

AValiação da Qualidade de Água em Reservatórios de Abastecimento: Estudo de Caso Represa do Rio Manso-MG

Yone Melo de Figueiredo Fonseca¹, Eduardo von Sperling² e José Nelson de Almeida Machado³

Resumo – O trabalho apresenta os primeiros resultados de pesquisa desenvolvida no Reservatório do Rio Manso-MG com relação aos impactos decorrentes da utilização de dispositivos de descarga profunda. Para tanto foi implementado um monitoramento específico, que se estendeu pelo período de um ano (junho/98-maio/99), envolvendo a determinação dos parâmetros físico-químicos e hidrobiológicos mais significativos. Como conclusão da pesquisa são feitas recomendações referentes à ampla utilização da descarga profunda em reservatórios de abastecimento de água.

Abstract – The paper presents some considerations about the use of deep discharge in water supply reservoirs. A research was carried out in Rio Manso Reservoir, in the State of Minas Gerais, involving an one-year monitoring program, with the objective of determining the possible impacts downstream, derived from the operation of deep discharge equipments. The general conclusion stresses the convenience of using hypolimnetic withdrawal as an adequate measure to maintain the water quality of reservoirs.

Palavras-Chave – descarga profunda, operação de reservatórios, hipolímnio

¹ 1 - Bióloga, mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG

R. Ciro Vaz de Melo, 491/102 - CEP.31255-840 - Belo Horizonte, MG Email: yone@gold.com.br

² 2 - Professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Escola de Engenharia da UFMG - Av. do Contorno, 842, 7º andar, Centro - Belo Horizonte, MG. Tel: (31) 2381019 CEP:30110-060 - Email: eduardo@desa.ufmg.br

³ 3 - Gerente da Divisão de Serviços de Apoio - Laboratório Metropolitano. Br 040, km 445 - Trevo de Nova Lima, Belo Horizonte, MG. Tel: (31) 2502346 Email: labo@copasa.com.br

INTRODUÇÃO

A utilização de barramentos com a formação de reservatórios de grande capacidade é uma atividade que, de longa data, corresponde a uma experiência majoritariamente do setor energético, a ponto de tornar o Brasil um dos maiores produtores de energia hidroelétrica do planeta. Em nosso país a participação da geração hidroelétrica na produção total de energia é de 97 %, portanto bastante superior à média mundial, que é de 19 % (ELETROBRÁS, Plano Decenal de Expansão 1995-2004). Os reservatórios construídos para esta finalidade não têm como prioridade a manutenção de uma boa qualidade de água reservada. Mesmo as preocupações com o assoreamento só mais recentemente vêm recebendo alguma atenção por parte das operadoras de tais sistemas. Devido à ainda pequena quantidade de reservatórios construídos exclusivamente para a finalidade de abastecimento, não têm sido pesquisados adequadamente todos os aspectos de projeto e operação voltados para a otimização da qualidade da água.

Um dos fatos mais relevantes em reservatórios de acumulação de água é o fenômeno da circulação vertical da massa líquida, a qual ocorre devido ao rápido resfriamento da camada **superficial (*epilímnio*)**, **aumentando sua densidade. Desta forma a camada profunda (*hipolímnio*)**, **contendo elevados teores de fósforo, ferro e manganês, é impulsionada em direção à superfície**, aumentando acentuadamente os teores destes elementos, além da cor e turbidez, na água captada. O impacto deste fenômeno no processo do tratamento da água é significativo, exigindo um aumento do consumo de produtos químicos e por vezes até a substituição do coagulante. Em estações de tratamento de água providas apenas de filtração direta a correção da qualidade é ainda mais difícil, devido ao tempo mais longo exigido para a oxidação dos compostos de manganês. Além disso a maior disponibilidade do fósforo na massa líquida da represa aumenta o crescimento de algas, trazendo como consequência colmatação dos filtros e diminuição das carreiras de filtração.

É inquestionável que os cuidados preventivos na bacia de drenagem, embora fundamentais para a manutenção e melhoria da qualidade da água, não são suficientes para evitar a circulação das águas e suas conseqüências. Considerando-se que, no processo de estratificação térmica e química que ocorre na coluna d'água, o hipolímnio concentra os compostos indesejáveis, a introdução de uma descarga profunda mostra-se como um importante dispositivo para o controle da qualidade da água reservada. Embora possa parecer como óbvia a conveniência da instalação de descarga profunda, a sua aceitação não é tão generalizada. A principal restrição ao uso da descarga profunda refere-se aos possíveis impactos a jusante do barramento, em decorrência das condições anóxicas da descarga e da presença de compostos químicos no estado reduzido. Como consequência pode ocorrer uma série de efeitos negativos, dentre eles, turvação da água, emissão de mau cheiro e mortandade de peixes. Outro argumento contrário ao uso da

descarga baseia-se no fato de que a mesma não apresenta capacidade de arrastar os sedimentos acumulados no fundo da represa.

Os problemas de impacto à jusante podem ser minimizados, ou até mesmo eliminados, mediante a instalação de válvulas dispersoras, as quais provocam a aspersão da água sob a forma de aerossol e a consequente incorporação de oxigênio e oxidação de compostos quimicamente reduzidos. O sistema do Rio Manso conta com duas destas válvulas dispersoras.

