *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* não são de origem exclusivamente fecal, e podem ser encontrados na vegetação e no solo, comprometendo assim a utilização desse grupo como indicador específico de contaminação de origem fecal. Este fato levou ao

desenvolvimento de métodos para a enumeração do subgrupo de Coliformes Fecais (CF). (Geldreich, 1966 apud Lima, 1999)

O grupo de coliformes totais constitui-se em um grande grupo de bactérias que têm sido isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente.

Altas concentrações de coliformes totais podem estar associadas à ocorrência de chuvas, com a contribuição de coliformes da bacia de drenagem pela ação das águas pluviais. O mesmo não necessariamente ocorre com o parâmetro coliformes fecais, pois sua principal fonte de contribuição é o lançamento de despejos.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 8.266 apresenta o gráfico das séries temporais de coliformes totais para cada ponto de coleta, ao longo de todas as campanhas. Cabe ressaltar que, devido à diferença entre a ordem de grandeza dos resultados obtidos, optou-se por representar graficamente a concentração de coliformes totais em escala logarítmica.

Figura 8.266 – Séries temporais de coliformes totais dos pontos de coleta

Assim como no caso dos coliformes fecais, a Figura 8.264 mostra que a concentração de coliformes totais apresentou grandes variações ao longo do período de monitoramento, apresentando valores na ordem de dezenas a dezenas de milhares. Tais variações, contudo, seguem aproximadamente uma mesma tendência, não indicando, portanto, influência da instalação dos barramentos sobre o parâmetro coliformes totais. Cumpre observar que, durante as campanhas de abril/2002 e janeiro/2004 (campanhas n.º 4 e 11), os coliformes totais apresentaram o valor máximo – 16000 NMP/100 ml – em todos os pontos de coleta, indicando grande contaminação bacteriológica. Tendo em vista que a campanha n.º 4 apresentou baixa precipitação pluviométrica (baixa influência das chuvas), este resultado indica a contribuição de fontes de efluentes sanitários. Estes resultados podem ser confirmados pelos resultados obtidos para coliformes fecais.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 não estabelece padrões para o parâmetro coliformes totais. Contudo, a legislação ambiental estadual pertinente, através da Deliberação Normativa COPAM n.º 10/1986, estabelece o limite de 5000 NMP/100 ml de coliformes totais para águas Classe 2. Assim sendo, a Figura 8.264 indica que os resultados de coliformes totais ultrapassaram este limite para todos os pontos em diversas coletas, antes e após a instalação dos barramentos, assim como aconteceu no caso do parâmetro coliformes fecais. Assim sendo, independente da instalação ou não dos barramentos em estudo, há implicações da qualidade da água referentes a este parâmetro sobre as restrições dos usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Pomba, de acordo com o estabelecido pela legislação ambiental pertinente.

A Tabela 8.57 apresenta alguns dados estatísticos de coliformes totais da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.57 - Dados estatísticos de coliformes totais (NMP/100 ml) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	14471	4148	0,29	16000	1600	14400
PO-01	8761	6952	0,79	16000	230	15770
PO-01B	8489	6548	0,77	16000	220	15780
PO-02	8097	6963	0,86	16000	40	15960
PO-03	7923	6449	0,81	16000	330	15670
PO-04	9090	7211	0,79	16000	700	15300
PO-05	10822	6891	0,64	16000	800	15200

Os dados estatísticos indicam que os valores mínimos são aqueles com maior diferença (quanto à ordem de grandeza) entre os pontos de coleta. Enquanto que no ponto PO-01A o valor mínimo foi na ordem de milhares (igual a 1600 NMP/100mL), no ponto PO-02 foi na ordem de dezenas (igual a 40 NMP/100mL). Outra conclusão relevante é que os valores máximos obtidos foram iguais a 1600 NMP/100ml, em todos os pontos de coleta.

Não foram amostradas as concentrações dos parâmetros bacteriológicos e hidrobiológicos no fundo dos reservatórios. Neste caso, então, não é avaliada a distribuição do parâmetro coliformes totais ao longo da profundidade dos mesmos.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.267 a 8.273 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro coliformes totais.

Figura 8.267 - Coliformes totais no ponto PO-01 ^A	Figura 8.268 - Coliformes totais no ponto PO-01
Figura 8.269 - Coliformes totais no ponto PO-01B	Figura 8.270 - Coliformes totais no ponto PO-02

Figura 8.271 - Coliformes totais no ponto PO-03	Figura 8.272 - Coliformes totais no ponto PO-04
<p style="text-align: center;">Figura 8.273 - Coliformes totais no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.267 a 8.273 demonstram uma grande variação na concentração de coliformes fecais, geralmente entre 2000 e 16000 em todos os pontos de coleta, exceto que o Cenário 1 do ponto PO-01A e o Cenário 4 do ponto PO-05 apresentaram valores iguais a 16000 NMP/100ml para todas as coletas.

Não foram amostradas as concentrações de coliformes fecais no fundo dos reservatórios. Neste caso, portanto, não é avaliada a distribuição deste parâmetro ao longo da profundidade dos mesmos.

Com base nos resultados do presente trabalho, não é possível identificar alguma possível relação entre a instalação dos barramentos e a concentração de coliformes totais, devido às mesmas condições para os coliformes fecais, explicadas anteriormente.

8.4.25. Fitoplâncton – Densidade e Riqueza

Os microorganismos aquáticos assumem um papel de grande importância na avaliação da qualidade da água, devido à sua predominância em determinados ambientes, o que os torna, portanto, bioindicadores de ambientes degradados ou de boa qualidade ambiental.

Os resultados do levantamento hidrobiológico constituem-se em excelente instrumental para a avaliação da qualidade de ambientes aquáticos. No caso da mudança de sistema lótico para lêntico são esperadas oscilações qualitativas (composição das espécies) e quantitativas (populações de cada espécie) até que o ambiente atinja naturalmente um estado de equilíbrio (homeostase) (von Sperling, 2004).

O grupo de plâncton é constituído por microorganismos sem movimentação própria, que vivem em suspensão na água, podendo ser agrupado em fitoplâncton (algas, bactérias) e zooplâncton (protozoários, rotíferos e crustáceos). A comunidade planctônica exerce um papel fundamental na ecologia aquática, tanto na construção da cadeia alimentar quanto na condução de processos essenciais, como a produção de oxigênio e a decomposição da matéria orgânica (von Sperling, 2004).

Para fins de classificação ecológica, as algas também são consideradas bons indicadores de poluição devido a sua presença, quase invariável, em todos os corpos de águas doces e por incluírem espécies tolerantes e outras muito sensíveis à presença da poluição. Os organismos fitoplanctônicos não constituem e nem estão associados diretamente às causas da poluição, mas sua presença ou ausência constitui uma consequência desta. As algas podem morrer, ser beneficiadas ou se adaptar na presença do material poluidor, sendo o resultado do quadro ecológico característico da poluição e, refletindo-o, permitem-nos o conhecimento do mesmo (Branco, 1986 apud Mucci, 2004).

A comunidade fitoplanctônica apresenta grande diversidade morfológica, sendo possível a identificação através da observação microscópica direta; além de apresentar densidades populacionais mais elevadas que a comunidade zooplanctônica, possibilitando um maior volume de informação por volume de água amostrado (Beyruth, 1996 apud Mucci, 2004).

Em relação à densidade do fitoplâncton, a Figura 8.274 apresenta o gráfico das séries temporais para cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.274 – Séries temporais de densidade do fitoplâncton (org./mL) dos pontos de coleta

A Figura 8.274 apresenta uma nítida variação decrescente da densidade do fitoplâncton ao longo do tempo. Embora esta tendência tenha se iniciado anteriormente à instalação dos barramentos, a variação manteve-se baixa e estabilizou-se a partir da campanha de outubro/2004 (campanha n.º 10), após a formação dos reservatórios das PCH's Ponte e Palestina, assumindo valores no intervalo entre 0 e 100 organismos/mL, enquanto que, durante as campanhas n.º 1 a 9, estes valores situaram-se na faixa entre 50 e 200 mg/L. Neste sentido, torna-se difícil verificar qualquer influência da instalação dos barramentos sobre a densidade de fitoplâncton, embora esta seria esperada em função da alteração do ambiente e do próprio ecossistema aquático.

Comparando as séries temporais de fosfato solúvel e de densidade de fitoplâncton – Figuras 8.126 e 8.274 – observa-se que ambos os parâmetros apresentam comportamentos semelhantes, o que indicaria uma possível assimilação do fosfato solúvel pelo fitoplâncton. Verificou-se, ainda, uma influência da diminuição da densidade de fitoplâncton durante as estações chuvosas – campanhas n.º 3, 7, 10, 11, 12 e 15. Esta tendência pode ser justificada em função dos efeitos da diluição pela maior vazão afluente.