As vantagens do uso da descarga profunda estão associadas à retirada de água hipolimnética, sabidamente de pior qualidade e sua substituição permanente por águas afluentes de qualidade superior. Restam contudo as questões relativas ao real balanço de custos e benefícios, além naturalmente de uma série de indagações de cunho operacional. Tendo em vista este conjunto de questões a COPASA-MG tomou a iniciativa de contratar uma pesquisa relativa ao impacto decorrente da utilização de dispositivos de descarga profunda. Como objeto da pesquisa foi escolhido o sistema Rio Manso, que é o único, dentre os sistemas da COPASA-MG, onde ocorre a operação de descarga profunda.

Sistema Rio Manso

O Reservatório do Rio Manso está localizado no município de Brumadinho, a cerca de 50 km de Belo Horizonte, apresentando as coordenadas geográficas de 20°07'72'' (latitude) e 44°15'78'' (longitude). Este reservatório, juntamente com as represas Vargem das Flores (municípios de Betim e Contagem) e Serra Azul (município de Juatuba), constituem o conjunto de ambientes lênticos responsáveis pelo suprimento de água para os municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte. A bacia de drenagem do sistema Rio Manso possui uma área de proteção ambiental (por decreto estadual) de 92 km², com o limite estabelecido de 200 m além do espelho d'água. O sistema Rio Manso produz 3,5 m³/s de água tratada, possuindo atualmente a capacidade máxima de fornecimento de 4 m³/s. Em uma etapa futura, a ser atingida mediante o alteamento em 10 m da barragem, a vazão máxima pode chegar a 10 m³/s.

A seguir são apresentados os principais aspectos morfométricos do Reservatório do Rio Manso. A represa possui uma área inundada de aproximadamente 10,8 km², sujeita naturalmente a pequenas oscilações em decorrência de influências climatológicas e operacionais. O volume de água acumulada no reservatório é de cerca de 0,12 km³. Publicação recente (von Sperling, 1999) indica que apenas 56 represas brasileiras apresentam volumes superiores a 1 km³ (equivalente a 1 trilhão de litros ou 1 bilhão de toneladas). A profundidade máxima do reservatório, obtida junto ao barramento, é de aproximadamente 40 m, o que posiciona a represa do Rio Manso dentro do grupo dos 50 reservatórios mais profundos do país. A profundidade média, expressa através da relação entre o volume e a área, é de cerca de 11 m. Este parâmetro morfométrico é útil como dado de entrada em alguns modelos de prognóstico da qualidade da água. A

profundidade relativa, que é expressa em unidades percentuais e representada pelo quociente entre a profundidade máxima da represa e o seu diâmetro médio (diâmetro de um círculo que tenha a mesma área da represa) é de 1,1 %. Sabe-se que 90 % das represas brasileiras apresentam profundidades relativas inferiores a 1,5 %. Ambientes com elevada profundidade relativa (i.e. pequenos e profundos) podem ter dificuldades para realizar circulações verticais completas da coluna líquida, ao passo que represas com baixa profundidade relativa (ou seja, grandes e rasas) não apresentam esta limitação. No caso da Represa do Rio Manso o valor da profundidade relativa pode ser considerado como baixo. Na verdade existem evidências de que esta represa é um ambiente *holomítico*, isto é, que apresenta circulações verticais completas. Outro parâmetro morfométrico de interesse é o desenvolvimento do volume, que é calculado pela razão entre o volume da represa e o volume de um cone que tenha uma área igual àquela da represa e uma altura equivalente à sua profundidade máxima. Quando este parâmetro é inferior a 1 diz-se que a represa tem a forma convexa, caso contrário ela será do tipo cônico. A Represa do Rio Manso apresenta um desenvolvimento de volume de 0,8, possuindo portanto o chamado formato convexo. Cerca da metade das represas brasileiras tem um desenvolvimento de volume dentro da faixa de 0,8 a 1,2. O fator de envolvimento fornece a relação entre a área da bacia de drenagem e a área da represa, sendo que para o Reservatório do Rio Manso o seu valor é de 65. Cerca de 40 % das represas brasileiras têm um fator de envolvimento inferior a 100.

A barragem de regularização é constituída de um maciço de terra de aproximadamente 9.000.000 m³, com 580 m de extensão e 54 m de altura. O talude de montante possui enrocamento de pedras e o de jusante é gramado, com bermas de 4 m de largura a cada 10 m de desnível. A crista possui 8 m de largura. Existe um filtro inclinado, de areia, com 1,5 m de largura em toda a extensão do maciço. O vertedouro da barragem é do tipo ogiva, com a estrutura toda em concreto armado. Possui 30 m de largura e 461 m de comprimento. Ao final do vertedouro existe uma bacia de dissipação, do tipo ressalto hidráulico, que proporciona uma sensível redução da velocidade da água, diminuindo-se assim os efeitos da erosão a jusante da barragem. A torre de tomada de água consiste em uma estrutura em concreto armado, com 67 m de altura e 12 m de diâmetro. A captação de água é feita por meio de quatro comportas, situadas em níveis diferentes, permitindo desta forma a operação do sistema de acordo com a variação da cota do reservatório e conforme as conveniências operacionais relativas à qualidade da água. O acesso à casa de comando da torre, situada no seu topo, é feito através de uma ponte em estrutura metálica. A galeria de desvio, executada em concreto armado, possui 255 m de comprimento e 8,5 m de diâmetro. Nesta galeria estão localizadas a tubulação que conduz a água da represa até a elevatória de água bruta (diâmetro de 3,1 m) e a tubulação que possibilita a descarga de fundo (diâmetro de 1,5 m). Na extremidade desta última tubulação estão instaladas duas válvulas dispersoras (diâmetros de 500 mm e de 800 mm), que servem para regularizar o fluxo de água a jusante da barragem (velocidade máxima de 3 m/s, correspondendo a uma vazão máxima de 5,3 m³/s) e para permitir uma

incorporação mais intensa de oxigênio atmosférico mediante a atomização das gotículas de água. Deve-se garantir uma vazão mínima residual no Rio Manso da ordem de 0.97 m³/s. A estação de tratamento de água é do tipo convencional, contando com as fases de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. A unidade de medição de água bruta é constituída de uma câmara de concreto armado, por onde passam as duas linhas adutoras de recalque de água bruta. Todos os dados referentes às medidas contínuas de vazão são registrados em um painel localizado na Casa de Química. A estrutura de chegada de água é formada por uma câmara de concreto armado dotada de um septo longitudinal que a divide em duas células interligadas ao canal de água bruta. Imediatamente após a estrutura de chegada de água situa-se o canal de água bruta, que é constituído de três segmentos em série de concreto armado. O canal de distribuição de água para os floculadores apresenta uma seção variável, que permite subdividir o fluxo com o objetivo de uniformização de vazão. Existem oito floculadores de cada lado do canal de distribuição, sendo que cada conjunto de quatro tem o seu decantador correspondente. Cada floculador possui três câmaras, todas dispondo de agitador mecânico de fluxo axial. A ETA possui quatro decantadores de fluxo horizontal, do tipo convencional. A remoção do lodo é feita por equipamento mecânico (ponte rolante), que arrasta o lodo até os poços situados na face montante do decantador e de onde é removido por gravidade. Após decantada a água é conduzida aos filtros por meio de um canal, onde estão instalados os misturadores rápidos para produtos químicos. Existem dez filtros do tipo rápido descendente, cada um subdividido em duas câmaras. O leito filtrante é constituído de duas camadas de areia de alta granulometria. Seu fundo é de bloco tipo universal, o que possibilita a lavagem utilizando-se ar e água. O reservatório de água tratada possui um volume útil total de 12.700 m³. O sistema Rio Manso conta ainda com uma unidade de tratamento de resíduos (UTR), onde são tratadas e recuperadas a água de lavagem de filtros e a descarga dos decantadores da estação de tratamento de água. Esta unidade é composta de dois decantadores secundários que funcionam em batelada, de dois adensadores circulares de lodo e de cinco lagoas de secagem de lodo. O sobrenadante produzido na lagoa é extravasado através de vertedores ajustáveis, enquanto que o lodo seco é retirado por meio de caminhões que têm acesso à lagoa.

Avaliação da qualidade da água

A avaliação da qualidade da água foi feita com base nos dados disponíveis na COPASA-MG sobre a série histórica de monitoramento e mediante a realização de um programa específico de amostragem, o qual se estendeu pelo período de junho/98 a maio/99. Neste monitoramento específico foi prevista a realização de coletas semanais nos meses de junho e julho, isto é, durante o período de circulação da represa, quando a qualidade da água sofre as maiores alterações, sendo que nos meses subsequentes as coletas seriam quinzenais. Os pontos de amostragem escolhidos cumprem satisfatoriamente o caráter de *representatividade*, que é o principal atributo exigido para a seleção de pontos de coleta de água.

Tendo em vista os objetivos da pesquisa (avaliação da qualidade da água e dos impactos decorrentes da operação da descarga profunda) foram determinados cinco pontos de amostragem, a saber:

Ponto 1: *próximo à torre de tomada d'água, na região mais profunda da represa, com a coleta sendo feita à profundidade de Secchi (equivalente ao valor da transparência);*

Ponto 2: *junto ao fundo da represa, na mesma vertical do ponto 1*

Ponto 3: *junto ao vertedouro da represa*

Ponto 4: *após a junção dos fluxos da descarga profunda e do vertedouro*

Ponto 5: *na descarga de fundo*

A avaliação da qualidade de um ambiente hídrico deve ser feita de forma integrada, considerando-se o conjunto de informações de caráter físico, químico e biológico. Buscou-se aqui, dentro de uma relação custo-benefício compatível com os objetivos da pesquisa, escolher aqueles parâmetros que realmente pudessem contribuir para o conhecimento limnológico do ambiente aquático e que também permitissem a adequada avaliação dos efeitos decorrentes da operação da descarga profunda. Serão apresentados aqui os gráficos mais importantes do monitoramento, os quais referem-se ao Ponto 1, ponto principal da represa.

Além da determinação do **perfil térmico**, que é fundamental para o conhecimento da dinâmica de circulação da represa, foram realizadas análises dos seguintes parâmetros físico-químicos: **transparência, temperatura, oxigênio dissolvido, pH, ferro total e solúvel, manganês total e solúvel, turbidez, cor, condutividade, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total e solúvel, DBO e DQO**. Quanto ao aspecto hidrobiológico foram feitas análises quantitativas e qualitativas do **fitoplâncton** e do **zooplâncton**, determinando-se ainda os índices de diversidade para estas duas comunidades aquáticas. O conjunto de parâmetros físico-químicos e hidrobiológicos selecionados para amostragem permite portanto a obtenção de informações bastante relevantes sobre a qualidade do ambiente aquático e sobre os efeitos da operação da descarga profunda. As justificativas para a seleção dos parâmetros podem ser dirigidas para o conhecimento das seguintes características:

Grau de mineralização: *condutividade*

Poluição orgânica: *oxigênio dissolvido, DBO, DQO, nitrogênio amoniacal*

Presença de nutrientes: *nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total*