A Tabela 8.58 apresenta alguns dados estatísticos da densidade de fitoplâncton da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.58 - Dados estatísticos de densidade de fitoplâncton (org/mL) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	39	22	0,56	69	3	66
PO-01	68	69	1,02	306	6	300
PO-01B	29	20	0,70	65	3	62
PO-02	56	40	0,70	161	7	154
PO-03	50	49	0,98	199	5	194
PO-04	63	52	0,82	173	4	169
PO-05	71	55	0,79	173	4	169

A densidade dos microorganismos fitoplanctônicos variou entre 3 e 194 organismos/mL, com exceção do ponto PO-01, que apresentou um valor excepcional de 300 organismos/mL na campanha de julho/2003. Um resultado esperado seria a ocorrência de um aumento na densidade destes organismos nos três reservatórios – representados pelos pontos PO-01, PO-02 e PO-04 – em relação aos demais pontos de coleta, uma vez que o ambiente lântico formado, em virtude do tempo de residência maior, é mais propício à proliferação dos mesmos do que o curso hídrico em seu regime lótico. Contudo, este prognóstico não ocorreu.

Avaliando a Figura 8.274, não foram encontradas evidências de eutrofização nos três reservatórios em estudo, em função das baixas densidades de fitoplâncton.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.275 a 8.281 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro densidade de fitoplâncton.

Figura 8.275 – dens. fitoplâncton ponto PO-01A	Figura 8.276 - dens. fitoplâncton no ponto PO-01

<p>Figura 8.277 - dens. fitoplâncton ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.278 - dens. fitoplâncton no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.279 - dens. fitoplâncton no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.280 - dens. fitoplâncton no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.281 - dens. fitoplâncton no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.275 a 8.281 demonstram que o Cenário 1 apresentou maiores valores de densidade de fitoplâncton do que os cenários 2 a 4, para todos os pontos. Isto indica um possível efeito de diminuição do fitoplâncton ao longo do rio Pomba, após a instalação dos barramentos. Tal resultado seria esperado para os pontos de coleta que representam a situação a montante e jusante dos reservatórios (pontos de coleta PO-01), principalmente daqueles situados no trecho de redução da vazão natural do rio Pomba. Contudo, para os pontos situados nos reservatórios, esperava-se um aumento da densidade de fitoplâncton em função

das condições propícias para desenvolvimento dos mesmos (maior tempo de residência das águas, grandes áreas expostas à luz solar e disponibilidade de nutrientes suficiente).

Em relação à riqueza (n.º de taxa) do fitoplâncton, a Figura 8.282 apresenta o gráfico das séries temporais para cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.282 – Séries temporais de riqueza do fitoplâncton dos pontos de coleta

A Figura 8.282 indica uma clara queda na riqueza de fitoplâncton a partir da instalação dos barramentos das PCH's Ponte e Palestina, ou seja, a partir da campanha de amostragem de julho/2004 (Campanha n.º 9). A riqueza de fitoplâncton apresentou comportamentos distintos anterior e posteriormente à instalação dos barramentos. Durante as campanhas n.º 1 a 9, a riqueza do fitoplâncton apresentou valores entre 19 e 38 taxa, enquanto que, a partir da campanha n.º 11, os resultados apresentaram valores entre 2 e 22 taxa. A campanha n.º 10 apresentou valores intermediários entre estas duas situações, entre 17 e 26 taxa, denotando que a perda de riqueza decorrente da instalação de barramentos não ocorre instantaneamente após a mesma. A riqueza de fitoplâncton também seguiu variações sazonais, apresentando baixos valores durante as campanhas de chuvas, referentes aos meses de abril/2004 e janeiro dos anos de 2002, 2003 e 2005 (campanhas n.º 3, 7, 12 e 15).

De acordo com Azevedo et al (1994 apud Castro, 2005), uma consequência do processo de eutrofização é o decréscimo na diversidade de espécies da comunidade fitoplanctônica. Neste contexto, pode-se inferir, portanto, que os três reservatórios em estudo apresentam indícios de estarem eutrofizados.

Foi observado um padrão do aumento da densidade de fitoplâncton com o aumento da profundidade da zona fótica, conforme seria esperado. Segundo a tabela 8.25, a profundidade da zona fótica decresceu da campanha n.º 9 até a campanha n. 12, para em seguida, aumentar até a campanha n.º 14, decrescer novamente até a campanha n.º 16 e, por fim, aumentar até a campanha n.º 18, aproximadamente. Observando a Figura 8.273, pode-se observar uma tendência semelhante para a densidade de fitoplâncton, indicando uma possível influência da profundidade da zona fótica sobre a mesma.

A Tabela 8.59 apresenta alguns dados estatísticos da riqueza de fitoplâncton da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.59 - Dados estatísticos de riqueza de fitoplâncton (n.º de Taxa) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	18	12	0,65	34	4	30
PO-01	20	11	0,55	36	3	33
PO-01B	17	10	0,60	33	3	30
PO-02	19	10	0,53	32	4	28
PO-03	20	10	0,52	33	3	30
PO-04	21	11	0,54	38	2	36
PO-05	21	10	0,47	33	6	27

A Tabela 8.59 demonstra que os dados estatísticos de riqueza são semelhantes ao longo de toda a rede de monitoramento da água. Isto implica que a influência da mudança do ambiente aquático sobre a riqueza de fitoplâncton influenciou nos pontos a jusante.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.283 a 8.289 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro riqueza de fitoplâncton.

<p>Figura 8.283 – riq. fitoplâncton no ponto PO-01A</p>	<p>Figura 8.284 - riq. fitoplâncton no ponto PO-01</p>
<p>Figura 8.285 - riq. fitoplâncton no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.286 - riq. fitoplâncton no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.287 - riq. fitoplâncton no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.288 - riq. fitoplâncton no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.289 - riq. fitoplâncton no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.283 a 8.289 indicam uma clara tendência de diminuição da riqueza de fitoplâncton à medida que são instalados os barramentos, ao compararmos os cenários 1 a 4. Isto indica que os reservatórios tendem a favorecer a proliferação dos microorganismos mais adaptados aos ambientes lênticos, em detrimento aos organismos mais adaptados aos ambientes lóticos, diminuindo o n.º de taxa do ambiente original.

8.4.26. Zooplâncton – Densidade e Riqueza

Denomina-se zooplâncton o conjunto de organismos aquáticos que não tem capacidade fotossintética (heterótrofos) e que vivem dispersos na coluna d'água, apresentando pouca capacidade de locomoção, uma vez que apenas possuem cílios, flagelos ou barbatanas. Apesar disso, grande parte destes organismos tem a capacidade de realizar migrações verticais na coluna d'água. Estas migrações permitem-lhes não só escaparem dos predadores (afundando para águas profundas durante o dia – portanto, com menos luz – e subindo para perto da superfície, onde têm mais alimento à noite), mas também aproveitarem correntes de fundo para se deslocarem para regiões onde as condições ambientais lhes são mais favoráveis (ICB/UFMG, acesso 19/07/05, apud Castro, 2005).

A comunidade zooplânctônica compreende organismos cujo tamanho varia entre 40 µm a 2,5 cm, ou até mais. Suas espécies respondem diretamente às condições ambientais das massas d'água. Temperatura, condutividade, pH e concentração de nutrientes são variáveis que determinam um conjunto de condições em que se desenvolvem os organismos planctônicos. Portanto, o zooplâncton é um excelente indicador das condições físicas e químicas das massas de água em águas interiores e a sua composição e diversidade refletem em grande parte estas condições. A diversidade e composição do zooplâncton são um indicador não só das condições pristinas do sistemas, mas também de sua deterioração. Alterações da diversidade e composição estão diretamente relacionadas com os fatores de estresse, tais como alta concentração de substâncias tóxicas, acidez ou basicidade (Tundisi, 1997 apud Castro, 2005).

Em relação à densidade do zooplâncton, a Figura 8.290 apresenta o gráfico das séries temporais para cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. É importante ressaltar que, para fins de melhor visualização do gráfico, não foi plotado um dado, referente ao resultado do ponto PO-01 na campanha de julho/2003 (campanha n.º 9), cujo valor foi de 2726 org/mL.