Presença de elementos típicos da bacia de drenagem: *ferro, manganês*

Aspecto físico do ambiente aquático: *turbidez, cor, transparência*

Padrão de circulação do corpo d'água: *temperatura, oxigênio dissolvido, pH*

Resultados do monitoramento

Os **perfis de temperatura da água**, mostrados em anexo, obtidos no ponto de profundidade máxima, constituem-se em um dos indicadores mais significativos para conhecimento do padrão de mistura vertical do corpo d'água. Durante o período de monitoramento específico foram confeccionados dezoito perfis verticais de temperatura da água. Pode-se observar claramente a ocorrência de temperaturas /densidades uniformes (na faixa de 20 a 22^o C) na superfície e no fundo ao longo dos meses de junho e julho. A partir de agosto constata-se o início da fase de estratificação da represa, a qual vai se consolidando nas coletas seguintes. De setembro a novembro nota-se um diferencial de temperatura de 4 a 5^o C entre a superfície e o fundo, o qual chega até 8^o C nos meses subsequentes (novembro a abril), quando a temperatura superficial fica próxima dos 30^o C. Sabe-se que, nas faixas mais elevadas de temperatura, pequenas diferenças de valor já implicam em consideráveis diferenças de densidade, fato este que conduz ao estabelecimento de uma condição de estratificação da massa líquida, com a formação de três camadas de densidade: *epilímnio* (na superfície), *metalímnio* (estrato intermediário) e *hipolímnio* (camada profunda). No mês de maio já se pode observar os primeiros sinais de enfraquecimento da estratificação, iniciando-se a transposição gradativa à fase de circulação. Observa-se ainda, a partir de outubro, a formação de *multi-termoclinas*, isto é, leves estratificações que se estabelecem ao longo do perfil vertical da coluna d'água. Este fenômeno é frequente em ambientes aquáticos tropicais, nos quais a formação de estratos ocorre até mesmo com pequenas diferenças de temperatura.

Os teores de **cor** na superfície da represa apresentaram geralmente valores na faixa de 10 a 100 mg/l, situando-se portanto apenas ocasionalmente (coleta de 06 de maio, 100 mg/l) acima do limite previsto para a Classe 2. A partir de agosto ocorre uma redução da cor nas camadas superficiais (valores inferiores a 10 unidades) provavelmente em decorrência do término do período de circulação. Merece registro o fato de que, nos meses de fevereiro e março, ocorreu um confinamento de capivaras em um cercado instalado nas margens da represa, próximo ao vertedouro. Esta atividade pode ter contribuído para o aumento dos teores de cor em épocas de maior precipitação pluviométrica, mediante o carreamento de substâncias orgânicas concentradas nas camadas superficiais do solo. No fundo da represa os valores obtidos situaram-se na faixa de 120 a 250 mg/l, portanto bastante superiores àqueles registrados na coleta feita à profundidade de Secchi. No ponto de coleta da descarga profunda os teores também foram elevados (30 a 500 mg/l), refletindo as condições encontradas no hipolímnio da represa. Já no vertedouro a tendência é de que os valores sejam semelhantes àqueles encontrados nas camadas superficiais, que constituem as águas vertidas da represa. No período do monitoramento específico os teores de cor neste ponto oscilaram geralmente dentro do intervalo de 20 a 120 mg/l. Finalmente no ponto de coleta a jusante da represa as concentrações de cor situaram-se entre 20 e 250 mg/l, evidenciando a influência da mistura das águas vertidas e daquelas provenientes da descarga de fundo.

A representação gráfica dos resultados da **turbidez** provenientes do monitoramento específico mostra claramente o predomínio de valores bastante baixos (2 a 7 UNT) na superfície, destacando-se o reduzidíssimo teor de 1 UNT registrado na coleta em setembro/98. O único valor mais elevado (28 UNT) foi obtido na coleta de maio/99. Observa-se claramente um aumento geral da turbidez a partir de fevereiro, provavelmente em decorrência do manejo de capivaras (V. item cor). Já no fundo os teores são mais elevados, apresentando fortes oscilações e variando normalmente de 10 a 40 UNT. A ocorrência de águas mais turvas em camadas profundas é um fenômeno que ocorre em todos os ambientes lênticos devido à precipitação de material proveniente do próprio corpo d'água e de sua bacia de drenagem. Existe ainda uma clara associação direta entre turbidez e intensidade e frequência das precipitações pluviométricas. Na região do vertedouro os valores registrados para a turbidez também foram baixos (em geral de 4 a 30 UNT), ocorrendo no entanto um pico no dia 22. Setembro (32 UNT), quando já houve uma interrupção no extravasamento de água. Provavelmente ocorreu um acúmulo de material neste ponto de coleta, levando assim à obtenção de teores mais altos de turbidez. Na descarga de fundo os valores variam de 5 a 50 UNT, equivalentes aproximadamente aos teores obtidos na região de fundo. No ponto de coleta situado à jusante da represa a turbidez oscilou entre 5 e 35 UNT. Deve-se lembrar que trata-se aqui de um ambiente lótico, isto é, de escoamento rápido, o que naturalmente implica em valores mais elevados de turbidez. De uma maneira geral os teores registrados em todos os pontos de amostragem não foram altos, situando-se quase sempre abaixo do limite fixado para a classe 1.

A variação dos valores da **transparência** na Represa do Rio Manso é apresentada em gráfico anexo. No período do monitoramento específico a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi oscilou entre 1 m e 5 m. Vale lembrar que a média histórica dos últimos dez anos aponta para valores na faixa de 0,5 a 3 m. A transparência de uma água é influenciada por uma vasta série de fatores ambientais, dentre eles a incidência de chuvas, a erodibilidade dos solos, o relevo do terreno, a floração de algas etc. Desta forma é bastante frequente a obtenção de valores muito oscilantes, como consequência da conjunção dos fatores ambientais citados. Muitas vezes são registrados valores mais baixos de transparência no período de circulação das águas, devido à ressuspensão de material particulado proveniente do fundo do corpo d'água. Esta tendência pode ser verificada na representação gráfica dos resultados do monitoramento específico. Ressalta-se aqui a diminuição dos valores de transparência a partir do mês de fevereiro, possivelmente em decorrência do manejo de capivara efetuado junto à represa (V. comentário a esse respeito no tópico referente ao parâmetro cor). De qualquer forma os valores de transparência na Represa do Rio Manso podem ser considerados como elevados em se tratando de ambientes aquáticos tropicais.

No período do monitoramento específico os teores de **condutividade elétrica** registrados na superfície oscilaram grande parte do tempo em torno de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que é

aproximadamente a média histórica observada neste ponto de coleta. Merece registro a elevação observada a partir de 06. Outubro, atingindo-se o nível de 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que em dezembro os valores já tinham retornado ao patamar normal. Este pico não foi no entanto acompanhado de alterações marcantes em outros parâmetros indicativos. Cabe destacar que esta elevação foi observada também na região de fundo. Neste compartimento no entanto os teores de condutividade já são normalmente um pouco mais altos que na superfície (médias de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$) em decorrência da solubilização de compostos químicos e do consequente aumento na salinidade do ambiente. No vertedouro a média de valores de condutividade situou-se em torno de 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cabendo registrar o forte aumento ocorrido em 22. Outubro (em torno de 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$), provavelmente associado à maior presença de sólidos dissolvidos quando do reinício do extravasamento. Na descarga de fundo e à jusante da represa os teores foram semelhantes, variando na faixa de 40 a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De maneira geral, conforme já destacado no parágrafo anterior, a condutividade elétrica nas águas da Represa do Rio Manso é baixa, caracterizando um ambiente pouco impactado por pulsos poluidores.

Os teores de **pH** obtidos nos cinco pontos de amostragem durante o período do monitoramento específico não se afastam muito da região neutra. Na camada superficial os valores oscilaram frequentemente entre 6,7 e 7,8. Apenas 20 % dos resultados foram superiores a 7,8. O leve predomínio de condições alcalinas na superfície é explicado pela atividade fotossintética do fitoplâncton. Observa-se que, nos meses de junho a agosto, portanto durante a fase de circulação vertical da massa líquida, a faixa de valores é um pouco menor (6,7 a 7,4) em decorrência da ascensão à superfície de águas profundas. Na região do fundo, onde normalmente predominam condições ácidas, os teores de pH situaram-se entre 6,2 e 6,8. Nos outros pontos de amostragem (vertedouro, descarga de fundo, jusante) o pH oscila sempre em torno do ponto neutro. Especificamente na descarga de fundo os valores são quase constantes e levemente ácidos (faixa de 6,4 a 7), exatamente pela influência dos teores mais reduzidos nas camadas profundas. Já no vertedouro os teores de pH variam normalmente dentro de uma estreita faixa alcalina (7,2 a 7,6) enquanto que no ponto de coleta à jusante da represa a mistura de águas vertidas e águas profundas conduz à obtenção de valores entre 6,7 e 7,4.

As concentrações de **oxigênio dissolvido** provenientes dos resultados do monitoramento específico indicam que, nas camadas superficiais (profundidade de Secchi) da Represa do Rio Manso elas têm variado de 4 a 7 mg/l, apresentando portanto valores plenamente satisfatórios para a proteção e desenvolvimento da vida aquática. Deve ser lembrado que, em faixas mais elevadas de temperatura, tais teores representam elevados percentuais de saturação, já que os gases se solubilizam com menor intensidade em águas mais quentes. A manutenção destas concentrações de oxigênio dissolvido é garantida pela atividade fotossintética da comunidade fitoplancônica e, em menor grau, pela reaeração atmosférica, a qual promove a difusão do oxigênio na interface ar-água. No fundo da represa o monitoramento indicou com frequência a obtenção de teores de oxigênio dissolvido inferiores a 0,5 mg/l, havendo eventualmente a ocorrência de valores

de até 1,2 mg/l. O predomínio de baixas concentrações de oxigênio dissolvido em camadas profundas é um fenômeno normal, mesmo em represas não poluídas (como é o caso do Rio Manso), já que toda a matéria orgânica *autóctone* (gerada dentro do corpo d'água) e *alóctone* (vinda de fora) acaba por se sedimentar e entrar em decomposição na região do fundo, o que implica em consumo de oxigênio para a respiração das bactérias decompositoras. Já na região do vertedouro os teores de oxigênio dissolvido são altos, à semelhança das águas superficiais, oscilando normalmente entre 5 e 7,5 mg/l. Valores mais baixos foram registrados na coleta de 28.Julho/98 (4 mg/l) e de 04.Fevereiro/99 (1,6 mg/l). Na água da descarga de fundo as concentrações de oxigênio dissolvido são sempre elevadas (entre 6 e 7 mg/l). A operação da válvula dispersora provoca a atomização do fluxo de água em um número elevadíssimo de gotículas, que apresentam pequeno tamanho mas uma superfície exposta total bastante elevada. Desta forma ocorre a imediata saturação das microcamadas (interface ar-água) com o oxigênio atmosférico, acarretando um forte incremento dos teores de oxigênio dissolvido na massa líquida. Também as gotículas ao se chocarem com a água sofrem a incorporação adicional de oxigênio. Finalmente a jusante da represa as concentrações permanecem elevadas (faixa de 6 a 7,6 mg/l) tendo em vista os efeitos da utilização da válvula dispersora e a turbulência gerada pelo escoamento no vertedouro. Em linhas gerais a distribuição do oxigênio dissolvido, tanto na represa quanto à sua jusante, não traz nenhuma preocupação, evidenciando-se a presença de um corpo d'água com muito boa oxigenação.