Figura 8.290 – Séries temporais de densidade do zooplâncton dos pontos de coleta

A Figura 8.290 demonstra uma clara relação entre a instalação dos barramentos e a densidades de microorganismos zooplanctônicos. Durante as campanhas que representam o Cenário 1 – rio Pomba sem a presença de nenhum barramento – foram encontrados valores muito baixos de densidade, em geral, inferiores a 40 org./L. Após a instalação do primeiro barramento – correspondente a PCH Ponte – ocorrido a partir da campanha de julho/2003 (campanha n.º 9), os valores de densidade de zooplâncton aumentaram, chegando a atingir picos até cinco vezes maiores em alguns pontos. Cumpre observar que este resultado é inesperado quando comparado com os resultados obtidos para a densidade de fitoplâncton. Uma vez que o fitoplâncton constitui a base da cadeia alimentar para o zooplâncton, esperava-se que a densidade destes organismos mantivessem uma relação aproximadamente direta. Assim, a densidade de zooplâncton deveria acompanhar a diminuição da densidade de fitoplâncton ao longo das campanhas, representada na Figura 8.274, sendo que ocorreu o inverso, sem terem sido identificadas causas para tal.

Observou-se, ainda, que a instalação de mais de um barramento não apresentou efeitos cumulativos sobre a variação de densidade do zooplâncton. Isso significa que após a instalação de um barramento, não ocorreriam novas influências sobre este parâmetro decorrentes de novos barramentos. Contudo, esta observação é válida apenas para barramentos localizados próximos entre si, não podendo ser aplicada para barramentos localizados entre grandes distâncias.

A Tabela 8.60 apresenta alguns dados estatísticos da densidade de Zooplâncton da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.60 - Dados estatísticos de densidade de zooplâncton (org/mL) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	17,08	17,93	1,05	62,50	0,46	62,04
PO-01	180,13	636,72	3,53	2726,00	0,34	2725,66
PO-01B	33,17	66,63	2,01	234,40	1,15	233,25
PO-02	41,68	46,67	1,12	153,30	1,08	152,22
PO-03	37,71	54,88	1,46	213,00	1,85	211,15
PO-04	19,25	23,26	1,21	75,40	0,66	74,74
PO-05	14,09	16,22	1,15	55,70	0,42	55,28

A partir da Tabela 8.60, pode-se perceber que a densidade de zooplâncton apresentou dados aproximados ao longo dos pontos de coleta, com exceção do ponto PO-01, em virtude do valor máximo encontrado em julho/2003.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.291 a 8.297 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro densidade de zooplâncton.

Figura 8.291 - den. zooplâncton no ponto PO-01A	Figura 8.292 - den. zooplâncton no ponto PO-01

<p>Figura 8.293 - den. zooplâncton no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.294 - den. zooplâncton no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.295 - den. zooplâncton no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.296 - den. zooplâncton no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.297 - den. zooplâncton no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.292 e 8.293 indicam que os Cenários 1 e 2 apresentam valores aproximados de densidade de zooplâncton. Contudo, as figuras 8.294 a 8.297 indicam um aumento dos mesmos quando comparados o Cenário 1 com os cenários 3 e 4. Estes resultados indicam uma possível relação de aumento da população zooplanctônica com a instalação dos barramentos e conseqüente formação de novos ambientes. Contudo, esta conclusão deve ser objeto de maiores estudos.

Em relação à riqueza do zooplâncton, a Figura 8.298 apresenta o gráfico das séries temporais para cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.298 – Séries temporais de riqueza do zooplâncton dos pontos de coleta

A Figura 8.298 indica uma grande variabilidade de riqueza de zooplâncton em cada ponto de coleta ao longo do tempo e quando comparados os pontos entre si. Observa-se uma dispersão variando entre 0 e 40 taxa e, em média, aproximando-se de 20 taxa, com exceção das campanhas dos meses de outubro/2004, janeiro e abril/2005 (campanhas n.º 14 a 16), que apresentaram uma queda nos valores observados. A priori, não foram encontradas evidências de um possível efeito da instalação dos barramentos sobre a riqueza de zooplâncton.

A Tabela 8.61 apresenta alguns dados estatísticos da riqueza de Zooplâncton da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.61 - Dados estatísticos de riqueza de zooplâncton (n.º de taxa) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	20	9	0,44	33	8	25
PO-01	15	6	0,42	32	6	26
PO-01B	17	9	0,51	41	8	33
PO-02	16	7	0,41	26	4	22
PO-03	18	9	0,52	38	5	33
PO-04	17	6	0,33	33	11	22
PO-05	18	9	0,50	41	4	37

A Tabela 8.61 complementa a avaliação das séries temporais de riqueza do zooplâncton. Pode-se observar também que os dados estatísticos dos pontos de coleta encontram-se muito próximos entre si. Constata-se, portanto, que sua variabilidade é natural, não estando relacionado a nenhum fator externo, tal como a instalação dos barramentos.

Em relação ao estudo de variação da riqueza de zooplâncton ao longo do espaço, as figuras 8.299 a 8.305 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados.

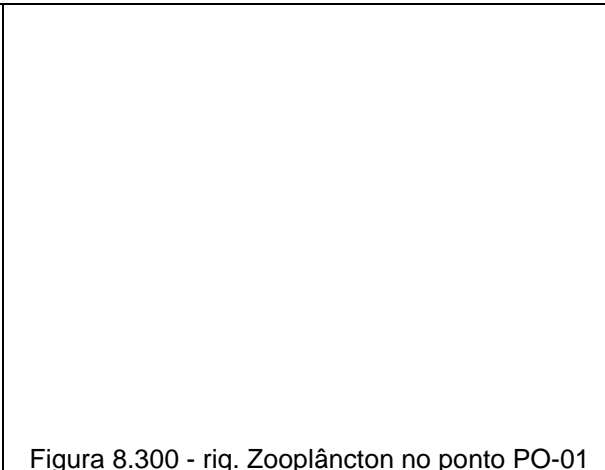
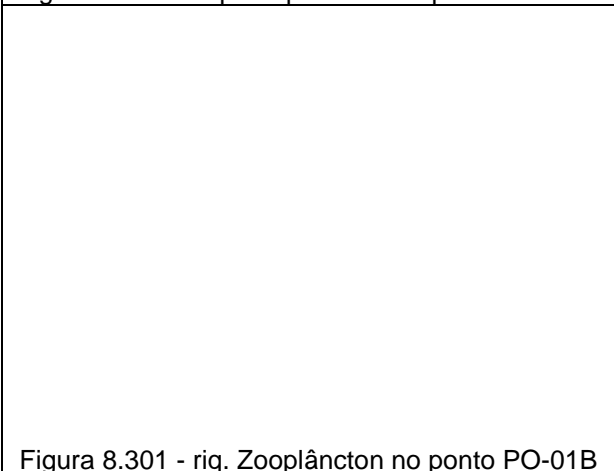
	
	

Figura 8.303 - riq. Zooplâncton no ponto PO-03	Figura 8.304 - riq. Zooplâncton no ponto PO-04
<p data-bbox="565 1003 1130 1035" style="text-align: center;">Figura 8.305 - riq. Zooplâncton no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.299 a 8.305 refletem a variabilidade de riqueza do zooplâncton observada anteriormente. Embora sejam constatadas variações entre os diversos cenários, as mesmas não são significativas, não indicando, portanto, nenhuma tendência sem ou com a instalação dos barramentos.

8.4.27. Zoobenton – Densidade e Riqueza

Zoobenton são os organismos aquáticos que habitam o fundo de um corpo d'água. Estes organismos são excelentes indicadores da qualidade do ambiente, porque não detectam apenas as alterações físicas e químicas da águas, mas também as demais mudanças em seu habitat.

Antes de qualquer avaliação do zoobenton, cabe informar a modificação na metodologia de coleta e análise da comunidade zoobentônica ao longo das campanhas de monitoramento. Durante as campanhas n.º 1 a 14, o zoobenton foi amostrado em um único substrato por ponto de coleta, de forma a caracterizar o ambiente de forma global. A partir da campanha n.º 15, visando atender uma solicitação da FEAM, passou-se a amostrar todos os habitats e substratos disponíveis no mesmo ponto de coleta, de forma a não subestimar a identificação de comunidades presentes. Para tanto foram usados amostradores adequados para cada tipo de

substrato. Em virtude dessa mudança de metodologia, houve uma melhora na amostragem traduzida em ganhos quantitativos e qualitativos nos valores da comunidade zoobentônica a partir da campanha n.º 15, em relação às anteriores.

Em relação à densidade do zoobenton, a Figura 8.306 apresenta o gráfico das séries temporais para cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.306 – Séries temporais de densidade do zoobenton dos pontos de coleta

Considerando apenas as campanhas n.º 1 a 14, pode-se observar que os valores de densidade de zoobenton foram inferiores a 100 org/mL – com exceção do ponto PO-01B durante a campanha de julho/2003, cujo resultado foi igual a 149 org/mL. Observa-se, ainda, a ocorrência de picos de zoobenton durante as campanhas de outubro/2001, julho/2002, outubro/2002 e julho/2003 (campanhas n.º 2, 5, 6 e 9), caracterizadas pelos baixos índices pluviométricos. Durante as chuvas, são comuns os baixos valores de densidade de zoobenton devido ao efeito do arraste de indivíduos pela correnteza. Após a instalação dos barramentos das PCH's Ponte e Palestina – após a campanha n.º 9, ocorreu uma queda na densidade, que pode ter sido influenciado pela instalação destes. Cumpre lembrar que o aumento dos valores

de densidade de zoobenton a partir da campanha n.º 15 são atribuídos à mudança na metodologia de coleta.

A Tabela 8.62 apresenta alguns dados estatísticos da densidade de Zoobenton da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.62 - Dados estatísticos de densidade de zoobenton (org/mL) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	15	14,28	0,98	39	0	39
PO-01	17	21,92	1,31	79	0	79
PO-01B	22	46,86	2,16	149	0	149
PO-02	22	29,05	1,33	70	0	70
PO-03	35	28,34	0,81	95	1	94
PO-04	19	15,55	0,82	53	1	52
PO-05	17	17,16	1,00	61	0	61

Nota: Para o cálculo das estatísticas de densidade de zoobenton, não foram considerados os dados das campanhas n.º 15 a 18.

A Tabela 8.62 indica que os pontos de coleta apresentaram variações distintas de densidade de zoobenton, com exceção dos valores mínimos, que foram igual ou próximo a zero em todos os pontos. O ponto com maior valor médio e menor coeficiente de variação foi o ponto PO-03, situado a montante do reservatório da PCH Triunfo. O ponto com menor valor médio foi o ponto PO-01A, situado a montante do reservatório da PCH Ponte. Estas variações não podem ser atribuídas aos barramentos, uma vez que o ponto localizado a jusante da rede de amostragem (PO-05) obteve resultados semelhantes aos do localizado a montante (PO-01A).

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.307 a 8.313 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro densidade de zoobenton.

Figura 8.307 - dens. zoobenton no ponto PO-01A	Figura 8.308 - dens. zoobenton no ponto PO-01

<p>Figura 8.309 - dens. zoobenton no ponto PO-01B</p>	<p>Figura 8.310 - dens. zoobenton no ponto PO-02</p>
<p>Figura 8.311 - dens. zoobenton no ponto PO-03</p>	<p>Figura 8.312 - dens. zoobenton no ponto PO-04</p>
<p>Figura 8.313 - dens. zoobenton no ponto PO-05</p>	

Não foi possível estabelecer uma correlação entre os diferentes cenários de comparação para a densidade de zoobenton. O Cenário 2 apresentou-se aproximadamente igual ou bastante superior ao Cenário 1, para os pontos PO-01 e PO-01A, respectivamente. O Cenário 3 apresentou valores aproximadamente iguais – para os pontos PO-03, PO-04 e PO-05 – ou inferiores – para o ponto PO-02 – em relação ao Cenário 1. O Cenário 4, por sua vez, apresentou-se superior aos cenários 1 e 3 nos pontos PO-04 e PO-05. Assim sendo, uma vez que não foi identificada uma possível tendência nos valores de densidade de zooplâncton à

medida que são instalados os barramentos, não é possível tirar nenhuma conclusão acerca da mesma.

Em relação à riqueza do zoobenton, a Figura 8.314 apresenta o gráfico das séries temporais para cada um dos sete pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas.

Figura 8.314 – Séries temporais de riqueza do zoobenton dos pontos de coleta

A Figura 8.314 indica grande variação na riqueza do zoobenton para os pontos coleta ao longo das campanhas de monitoramento – variação ao longo do tempo – e para os pontos de coleta entre si, numa mesma campanha de monitoramento – variação ao longo do espaço. Cumpre observar que não foi observada alteração dos valores de riqueza em decorrência da mudança na metodologia de coleta adotada a partir da campanha n.º 15.

A Tabela 8.63 apresenta alguns dados estatísticos da densidade de zoobenton da água de cada ponto de coleta.

Tabela 8.63 - Dados estatísticos de riqueza de zoobenton (n.º de taxa) dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Máximo	Mínimo	Amplitude
PO-01A	3	2,79	0,85	10	0	10
PO-01	3	1,85	0,66	6	0	6
PO-01B	2	2,41	1,01	8	0	8
PO-02	3	2,89	0,94	11	0	11
PO-03	5	2,47	0,53	10	1	9
PO-04	4	2,43	0,57	8	1	7
PO-05	4	3,1	0,72	9	0	9

Nota: Para o cálculo das estatísticas de riqueza de zoobenton, não foram considerados os dados das campanhas n.º 15 a 18.

A Tabela 8.63 indica que os valores médios de riqueza estiveram muito próximos entre si. Não foi observado nenhum padrão que pudesse indicar sobre uma possível influência dos barramentos.

Em relação ao estudo de variação ao longo do espaço, as figuras 8.315 a 8.321 apresentam a avaliação dos cenários de cada um dos sete pontos de coleta estudados, para o parâmetro riqueza de zoobenton.



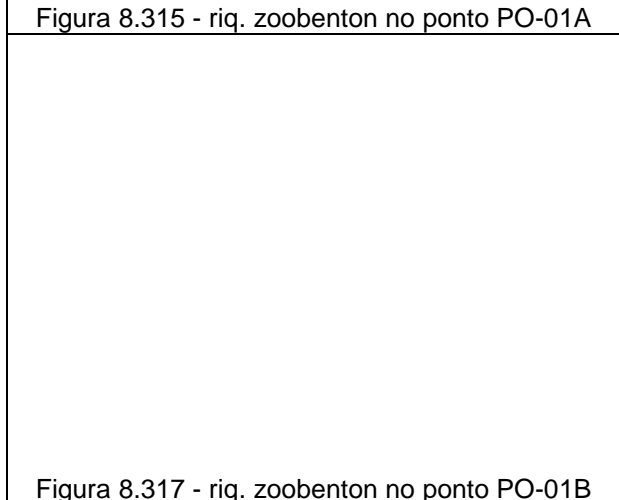
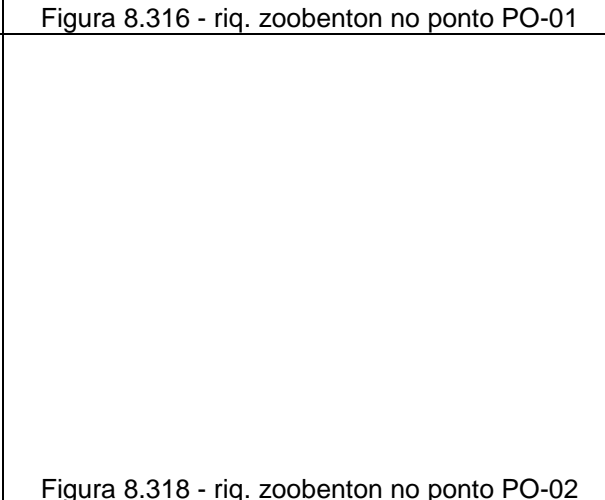
	
	

Figura 8.319 - riq. zoobenton no ponto PO-03	Figura 8.320 - riq. zoobenton no ponto PO-04
<p data-bbox="581 1010 1117 1035" style="text-align: center;">Figura 8.321 - riq. zoobenton no ponto PO-05</p>	

As figuras 8.315 a 8.321 indicam uma diminuição da riqueza de zoobenton quando comparados o Cenário 1 (sem a instalação de nenhum barramento) com os cenários 2 e 3 (com a instalação de um e dois barramentos, respectivamente). O Cenário 4 será desconsiderado nesta avaliação pois corresponde às campanhas n.º 15 a 18, que sofreram mudança de metodologia de coleta de zoobenton. Desta forma, as figuras 8.306 a 8.312 indicam uma possível influência da instalação dos barramentos na perda de riqueza do zoobenton.

8.5. Avaliar se os resultados obtidos condizem com aqueles previstos pela literatura técnica e nos estudos ambientais dos barramentos

8.5.1. Resultados previstos na literatura técnica

Ribeiro et al (2005), estudando as alterações limnológicas abióticas e bióticas ocorridas na formação da hidrelétrica de Salto Caxias, no rio Iguaçu, Paraná, concluíram que, após o represamento, por efeitos da decomposição da biomassa vegetal submersa, do material lixiviado dos solos, e das contribuições através de tributários, houve imediata depleção do oxigênio dissolvido, especialmente no hipolímnio, incrementos na concentração de fósforo e

nitrogênio e conseqüente aumento da biomassa fitoplanctônica especialmente nos braços dos principais afluentes. Características mais lânticas do novo ambiente após o represamento, em relação ao rio que lhe deu origem, favoreceram o processo de sedimentação e o aumento da transparência da água em direção à barragem. Na transformação rio-represa, o ambiente aquático passou de condições oligotróficas para mesotróficas, e no segundo ano de represamento, a instabilidade limnológica, caracterizada principalmente pela elevação dos teores de fósforo total, nitrogênio total e amoniacal, diminuição do oxigênio dissolvido e tendência de aumento da biomassa fitoplanctônica, ainda se mostrou presente.