Tanto a **DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)** quanto a **DQO (Demanda Química de Oxigênio)** apresentaram valores bastante baixos por ocasião do monitoramento específico realizado na Represa do Rio Manso, não se evidenciando portanto quaisquer indícios de contaminação do ambiente por material orgânico. Na superfície a DBO variou de concentrações-traço até o valor de 1,8 mg/l (registrado em 21.Julho/98), enquanto que para a DQO foram obtidos teores até 13 mg/l, estando a maioria abaixo de 5 mg/l. No conjunto trata-se de valores bastante baixos, indicando uma reduzida presença de matéria orgânica. No fundo da represa ambos os parâmetros apresentaram concentrações um pouco superiores: até 9 mg/l para DBO e até 17 mg/l para DQO, muito embora a maior parte dos resultados fosse inferior a 0,5 mg/l para DBO e 5 mg/l para DQO. Em geral nas regiões profundas existe um acúmulo de matéria orgânica precipitada, o que implica em um maior consumo de oxigênio para sua decomposição. Os reduzidos valores obtidos no ponto de coleta da descarga profunda (quase sempre inferiores a 0,5 mg/l para DBO e 5 mg/l para DQO) apontam para a influência positiva da válvula dispersora na oxigenação das águas. Nos pontos de amostragem do vertedouro e à jusante da barragem os baixos teores de DBO e DQO obtidos também foram da mesma ordem de grandeza. Vale lembrar que o limite máximo de DBO para águas da Classe 2 (Resolução CONAMA 20/86 e DN COPAM 10/86) é de 5 mg/l.

A presença de **nitrogênio amoniacal** nas águas da represa Rio Manso verificada através do monitoramento específico realizado, também está representada em gráfico anexo. Este parâmetro é bastante relevante para a avaliação da qualidade da água, na medida em que constitui-se em importante nutriente para o crescimento da vegetação aquática e ao mesmo tempo informa indiretamente sobre a distribuição do oxigênio dissolvido nos pontos de coleta. Nas camadas superficiais as concentrações de nitrogênio amoniacal oscilaram em torno de 0,4 mg/l (faixa de 0,2 a 0,8 mg/l), que pode ser considerado como um valor baixo. Já nas camadas profundas os teores variaram fortemente, apresentando desde concentrações próximas a zero até valores de 4 mg/l. Normalmente na região profunda de lagos e represas, onde predominam condições redutoras em decorrência da fraca presença de oxigênio dissolvido, as concentrações de nitrogênio amoniacal, assim como de outros compostos reduzidos, são mais elevadas. Além disso deve-se destacar que a fração amoniacal dos compostos nitrogenados é bastante instável, estando portanto sujeita a fortes oscilações em curtos períodos de tempo. Na região do vertedouro os valores de nitrogênio amoniacal situam-se na ampla faixa de 0,3 a 3 mg/l. Observa-se um incremento nas concentrações a partir de 14.Julho, provavelmente como influência do período pós-circulação. Na descarga da represa os valores são quase sempre inferiores a 1,5 mg/l (faixa de 0,1 a 4 mg/l), lembrando-se que a operação da válvula dispersora provoca um intenso contato da água com a atmosfera e a consequente oxidação da amônia a nitrato. Situação semelhante ocorre à jusante da represa, com as concentrações apenas ocasionalmente ultrapassando o valor de 1 mg/l. Quanto ao **nitrato**, que representa a forma oxidada dos compostos nitrogenados, as concentrações em todos os pontos de coleta foram normalmente muito baixas, inferiores a 0,2 mg/l. Apenas em poucas amostragens foram registrados valores superiores a este limiar, não ultrapassando no entanto 0,5 mg/l. O limite de nitrato fixado para águas de Classe 2 (Resolução CONAMA 20/86 e DN 10/86) é de 10 mg/l. É importante destacar que o nitrato é um composto químico prontamente assimilado pela vegetação aquática (algas e macrófitas), sendo portanto difícil a ocorrência de concentrações mais elevadas durante um longo período de tempo.

Com relação ao comportamento do **fósforo total** nos resultados do monitoramento específico observa-se o claro predomínio de baixas concentrações devido à sua pronta assimilação pela comunidade aquática. Os resultados das coletas feitas até o mês de fevereiro/99 indicaram sempre valores inferiores ao limite de detecção analítico do instrumental utilizado. A partir do mês de março no entanto as análises foram realizadas com um maior grau de precisão, sendo portanto detectadas as concentrações inferiores a 0,02 mg/l. Em linhas gerais os teores obtidos não ultrapassaram, em todos os pontos, o valor de 0,05 mg/l, com uma tendência à obtenção de resultados mais elevados na região do fundo da represa, enquanto que na superfície predominam concentrações menores em decorrência da assimilação do fósforo como nutriente para a vida aquática vegetal.

A distribuição das concentrações de **ferro total** e **ferro solúvel** por ocasião do monitoramento específico das águas da Represa do Rio Manso é apresentada em gráfico anexo. Observa-se a ocorrência de valores elevados de ferro nestas águas, tendo em vista a já comentada influência da composição geoquímica dos solos da bacia de drenagem. Nas águas superficiais a concentração de ferro total oscila entre 0,1 e 1 mg/l, enquanto a fração solúvel (10 a 50 % do ferro total) varia quase sempre de 0,08 a 0,3 mg/l, exceção feita às coletas em abril e maio/99 (valores até 0,8 mg/l). Trata-se portanto de alguns resultados superiores ao próprio padrão de potabilidade para o ferro (0,3 mg/l), o que obviamente implica na necessidade de se proceder à remoção parcial deste metal na Estação de Tratamento de Água. Durante o período de circulação das águas constata-se eventualmente a ressuspensão da fração particulada de ferro, fato este que leva a uma diminuição na concentração da fração solúvel nas camadas superficiais. Já na região de fundo os teores de ferro solúvel são bem mais elevados (0,4 a 3 mg/l), com a fração solúvel sendo responsável por 90 a 100 % do ferro total. No período de fevereiro a maio/99 os valores de ferro total sofreram um considerável aumento na região do fundo (faixa de 7 a 10 mg/l), provavelmente em decorrência da consolidação da fase de estratificação e consequente solubilização (diminuição do oxigênio dissolvido e do potencial redox) do ferro ali armazenado. Nas camadas profundas pode-se portanto verificar que frequentemente quase todo o ferro encontra-se na forma solúvel. No vertedouro a situação é semelhante àquela observada no ponto de coleta situado à profundidade de Secchi. Na descarga de fundo observa-se um comportamento similar ao da região profunda. No ponto de jusante também constatou-se o incremento nos teores de ferro a partir de março/99, evidenciando-se aqui a influência da descarga de águas profundas.

O comportamento do **manganês total** e **solúvel** guarda uma certa semelhança com aquele descrito para o ferro. Na verdade ambos os metais apresentam fortes similaridades químicas, principalmente com relação aos processos de complexação com outros elementos e de solubilização. Nas águas da represa observa-se que grande parte do manganês total está na forma solúvel. Tal fato é explicado pela sedimentação da fração particulada, que não é portanto coletada durante as campanhas de amostragem. Como era de se esperar são registrados teores mais elevados na região de fundo (0,6 a 1,2 mg/l) os quais são constituídos quase que totalmente pela fração solúvel (0,7 a 1,1 mg/l). Cabem aqui as mesmas explicações dadas para a presença de ferro solúvel: ressolubilização de compostos em situações de baixos teores de oxigênio dissolvido. Vale destacar a grande similaridade existente entre os gráficos de manganês total e solúvel nos pontos de amostragem na superfície, no fundo e no vertedouro. Conclui-se assim que a fração solúvel apresenta-se permanentemente em um percentual aproximadamente constante. Na superfície os teores de manganês total variam desde abaixo do limite de detecção analítico (0,05 mg/l) até 0,5 mg/l, havendo uma grande similaridade na evolução do gráfico para o manganês solúvel. No ponto de jusante as concentrações de manganês total (0,5 a 1 mg/l) e solúvel (0,1 a 0,9 mg/l) são semelhantes àquelas encontradas para a

descarga de fundo. O elevado teor de 4,7 mg/l de manganês total registrado no ponto de jusante na coleta de maio/99 pode estar associado a alguma falha analítica. Ao se comparar os gráficos de oxigênio dissolvido e manganês pode-se observar uma tendência ao estabelecimento de uma correlação inversa, o que é explicado pelo desenvolvimento do processo de solubilização, já descrito anteriormente.

A análise hidrobiológica das águas do sistema Rio Manso durante o período do monitoramento específico (junho/98 a maio/99) consistiu na determinação das características qualitativas e quantitativas do **fitoplâncton** e do **zooplâncton** presentes nos cinco pontos de coleta. Estas comunidades são excelentes indicadores da qualidade do ambiente aquático, sendo que sua análise permite inferir sobre o desenvolvimento das condições ambientais nas respectivas regiões de amostragem.

A **densidade fitoplanctônica** é sempre maior nas camadas superficiais, tendo em vista que é neste compartimento onde ocorre a incidência da radiação solar necessária à atividade fotossintética das algas. As densidades neste ponto de coleta variaram de 60 a 2100 org./ml. Os maiores valores foram registrados no período de dezembro a março (750 a 2100 org./ml), que é exatamente a época de recebimento mais intenso de energia radiante e de temperaturas mais elevadas da água, ambos os fenômenos favorecendo o crescimento de organismos autotróficos. Na região do vertedouro, que proporciona o extravasamento das águas superficiais, a evolução da densidade fitoplanctônica guarda uma forte semelhança com aquela encontrada na profundidade de Secchi, sendo obtidas densidades no intervalo de 60 a 2200 org./ml. Na região profunda, como era de se esperar, existe apenas a presença eventual de alguns grupos de algas, já que neste compartimento não são encontradas as condições ambientais necessárias ao desenvolvimento destes organismos, principalmente com relação à disponibilidade de luz. As densidades ali encontradas foram todas inferiores a 80 org./ml, com grande número de resultados abaixo de 10 org./ml. De forma similar, também no ponto de coleta da descarga profunda os valores obtidos foram bastante baixos, sempre inferiores a 13 org./ml. Finalmente na estação de amostragem à jusante da represa as densidades fitoplanctônicas foram normalmente reduzidas, com valores quase sempre inferiores a 30 org./ml. No entanto no período de verão foram ali registrados resultados elevados, na faixa de 300 a 2800 org./ml, obviamente em decorrência do extravasamento de águas superficiais ricas em organismos planctônicos.