Estes resultados não puderam ser confirmados no caso dos reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo, em virtude das deficiências da metodologia de aquisição dos dados, com freqüência de coletas trimestrais. No caso da metodologia utilizada por Ribeiro et al (2005), esta consistia de coletas mensais durante um ano anterior e dois anos após a formação do reservatório de Salto Caxias, o que garantiu um melhor acompanhamento das transformações do ambiente aquático.

8.5.2. Impactos ambientais previstos nos estudos ambientais das PCH's

Conforme exposto no Tópico 7.2 – “Processos de licenciamento ambiental dos barramentos”, como parte integrante dos estudos exigidos pelo licenciamento ambiental, foi elaborado um Estudo de Impacto Ambiental – EIA para os três barramentos objetos de estudo de caso deste trabalho. Este Estudo contempla, dentre outros assuntos, a previsão dos possíveis impactos ambientais decorrentes do planejamento, implantação e operação de um empreendimento, de forma a subsidiar a avaliação de sua viabilidade ambiental.

Os impactos ambientais, segundo a Resolução CONAMA n.º 01, de 23 de janeiro de 1986, consistem de “Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais”.

O objetivo proposto no presente tópico trata de uma averiguação da ocorrência ou não dos impactos ambientais previstos para os barramentos analisados no âmbito do licenciamento ambiental. Dessa forma, busca-se comparar se o prognóstico dos impactos ambientais condiz com os resultados obtidos pelo monitoramento.

Os impactos ambientais foram identificados e avaliados segundo as fases de planejamento, implantação e operação das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo, e classificados segundo os parâmetros apresentados no Tabela 8.64.

Tabela 8.64 - Parâmetros de classificação dos impactos ambientais previstos no EIA das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo

Parâmetro de classificação	Classificação	Descrição
Atuação	Efeito Direto (ED) Efeito Indireto (EI)	Este parâmetro analisa a relação entre a ação e o conseqüente impacto
Natureza	Positivo (P) Negativo (N)	O impacto é considerado positivo nos casos em que o efeito da ação for benéfico ao meio, e negativo quando o efeito for adverso ao meio
Frequência	Temporária (T) Permanente (P) Cíclica (C)	Este parâmetro refere-se à periodicidade do impacto
Duração	Curto Prazo (CP) Médio Prazo (MP) Longo Prazo (LP)	Este parâmetro analisa o tempo de duração do impacto
Reversibilidade	Reversível (RE) Irreversível (IR)	A reversibilidade é avaliada tendo em vista a possibilidade do fator ambiental impactado retornar às condições originais
Abrangência	Regional (R) Local (L) Estratégico (E)	A abrangência analisa a área de influência do impacto, em termos regionais.
Importância	Alta (A) Média (M) Baixa (B)	É a classificação de determinado impacto em função dos diversos atributos analisados.

Fonte: ESSE (1998)

Associado a cada impacto, o EIA propõe medidas e programas ambientais destinados a mitigá-los ou eliminá-los. Fogem do escopo do presente trabalho a apresentação e avaliação da eficácia destas medidas e programas.

Para a fase de planejamento, não foram previstos quaisquer impactos associados à qualidade das águas, por não existir qualquer tipo de intervenção ou ação nesta fase que possa ocasionar efeitos sobre a mesma.

Para a fase de implantação das usinas, os impactos ambientais previstos no EIA são temporários e restritos aos períodos das obras, além de serem reversíveis e de abrangência local. Dessa forma, uma vez que o presente trabalho visa estudar as alterações da qualidade das águas de caráter permanente, decorrentes da transformação do ambiente aquático, e não

da influência de ações pontuais e temporárias inerentes às obras, não serão alvo de interesse os impactos ambientais previstos para essa fase.

Para fins de ilustração, as ações causadoras de impactos sobre a qualidade das águas durante a fase de instalação dos empreendimentos em estudo são:

- Carreamento dos sólidos resultantes das atividades de abertura de acessos, limpeza de área, instalação do canteiro de obras, obras em terra e relocação/ampliação/adequação dos trechos dos acessos previamente existentes, podendo causar o assoreamento dos cursos d'água e com isso diminuir a vida útil dos reservatórios, além de causar impactos sobre a fauna aquática.
- As ações de extração de rochas, obra em concreto/edificações, disposição dos resíduos da obra, desmobilização das obras e relocação de benfeitorias, poderão afetar negativamente as águas superficiais, mas de maneira desprezível.
- Para as PCH's Ponte e Triunfo, a extração de areia é considerada uma ação que poderá provocar impacto relevante, uma vez que nas áreas já ocorre esta prática, inclusive com o uso de dragas, o que provoca alterações tanto na calha como nas margens. No local de implantação da PCH Palestina, apesar de não haver uso de dragas, a ação de extração de areia também foi considerada causadora de impacto relevante, pois este local sofre influência da área de montante (PCH Ponte).
- As obras em terra e instalação de canteiro de obras aumentam a concentração do material em suspensão na água, assim como de solutos orgânicos e inorgânicos. O desvio do rio provoca a alteração do substrato, assim como do fluxo da correnteza. A extração de areia contribui para a destruição dos ambientes subaquáticos, como áreas de crescimento de plantas e algas, as quais também são afetadas pelo aumento da turbidez. Estradas e pontes realocadas, assim como a limpeza de áreas, também provocarão alterações do substrato e da estrutura das margens.
- Além do processo de evaporação, os estudos pressupunham que as condições físico-químicas da água iriam sofrer mudanças consideráveis, devido às obras das ensecadeiras e do desvio do rio.

Em relação aos usos da água, durante a fase de implantação dos empreendimentos, foram previstos os seguintes impactos:

- Para a PCH Ponte, o único impacto prognosticado foi a interdição da área de lazer no local a montante da Cachoeira da Fumaça, em virtude do perigo pela proximidade com o barramento e obras afins.
- Para a PCH Palestina, não foi prevista nenhuma restrição aos usos da água, pois estes não ocorrem no trecho aonde foram instaladas as unidades componentes das usinas.
- Para a PCH Triunfo, foi prevista a interrupção das atividades de um estabelecimento comercial situado próximo ao local das obras (mais precisamente a jusante do eixo), que utilizava água do rio Pomba. Os demais usos puderam ocorrer nesta fase.

O EIA previu diversos impactos ambientais associados às águas decorrentes da operação das três PCH's. Ele identifica, ainda, algumas ações responsáveis por provocar os impactos sobre as águas superficiais na ADA e AE das usinas, quais sejam: o enchimento e operação do reservatório, a redução da vazão do rio Pomba no trecho a jusante dos barramentos, até as respectivas casas de força (de forma relevante) e a variação do nível do reservatório e a geração de energia (os dois últimos de forma desprezível). A seguir serão apresentados os impactos decorrentes destas ações.

O enchimento e operação do reservatório ocasionam a alteração do regime de escoamento do rio, de ambiente lótico para lêntico, e assim, o EIA havia previsto os seguintes impactos decorrentes desta mudança:

- A decomposição da biomassa vegetal, que havia restado após as ações de desmatamento na área dos reservatórios, resultaria na redução do oxigênio dissolvido;
- Aumento temporário da produtividade orgânica, devido ao aporte de nutrientes das margens inundadas. Posteriormente, eram previstos o aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, e a formação de ambientes anóxicos em alguns setores mais profundos dos reservatórios que, conseqüentemente, agiriam sobre o ecossistema aquático – principalmente sobre a ictiofauna – favorecendo determinadas espécies em detrimento de outras.
- As modificações provenientes da alteração do regime de escoamento do rio Pomba pela formação do reservatório poderiam afetar a qualidade da água. Este impacto foi classificado como negativo, de efeito direto, irreversível, temporário, de média duração,

regional e de média importância. Contudo, o EIA não especifica quais seriam as alterações da qualidade da água que ocorreriam.

- Novas opções de lazer para a população da região, pois a formação dos lagos proporcionaria possibilidades de pesca, natação, esportes náuticos, dentre outros. Este impacto foi classificado como positivo, de efeito direto e de abrangência regional, positivo, permanente, de longo prazo, irreversível e de alta importância.
- A partir do enchimento do reservatório, previu-se o risco de surgirem locais alagados onde mosquitos e caramujos, entre outros vetores, encontrem um ambiente propício para sua proliferação, o que potencializaria a transmissão de doenças. Este impacto foi considerado como relevante.