Quanto à **composição do fitoplâncton** observa-se, nas águas superficiais da represa, o predomínio dos grupos *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae* e *Zygophyceae*. Apenas nas coletas de junho e julho constatou-se a dominância de algas do grupo das *Euglenophyceae*, provavelmente em decorrência da maior presença de matéria orgânica trazida do fundo da represa pela circulação vertical de suas águas. A distribuição dos grupos algais no ponto mais representativo da represa (profundidade de Secchi) indica claramente a prevalência de uma boa qualidade de água. Na região profunda, onde a densidade de algas é bem mais reduzida, observa-se o predomínio de dois grupos

característicos de camadas profundas: *Euglenophyceae* e *Cyanophyceae*. Ambos os grupos apresentam boa sobrevivência sob condições que são adversas às outras comunidades de algas: presença de matéria orgânica e pouca disponibilidade de luz. Na região do vertedouro nota-se uma semelhança com a distribuição de grupos de algas encontrada nas camadas superficiais. Já nos pontos de coleta da descarga profunda e à jusante da represa a composição da comunidade fitoplanctônica é aproximadamente similar àquela encontrada na região profunda, havendo naturalmente maior riqueza de organismos na estação de amostragem de jusante.

A evolução temporal da **densidade do zooplâncton** nos vários pontos de coleta segue um padrão aproximadamente semelhante àquele encontrado para o fitoplâncton, muito embora ocorram defasagens decorrentes do período necessário ao estabelecimento de novas formações de cadeia alimentar. Na superfície foram registradas densidades entre 40 e 400 org./l, com picos durante a fase de circulação (julho/agosto) e em período posterior (outubro/novembro). Na região de fundo as densidades foram normalmente menores (10 a 100 org./l), ocorrendo aqui a influência da capacidade de migração vertical presente na maioria dos organismos da comunidade zooplânctônica. No ponto de coleta do vertedouro as densidades apresentam resultados na faixa de 20 a 150 org./l. As amostragens feitas na descarga profunda evidenciam valores muito baixos de densidades do zooplâncton (intervalo de 1 a 10 org./l), repetindo-se as observações registradas para o fitoplâncton. Da mesma forma no ponto de coleta a jusante da represa as densidades são baixas (10 a 40 org./l), já que não há tempo ainda para o completo restabelecimento da comunidade zooplânctônica.

A **composição do zooplâncton** mostra claramente o predomínio de organismos do grupo *Monogononta* em todos os pontos de amostragem. Em segundo lugar aparecem, de forma variável, os grupos *Copepoda*, *Cladocera* e *Ciliata*. Trata-se de um conjunto de organismos de caráter cosmoplita, isto é, eles fazem parte da comunidade zooplânctônica na maioria das águas naturais do nosso planeta.

CONCLUSÕES

Os resultados disponíveis relativos tanto às médias mensais históricas quanto ao monitoramento específico (período junho/98 – maio/99) indicam a prevalência de uma boa qualidade de água na Represa do Rio Manso. A análise dos perfis de temperatura, corroborada pela avaliação de outros parâmetros significativos, mostra que a represa exibe uma clara fase de estratificação nos meses mais quentes do ano. Observa-se a ocorrência de variações físico-químicas e biológicas decorrentes da passagem da fase de estratificação (meses de verão) para a fase de circulação (a partir de agosto). Em linhas gerais constata-se o predomínio de boas condições de oxigenação da água, coerentes com reduzidos valores de DBO, DQO, sulfetos e nitrogênio amoniacal. Os teores de ferro e

manganês, embora elevados, refletem as características geoquímicas da bacia de drenagem. Os valores para cor e turbidez são baixos na superfície, elevando-se em direção ao fundo da represa como consequência da maior presença de substâncias dissolvidas e de material particulado. Da mesma forma os teores de condutividade apresentam um comportamento semelhante. Trata-se, em geral, de águas pouco turvas e com baixos teores de cor. A comunidade fitoplanctônica está formada conforme o padrão observado em ambientes aquáticos não poluídos, qual seja, distribuição aproximadamente equitativa entre os grupos *Bacillariophyceae*, *Zygophyceae* e *Chlorophyceae*. No zooplâncton predominam organismos de caráter cosmopolita, pertencentes aos grupos *Monogononta*, *Cladocera*, *Copepoda* e *Ciliata*. Os índices de diversidade das comunidades hidrobiológicas são perfeitamente satisfatórios.

Com relação à **descarga profunda** não se evidenciam efeitos negativos decorrentes de sua operação. Os resultados obtidos, tanto no ponto de coleta da descarga profunda, quanto à jusante da represa, apontam para condições de qualidade de água bastante satisfatórias. Sem dúvida as boas condições de oxigenação verificadas à jusante do reservatório do Rio Manso devem ser debitadas à operação da válvula dispersora. Desta maneira ficam plenamente garantidas as condições de uso da água no trecho de jusante. Deve-se destacar que a utilização da descarga profunda apresenta vantagens de caráter **operacional** (descarte de uma água que demanda maiores cuidados no tratamento) e de caráter **limnológico** (eliminação das camadas de pior qualidade e renovação da coluna d'água). Muito embora a fase de monitoramento sistemático e intensivo, dirigida especificamente para os objetivos da pesquisa, tivesse se estendido apenas por um ano, acredita-se que suas conclusões possam ser extrapoladas para períodos mais longos de tempo. Desta forma existem fortes evidências de que a operação de descarga profunda acarrete concretos benefícios de ordem operacional e limnológica, recomendando-se portanto sua instalação em reservatórios de abastecimento de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ELETROBRÁS (1995). *Plano Decenal de Expansão 1995-2004*, Rio de Janeiro
- VON SPERLING, E. (1999). *Morfologia de Lagos e Represas*. Edição DESA/UFMG, Belo Horizonte, 137 p.