De acordo com os resultados e discussões apresentados ao longo deste capítulo, constatou-se que houve uma depleção de oxigênio dissolvido nas primeiras campanhas após a formação dos reservatórios Ponte e Palestina. Tal fato poderia ser atribuído, em parte, à decomposição da biomassa vegetal, confirmando o respectivo impacto previsto. Tal situação, porém, não se repetiu para a PCH Triunfo, o que poderia indicar que alguma fonte de oxigênio dissolvido, como o aporte de águas bem oxigenadas do rio Paraopeba, tenha prevalecido sobre as águas do reservatório da PCH Triunfo. Quanto ao aumento da produtividade orgânica (representada pela densidade de fitoplâncton) e da DBO, em virtude do aporte de nutriente após a formação dos reservatórios, tal situação não foi verificada, implicando que o impacto previsto no EIA não ocorreu. Quanto aos demais impactos especificados (aumento das opções de lazer e riscos proliferação de vetores de doenças de veiculação hídricas), a confirmação dos mesmos não pôde ser avaliada dentro do escopo do presente trabalho.

Em relação à redução da vazão do rio Pomba a jusante de cada barragem, foram previstos os seguintes impactos:

- Para a fase de enchimento, ocorreria uma diminuição relevante da vazão do rio Pomba, a jusante dos barramentos, durante o período necessário para que o nível d'água atingisse a elevação máxima normal, ou seja, até a formação do reservatório. O EIA conclui que este impacto não acarretaria grandes problemas ambientais, pois ocorreria apenas por poucos dias e durante este período seria mantida uma vazão residual escoando no leito do rio. Assim, este impacto foi classificado como de efeito direto, negativo, local, temporário, de curto prazo, reversível e de baixa importância.

- Para a fase de operação, este impacto também ocorreria, com relevância principalmente durante a época de seca (estiagem). Conseqüentemente, esta diminuição de vazão durante a estiagem poderia ocasionar a alteração do ciclo biológico das espécies aquáticas. A diferença deste impacto para com a fase de enchimento no reservatório consiste de se tratar de um impacto cíclico, irreversível, e de alta importância. Este impacto foi avaliado como de efeito indireto, negativo, cíclico, de curto prazo, irreversível, regional e de baixa importância.
- A FEAM identificou como possíveis impactos da redução permanente de vazão sobre as propriedades no trecho de vazão reduzida da PCH Ponte, a possível desvalorização das mesmas em função da perda do próprio recurso hídrico e da beleza cênica local (FEAM, 2000).

Quanto aos impactos supracitados, referentes à redução de vazão em cada barragem, observa-se que os mesmos estão mais relacionados aos aspectos quantitativos da água do que qualitativos. Portanto, sua comprovação não pode ser averiguada dentro da natureza do presente trabalho. Contudo, cabe ressaltar um impacto ambiental que não foi previsto nos estudos ambientais, mas que foi identificado no presente trabalho, tanto na área dos reservatórios quanto nos trechos de vazão reduzida, que consiste na alteração das comunidades hidrobiológicas em função das modificações em alguns parâmetros físico-químicos, dentre outros fatores.

Em relação aos usos da água, foram previstos os seguintes impactos:

- No caso da PCH Palestina, da mesma forma que para a fase de implantação, os impactos sobre os usos das águas foram considerados desprezíveis, uma vez que a formação do reservatório e a redução de vazão no trecho compreendido entre o barramento e casa de força não implicará em restrições aos mesmos.
- Para as PCH's Ponte e Triunfo, que abarcaram uma diversidade maior de usos, detectou-se como impacto relevante à restrição de alguns usos, como a irrigação, o uso de bomba d'água e a extração de areia por intermédio de draga. Estavam previstos no EIA outros usos que poderiam ocorrer normalmente, como a dessedentação de gado e a pesca como lazer (usos mais corriqueiros). A alteração de vazão do rio a jusante PCH Triunfo foi considerada desprezível em função da pequena extensão do trecho e, por considerar a prevalência da vazão sanitária. Já para a PCH Ponte, mesmo em função da localização mais afastada da casa de força, os usos da água no trecho não foram observados, tendo em

vista a própria estrutura física local que não permite o acesso de animais. Portanto, tal impacto foi considerado desprezível.

- Para a PCH Ponte, foi prevista a restrição completa do uso de uma cachoeira – Cachoeira da Fumaça – localizada no trecho de vazão reduzida e considerada área de lazer. Não foram identificados lançamentos de esgotos ou outros usos neste trecho, pelo fato de não existirem moradias no mesmo. O mesmo ocorre em relação à PCH Palestina;
- Para os três empreendimentos, previu-se a ampliação/criação de alternativas de lazer com a formação dos reservatórios, tendo sido este impacto considerado relevante em função de sua repercussão.
- A utilização da água para geração de energia, objetivo principal dos reservatórios, foi considerado um impacto positivo, relevante, permanente e irreversível.

Quanto aos usos da água, observa-se que os mesmos também estão principalmente relacionados aos aspectos quantitativos da água do que qualitativos. Portanto, sua comprovação não pode ser averiguada dentro da natureza do presente trabalho, exceto quanto à geração da energia elétrica, que é o principal uso da água de interesse dos barramentos.

9. Conclusões

A partir dos resultados e dificuldades encontradas no presente trabalho, são formuladas as conclusões apresentadas a seguir.

A avaliação dos parâmetros morfométricos – consubstanciados na Tabela 8.9 – indica que a morfologia de cada reservatório afeta de maneira distinta os diversos processos relacionados à qualidade das águas (capacidade de diluição e assimilação de cargas poluidoras, potencial para o desenvolvimento do processo de eutrofização, susceptibilidade ao processo de estratificação, dentre outros). Desta forma, não é possível realizar uma conclusão generalizada da influência da morfologia sobre a qualidade das águas para qualquer um dos reservatórios em estudo, nem muito menos aplicá-la a qualquer reservatório artificial. Entretanto, a morfologia tem grande importância para a avaliação da qualidade das águas e deve ser sempre avaliada em conjunto com os demais fatores.

Os reservatórios das PCH's Ponte, Palestina e Triunfo apresentaram, pelo menos uma vez, períodos de estratificação térmica e química e posterior processo de circulação da massa d'água. Tal situação era esperada, visto que a avaliação da morfologia dos reservatórios e das influências climáticas locais já apontava para a possível ocorrência da mesma. Este fato aponta para a necessidade de controle dos usos da água na porção inferior dos reservatórios (hipolímnio) – que geralmente apresenta pior qualidade – para as épocas de estratificação e do reservatório como um todo após o período de circulação da massa d'água. Nesta situação, a resolubilização de elementos precipitados e o déficit de oxigênio dissolvido do hipolímnio podem afetar, além dos usos da água, a biota aquática. Tal recomendação é corroborada pelos demais resultados deste trabalho pois, conforme discutido no Capítulo 8, a qualidade das águas nos primeiros metros de profundidade dos reservatórios apresentou-se, em alguns casos, pior do que na superfície. Desta forma, recomenda-se que as águas dos reservatórios a serem utilizadas para os mais diferentes fins sejam preferencialmente aduzidas da região da superfície até a zona fótica.

A densidade de fitoplâncton na superfície dos reservatórios não apresentou valores suficientemente elevados que pudessem caracterizar uma possível ocorrência do processo de eutrofização. A transparência e a profundidade da zona fótica dos reservatórios alternaram entre profundidades mais rasas (bastante próximas à superfície) e mais profundas (poucos metros abaixo da superfície) durante as diversas campanhas. Este cenário, aliado à disponibilidade suficiente de nutrientes – principalmente de fósforo – indica um risco elevado

de eutrofização dos reservatórios durante determinadas épocas do ano, o que implica na necessidade de medidas preventivas e de controle deste processo, tais como o controle do aporte de fósforo aos reservatórios (por este ser o nutriente limitante na maioria das campanhas), o monitoramento de macrófitas aquáticas e do parâmetro clorofila 'a' nos pontos de coleta correspondentes aos três reservatórios em estudo – pontos PO-01, PO-02 e PO-04. Cumpre ressaltar que o estabelecimento do processo de eutrofização é um comprometimento para os usos da água de um reservatório, conforme apresentado na Tabela 8.37.

Os parâmetros de qualidade da água, cujo presente trabalho indicou sofrerem uma possível influência da instalação de um ou mais barramentos no curso d'água, foram DBO, fosfato solúvel, sólidos sedimentáveis, fitoplâncton (densidade e riqueza) e zooplâncton (densidade). Esta influência consiste na diminuição dos valores para estes parâmetros, mesmo que seja de pequena magnitude, com exceção para a densidade do zooplâncton, cujos valores aumentaram.

Não foram observados efeitos cumulativos significativos para estes parâmetros devido à instalação de múltiplos barramentos. Assim, é possível inferir que a formação de um novo ambiente aquático em um curso d'água – como a formação de um reservatório – num trecho a jusante de um reservatório já existente, não influi significativamente na qualidade de suas águas. Contudo, deve-se fazer uma ressalva que esta conclusão será tão mais válida quanto menor for a extensão do curso d'água entre os dois reservatórios, pois menor será a probabilidade da ocorrência de fatores que possam alterar a água entre os mesmos (fontes de poluição, contribuição de águas de sub-bacias, etc.). Como exemplo, em um curso d'água que apresente um reservatório que diminua a concentração de sólidos presentes na água, o efeito “decantador” de outro reservatório a jusante do anterior seria minimizado, pois parte significativa dos sólidos já teria sido retida previamente. Contudo, se a distância entre os mesmos for significativa, o aporte de sólidos oriundos de focos de erosão e demais fontes poderia elevar a concentração de sólidos em níveis até superiores daqueles encontrados no reservatório de montante. Assim, mesmo com o efeito “decantador” do reservatório de jusante, a concentração de sólidos poderia ser superior à das águas a montante do primeiro barramento.

Em relação ao atendimento aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente e dos riscos e limitações da qualidade das águas pós-instalação dos barramentos para os possíveis usos das águas do rio Pomba, segundo sua classe de enquadramento (Classe 2), constatou-se

que dentre os parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos que possuem padrões ou condições estabelecidos para águas classe 2 – cloreto total, coliformes termotolerantes (fecais), DBO, ferro dissolvido, fósforo total, oxigênio dissolvido, pH, manganês total, nitrato, nitrogênio amoniacal total e turbidez – o único que sofreu uma possível influência dos barramentos foi a DBO. Contudo, a queda nas concentrações de fosfato solúvel e de sólidos sedimentáveis pode indiretamente contribuir para a diminuição dos valores de fósforo total e turbidez, respectivamente, que também possuem limites máximos estabelecidos pela legislação ambiental. Neste sentido, é possível concluir que a instalação de um ou mais barramentos pode indiretamente contribuir para o atendimento ao enquadramento dos corpos d'água conforme sua classificação e, conseqüentemente, favorecer os usos da água.

Contudo, é importante fazer uma análise mais apurada desta situação. Por exemplo, a diminuição da concentração de sólidos sedimentáveis está associada ao processo de assoreamento do curso hídrico, fenômeno que tende a se acelerar com a formação dos reservatórios e diminuir a vida útil do barramento – e conseqüentemente, o prazo para seu principal uso da água, que é a geração de energia elétrica. A diminuição da concentração de nutrientes pode indicar uma assimilação dos mesmos pelas comunidades fitoplanctônicas, que são indicadoras do processo de eutrofização dos reservatórios, o que implica em outras interferências sobre os usos da água pretendidos. Concluindo, a pura e simples avaliação do aumento ou diminuição de determinado parâmetro da qualidade da água não é uma abordagem suficiente para indicar possíveis impactos positivos ou negativos sobre o meio ambiente.

Desta forma, cabe ressaltar que a conclusão apresentada inicialmente está relacionada apenas ao que predispõe o enquadramento dos corpos d'água, e deve-se considerar ainda outros fatores de restrição de uso associados aos barramentos como, por exemplo, a redução de vazão a jusante da casa de força e a compatibilidade quanto aos usos múltiplos permitidos previstos nos respectivos Planos Diretores dos Reservatórios. Ademais, as águas do rio Pomba, tanto anterior quanto posteriormente à instalação dos barramentos, apresentaram durante algumas campanhas valores de fosfato total, ferro solúvel, manganês total, turbidez, coliformes fecais e totais acima dos padrões para águas Classe 2, comprometendo, assim, os usos previstos para esta Classe, com ou sem a instalação dos barramentos.

Quanto aos parâmetros temperatura, pH, acidez, dureza, oxigênio dissolvido, DQO, cloretos, nitrogênio amoniacal, nitratos, nitrogênio total, ferro total, manganês, sólidos em suspensão,

sólidos totais, turbidez, coliformes fecais, coliformes totais, zooplâncton (riqueza) e zoobenton (riqueza), constatou-se que a variação destes parâmetros não indicou uma possível influência significativa da instalação do(s) barramento(s) sobre os mesmos.

Para os parâmetros alcalinidade, condutividade elétrica, fósforo total, ferro solúvel e zoobenton (densidade), foram observadas variações ao longo das campanhas de coleta que podem ou não estar relacionadas à instalação do(s) barramento(s). O presente estudo não pôde inferir sobre esta hipótese, não alcançando, portanto, para estes parâmetros, o objetivo principal proposto.

Observou-se que a maioria dos impactos ambientais sobre as águas do curso hídrico afetadas pela instalação e operação dos barramentos está mais associada aos aspectos quantitativos do que qualitativos da água. Constatou-se, por exemplo, que um dos principais impactos identificados nos estudos ambientais sobre os usos da água do rio Pomba seria a restrição de uso de uma cachoeira situada a montante da PCH Ponte como área de lazer. Contudo, esta restrição foi decorrente da redução de vazão neste trecho em função da operação da PCH Ponte, ou seja, está relacionada a termos quantitativos, e não qualitativos.

Dessa forma, recomenda-se que o monitoramento qualitativo das águas seja realizado concomitantemente com uma medição das vazões na seção batimétrica dos pontos de coleta. Esta sugestão justifica-se porque a vazão está associada à capacidade de diluição das águas. A simples observação da influência do clima, em função da sazonalidade, não é suficiente para diagnosticar os resultados de qualidade. Para uma mesma época do ano (períodos seco, por exemplo) podem ocorrer variações de vazão significativas entre anos distintos que, conseqüentemente, influenciam na qualidade das águas. Tal ação talvez não deva ser atualmente adotada em virtude da maior complexidade para executá-la.

Em virtude da principal deficiência do presente trabalho – uso de uma curta série histórica de dados e as conseqüentes dificuldades de utilização de métodos estatísticos mais robustos – não é possível afirmar, com um grau de confiança adequado, que as conclusões desejadas para o mesmo – que se referem à identificação dos efeitos da instalação de uma série de barramentos sobre as águas de um curso hídrico – foram alcançadas com sucesso ou não. Este fato é conseqüência do pequeno número de amostras obtidas durante o monitoramento da qualidade das águas, devido tanto à frequência (trimestral) quanto ao horizonte de projeto do monitoramento (que se iniciou dois anos antes da instalação da construção da primeira usina hidrelétrica).

É recomendável, portanto, que os resultados e discussões do presente trabalho sejam comparados com aqueles obtidos com uma série histórica de dados maior de forma a aumentar a confiabilidade das conclusões apresentadas neste capítulo. Para tal, recomenda-se que seja dada continuidade ao monitoramento da qualidade da água durante toda a vida útil dos barramentos em estudo.

Contudo, esta deficiência também aponta para uma questão de relevante importância inerente ao processo de licenciamento ambiental de qualquer empreendimento que cause impactos significativos ao meio ambiente: a viabilidade ambiental dos mesmos. Uma vez que é consensual em qualquer estudo ambiental de usinas hidrelétricas no estado de Minas Gerais e, possivelmente, ao longo do Brasil, que tanto a frequência quanto o horizonte de monitoramento são similares aos do estudo de caso adotado, concluiu-se que as mesmas deficiências encontradas no presente trabalho ocorrem no diagnóstico da qualidade das águas destes empreendimentos, no âmbito do processo de licenciamento ambiental dos mesmos. Desta forma, a avaliação da viabilidade ambiental e a consequente identificação de impactos e proposição de medidas ambientais mitigadoras e compensatórias ficam comprometidas. Neste sentido, sugere-se que a metodologia de avaliação da qualidade das águas dos empreendimentos hidrelétricos seja revisada de forma a atender aos critérios científicos mínimos. Tal resultado poderia ser obtido, por exemplo, com a diminuição do período de frequência das amostragens, de trimestral para mensal, e com o aumento do horizonte de monitoramento, que deveria iniciar-se mais cedo e dar-se continuidade enquanto da vida útil do empreendimento, além das outras recomendações apresentadas neste capítulo.

É importante refletir sobre duas outras dificuldades em se atingir o objetivo principal deste trabalho. A primeira delas baseia-se na premissa de que, mesmo que houvesse uma série histórica de dados robusta o suficiente para que a metodologia de análise dos dados pudesse utilizar ferramentas estatísticas mais eficientes, as mesmas não seriam capazes de distinguir, com alto grau de confiança, as variações da qualidade das águas decorrentes da instalação do(s) barramento(s) daquelas oriundas dos demais fatores (alteração no uso e ocupação do solo da bacia de drenagem, morfologia dos reservatórios, variações sazonais do clima, dentre outras).

A segunda dificuldade consiste em estender as conclusões obtidas no presente trabalho a quaisquer outros tipos de barramentos, principalmente naqueles situados em regiões de clima temperado (motivo pelo qual optou-se por especificar no título desta dissertação à questão

quanto às “águas tropicais”), pois sabe-se que a dinâmica dos processos físicos, químicos e biológicos em reservatórios em climas mais frios (como, por exemplo, os processos de eutrofização e estratificação) é diferente daqueles de climas mais quentes. Pelo mesmo motivo, justifica-se a precariedade do uso de referências internacionais na realização da revisão bibliográfica. Mesmo em caso de barramentos localizados em regiões de clima tropical, as especificidades de cada um poderiam implicar, ou não, em conclusões diferentes daquelas obtidas no presente trabalho. Assim sendo, recomenda-se que os objetivos do presente trabalho sejam avaliados para outros barramentos similares, de forma a contribuir para o conhecimento deste tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. www.aneel.gov.br. Acesso no dia 08 de fevereiro de 2006.

CASTRO, A. G. *Avaliação da Qualidade da Água de uma Represa do Semi-árido para Abastecimento Urbano. Represa do Ribeirão – Medina, MG*. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CAT-LEO ENERGIA S.A. PCH Triunfo. Plano de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório. Setembro/2004.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. *Relatório da Comissão Mundial de Barragens. Barragens e Desenvolvimento: um Novo Modelo para Tomada de Decisões*. 2000.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Deliberação Normativa COPAM n.º 10, de 16 de dezembro de 1986. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes e dá outras providências. Publicação: Diário do Executivo – “Minas Gerais”, 10 de janeiro de 1987.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Deliberação Normativa COPAM n.º 74, de 9 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental. Publicação: Diário do Executivo – “Minas Gerais”, 2 de outubro de 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Publicação: Diário Oficial da União, 17 de fevereiro de 1986.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n.º 237, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Publicação: Diário Oficial da União, 22 de dezembro de 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

CUNHA, C. L. N.; ROSMAN, P. C. C.; MONTEIRO, T. C. N. Avaliação da Poluição em Rios usando Modelagem Computacional. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 8, n. 3, p. 126-134, 2003.

ESSE Engenharia e Consultoria. *EIA – Estudo de Impacto Ambiental. Usinas Hidrelétricas Ponte, Palestina e Triunfo*. Belo Horizonte, 1998.

FONSECA, H. S.; SALVADOR, N. N. B. Influência das Atividades Antrópicas, Tipo de Solo e Erodibilidade de uma Bacia Hidrográfica na Qualidade de Suas Águas. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Santa Catarina, 2003.

FRITZONS, E. et al. As Alterações da Qualidade da Água do Rio Capivari com o Deflúvio: Um Instrumento de Diagnóstico de Qualidade Ambiental. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 8, n. 4, p. 239-248, 2003.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Parecer Técnico DIENI nº 77/2000. Licença Prévia das PCH's Ponte Palestina e Triunfo. 2000.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Enquadramento e Monitoramento das Águas. *Programa de Qualificação do Servidor Público*. Belo Horizonte, 2001.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Parecer Técnico PCH n.º 16/2004. Licença de Operação da PCH Triunfo. 2004.

GASTALDINI, M. C. C.; SEFFRIN, G. F. F.; PAZ, M. F. Diagnóstico Atual e Previsão Futura da Qualidade das Águas do rio Ibicuí utilizando o Modelo QUAL2E. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 7, n. 3-4, p. 129-138, 2002.

GOLDEMBERG, J.; PÁDUA, M. T. J. Impacto Ecológico Negativo das Usinas Hidroelétricas. *RBE*. v. 1 n. 1, p. 19-35, 1986.

HELLER, H.; NASCIMENTO, N. O.; VON SPERLING; M. Investigação Científica em Engenharia Sanitária e Ambiental. Parte 1: O Delineamento Experimental. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 2, p. 33-43, 1996.

LANDA, G. G.; LANDA, F. S. L. Limnologia de um sistema lântico raso (Represa do *Campus* da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG – PUC Minas/BH) I – Características morfométricas e físico-químicas. *BIOS*, Cadernos do Departamento de Ciências Biológicas da PUC Minas, v. 9, n. 9, p.63-71, 2001.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L., NASCIMENTO, N. O. A dimensão da Qualidade da Água: Avaliação da Relação entre Indicadores Sociais, de Disponibilidade Hídrica, de Saneamento e de Saúde Pública. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 10, n. 3, p. 219-228, 2005.

LIMA, C. L. S.; BRAZ, V. N.; RIVERA, I. G. Pesquisa de Coliformes e Estreptococos Fecais em um Ambiente Aquático Protegido. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 4, n. 3-4, p. 127-132, 1999.

LIMIAR ENGENHARIA AMBIENTAL. Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água. PCH's Ponte, Palestina e Triunfo. 8º Relatório. Belo Horizonte, Janeiro/2005. 57p.

MARQUES, P. P. Programa de Qualidade das Águas. *A Água em Revista. Revista Técnica e Informativas da CPRM*. v. 1, n. 1, p. 35-42, 1993.

MAZINNI, A. L. D. A. *Dicionário Educativo de Termos Ambientais*. 384p., 2003

MELLO, J. A. B. Construção de Barragens e o Meio Ambiente. *RBE*. v. 1, n. 1, p. 5-17, 1986.

- MUCCI, J. L. N.; SOUZA, A.; VIEIRA, A. M. Estudo Ecológico do Parque Guaraciaba em Santo André – São Paulo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 9, n. 1, p. 13-25, 2004.
- MULLER, A.C. *Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. 412p., 1995.
- NASCIMENTO, N. O.; NAGHETTINI, M., HELLER, L., VON SPERLING, M. Investigação Científica em Engenharia Sanitária e Ambiental. Parte 3: Análise Estatística de Dados e de Modelos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. Ano I - Vol. 4 – n.º 4 – outubro/dezembro 1996. pp.152-168.
- PALMIER, L. R. Uso de Índices para Distinguir Barragens Ambientalmente Sustentáveis. Atualidade técnicas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 2, n. 3-4, p. 88-89, 1997.
- REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Análise dos Padrões para Compostos Amoniacais segundo a Resolução CONAMA 20/86. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 3, n. 3-4, p. 146-154, 1998.
- REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. *Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável*. 415p., 2005.
- RIBEIRO, L. H. L.; BRANDIMARTE A.L.; KISHI, R.T. Formation of the Salto Caxias Reservoir (PR) – An Approach on the Eutrophication Process. *Acta Limnol. Bras.*, v.2, n.17, p. 155-165, 2005.
- TUNDISI, J. G. Represas Artificiais: Perspectivas para o Controle e Manejo da Qualidade da Água para Usos Múltiplos. *RBE*. v. 1, n.1, p.37-47, 1986.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; BARBOSA, F. A.; GENTIL, J. G.; RUGANI, C.; PONTES, M. C. F., ALEIXO, R. C.; OKANO, W. Y.; SANTOS, L.C. *Estudos Limnológicos no Sistema de Lagos do Parque Florestal do rio Doce, MG*. Convênio CETEC/UFSCar. 1978.
- VISÃO AMBIENTAL. PCH Ponte, PCH Palestina e PCH Triunfo. Programa de Monitoramento da Qualidade da Água. Belo Horizonte, outubro/2005. 44p.
- VISÃO AMBIENTAL. PCH Ponte, PCH Palestina e PCH Triunfo. Programa de Monitoramento da Qualidade da Água. Belo Horizonte, dezembro/2005. 50p.
- VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2ª Ed. 243p., 1996.
- VON SPERLING, M.; HELLER L.; NASCIMENTO, N. O. Investigação Científica em Engenharia Sanitária e Ambiental. Parte 2: A Análise Preliminar dos Dados. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 3, n. 3, p. 115-124, 1996.
- VON SPERLING, E. Morfologia de Lagos e Represas. ISBN: 85-900885-1-0. 136p., 1999.
- VON SPERLING, E. Profundidade Média de Lagos e Represas Brasileiros e sua Influência na Qualidade da Água. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Rio de Janeiro, 1999.
- VON SPERLING, E.; JARDIM, F. A.; GRANDCHAMP, C. A. P. Qualidade da Água durante a Formação de Lagos Profundos em Cavas de Mineração: Estudo de Caso do Lago de Águas Claras – MG. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 9, n. 3, p. 250-259, 2004.

YENNE, B. 100 Invenções que mudaram a história do mundo. Ediouro Publicações S.A. 220p., 2003.